УДК 616.12:615.038:577.112 http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2025-16-2-56-63

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ НАТИВНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ, СОЗДАННЫХ ПО ДАННЫМ ДВУХЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКЕ ОБРАЗОВАНИЙ НАДПОЧЕЧНИКОВ: РЕТРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

¹А.В.Хайриева[®], ¹Н.В.Тарбаева[®], ¹М.В.Годзенко[®], ¹А.В.Манаев[®], ²В. Е. Синицын[®], ¹Г.А.Мельниченко[®], ¹Н.Г.Мокрышева[®]

¹Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии, Москва, Россия ²Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Россия

ВВЕДЕНИЕ: Двухэнергетическая компьютерная томография (ДЭКТ) — это метод компьютерной томографии, основанный на сканировании пациента на низких и высоких энергиях, одной из возможностей которого является возможность создания виртуальных нативных изображений на основе наборов данных, полученных после контрастирования.

ЦЕЛЬ: Оценка возможностей использования виртуальных нативных изображений (BHИ, virtual unenhanced images), созданных из артериальной или венозной фазы контрастирования по данным двухэнергетической компьютерной томографии, вместо нативных изображений в дифференциальной диагностике образований надпочечников.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: В исследование включен 91 пациент с образованиями надпочечников, которым впоследствии проводилось хирургическое вмешательство ввиду клинически злокачественного потенциала опухоли или её гормональной активности. Всем пациентам проводилась компьютерная томография (КТ) с контрастным усилением и двухэнергетическим сканированием в артериальную и венозную фазы контрастирования. В рамках постпроцессорной обработки выполнялось построение виртуальных нативных изображений из артериальной и венозной фаз. Далее проводилось сравнение плотности образований на нативном изображении и виртуальных нативных изображениях.

РЕЗУЛЬТАТЫ: По данным теста Уилкоксона получено, что для нативного КТ и ВНИ по данным артериальной фазы ДЭКТ имеем p=0,148, для нативного КТ и ВНИ по данным венозной фазы ДЭКТ p=0,072, Коэффициент внутриклассовой корреляции ICC=0,984 (95% ДИ: [0,981; 0,990]) для ВНИ по данным артериальной фазы ДЭКТ и ICC=0,983 (95% ДИ: [0,973; 0,992]) для ВНИ по данным венозной фазы ДЭКТ.

ОБСУЖДЕНИЕ: Полученные в исследовании данные демонстрируют отсутствие статистически значимой разницы между ВНИ и реальными нативными изображениями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Отсутствие статистически значимой разницы между ВНИ, полученными из артериальной и венозной фаз контрастирования, и реальными нативными изображениями позволяет использовать ВНИ вместо нативных изображений в дифференциальной диагностике образований надпочечников. Это, в свою очередь, позволит избежать снижения лучевой нагрузки и уменьшить время, затраченного на сканирование.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: двухэнергетическая компьютерная томография, виртуальные нативные изображения, образования надпочечников

* Для корреспонденции: Хайриева Ангелина Владимировна, e-mail: komarito@mail.ru

Для цитирования: Хайриева А.В., Тарбаева Н.В., Годзенко М.В., Манаев А.В., Синицын В.Е., Мельниченко Г.А., Мокрышева Н.Г. Возможность применения виртуальных нативных изображений, созданных по данным двухэнергетической компьютерной томографии в дифференциальной диагностике образований надпочечников: ретроспективное исследование // Лучевая диагностика и терапия. 2025. Т. 16, № 2. С. 56–63, doi: http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2025-16-2-56-63.

[©] Авторы, 2025. Издательство ООО «Балтийский медицинский образовательный центр». Данная статья распространяется на условиях «открытого доступа», в соответствии с лицензией CCBY-NC-SA 4.0 («Attribution-NonCommercial-ShareAlike» / «Атрибуция-Некоммерчески-Сохранение Условий» 4.0), которая разрешает неограниченное некоммерческое использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии указания автора и источника. Чтобы ознакомиться с полными условиями данной лицензии на русском языке, посетите сайт: https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.ru

THE POSSIBILITY OF USING VIRTUAL UNENHANCED IMAGES CREATED BY USING DUAL-ENERGY CT DATA IN THE DIFFERENTIAL DIAGNOSTIC OF ADRENAL TUMORS: A RETROSPECTIVE STUDY

¹Angelina V. Khayrieva[®], ¹Natalia V. Tarbaeva[®], ¹Maria V. Godzenko[®], ¹Almaz V. Manaev[®], ²Valentin E. Sinitsyn[®], ¹Galina A. Melnichenko[®], ¹Natalia G. Mokrysheva[®] ¹National Medical Research Center of Endocrinology, Moscow, Russia ²Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russia

INTRODUCTION: Dual-energy computed tomography (DECT) is a computed tomography method based on scanning a patient at low and high energies, one of the features of which is the ability to create virtual unenhanced images based on datasets obtained after contrast injection.

OBJECTIVE: Evaluation of the possibilities of using virtual unenhanced images created from arterial or venous phases by dualenergy computed tomography instead of native images in the differential diagnosis of adrenal gland tumors.

MATERIALS AND METHODS: 91 patients with adrenal gland tumors who subsequently underwent surgery due to the clinically malignant potential of the tumor or its hormonal activity were included in the study. All patients underwent contrast-enhanced computed tomography and dual-energy scanning in the arterial and venous phases. As part of the postprocessing, virtual unenhanced images from the arterial and venous phases were constructed. Next, the densities of tumors in the native image and virtual unenhanced images were compared.

RESULTS: According to the Wilcoxon test, it was found that for native CT and virtual unenhanced images from arterial phase of DECT we have p=0.148, for native CT and virtual unenhanced images from venous phase of DECT, p=0.072. The coefficient of intraclass correlation=0.984 (95% CI: [0.981; 0.990]) for virtual unenhanced images from arterial phase DECT, and coefficient of intraclass correlation=0.983 (95% CI: [0.973; 0.992]) for virtual unenhanced images from venous phase of DECT.

DISCUSSION: According to the data of the presented study, the absence of a statistically significant difference between virtual unenhanced images and real native images is illustrated.

CONCLUSIONS: The absence of a statistically significant difference between the virtual unenhanced images obtained from the arterial and venous phases of contrast enhancement and the real native images allows using virtual unenhanced images instead of native images in the differential diagnosis of adrenal gland formations. This, in turn, will help to avoid reducing radiation exposure and reduce the scanning time.

KEYWORDS: dual-energy computed tomography, virtual unenhanced images, adrenal tumors

* For correspondence: Angelina V. Khairieva, e-mail: komarito@mail.ru

For citation: Khayrieva A.V., Tarbaeva N.V., Godzenko M.V., Manaev A.V., Sinitsyn V.E., Melnichenko G.A., Mokrysheva N.G. The possibility of using virtual unenhanced images created by using dual-energy CT data in the differential diagnostic of adrenal tumors: a retrospective study *// Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2025. Vol. 16, No. 2. P. 56–63, http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2025-16-2-56-63.

Введение. Согласно клиническим рекомендациям Российской ассоциации эндокринологов, для диагностики злокачественного потенциала опухоли надпочечника рекомендована мультиспиральная КТ с внутривенным болюсным контрастированием [1]. С помощью указанного метода не всегда удается дифференцировать доброкачественные и злокачественные образования надпочечников, что приводит к назначению дополнительных методов обследования, повторному проведению мультиспиральной компьютерной томографии (MCKT) для динамической оценки роста образования.

По сравнению с классической КТ, ДЭКТ имеет ряд преимуществ, позволяющих использовать дополнительные параметры для дифференциальной диагностики доброкачественных и злокачественных образований.

Метод ДЭКТ основан на различных показателях рентгеновской плотности тканей при сканировании на низких и высоких энергиях. Концепция ДЭКТ не

нова. Впервые данная методика была применена около трех десятилетий назад, одновременно с появлением традиционной компьютерной томографии, практически сразу были описаны ее преимущества, однако метод не получил широкого распространения, так как выполнялся на обычных компьютерных томографах, в результате чего возникал значительный временной разрыв между двумя наборами данных, выполненных на разных энергиях. Это не позволяло точно совместить полученные характеристики поглощения излучения в двух наборах данных из-за смещения анатомических структур при движении (дыхании, перистальтике кишечника, пульсации сосудов, сокращении миокарда), кроме того, повторное сканирование при высокой энергии значительно повышало лучевую нагрузку на пациента [2]. Эти два основных недостатка надолго остановили использование ДЭКТ в клинической практике. Создание компьютерных томографов с двумя рентгеновскими трубками, а также компьютерных томографов с усовершенствованными детекторами, воспринимающими разные энергии излучений, позволило избежать артефактов от движения.

Метод ДЭКТ обладает 96% чувствительностью и 100% специфичностью в дифференциальной диагностике образований надпочечников (классическая КТ с внутривенным болюсным контрастированием обладает 92% чувствительностью и 98% специфичностью) [3, 4]. Чувствительность и специфичность метода ДЭКТ доказаны опытом ведущих мировых клинических центров, где технология ДЭКТ активно применяется в рутинной клинической практике для оценки образований надпочечников, в диагностике ишемии миокарда, ТЭЛА, конкрементов почек и других патологий.

К преимуществам ДЭКТ относительно классической КТ относятся следующие возможности, реализуемые в рамках постпроцессорной обработки данных:

— оценка распределения плотности базовых материалов (вода, йод, мочевая кислота, кальций, железо и др.) в объемных элементах (вокселах) срезов (их концентрация выражается количественно, например, в мг/см³) — так называемое разделение материалов (РМ). Разделение материалов выполняется по парам (йод/вода, кальций/йод и т.д.) [5];

— оценка распределения плотностей тканей в единицах Хаунсфилда для выбранного монохроматического спектра рентгеновского излучения — так называемые виртуальные монохроматические изображения (ВМИ)[6, 7];

— возможность исключения плотности одного из базовых материалов из изображения (например, йода). Полученное изображение показывает распределение плотности в единицах Хаунсфилда за вычитанием влияния йодсодержащего контрастного вещества, что позволяет избежать нативного сканирования — так называемые виртуальные нативные изображения (ВНИ) [8, 9];

— оценка эффективного (суммарного) числа атомных масс элементов, входящих в вокселы изображения — так называемые effective-Z [10, 11].

На основании анализа этих характеристик ДЭКТ позволяет получить количественные данные о химическом составе тканей организма, количественно оценить содержание в них контрастного вещества, исключить кальцинаты на тех изображениях, где они мешают диагностике, получить виртуальные нативные изображения (без непосредственного сканирования в нативную фазу), повысить тканевой контраст и улучшить дифференциацию тканей на изображениях за счет использования монохроматического набора энергий рентгеновского излучения, уменьшить влияние на изображение артефактов повышения жесткости излучения, уменьшить артефакты от металлических объектов [12, 13].

Цель. Оценка возможностей ДЭКТ в применении виртуальных нативных изображений в дифференциальной диагностике образований надпочечников. Материалы и методы. Одобрения этического комитета не требовалось. Информированное согласие получено от каждого участника. В группу исследования включен 91 пациент в возрасте старше 18 лет (мужчины и женщины), с образованиями надпочечников с клинически злокачественным потенциалом и с образованиями надпочечников с клинически низким злокачественным потенциалом, которые подлежали хирургическому вмешательству ввиду их гормональной активности. Всем пациентам впоследствии было выполнено хирургическое вмешательство в виде адреналэктомии с последующим морфологическим исследованием послеоперационного материала.

Сканирование проводилось на 256-срезовом компьютерном томографе GE Revolution Discovery CT (GE Healthcare) с внутривенным болюсным контрастированием неионным йодсодержащим контрастным средством из расчета 1 мл/кг, с концентрацией 400 мг йода/мл, со скоростью 4 мл/с. Сканирование в артериальную и венозную фазу проводилось в режиме «GSI» (gemstone spectral imaging название режима ДЭКТ в томографах компании GE Healthcare). Томограф оснащен одной рентгеновской трубкой со сверхбыстрым переключением энергии от 80 до 140 кВ и набором сверхчувствительных детекторов на основе материала граната с быстрым временем восстановления. Сканирование в нативную и позднюю отсроченную фазы проводилось в режиме моноэнергетической (классической) КТ с напряжением 100 кВ.

Постпроцессорная обработка данных проводилась в виде построения виртуальных нативных изображений из артериальной и венозной фаз исследования, путем вычитания участков рентгеновской плотности, соответствующих молекулам йода. Выбор артериальной или венозной фазы контрастирования выполнялся на основании наибольшего накопления контрастного вещества образованием. Далее проводилась оценка плотности образования надпочечника на нативном изображении и виртуальных нативных изображениях.

Результаты. Для оценки сопоставимости средних значений рентгеновских плотностей, полученных по данным нативных изображений КТ и ВНИ по данным ДЭКТ (из артериальной и венозной фаз), была проведена статистическая обработка данных. В исследование включен 91 случай КТ образований надпочечников, для каждого из которых были рассчитаны средние значения по данным ДЭКТ и по данным нативного КТ.

Для визуального представления разностей между методами использовался boxplot + swarm plot (рис. 1, *a*, *б*). Данные графики позволили отобразить не только медиану и межквартильный размах разностей, но и индивидуальные различия. На комбинированных графиках видно, что большинство точек сосредоточено в пределах усов боксплота без выраженных

асимметрий, что подтверждает устойчивость общей тенденции к малой разнице плотностей.

ДЭКТ), а разброс разностей не имеет тенденции к увеличению с ростом значений, что указывает



Рис. 1. Boxplot + swarm plot для случая виртуального нативного изображения: *a* — по данным артериальной фазы ДЭКТ; *б* — по данным венозной фазы ДЭКТ

Fig. 1. Boxplot + swarm plot for virtual unenhanced images case: a — made from arterial phase DECT; δ — made from venous phase DECT

Перед основным этапом анализа проверили нормальность распределения разностей плотностей с использованием теста Шапиро–Уилка. Получили для разности нативного КТ и ВНИ по данным артериальной фазы ДЭКТ значение p<0,001, а для разности нативного КТ и ВНИ по данным венозной фазы ДЭКТ p=0,020, что свидетельствует о статистически значимом отклонении от нормального распределения с уровнем значимости 0,05. Кроме того, данный факт обосновывает применение непараметрического критерия знаковых рангов Уилкоксона при дальнейшем анализе.

на отсутствие выраженной гетерогенности дисперсий. Для проверки наличия систематических различий между методами проведен тест Уилкоксона, получено, что для нативного КТ и ВНИ по данным артериальной фазы ДЭКТ имеем p=0,148, для нативного КТ и ВНИ по данным венозной фазы ДЭКТ p=0.072.Полученные значения указывают на отсутствие статистически значимой разницы между измерениями на нативных изображениях КТ и ВНИ по данным артериальной и венозной фазы ДЭКТ (уровень значимости 0,05). Также вычислили коэффициент внутриклассовой корреляции



Рис. 2. График Блэнда–Альтмана в случае виртуального нативного изображения: *a* — по данным артериальной фазы ДЭКТ; *б* — по данным венозной фазы ДЭКТ



Для визуальной оценки гомогенности дисперсий использовался график Блэнда–Альтмана, приведенный на рис. 2, *а*, *б*, который показал, что средняя разность между методами составляет –0,56 (для артериальной фазы ДЭКТ) и –1,04 (для венозной фазы ICC=0,984 (95% ДИ [0.981; 0,990]) для ВНИ по данным артериальной фазы ДЭКТ, и ICC=0,983 (95% ДИ [0,973; 0,992]) для ВНИ по данным венозной фазы ДЭКТ, что свидетельствует о высокой степени согласованности между измерением плотности по данным нативного КТ и на основе ВНИ по данным ДЭКТ.

Средняя разность плотностей составляет –0,56 HU для ВНИ по данным артериальной фазы ДЭКТ и –0,67 HU для ВНИ по данным венозной фазы ДЭКТ, при этом между нативной КТ и ВНИ по данным артериальной (p=0,148) и венозной фазы (p=0,072) статистически значимой разницы не выявлено.

Результаты исследования показывают, что измерения плотности на основе ВНИ по данным ДЭКТ в артериальную и венозную фазу практически идентичны данным нативной КТ (отсутствие статистически значимой разницы согласно тесту Уилкоксона).

Кроме того, высокие значения коэффициента внутриклассовой корреляции ICC (более 0,97) указывают на отличную воспроизводимость измерений между методами, что также подтверждает, что ВНИ по данным ДЭКТ может быть надежной альтернативой нативной КТ.

Полученные результаты подтверждают высокую воспроизводимость измерений плотности по данным

ВНИ на основе артериальной и венозной фазы ДЭКТ в сравнении с нативной КТ.

Обсуждение. По данным представленного исследования проиллюстрировано отсутствие статистически значимой разницы между ВНИ и реальными нативными изображениями, что позволяет начинать сканирование пациента в режиме ДЭКТ сразу с артериальной фазы исследования, а значит позволяет снизить лучевую нагрузку и время, затраченное на сканирование.

На рис. 3 представлено КТ-изображение пациента в возрасте 48 лет с метастазами в оба надпочечника. На данной иллюстрации можно сравнить виртуальное и реальное нативные изображения.

Одним из неочевидных преимуществ применения ВНИ по сравнению с реальными нативными изображениями является возможность измерить плотность исследуемого объекта в совершенно идентичных участках путем «клонирования» ROI. Полное совпадение достигается за счет того, что ВНИ, полученное из контрастной фазы, является абсолютно идентичным данному изображению (за исключением плотности



Рис. 3. a — реальное нативное изображение; δ — виртуальное нативное изображение из артериальной фазы Fig. 3. a — real native image; δ — virtual unenhanced image from arterial phase



Рис. 4. *а* — венозная фаза исследования. Площадь ROI 31,4 см³; *б* — виртуальное нативное изображение из венозной фазы. Площадь ROI 31,4 см³

Fig. 4. *a* – venous phase. The ROI area is $31,4 \text{ cm}^3$; δ – virtual unenhanced image from venous phase. The ROI area is $31,4 \text{ cm}^3$

йода). Для того чтобы точно рассчитать нативную плотность, накопление и вымывание контрастного препарата, ROI нужно устанавливать в максимально идентичных участках на разных фазах исследования. Этого не всегда удается достичь за счет артефактов пациентки 36 лет с феохромоцитомой левого надпочечника. На рис. 4, *a* — венозная фаза исследования, на рис. 4, *б* — ВНИ, созданное из венозной фазы. ROI установлены на одном и том же срезе, где наглядно продемонстрировано, что ROI идентичны по площади.



Рис. 5. *а* — реальное нативное изображение. Плотность образования 41,0 ед. Н; *б* — ВНИ, созданное из венозной фазы. Плотность образования 41,7 ед. Н

Fig. 5. a — real native image. Density of the tumor is 41,0 HU; δ — virtual unenhanced image made from venous phase. Density of the tumor is 41,7 HU



Рис. 6. *а* — реальное нативное изображение. Плотность образования 39,9 ед. Н; *б* — виртуальное нативное изображение из артериальной фазы. Плотность образования 39,6 ед. Н; *в* — виртуальное нативное изображение из венозной фазы. Плотность образования 39,6 ед. Н

Fig. 6. *a* — real native image. Density of the tumor is 39,9 HU; δ — virtual unenhanced image made from arterial phase. Density of the tumor is 39,6 HU; β — virtual unenhanced image from venous phase. Density of the tumor is 39,6 HU

от минимального движения пациента особенно в случаях, если перед нами ребенок или пожилой человек. Преимуществом ВНИ является возможность поставить ROI на серии с наилучшей визуализацией образования (например, венозной фазе для аденом, артериальной фазе — для феохромоцитом, отсроченной для ганглионевром и шванном) и вычесть из указанной фазы йод, в результате чего вы получаете совершенно идентичные ROI на контрастной и бесконтрастной сериях. На рис. 4 представлено КТ-исследование На рис. 5 представлен тот же пациент. Плотность образований на обоих изображениях практически идентична.

На рис. 6 представлены изображения пациента с аденомой левого надпочечника с низким содержанием жира. Плотность образования на реальных и виртуальных нативных изображениях идентична.

Заключение. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что рентгеновская плотность образований надпочечников на ВНИ, полученных путем

ДЭКТ, является достоверным показателем, сопоставимым со стандартными нативными изображениями.

Отсутствие статистически значимой разницы рентгеновских плотностей между ВНИ и реальными нативными изображениями позволяет избежать нативного сканирования, а значит существенно уменьшить лучевую нагрузку на пациента, а также сократить время, затраченное на сканирование, что в условиях высокой загруженности КТ-кабинета является значимым преимуществом.

Также в данный момент ведется работа над оценкой других параметров ДЭКТ, которые позволят отказаться и от отсроченной фазы сканирования.

Сведения об авторах:

- Хайриева Ангелина Владимировна врач-рентгенолог федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии»; 117292, Москва, ул. Дмитрия Ульянова, д. 11; e-mail: komarito@mail.ru; ORCID 0000–0002–6758–5918;
- Тарбаева Наталья Викторовна кандидат медицинских наук, руководитель референс-центра лучевых методов диагностики, заведующая отделением компьютерной и магнитно-резонансной томографии федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии»; 117292, Москва, ул. Дмитрия Ульянова, д. 11; e-mail: ntarbaeva@inbox.ru. ORCID 0000-0001-7965-9454;
- Годзенко Мария Вячеславовна врач-рентгенолог федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии»; 117292, Москва, ул. Дмитрия Ульянова, д. 11; e-mail: godzenko.mariya@endocrincentr.ru; ORCID 0000-0001-8783-008X;
- Манаев Алмаз Вадимович медицинский физик федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии»; 117292, Москва, ул. Дмитрия Ульянова, д. 11; e-mail: a.manaew2016@yandex.ru; ORCID 0009–0003–8035–676X;
- Синицын Валентин Евгеньевич доктор медицинских наук, профессор, руководитель по развитию международного научного партнерства государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения Москвы»; 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1; заведующий кафедрой лучевой диагностики и терапии факультета фундаментальной медицины федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова»; e-mail: vsini@mail.ru; ORCID 0000–0002–5649–2193;
- Мельниченко Галина Афанасьевна доктор медицинских наук, профессор, академик РАН, заместитель директора центра по научной работе федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии»; 117292, Москва, ул. Дмитрия Ульянова, д. 11; e-mail: teofrast2000@mail.ru; ORCID 0000-0002-5634-7877;
- Мокрышева Наталья Георгиевна доктор медицинских наук, профессор, директор центра, заведующая кафедрой персонализированной и трансляционной медицины, научный руководитель отделения патологии околощитовидных желез и нарушений минерального обмена федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии»; 117292, Москва, ул. Дмитрия Ульянова, д. 11; e-mail: mokrisheva.natalia@endocrincentr.ru; ORCID 0000–0002–9717–9742.

Information about the authors:

- Angelina V. Khairieva Radiologist, Federal State Budgetary Institution «National Medical Research Center of Endocrinology», 117292, Moscow, Dmitry Ulyanov St., 11; e-mail: komarito@mail.ru; ORCID 0000–0002–6758–5918;
- Natalia V. Tarbaeva Cand. of Sci. (Med.), Head of the Reference-center of Radiation Diagnostic Methods, Head of the Department of Computer and Magnetic Resonance Imaging of the Federal State Budgetary Institution «National Medical Research Center of Endocrinology»; 117292, Moscow, Dmitry Ulyanov St., 11; email: ntarbaeva@inbox.ru; ORCID 0000-0001-7965-9454;
- Maria V. Godzenko Radiologist, Federal State Budgetary Institution «National Medical Research Center of Endocrinology»; 117292, Moscow, Dmitry Ulyanov St., 11; e-mail: godzenko.mariya@endocrincentr.ru; ORCID 0000-0001-8783-008X;
- Almaz V. Manaev Medical physicist, Federal State Budgetary Institution «National Medical Research Center of Endocrinology», 117292, Moscow, Dmitry Ulyanov St., 11; e-mail: a.manaew2016@yandex.ru; ORCID 0009–0003–8035–676X;
- Valentin E. Sinitsyn Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of International Scientific Partnership Development GBUZ «Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies»; 127051, Moscow, Petrovka str., 24, building 1; Head of the Department of Radiation Diagnostics and Therapy of the Faculty of Fundamental Medicine Moscow State University named after M. V. Lomonosov; e-mail: vsini@mail.ru ORCID 0000–0002–5649–2193;
- Galina A. Melnichenko Dr. of Sci. (Med.), Professor, Full Member of the Russian Academy of Science, Deputy Director of the Federal State Budgetary Institution «National Medical Research Center of Endocrinology»; 117292, Moscow, Dmitry Ulyanov St., 11; e-mail: teofrast2000@mail.ru; ORCID 0000–0002–5634–7877;
- Natalia G. Mokrysheva Dr. of Sci. (Med.), Professor; Director of the Center, Head of the Department of Personalized and Translational Medicine, Scientific Director of the Department of Pathology of the Parathyroid Glands and Disorders of Mineral Metabolism of the Federal State Budgetary Institution «National Medical Research Center of Endocrinology»; 117292, Moscow, Dmitry Ulyanov St., 11; e-mail: mokrisheva.natalia@endocrincentr.ru; ORCID 0000–0002–9717–9742.
- Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования — Н. В. Тарбаева; сбор и анализ данных — А. В. Манаев; подготовка рукописи — А. В. Хайриева.
- Authors' contributions. All authors confirm their authorship according to the international ICMJE criteria (all authors made substantial contributions to the conception, research, and preparation of the article, and read and approved the final version before publication). Special contribution NVT; aided in the concept and plan of the study AVM; preparation of the manuscript AVKh.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

 $\ensuremath{\textbf{Disclosure:}}$ the authors declare that they have no competing interests.

Соответствие принципам этики: одобрения этического комитета не требовалось. Информированное согласие получено от каждого пациента. **Adherence to ethical standards:** the approval of the ethics committee was not required. Informed consent has been obtained from each patient.

> Поступила/Received: 07.02.2025 Принята к печати/Accepted: 29.05.2025 Опубликована/Published: 29.06.2025

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Бельцевич Д.Г., Мельниченко Г.А., Кузнецов Н.С. и др. Клинические рекомендации Российской ассоциации эндокринологов по дифференциальной диагностике инциденталом надпочечников // Эндокринная хирургия. 2016. Т. 10, № 4. С. 31–42. [Beltsevich D.G., Melnichenko G.A., Kuznetsov N.S. et al. Russian Association of Endocrinologists clinical practice guideline for adrenal incidentalomas differential diagnosis. *Endocrine Surgery*, 2016, Vol. 10, No. 4, pp. 31–42 (In Russ.)]. https://doi.org/10.14341/serg2016431-42.
- Foley W.D., Shuman W.P., Siegel M.J. et al. White paper of the Society of Computed Body Tomography and Magnetic Resonance on Dual-Energy CT, Part 2: Radiation Dose and Iodine Sensitivity // J. Comput. Assist. Tomogr. 2016. Vol. 40. P. 846–850. https://doi.org/10.1097/RCT.00000000000539.
- Zeiger M.A., Siegelman S.S., Hamrahian A.H. Medical and surgical evaluation and treatment of adrenal incidentalomas // J. Clin. Endocrinol. Metab. 2011. Vol. 96. No. 7. P. 2004–15
- Ju Y., Liu A., Dong Y. et al. The value of nonenhanced single source dual energy CT for differentiating metastases from adenoma in adrenal glands // Acad. Radiol. 2015. Vol. 22, No. 7. P. 834–839. https://doi.org/10.1016/j.acra.2015.03.004.
- Patino M., Prochowski A., Agrawal M.D. et al. Material separation using dual energy CT: current and emerging applications // Radiographics. 2016. Vol. 36.
 P. 1087–1105. https://doi.org/10.1148/rg.2016150220.
- Ogata T., Ueguchi T., Yagi M. et al. Feasibility and accuracy of relative electron density determined by virtual monochromatic CT value subtraction at two different energies using the Gemstone Spectral Imaging // Radiat. Oncol. 2013. Vol. 8. P. 83. https://doi.org/10.1186/1748-717X-8-83.
- 7. Yu L., Leng S., McCollough C.H. Dual energy CT-based monochromatic imaging // AJR Am.J. Roentgenol. 2012. Vol. 199, No. 5. P. 422-428. https://doi.org/10.2214/AJR.12.9121.
- De Cecco C.N., Schoepf U.J., Steinbach L. et al. White paper of the Society of Computed Body Tomography and Magnetic Resonance on dual energy CT, part 3: Vascular, cardiac, pulmonary, and musculoskeletal applications // J. Comput. Assist. Tomogr. 2017. Vol. 41. P. 1–7. https://doi.org/10.1097/RCT.000000000000538.
- 9. Artz N.S., Hines C.D., Brunner S.T. et al. Quantification of hepatic steatosis with dual energy computed tomography: comparison with tissue reference standards and quantitative magnetic resonance imaging in the ob/ob mouse // *Invest Radiol.* 2012. Vol. 47, No. 10. P. 603–610. https://doi.org/10.1097/RLI.0b013e318261fad0.
- Siegel M.J., Kaza R.K., Bolus D.N. et al. White paper of the Society of Computed Body Tomography and Magnetic Resonance on dual energy CT, part 1: Technology and terminology // J. Comput. Assist. Tomogr. 2016. Vol. 40. P. 841–845. https://doi.org/10.1097/RCT.00000000000531.
- Graser A., Johnson T.R., Chandarana H. et al. Dual energy CT: preliminary observations and potential clinical applications in the abdomen // Eur. Radiol. 2009. Vol. 19. P. 13–23. https://doi.org/10.1007/s00330-008-1122-7.
- Almeida I.P., Schyns L.E., Ollers M.C. et al. Dual energy CT quantitative imaging: a comparison study between twin beam and dual source CT scanners // Med. Phys. 2017. Vol. 44, No. 1. P. 171–179. https://doi.org/10.1002/mp.12000.
- Ho L.M., Marin D., Neville A.M. et al. Characterization of adrenal nodules with dual energy CT: can virtual unenhanced attenuation values replace true unenhanced attenuation values? // AJR Am.J. Roentgenol. 2012. Vol. 198, No. 4. P. 840–845. https://doi.org/10.2214/AJR.11.7316.

Открыта подписка на 2-е полугодие 2025 года. Подписной индекс: «Урал Пресс» (Пресса России) **014023**