

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ НАДПОЧЕЧНИКОВ: В НОРМЕ И ПРИ ПАТОЛОГИИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)



© Т.А. Корб^{1*}, В.Ю. Чернина¹, И.А. Блохин¹, О.О. Алешина¹, А.В. Воронцов², С.П. Морозов¹, В.А. Гомболевский¹

¹Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

²Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии, Москва, Россия

В представленном обзоре рассмотрены нормальная анатомия надпочечников и особенности современных методов их визуализации, которые необходимы для оценки как доброкачественных, так и злокачественных новообразований. В частности, рассмотрены одни из наиболее распространенных образований, такие как аденома, феохромоцитома, метастатическое поражение и адренокортикальный рак. Для этого был проведен анализ релевантных отечественных и зарубежных источников литературы, датируемых сроками с 1991 г. по январь 2021 г.

Во многих случаях образования надпочечников имеют отличительные особенности, которые позволяют охарактеризовать их с помощью неинвазивных методов. В некоторых случаях возможно заподозрить злокачественную природу и вовремя направить пациента на необходимые инвазивные исследования. Компьютерная томография, особенно с применением внутривенного контрастного усиления, представляет собой основной метод визуализации, поскольку в большинстве случаев позволяет предположить нозологическую форму образования. Магнитно-резонансная томография остается высокочувствительным методом с точки зрения выявления опухоли, динамического наблюдения за размерами, однако метод малоспецифичен для определения злокачественного потенциала образования. Позитронно-эмиссионная компьютерная томография также является дополнительным методом и используется в основном в обнаружении злокачественных опухолей, их дифференциальной диагностике, выявлении метастазов и рецидивов после хирургического лечения. Ультразвуковое исследование играет ограниченную роль, тем не менее, имеет большое значение в диагностике у детей, особенно новорожденных. Такие перспективные методы, как радиомика и двухэнергетическая КТ, позволяют расширить возможности визуализации и улучшить диагностическую точность. Поскольку образования надпочечников часто случайно выявляются при визуализации, выполняемой по другим причинам, важно правильно их интерпретировать. Этот обзор дает читателю широкое представление того, чем различные методы визуализации могут быть полезны при оценке патологии надпочечников и на что следует обращать внимание рентгенологам и врачам-клиницистам.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: надпочечники; инциденталомы надпочечников; новообразования надпочечников; диагностическая визуализация.

ADRENAL IMAGING: ANATOMY AND PATHOLOGY (LITERATURE REVIEW)

© Tatiana A. Korb^{1*}, Valeria Yu. Chernina¹, Ivan A. Blokhin¹, Olga O. Aleshina¹, Alexander V. Vorontsov², Sergey P. Morozov¹, Victor A. Gombolevskiy¹

¹Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow, Russia

²Endocrinology Research Centre, Moscow, Russia

This literature review focuses on the normal adrenal gland anatomy and typical imaging features necessary to evaluate benign and malignant lesions. In particular, adenoma, pheochromocytoma, metastases and adrenocortical carcinoma were discussed as some of the most common lesions. For this purpose, a review of relevant local and international literature sources up to January 2021 was conducted.

In many cases, adrenal incidentalomas have distinctive features allowing characterization using noninvasive methods. It is possible to suspect a malignant nature and promptly refer the patient for the necessary invasive examinations in some cases. Computed tomography, especially with intravenous contrast enhancement, is the primary imaging modality because it enables differential diagnosis. Magnetic resonance tomography remains a sensitive method in lesion detection and follow-up but is not very specific for determining the malignant potential. Positron emission computed tomography also remains an additional method and is used mainly for differential diagnosis of malignant tumors, detecting metastases and recurrences after surgical treatment. Ultrasound has a limited role but is nevertheless of great importance in the pediatric population, especially newborns. Promising techniques such as radiomics and dual-energy CT can expand imaging capabilities and improve diagnostic accuracy. Because adrenal lesions are often incidentally detected by imaging performed for other reasons, it is vital to interpret such findings correctly. This review should give the reader a broad overview of how different imaging modalities can evaluate adrenal pathology and guide radiologists and clinicians.

KEYWORDS: adrenal gland; adrenal incidentalomas; adrenal lesions; diagnostic imaging.



ВВЕДЕНИЕ

Случайно выявленные образования надпочечников более 1 см в диаметре принято называть «инциденталомы» (от англ. «случай», «побочное обстоятельство»). Широкое использование визуализации, включая ультразвуковое исследование (УЗИ), компьютерную томографию (КТ), позитронно-эмиссионную томографию, совмещенную с компьютерной томографией (ПЭТ-КТ), и магнитно-резонансную томографию (МРТ), резко увеличило частоту выявления образований надпочечников. Если у пациента в анамнезе нет злокачественных новообразований и эндокринных нарушений, такие образования в большинстве случаев являются доброкачественными и нефункционирующими аденомами [1]. Тем не менее дифференциальная диагностика доброкачественной и злокачественной природы поражения надпочечников может быть сложной задачей, имеющей решающее значение, особенно для онкологических пациентов.

Частота выявления инциденталом надпочечников, диагностируемых при КТ, составляет до 7% [1–3]. Это может быть связано с высокой распространенностью применения метода, а также возможностью визуализировать надпочечники при исследовании грудной и брюшной полостей. Согласно результатам вскрытий, образования надпочечников являются также одними из наиболее распространенных опухолей, выявляемых не менее чем у 3% людей старше 50 лет [4]. Методы визуализации позволяют не только выявить образования, но и охарактеризовать их морфологическую структуру, при необходимости вовремя направить на инвазивные исследования. Рентгенологи должны помнить о преимуществах и недостатках каждого метода визуализации, избегать неправильной интерпретации, особенно при дифференциальной диагностике доброкачественных и злокачественных образований.

Целью данной работы была оценка особенностей методов визуализации новообразований надпочечников, необходимых для точной характеристики наиболее частых их поражений.

Был проведен анализ релевантных отечественных и зарубежных источников литературы по базам данных eLIBRARY, PubMed, Web of Science с использованием ключевых слов: «надпочечники», «образования надпочечников», «инциденталомы надпочечников», «визуализация надпочечников», «УЗИ», «КТ», «МРТ», «ПЭТ-КТ», «adrenal gland», «adrenal mass», «adrenal incidentaloma», «adrenal imaging», «ultrasonic diagnostics», «СТ», «MRI», «PET-FDG». Были проанализированы 80 научных работ за период с 1991 г. по январь 2021 г. В итоговый обзор были включены 57 англоязычных статей, 5 русскоязычных статей. При обнаружении нескольких статей с общей темой и похожими результатами в обзор включалось наиболее позднее исследование.

В данном обзоре рассмотрены нормальная лучевая анатомия надпочечников, особенности методов их визуализации, а также дифференциальная диагностика наиболее частых образований надпочечников (аденома, феохромоцитомы, вторичное поражение, аденокарцинома).

НОРМАЛЬНАЯ АНАТОМИЯ НАДПОЧЕЧНИКОВ

Надпочечники располагаются в забрюшинном пространстве в толще околопочечной жировой клетчатки, над верхним полюсом соответствующей почки. Надпочечники состоят из двух морфофункционально самостоятельных эндокринных желез — мозгового и коркового веществ, имеющих различное эмбриональное происхождение.

В период внутриутробного развития плода надпочечники быстро развиваются в течение первых 3 мес. С 12 до 18 нед развития вес надпочечников увеличивается в 7 раз [5]. При рождении размеры их значительно больше, чем у взрослых (примерно от половины до трети размера почек), а вес составляет в среднем 10 г. К 20 годам масса каждого надпочечника увеличивается в 1,5 раза по отношению к массе надпочечника новорожденного и достигает своих максимальных размеров.

По данным УЗИ нормальные надпочечники обычно хорошо видны у новорожденных детей. Это связано не только с большими размерами надпочечников по сравнению с почками, но и с малым количеством забрюшинной жировой ткани и небольшим расстоянием от датчика [6]. При сканировании в В-режиме надпочечники визуализируются с четкими, ровными контурами, треугольной и полулунной формы, с дифференцировкой на однородный гиперэхогенный мозговой и однородный гипозэхогенный корковый слои [7]. У подростков и взрослых обследование надпочечников проводится в нескольких положениях пациента и датчика для оптимальной визуализации. Однако оценка может быть затруднена или невозможна в случае жировой дистрофии печени (нормальная печень является хорошим акустическим окном при оценке правой надпочечниковой области), большого количества газа в кишечнике и желудке (левая надпочечниковая область) и ожирения (плохая проходимость ультразвуковой волны) [6].

На аксиальных срезах КТ и МРТ каждый надпочечник представляет собой структуру переменной формы (линейной, треугольной, Y- или V-образной), длиной до 4,5 см, высотой в среднем до 2 см и толщиной около 1 см [8] (рис. 1). С помощью данных методов надпочечники могут быть визуализированы даже у детей первых лет жизни, так как толщина ножек надпочечников превышает толщину ножек диафрагмы.

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ НАДПОЧЕЧНИКОВ

Ультразвуковое исследование

УЗИ — это метод выбора при оценке состояния надпочечников у новорожденных и детей младшего возраста. Из-за доступности, относительно низкой стоимости и неинвазивности этот метод также часто используется для оценки надпочечников у подростков и взрослых. Кроме того, УЗИ рекомендуется пациентам с артериальной гипертензией или недостаточностью надпочечников, а также при мониторинге опухолей надпочечников, имеющих доброкачественную природу по данным КТ или МРТ. УЗИ с применением В-режима и эластографии позволяет отличить солидную опухоль от кист надпочечников, в отличие от КТ, при которой дифференцировать эти образования возможно только с применением контрастного усиления [6].

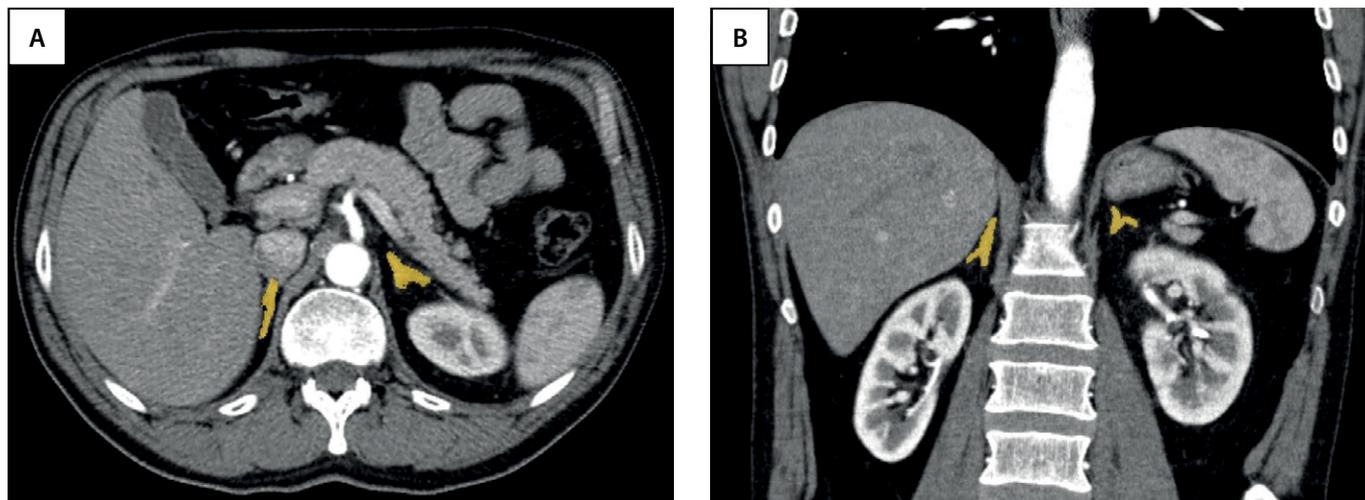


Рисунок 1. Нормальные надпочечники на КТ-изображениях с внутривенным контрастным усилением в аксиальной (А) и коронарной (В) проекциях.

Данный метод имеет ряд ограничений. Визуализация надпочечников зависит от таких факторов, как ширина акустического окна, качество оборудования и опыт врача. Сложность визуализации может быть связана с тем, что при оценке данной области отмечается высокий уровень естественного эхосигнала, почти равного уровню окружающей жировой клетчатки [6].

УЗИ с контрастным усилением улучшает визуализацию сосудистого снабжения даже при небольших опухолях надпочечников, но не позволяет дифференцировать злокачественные и доброкачественные новообразования надпочечников [9]. Оценка характера контрастирования в группе доброкачественных поражений надпочечников показала наличие различий между узловой гиперплазией и аденомами. При узловой гиперплазии контрастирование начинается на периферии образования, а при аденомах преобладает смешанный или центральный характер [10].

При обследовании взрослых пороговый средний диаметр поражения надпочечников, доступный для визуализации, составляет 10 мм. Однако в литературе отмечается, что очаговые поражения диаметром 5 мм можно визуализировать через брюшной доступ, а поражения диаметром 2–3 мм — через эндоскопический [11]. Тем не менее некоторые опухоли с максимальным диаметром менее 20 мм в левом надпочечнике могут плохо визуализироваться при трансабдоминальном УЗИ. Это зависит от их локализации в надпочечнике, а также от анатомических и физиологических условий.

Компьютерная томография

КТ является одним из ведущих методов диагностики новообразований надпочечников. КТ является наиболее частым методом при выявлении инциденталом надпочечников, что может быть связано с включением надпочечников в зону сканирования не только при исследовании органов брюшной полости, но и при исследовании грудной клетки. Применение данного метода позволяет не только диагностировать образования надпочечников, но и в большинстве случаев предположить морфологическую природу.

Согласно обновленной версии рекомендаций Американского радиологического общества (ACR, American

College of Radiology) от 2017 г. по алгоритму ведения пациентов с инциденталомами надпочечников, о злокачественном потенциале новообразования необходимо судить по размеру поражения, характеру роста при динамическом наблюдении и онкологическому анамнезу (рис. 2) [12]. Так, если инциденталома имеет диагностические признаки доброкачественных новообразований, таких как миелолипома (наличие макроскопического жира), кисты или кровоизлияния (отсутствие накопления контрастного препарата, разница в плотности пре- и постконтрастных изображений до 10 единиц Хаунсфилда (Hounsfield units, HU)), то дообследование или динамическое наблюдение не требуется. При этом было установлено, что даже инциденталомы надпочечников с плотностью больше +10 HU у пациентов без отягощенного онкологического анамнеза в большинстве случаев являются доброкачественными [13].

Образование больше 4 см, не имеющее доброкачественных признаков, необходимо соотносить с онкологическим анамнезом и рассмотреть вопрос о резекции и проведении ПЭТ-КТ с ¹⁸F-фтордезоксиглюкозой (¹⁸F-ФДГ). В случае если при нативной КТ образование надпочечников по плотности больше +10 HU, целесообразны сканирование с внутривенным болюсным контрастным усилением и использование специального протокола. Рекомендуется протокол с уменьшенной дозой облучения для дальнейшей характеристики образования надпочечников, поскольку он оценивает как плотность, так и характеристики контрастирования в одном исследовании.

Вне зависимости от содержания внутриклеточного жира для доброкачественных аденом характерно быстрое накопление контрастного вещества и быстрое его вымывание. Злокачественные образования могут также быстро накапливать контрастное вещество, но значительно медленнее его вымывают. Поэтому в протоколе важно учитывать получение портально-венозной фазы на 60–90 с и поздней отсроченной фазы на 15-й минуте от момента внутривенного введения контрастного препарата инъектором. В исследовании Sangwaiya M.J. и соавт. было доказано, что отсроченная фаза даже на 10-й минуте показывает низкую чувствительность (76,8%) для характеристики аденом [14]. Соответственно,

АЛГОРИТМ ВЕДЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С ИНЦИДЕНТАЛОМАМИ НАДПОЧЕЧНИКОВ

Случайно выявленное при КТ или МРТ исследования образование (≥ 1 см)

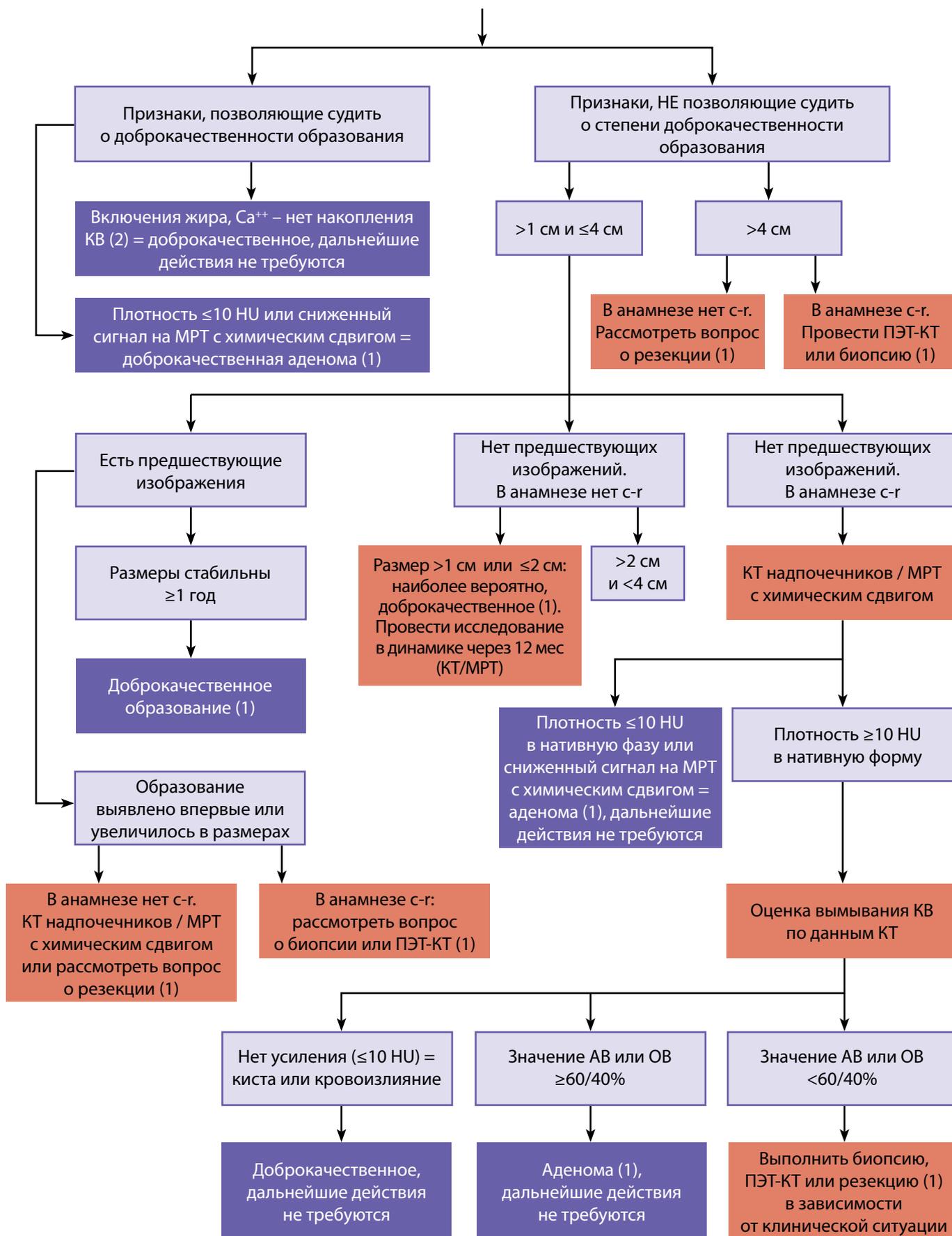


Рисунок 2. Алгоритм ведения пациентов с инциденталомами надпочечников.

АВ — абсолютное вымывание; ОВ — относительное вымывание; КВ — контрастное вещество.

(Источник: Чернина В.Ю., Блохин И.А., Николаев А.Е. и др. Тактика ведения инциденталом. Раздел 2. Поджелудочная железа, надпочечники, почки / Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». — Вып. 36. — М., 2019. — 40 с.)

и применение отсроченной фазы до 5 мин в стандартном протоколе для брюшной полости является недостаточным временем вымывания внутривенного контрастного вещества из доброкачественных образований.

Расчет абсолютного процента вымывания контрастного вещества проводится по формуле:

$$\text{значение HU в венозную фазу} - \text{значение HU в позднюю отсроченную фазу} \times 100\% / \text{значение HU в венозную фазу} - \text{значение HU в нативную фазу}.$$

Расчет относительного процента вымывания контрастного вещества проводится по формуле:

$$\text{значение HU в венозную фазу} - \text{значение HU в позднюю отсроченную фазу} \times 100\% / \text{значение HU в венозную фазу}.$$

Расчет показателей абсолютного и относительно процента вымывания контрастного вещества при исследовании надпочечников имеет высокую диагностическую ценность при дифференциальной диагностике аденом от злокачественных образований. Для расчетов в повседневной практике может быть применен специализированный онлайн-калькулятор, разработанный Department of Radiology USC (University of Southern California), доступный по ссылке https://pcheng.org/calc/adrenal_ct.html

Двухэнергетическая КТ (ДЭКТ) является перспективным методом диагностики, который может расширить возможности оценки образований надпочечников и потенциально снизить потребность в дополнительных исследованиях. Метод заключается в переключении напряжения на рентгеновской трубке с последующей дополнительной постобработкой данных. В недавней работе Nagayama Y. и соавт. данный метод позволил точно дифференцировать аденомы надпочечников и метастазы [15].

Следует отметить, что в текущих рекомендациях ACR не учитывался тот факт, что значения HU могут существенно различаться между томографами, а разница может превышать указанные +10 HU [16]. Эти различия зависят от многих факторов, в частности, от производителя и стажа работы аппарата, напряжения рентгеновской трубки, калибровки и толщины срезов при сканировании. Так, результаты исследования Stadler A. и соавт. продемонстрировали, что могут быть существенные расхождения в значениях HU (до 12 HU) при оценке плотности образований надпочечников в зависимости от типа томографа и настроек протокола [17]. Несмотря на то что измерение плотности образований на КТ позволяет в большинстве случаев дифференцировать образования, использование порогового значения HU не может считаться универсальным и влиять на выбор тактики ведения пациентов.

В крупном скрининговом исследовании рака легкого NLST (National Lung Screening Trial) было показано, что из 17 309 пациентов у 419 (2,4%) человек была выявлена патология надпочечников, при этом в 1,2% находка была клинически значимой [18]. В аналогичной программе скрининга рака легких в Италии общая распространенность образований надпочечников была достаточно высокой и составила 4,4% [2]. В условиях большого потока скрининговых исследований рентгенологи могут пропустить инциденталомы надпочечников. Поэтому решением этого вопроса может быть применение алгоритма

машинного обучения для помощи рентгенологу в выявлении случайных образований надпочечников.

В течение 2020 г. весь мир был вовлечен в пандемию, вызванную коронавирусной инфекцией (COVID-19). Данное заболевание в первую очередь поражает легкие, в некоторых случаях приводит к дыхательной недостаточности. Однако возможно вовлечение и других органов, включая надпочечники. У пациентов, умерших от тяжелой формы COVID-19, в надпочечниках были выявлены такие изменения, как некроз, жировая дегенерация, кровоизлияние и тромбозы [19]. Это, в свою очередь, влияет на плотность надпочечников и тем самым может затруднять диагностику.

Позитронно-эмиссионная компьютерная томография

ПЭТ-КТ — это комбинированный метод, который позволяет дифференцировать доброкачественные образования надпочечников от злокачественных и необходим для выявления рецидива или метастазов у онкологических больных [20]. Результаты метаанализа показывают, что большинство образований надпочечников можно охарактеризовать с помощью ПЭТ-КТ с 18F-ФДГ с высокой чувствительностью (0,97), специфичностью (0,91) и точностью (0,98) [21]. Данный метод позволяет определить точную анатомическую локализацию областей повышенной метаболической активности и произвести их измерения.

Согласно обновленной версии рекомендаций ACR от 2017 г., онкологических больных при наличии образования надпочечника более 4 см или увеличении размеров ранее выявленного образования следует направить на ПЭТ-КТ, так как высока вероятность метастатического поражения [12].

Магнитно-резонансная томография

По данным МРТ нормальные надпочечники в режимах T1 и T2 имеют сигнал от низкого до среднего по отношению к сигналу печени и скелетных мышц. В режимах с подавлением сигнала от жира визуализация нормальных надпочечников наилучшая, так как их сигнал гиперинтенсивнее, чем от подавленной жировой ткани. Также это может быть полезно, если образование содержит жировые включения или кровоизлияние. Точность МРТ может быть повышена, если использовать гадолиниевые контрастные препараты. После введения контрастного вещества 90% аденом демонстрируют гомогенное усиление, в то время как 60% злокачественных образований — гетерогенное [22]. Для аденом характерно контрастное усиление в ранний период, однако интенсивность сигнала даже после контрастного усиления в большинстве случаев одинакова как для аденом, так и злокачественных образований, что не является абсолютным диагностическим критерием [22].

Диффузионно-взвешенная визуализация (diffusion-weighted imaging, DWI) — важный дополнительный инструмент при оценке патологических состояний в брюшной полости. Однако с помощью DWI и измеряемого коэффициента диффузии (ИКД) невозможно отличить доброкачественные поражения надпочечников от злокачественных, а также выявить атипичные аденомы [23].

МРТ с химическим сдвигом остается важным инструментом для дополнительной оценки образований надпочечников, выявленных с помощью других методов

визуализации, особенно для пациентов с аллергией на йодсодержащий препарат, а также у детей и беременных женщин. Метод заключается в оценке относительной потери сигнала от надпочечника в противофазу по сравнению с фазой, что является достаточным для того, чтобы предположить природу образования. На сегодняшний день используются два способа количественной оценки снижения интенсивности сигнала [22]. Суть первого способа количественной оценки сводится к расчету соотношения сигнала от надпочечника к сигналу другого органа, чаще всего к сигналу селезенки. Данное сплено-адреналовое соотношение (ASR, spleno-adrenal ratio) отражает процент снижения сигнала от образования надпочечника по сравнению с селезенкой и может быть рассчитано по следующей формуле:

$$\left(\frac{\text{индекс сигнала образования надпочечника}}{\text{индекс сигнала селезенки в противофазу}} \right) / \left(\frac{\text{индекс сигнала образования надпочечника в фазу}}{\text{индекс сигнала селезенки в фазу}} \right) \times 100\%$$

Второй способ количественной оценки снижения интенсивности сигнала заключается в подсчете индекса интенсивности сигнала (SII, signal intensity index), который рассчитывается по формуле:

$$\left(\frac{\text{индекс сигнала образования надпочечника в фазу} - \text{индекс сигнала образования надпочечника в противофазу}}{\text{индекс сигнала образования надпочечника в фазу}} \right) \times 100\%$$

Для расчетов в повседневной практике может быть применен специализированный онлайн-калькулятор, разработанный Department of Radiology USC (University of Southern California), доступный по ссылке https://pcheng.org/calc/adrenal_mri.html

Sebro R. и соавт. провели исследование, доказывающее, что МРТ более чувствительна (в 33% случаев) для обнаружения аденом с низкой плотностью (менее 20–30 HU), чем КТ без контрастного усиления [24]. Но в то же время было показано, что КТ с контрастным усилением превосходит МРТ (100% против 77,5%) [25].

С помощью МРТ возможно отличить доброкачественные новообразования надпочечников, которые содержат внутриклеточный жир (аденома), макроскопический жир (миелолипома) или жидкостной компонент (кисты, псевдокисты). Также метод позволяет провести дифференциальную диагностику между аденомами и метастазами, заподозрить карциному [26].

Радиомика

Радиомика — относительно новая область науки, направленная на получение «невидимых» количественных характеристик медицинской визуализации, основанных на интенсивности, форме, объеме и текстуре. Одним из методов в этой области является текстурный анализ — инструмент для оценки неоднородностей тканей, невидимых человеческому глазу.

Текстурный анализ по данным КТ представляет собой неинвазивный инструмент для характеристики образований надпочечников. Результаты исследования Yu H. и соавт. показали, что некоторые параметры текстуры являются важным критерием в дифференциальной диагностике доброкачественных и злокачественных образований. В частности, такие параметры, как энтропия

и стандартное отклонение, имели наиболее высокие показатели чувствительности (до 73–95%) и специфичности (до 86–100%) [27]. Работа Zhang G.M. и соавт. продемонстрировала, что особые параметры текстуры позволяют дифференцировать аденому от феохромоцитомы с точностью до 81% [28]. Эти же авторы в другом своем исследовании сообщили о точности до 77% при отличии метастазов от доброкачественных образований надпочечников [29].

Кроме того, были проведены исследования, где оценивалась точность текстурного анализа по данным МРТ и ПЭТ-КТ для оценки образований надпочечников. Так, комбинированное использование параметра SUVmax и параметров текстурного анализа по данным ПЭТ-КТ может значительно повысить диагностические характеристики для выявления метастазов: чувствительность, специфичность и точность составили 100, 84,6 и 94,3% соответственно [30].

Результаты исследования Schieda N. и соавт. продемонстрировали, что использование текстурного анализа и химического сдвига по данным МРТ также достигает высокой диагностической точности, чем эти методы по отдельности [31]. Чувствительность и специфичность в диагностике метастазов надпочечников при светлоклеточном раке почки от аденом надпочечников составили 93,3% и 86,21% соответственно.

В свою очередь, были опубликованы данные, где сравнивалась эффективность текстурного анализа и данных рентгенологов при оценке образований надпочечников больших размеров (4–10 см) по данным КТ [32]. При этом показатель точности текстурного анализа оказался выше точности показателей рентгенологов (82% против 68,5%).

Возможность получения дополнительных данных при стандартных методах визуализации позволит улучшить диагностическую точность и тактику ведения пациентов с образованиями надпочечников.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА ОБРАЗОВАНИЙ

Аденома надпочечников

Аденома — самая распространенная опухоль надпочечников, частота выявляемости которой составляет 75% среди всех инциденталом [1]. Это доброкачественная опухоль без потенциала злокачественной трансформации, возникающая из коркового слоя надпочечников и состоящая из клеток с внутрицитоплазматическим жиром. Наличие жировых включений является ключевым элементом в дифференциальной диагностике злокачественных новообразований. Большие аденомы могут иметь кистозные компоненты, кальцинаты и геморрагические участки [33].

Типичная аденома имеет размер менее 3 см, что затрудняет ее обнаружение с помощью УЗИ, при котором она выглядит как однородное и гипозоногенное солидное образование с четкими контурами, гиповаскулярное при цветном доплеровском исследовании и гиповаскулярное при УЗИ с контрастированием [34, 35]. Хотя размер не является окончательным показателем доброкачественности, в нескольких исследованиях сообщалось, что средний диаметр аденомы составляет 2–2,5 см, максимум до 3 см. Другие исследования включали более крупные диаметры аденомы (до 4–6 см) [36, 37].

При нативной КТ аденома обычно представляет собой четко очерченное округлое или овальное образование, плотность которого равна или немного ниже плотности нормальной ткани надпочечников (до +10 HU, из-за высокого содержания жира) [25].

Для аденомы с низким содержанием липидов требуется проведение КТ с контрастным усилением, где оцениваются такие характеристики, как абсолютное и относительное вымывание контрастного препарата. Если абсолютное вымывание больше 60% или относительное вымывание больше 40% через 15 мин после введения контрастного вещества, то это указывает на аденому. Чувствительность и специфичность этих показателей для дифференциальной диагностики аденомы составляют 88 и 96% для абсолютного вымывания и 83 и 93% для относительного вымывания соответственно [38].

Накопление ФДГ при ПЭТ-КТ является важным критерием при дифференциальной диагностике злокачественных и доброкачественных образований. Однако при аденоме надпочечников может отмечаться повышенное накопление ФДГ, вероятно, обусловленное гормональной активностью этой доброкачественной опухоли [39].

По данным МРТ (независимо от выбранного режима визуализации) аденомы надпочечников имеют четкие, ровные контуры, как правило, однородной структуры, с промежуточной или низкой интенсивностью сигнала по сравнению со скелетными мышцами или печенью; в аденомах больших размеров могут происходить кровоизлияния, что приводит к появлению гиперинтенсивных участков на T1-взвешенном изображении [40].

Важным компонентом МР-протокола надпочечников является химический сдвиг. При использовании этого метода большинство аденом надпочечников демонстрируют потерю интенсивности сигнала на изображениях: снижение интенсивности сигнала более чем на 20% считается диагностическим признаком аденомы [33].

Чувствительность МРТ для аденом плотностью 10–20 HU составляет почти 100%, в то время как для аденом с низким содержанием жира и плотностью больше 30 HU — значительно ниже (13–75%) [41].

Оценка вымывания контрастного вещества при МРТ не демонстрирует такую же диагностическую точность, как при КТ [33]. Таким образом, КТ остается золотым стандартом, особенно при оценке аденом с низким содержанием липидов.

Феохромоцитома

Феохромоцитома происходит из мозгового вещества надпочечников и проявляется избыточной выработкой катехоламинов и связанными с ней клиническими симптомами (головная боль, повышенное потоотделение, учащенное сердцебиение), при этом примерно 10% феохромоцитом протекают бессимптомно [42]. Чаще феохромоцитома является доброкачественной, хотя 10% этих поражений могут быть злокачественными [43]. Злокачественные образования распознаются по локальной инфильтрации или метастазам, обычно поражающим кости, печень, лимфатические узлы, легкие и головной мозг. Размеры феохромоцитом варьируют от 1,2 до 15 см, средний размер — 5,5 см [44].

При подозрении на феохромоцитому первым этапом диагностики является лабораторное обследование.

Диагностика феохромоцитомы при визуализации часто является сложной задачей из-за ее разнообразного внешнего вида (связанного с некрозом, фиброзом, кистозной, жировой дегенерацией и кальцификацией), который может имитировать другие заболевания [45].

По данным УЗИ феохромоцитомы неоднородны, инкапсулированы, с гиперваскуляризацией при цветном доплеровском исследовании и ранним артериальным паттерном при УЗИ с контрастным усилением [46].

По данным КТ феохромоцитомы больших размеров могут иметь солидные, кистозные, кальцинированные и/или некротические компоненты. Более мелкие опухоли (менее 7 см) чаще однородной структуры [44]. По данным КТ с контрастным усилением абсолютное и относительное вымывания контрастного вещества аналогичны аденомам. Следовательно, феохромоцитомы невозможно надежно отличить от аденом с помощью данного метода [45, 47].

Методом выбора при локализации феохромоцитом является сцинтиграфия с метайодбензилгуанидином (MIBG) [20]. В обзоре литературы Asha Kandathil и соавт. подтвердились высокие чувствительность и специфичность данного метода (94–95%) [48]. Однако авторы представили и противоречивые данные. Так, были продемонстрированы примеры со схожей чувствительностью ПЭТ/КТ и MIBG-сцинтиграфии (76,8% против 75%), а также отдельные случаи большей точности ПЭТ/КТ. В случаях, когда результаты лабораторных исследований не могут поставить точный диагноз, а МРТ противопоказана, метод ПЭТ-КТ может помочь в установке диагноза до гистологической верификации.

По данным МРТ может отмечаться бугристый, полициклический контур опухоли при первично-множественном поражении надпочечника, часто выявляется неоднородность внутренней структуры [40]. В режиме T2 примерно в 35% случаев феохромоцитомы могут иметь однородный изоинтенсивный или минимально гиперинтенсивный сигнал по отношению к селезенке и в редких случаях (11%) — изоинтенсивный по отношению к спинномозговой жидкости [44]. В режиме T1 феохромоцитомы обычно изоинтенсивны относительно мышц и гипоинтенсивны относительно печени. На изображениях с противофазой потери интенсивности сигнала не отмечается (в отличие от типичной аденомы) [33]. Однако в некоторых случаях феохромоцитомы могут содержать микроскопический жир, что приводит к потере сигнала на МРТ с химическим сдвигом, имитируя аденомы [43].

Метастазы надпочечников

Многие злокачественные опухоли часто метастазируют в надпочечники, что связано с их богатым кровоснабжением. Наиболее часто в надпочечники метастазирует рак легких, за которым следуют рак молочной железы, толстой кишки, меланомы, рак почки и гепатоцеллюлярная карцинома. Метастазы встречаются как односторонние, так и двусторонние, приблизительно в равном соотношении (49 и 51%) [49]. Метастазы клинически не проявляются, но в некоторых случаях (3–8%) обширное двустороннее поражение может вызвать надпочечниковую недостаточность [50]. Метастазы надпочечников не имеют специфических признаков при визуализации по данным КТ без контрастного усиления или МРТ.

По данным КТ метастазы в надпочечниках выглядят как очаговые образования плотностью больше +10 HU, возможны кальциноз и участки кровоизлияния. После введения контрастного вещества наблюдаются неравномерное периферическое накопление и медленное вымывание, что позволяет их дифференцировать от аденом [51].

Недавний метаанализ Wu и соавт. показал важную роль ПЭТ-КТ в дифференциальной диагностике метастазов надпочечников от доброкачественных образований. У пациентов с диагнозом рака легких были продемонстрированы высокие диагностические показатели чувствительности (88,7%) и специфичности (90,8%) [52]. Ретроспективное исследование, проведенное Kim J.Y. и соавт., показало, что такие параметры образований при ПЭТ-КТ, как плотность больше +10 HU и SUV (standardized uptake value, стандартизированный уровень накопления) больше 2,5, более вероятно соответствуют метастазам надпочечников [53]. При этом такие дополнительные данные пациента, как первичный рак в анамнезе, метастазы в другие органы и возраст, значительно влияли на точность диагностики. В исследовании Danae A. Delivanis и соавт. также была доказана высокая специфичность (84%) ПЭТ-КТ и предложено рассматривать этот метод как второй этап визуализации [54].

По данным МРТ особенности визуализации зависят от типа первичной опухоли, но в основном наблюдается низкий сигнал в режиме T1 и высокий сигнал в режиме T2; иногда он может быть изоинтенсивным на T1- и T2-режимах с кольцевым или неравномерным усилением сигнала после введения контрастного препарата [55]. Химический сдвиг позволяет дифференцировать аденомы надпочечников от метастазов. Однако возможны и ложноположительные результаты при наличии в метастазах внутриклеточного жирового компонента. Так, например, метастазы некоторых первичных опухолей, таких как светлоклеточный почечный рак и гепатоцеллюлярная карцинома, содержат липидные включения [56–58]. Использование DWI также не имеет диагностической ценности для дифференциации аденом от метастазов [59].

Адренокортикальный рак

Согласно рекомендациям Европейского общества эндокринологов (European Society for Endocrinology, ESE) совместно с Европейской организацией по изучению опухолей надпочечников (European Network for the Study of Adrenal Tumours, ENSAT), а также Европейского общества медицинской онкологии (European Society for Medical Oncology, ESMO), пациенты с подозрением на адренокортикальный рак (АКР) должны пройти полное биохимическое обследование надпочечников, а также диагностические методы визуализации [60, 61]. Стандартная визуализация для пациентов с подозрением на АКР включает КТ или МРТ брюшной полости, при необходимости КТ грудной клетки или ПЭТ-КТ с 18F-ФДГ. Точное стадирование АКР является решающим шагом в планировании лечения и определении прогноза.

АКР может быть гормонально-активным и проявляться в виде синдрома Кушинга или случайно выявленной гормонально-неактивной опухолью надпочечника. При больших размерах образование может вызывать синдром компрессии и определяться при пальпации.

Внешний вид опухоли зависит от ее размера и на ранних стадиях бывает трудно отличим от аденом. Ввиду быстрого роста АКР характеризуется поздним сроком выявления. Чаще всего выявляется образование больших размеров (в среднем около 10 см), с неровностью контуров, участками некроза и, в некоторых случаях, микрокальцинатами [26, 38]. Распространенным осложнением является инвазия в смежные органы, чаще в нижнюю полую вену, в том числе возможно образование внутрисосудистого опухолевого тромба. Следует не забывать о возможности метастатического поражения регионарных лимфатических узлов, а также отдаленных метастазов в печень, легкие и кости.

По данным УЗИ небольшие образования чаще однородны и гипоехогенны, однако с увеличением размеров увеличивается неоднородность структуры [34]. Нечеткие неровные края образования указывают на агрессивный характер роста. Однако отсутствие этого признака не является критерием доброкачественности [40]. Часто можно выявить паравазальные образования аналогичной опухолевой структуры. При цветном доплеровском исследовании отмечается гиперваскуляризация.

При КТ с контрастным усилением выявляется неоднородное накопление контрастного вещества, часто периферическое, в некоторых случаях наблюдается тонкая капсула. Абсолютное и относительное вымывание контрастного препарата при АКР отличается от аденом (менее 60 и 40% соответственно). Однако по данным КТ высокая нативная плотность и неоднородность структуры являются более надежными признаками, чем показатели вымывания, которые варьируют в зависимости от того, какая часть образования была взята для оценки [38].

ПЭТ с 18F-ФДГ необходима для верификации злокачественного потенциала, особенно при опухолях размером более 4 см. Тем не менее, несмотря на способность этого метода дифференцировать доброкачественные и злокачественные образования надпочечников, сохраняется сложность дифференциальной диагностики последних между собой. Радиофармпрепарат 11C-метомидат обладает свойством накапливаться только в тканях коры надпочечников, что позволяет дифференцировать АКР от феохромоцитомы и метастазов [62].

На МРТ-изображениях АКР характеризуется неоднородным сигналом. Участки кровоизлияния могут приводить к появлению гиперинтенсивного сигнала на T1-взвешенных изображениях, а участки некроза имеют высокую интенсивность сигнала на T2-взвешенных изображениях [26]. На МРТ с химическим сдвигом, как правило, потери сигнала от АКР в противофазу по сравнению с фазой не происходит, однако в редких случаях это не исключено за счет наличия микроскопического жира [41]. МРТ обладает более высокой тканевой контрастностью для определения состояния мягких тканей, чем КТ, что дает ей дополнительное преимущество в оценке границ инвазии опухоли и опухолевого тромба.

Согласно рекомендациям ESE-ENSAT и ESMO, в случае высокой вероятности выявления АКР по данным КТ или МРТ брюшной полости рекомендуется обязательное выполнение КТ органов грудной клетки [60, 61]. Дополнительное обследование костей и головного мозга необходимо при клинических признаках отдаленных метастазов. Выполнение пункционной биопсии опухоли

надпочечника может быть рекомендовано только при обоснованном подозрении на его метастатическое (вторичное) поражение или в случае неоперабельного метастатического опухолевого процесса перед началом лекарственной противоопухолевой терапии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Визуализация (УЗИ, КТ, ПЭТ-КТ, МРТ) играет ключевую роль в дифференциальной диагностике случайно выявленных образований надпочечников, при целенаправленной предоперационной подготовке пациентов и выборе хирургической тактики. Такие перспективные методы, как радиомика и ДЭКТ, позволяют расширить возможности визуализации и улучшить диагностическую точность. В свою очередь, применение алгоритма машинного обучения поможет снизить у рентгенологов частоту пропусков инциденталом надпочечников, особенно в условиях большого потока скрининговых исследований.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источники финансирования. Работа выполнена по инициативе авторов без привлечения финансирования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с содержанием настоящей статьи.

Участие авторов. КORB Т.А. — существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, написание статьи; Чернина В.Ю. — существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, редактирование текста рукописи; Блохин И.А., Алешина О.О. — существенный вклад в анализ данных и редактирование текста рукописи; Воронцов А.В., Морозов С.П., Гомболевский В.А. — существенный вклад в концепцию исследования, редактирование и утверждение итогового варианта текста рукописи. Все авторы одобрили финальную версию статьи перед публикацией, выразили согласие нести ответственность за все аспекты работы, подразумевающую надлежащее изучение и решение вопросов, связанных с точностью или добросовестностью любой части работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

- Song JH, Chaudhry FS, Mayo-Smith WW. The incidental adrenal mass on CT: prevalence of adrenal disease in 1,049 consecutive adrenal masses in patients with no known malignancy. *AJR Am J Roentgenol.* 2008;190(5):1163-1168. doi: <https://doi.org/10.2214/AJR.07.2799>
- Bovio S, Cataldi A, Reimondo G, et al. Prevalence of adrenal incidentaloma in a contemporary computerized tomography series. *J Endocrinol Invest.* 2006;29(4):298-302. doi: <https://doi.org/10.1007/BF03344099>
- Young WF Jr. Clinical practice. The incidentally discovered adrenal mass. *N Engl J Med.* 2007;356(6):601-610. doi: <https://doi.org/10.1056/NEJMcp065470>
- Grumbach MM, Biller BM, Braunstein GD, et al. Management of the clinically inapparent adrenal mass («incidentaloma»). *Ann Intern Med.* 2003;138(5):424-429. doi: <https://doi.org/10.7326/0003-4819-138-5-200303040-00013>
- Folligan K, Bouvier R, Targe F, et al. Le développement de la surrénale humaine [Development of the human adrenal glands]. *Ann Endocrinol (Paris).* 2005;66(4):325-332. doi: [https://doi.org/10.1016/s0003-4266\(05\)81789-5](https://doi.org/10.1016/s0003-4266(05)81789-5)
- Ślapa RZ, Jakubowski WS, Dobruch-Sobczak K, et al. Standards of ultrasound imaging of the adrenal glands. *J Ultrason.* 2015;15(63):377-387. doi: <https://doi.org/10.15557/JoU.2015.0035>
- Пыков М.И., Макушева В.Г., Ефимов М.С., и др. Ультразвуковая оценка надпочечников у новорожденных детей // *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* — 2010. — №5. — С. 44-53. [Pykov MI, Makusheva VG, Efimov MS, et al. Ul'trazvukovaya ocenka nadpochechnikov u novorozhdennykh detej. *Ul'trazvukovaya i funktsional'naya diagnostika.* 2010;5:44-53. (in Russ.)].
- Лященко Д.Н., Лященко С.Н. Прижизненная анатомия и топография надпочечников // *Вестник Оренбургского государственного университета.* — 2011. — Т. 16. — №135. — С. 305-307. [Lyashchenko DN, Lyashchenko SN. Prizhiznennaya anatomiya i topografiya nadpochechnikov. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta.* 2011;16(135):305-307. (in Russ.)].
- Dietrich CF, Ignee A, Barreiros AP, et al. Contrast-enhanced ultrasound for imaging of adrenal masses. *Ultraschall Med.* 2010;31(2):163-168. doi: <https://doi.org/10.1055/s-0028-1109357>
- Ślapa RZ, Kasperlik-Zaluska AA, Migda B, et al. Application of parametric ultrasound contrast agent perfusion studies for differentiation of hyperplastic adrenal nodules from adenomas-Initial study. *Eur J Radiol.* 2015;84(8):1432-1435. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2015.05.006>
- Jenssen C, Dietrich CF. Sonografie und Endosonografie der Nebennieren [Ultrasound and endoscopic ultrasound of the adrenal glands]. *Ultraschall Med.* 2010;31(3):228-247. doi: <https://doi.org/10.1055/s-0029-1245449>
- Mayo-Smith WW, Song JH, Boland GL, et al. Management of Incidental Adrenal Masses: A White Paper of the ACR Incidental Findings Committee. *J Am Coll Radiol.* 2017;14(8):1038-1044. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2017.05.001>
- Song JH, Chaudhry FS, Mayo-Smith WW. The incidental indeterminate adrenal mass on CT (> 10 H) in patients without cancer: is further imaging necessary? Follow-up of 321 consecutive indeterminate adrenal masses. *AJR Am J Roentgenol.* 2007;189(5):1119-1123. doi: <https://doi.org/10.2214/AJR.07.2167>
- Sangwaiya MJ, Boland GW, Cronin CG, et al. Incidental adrenal lesions: accuracy of characterization with contrast-enhanced washout multidetector CT--10-minute delayed imaging protocol revisited in a large patient cohort. *Radiology.* 2010;256(2):504-510. doi: <https://doi.org/10.1148/radiol.10091386>
- Nagayama Y, Inoue T, Oda S, et al. Adrenal Adenomas versus Metastases: Diagnostic Performance of Dual-Energy Spectral CT Virtual Noncontrast Imaging and Iodine Maps. *Radiology.* 2020;296(2):324-332. doi: <https://doi.org/10.1148/radiol.2020192227>
- Sande EP, Martinsen AC, Hole EO, Olerud HM. Interphantom and interscanner variations for Hounsfield units--establishment of reference values for HU in a commercial QA phantom. *Phys Med Biol.* 2010;55(17):5123-5135. doi: <https://doi.org/10.1088/0031-9155/55/17/015>
- Stadler A, Schima W, Prager G, et al. CT density measurements for characterization of adrenal tumors ex vivo: variability among three CT scanners. *AJR Am J Roentgenol.* 2004;182(3):671-675. doi: <https://doi.org/10.2214/ajr.182.3.1820671>
- Nguyen XV, Davies L, Eastwood JD, Hoang JK. Extrapulmonary Findings and Malignancies in Participants Screened With Chest CT in the National Lung Screening Trial. *J Am Coll Radiol.* 2017;14(3):324-330. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2016.09.044>
- Bellastella G, Maiorino MI, Esposito K. Endocrine complications of COVID-19: what happens to the thyroid and adrenal glands? *J Endocrinol Invest.* 2020;43(8):1169-1170. doi: <https://doi.org/10.1007/s40618-020-01311-8>
- Elaini AB, Shetty SK, Chapman VM, et al. Improved detection and characterization of adrenal disease with PET-CT. *Radiographics.* 2007;27(3):755-767. doi: <https://doi.org/10.1148/rg.273055031>
- Boland GW, Dwamena BA, Jagtiani Sangwaiya M. Characterization of adrenal masses by using FDG PET: a systematic review and meta-analysis of diagnostic test performance. *Radiology.* 2011;259(1):117-126. doi: <https://doi.org/10.1148/radiol.11100569>
- Волкова Н.И., Поркшеян М.И. Визуализация надпочечников: о чем должен быть осведомлен клиницист? // *Эндокринная хирургия.* — 2016. — Т. 10. — №2. — С. 18-28. [Volkova NI, Porksheyen MS. Adrenal imaging: what the clinician should be informed on? *Endocrine Surgery.* 2016;10(2):18-28. (In Russ.)]. doi: <https://doi.org/10.14341/serg2016218-28>

23. Miller FH, Wang Y, McCarthy RJ, et al. Utility of diffusion-weighted MRI in characterization of adrenal lesions. *AJR Am J Roentgenol.* 2010;194(2):179-185. doi: <https://doi.org/10.2214/AJR.09.2891>
24. Sebro R, Aslam R, Muglia VF, et al. Low yield of chemical shift MRI for characterization of adrenal lesions with high attenuation density on unenhanced CT. *Abdom Imaging.* 2015;40(2):318-326. doi: <https://doi.org/10.1007/s00261-014-0208-8>
25. Seo JM, Park BK, Park SY, Kim CK. Characterization of lipid-poor adrenal adenoma: chemical-shift MRI and washout CT. *AJR Am J Roentgenol.* 2014;202(5):1043-1050. doi: <https://doi.org/10.2214/AJR.13.11389>
26. d'Amuri FV, Maestroni U, Pagnini F, et al. Magnetic resonance imaging of adrenal gland: state of the art. *Gland Surg.* 2019;8(3):223-232. doi: <https://doi.org/10.21037/gst.2019.06.02>
27. Yu H, Parakh A, Blake M, McDermott S. Texture Analysis as a Radiomic Marker for Differentiating Benign From Malignant Adrenal Tumors. *J Comput Assist Tomogr.* 2020;44(5):766-771. doi: <https://doi.org/10.1097/RCT.0000000000001051>
28. Zhang GM, Shi B, Sun H, et al. Differentiating pheochromocytoma from lipid-poor adrenocortical adenoma by CT texture analysis: feasibility study. *Abdom Radiol (NY).* 2017;42(9):2305-2313. doi: <https://doi.org/10.1007/s00261-017-1118-3>
29. Shi B, Zhang GM, Xu M, et al. Distinguishing metastases from benign adrenal masses: what can CT texture analysis do? *Acta Radiol.* 2019;60(11):1553-1561. doi: <https://doi.org/10.1177/0284185119830292>
30. Nakajo M, Jinguji M, Nakajo M, et al. Texture analysis of FDG PET/CT for differentiating between FDG-avid benign and metastatic adrenal tumors: efficacy of combining SUV and texture parameters. *Abdom Radiol (NY).* 2017;42(12):2882-2889. doi: <https://doi.org/10.1007/s00261-017-1207-3>
31. Schieda N, Krishna S, McInnes MDF, et al. Utility of MRI to Differentiate Clear Cell Renal Cell Carcinoma Adrenal Metastases From Adrenal Adenomas. *AJR Am J Roentgenol.* 2017;209(3):152-159. doi: <https://doi.org/10.2214/AJR.16.17649>
32. Elmohr MM, Fuentes D, Habra MA, et al. Machine learning-based texture analysis for differentiation of large adrenal cortical tumours on CT. *Clin Radiol.* 2019;74(10):818-818. doi: <https://doi.org/10.1016/j.crad.2019.06.021>
33. Albano D, Agnello F, Midiri F, et al. Imaging features of adrenal masses. *Insights Imaging.* 2019;10(1):1. doi: <https://doi.org/10.1186/s13244-019-0688-8>
34. Fan J, Tang J, Fang J, et al. Ultrasound imaging in the diagnosis of benign and suspicious adrenal lesions. *Med Sci Monit.* 2014;20:2132-2141. doi: <https://doi.org/10.12659/MSM.890800>
35. Friedrich-Rust M, Glasemann T, Polta A, et al. Differentiation between benign and malignant adrenal mass using contrast-enhanced ultrasound. *Ultraschall Med.* 2011;32(5):460-471. doi: <https://doi.org/10.1055/s-0031-1273408>
36. Peña CS, Boland GW, Hahn PF, et al. Characterization of indeterminate (lipid-poor) adrenal masses: use of washout characteristics at contrast-enhanced CT. *Radiology.* 2000;217(3):798-802. doi: <https://doi.org/10.1148/radiology.217.3.r00dc29798>
37. Korobkin M, Brodeur FJ, Francis IR, et al. Delayed enhanced CT for differentiation of benign from malignant adrenal masses. *Radiology.* 1996;200(3):737-742. doi: <https://doi.org/10.1148/radiology.200.3.8756924>
38. Johnson PT, Horton KM, Fishman EK. Adrenal mass imaging with multidetector CT: pathologic conditions, pearls, and pitfalls. *Radiographics.* 2009;29(5):1333-1351. doi: <https://doi.org/10.1148/rg.295095027>
39. Shimizu A, Oriuchi N, Tsumura Y, et al. High [18F] 2-fluoro-2-deoxy-D-glucose (FDG) uptake of adrenocortical adenoma showing subclinical Cushing's syndrome. *Ann Nucl Med.* 2003;17(5):403-406. doi: <https://doi.org/10.1007/BF03006609>
40. Солдатова Т.В. Дифференциальная диагностика случайно выявленных опухолей надпочечника // *Международный эндокринологический журнал.* — 2011. — №8. — С. 77-84. [Soldatova TV. Differential diagnosis of adrenal incidentaloma. *Mezhdunarodnyi endokrinologicheskii zhurnal.* 2011;(8):77-84 (In Russ.).]
41. Haider MA, Ghai S, Jhaveri K, Lockwood G. Chemical shift MR imaging of hyperattenuating (>10 HU) adrenal masses: does it still have a role? *Radiology.* 2004;231(3):711-716. doi: <https://doi.org/10.1148/radiol.2313030676>
42. Korivi BR, Elsayes KM, de Castro SF, et al. An Update of Practical CT Adrenal Imaging: What Physicians Need to Know. *Curr Radiol Rep.* 2015;3(4):12. doi: <https://doi.org/10.1007/s40134-015-0091-2>
43. Blake MA, Kalra MK, Maher MM, et al. Pheochromocytoma: an imaging chameleon. *Radiographics.* 2004;24(1):87-99. doi: <https://doi.org/10.1148/rg.24si045506>
44. Jacques AE, Sahdev A, Sandrasagara M, et al. Adrenal pheochromocytoma: correlation of MRI appearances with histology and function. *Eur Radiol.* 2008;18(12):2885-2892. doi: <https://doi.org/10.1007/s00330-008-1073-z>
45. Leung K, Stamm M, Raja A, Low G. Pheochromocytoma: the range of appearances on ultrasound, CT, MRI, and functional imaging. *AJR Am J Roentgenol.* 2013;200(2):370-378. doi: <https://doi.org/10.2214/AJR.12.9126>
46. Al Bunni F, Deganello A, Sellars ME, et al. Contrast-enhanced ultrasound (CEUS) appearances of an adrenal pheochromocytoma in a child with Von Hippel-Lindau disease. *J Ultrasound.* 2014;17(4):307-311. doi: <https://doi.org/10.1007/s40477-014-0083-8>
47. Привалов Ю.А., Куликов Л.К., Быкова Н.М. и др. Диагностика и хирургическое лечение феохромоцитом у пациентов с инциденталомами надпочечников // *Новости хирургии.* — 2013. — Т. 21, — №5. — С. 24-30. [Privalov JuA, Kulikov LK, Bykova NM, et al. Diagnostika i hirurgicheskoe lechenie feohromocitomu u pacientov s incidentalomami nadpochechnikov. *Novosti hirurgii.* 2013;21(5):24-30. (In Russ.).]
48. Kandathil A, Wong KK, Wale DJ, et al. Metabolic and anatomic characteristics of benign and malignant adrenal masses on positron emission tomography/computed tomography: a review of literature. *Endocrine.* 2015;49(1):6-26. doi: <https://doi.org/10.1007/s12020-014-0440-6>
49. Lam KY, Lo CY. Metastatic tumours of the adrenal glands: a 30-year experience in a teaching hospital. *Clin Endocrinol (Oxf).* 2002;56(1):95-101. doi: <https://doi.org/10.1046/j.0300-0664.2001.01435.x>
50. Tallis PH, Rushworth RL, Torpy DJ, Falhammar H. Adrenal insufficiency due to bilateral adrenal metastases — A systematic review and meta-analysis. *Heliyon.* 2019;5(5):e01783. doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01783>
51. Mayo-Smith WW, Boland GW, Noto RB, Lee MJ. State-of-the-art adrenal imaging. *Radiographics.* 2001;21(4):995-1012. doi: <https://doi.org/10.1148/radiographics.21.4.g01j121995>
52. Wu Q, Luo W, Zhao Y, et al. The utility of 18F-FDG PET/CT for the diagnosis of adrenal metastasis in lung cancer: a PRISMA-compliant meta-analysis. *Nucl Med Commun.* 2017;38(12):1117-1124. doi: <https://doi.org/10.1097/MNM.0000000000000757>
53. Kim JY, Kim SH, Lee HJ, et al. Utilisation of combined 18 F-FDG PET/CT scan for differential diagnosis between benign and malignant adrenal enlargement. *Br J Radiol.* 2013;86(1028):20130190. doi: <https://doi.org/10.1259/bjr.20130190>
54. Delivanis DA, Bancos I, Atwell TD, et al. Diagnostic performance of unenhanced computed tomography and 18 F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography in indeterminate adrenal tumours. *Clin Endocrinol (Oxf).* 2018;88(1):30-36. doi: <https://doi.org/10.1111/cen.13448>
55. Wang F, Liu J, Zhang R, et al. CT and MRI of adrenal gland pathologies. *Quant Imaging Med Surg.* 2018;8(8):853-875. doi: <https://doi.org/10.21037/qims.2018.09.13>
56. Outwater EK, Bhatia M, Siegelman ES, et al. Lipid in renal clear cell carcinoma: detection on opposed-phase gradient-echo MR images. *Radiology.* 1997;205(1):103-107. doi: <https://doi.org/10.1148/radiology.205.1.9314970>
57. Martín J, Sentís M, Zidan A, et al. Fatty metamorphosis of hepatocellular carcinoma: detection with chemical shift gradient-echo MR imaging. *Radiology.* 1995;195(1):125-130. doi: <https://doi.org/10.1148/radiology.195.1.7892452>
58. Sydow BD, Rosen MA, Siegelman ES. Intracellular lipid within metastatic hepatocellular carcinoma of the adrenal gland: a potential diagnostic pitfall of chemical shift imaging of the adrenal gland. *AJR Am J Roentgenol.* 2006;187(5):550-551. doi: <https://doi.org/10.2214/AJR.06.0506>
59. Halefoglu AM, Altun I, Disli C, et al. A prospective study on the utility of diffusion-weighted and quantitative chemical-shift magnetic resonance imaging in the distinction of adrenal adenomas and metastases. *J Comput Assist Tomogr.* 2012;36(4):367-374. doi: <https://doi.org/10.1097/RCT.0b013e3182597613>

60. Fassnacht M, Dekkers OM, Else T, et al. European Society of Endocrinology Clinical Practice Guidelines on the management of adrenocortical carcinoma in adults, in collaboration with the European Network for the Study of Adrenal Tumors. *Eur J Endocrinol*. 2018;179(4):G1-G46. doi: <https://doi.org/10.1530/EJE-18-0608>
61. Fassnacht M, Assie G, Baudin E, et al. Adrenocortical carcinomas and malignant pheochromocytomas: ESMO-EURACAN Clinical Practice Guidelines for diagnosis, treatment and follow-up. *Ann Oncol*. 2020;31(11):1476-1490. doi: <https://doi.org/10.1016/j.annonc.2020.08.2099>
62. Mendichovszky IA, Powlson AS, Manavaki R, et al. Molecular Imaging in Adrenal Disease-An Emerging Role for Metomidate PET-CT. *Diagnostics (Basel)*. 2016;6(4):42. doi: <https://doi.org/10.3390/diagnostics6040042>

Рукопись получена: 20.04.2021. Одобрена к публикации: 30.05.21. Опубликовано online: 30.06.21.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ [AUTHORS INFO]

***Корб Татьяна Александровна [Tatiana A. Korb, MD]**; адрес: 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24-1 [24, bldg. 1, Petrovka street, Moscow, 127051, Russian Federation]; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9291-1466>; eLibrary SPIN: 6265-6676; e-mail: t-anya@list.ru

Чернина Валерия Юрьевна [Valeria Yu. Chernina, MD]; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0302-293X>; eLibrary SPIN: 8896-8051; e-mail: chernina909@gmail.com

Блохин Иван Андреевич [Ivan A. Blokhin, MD]; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2681-9378>; eLibrary SPIN: 3306-1387; e-mail: blokhin.ioann@gmail.com

Алешина Ольга Олеговна [Olga O. Aleshina, MD]; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9924-0204>; eLibrary SPIN: 6004-2422; e-mail: olya.aleshina.tula@gmail.com

Воронцов Александр Валерьевич, д.м.н., проф. [Alexander V. Vorontsov, PhD, MD, Prof.]; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3074-6930>; eLibrary SPIN: 2502-4463; e-mail: mr2005i@mail.ru

Морозов Сергей Павлович, д.м.н., проф. [Sergey P. Morozov, MD, PhD, Prof.]; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6545-6170>; eLibrary SPIN: 8542-1720; e-mail: morozov@nrcmr.ru

Гомболевский Виктор Александрович, к.м.н. [Victor A. Gombolevskiy, MD, PhD]; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1816-1315>; eLibrary SPIN: 6810-3279; e-mail: g_victor@mail.ru

ЦИТИРОВАТЬ

Корб Т.А., Чернина В.Ю., Блохин И.А., Алешина О.О., Воронцов А.В., Морозов С.П., Гомболевский В.А. Визуализация надпочечников: в норме и при патологии (обзор литературы) // *Проблемы эндокринологии*. — 2021. — Т. 67. — №3. — С. 26-36. doi: <https://doi.org/10.14341/probl12752>

TO CITE THIS ARTICLE:

Korb TA, Chernina VY, Blokhin IA, Aleshina OO, Vorontsov AV, Morozov SP, Gombolevskiy VA. Adrenal imaging: anatomy and pathology (literature review). 2021;67(3):26-36. doi: <https://doi.org/10.14341/probl12752>