

ЛЕКЦИИ И ОБЗОРЫ / LECTURES AND REVIEWS

УДК 616-036.8-08-06 (075)

<http://doi.org/10.22328/2079-5343-2026-17-2-7-21>ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ
НЕСПЕЦИФИЧЕСКОГО АОРТОАРТЕРИИТА ТАКАЯСУ: ОБЗОР^{1,2}Р. А. Постаногов[✉], ³Н. В. Марченко[✉], ¹Д. А. Малеков[✉], ⁴С. В. Виниченко[✉], ⁵Е. В. Кудрявцева[✉]¹Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия²Городская больница Святой преподобномученицы Елизаветы, Санкт-Петербург, Россия³Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия⁴Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии, Санкт-Петербург, Россия⁵Санкт-Петербургский медико-социальный институт, Санкт-Петербург, Россия

ВВЕДЕНИЕ: Неспецифический аортоартериит Такаясу — хронический воспалительный системный васкулит, поражающий крупные сосуды, преимущественно аорту и ее ветви. Заболевание чаще встречается у молодых женщин и приводит к прогрессирующему стенозу, окклюзии, аневризмам сосудов и тяжелым системным осложнениям. Диагностика болезни Такаясу основывается на комплексной оценке клинической картины, лабораторных данных, а также данных, полученных с использованием визуализационных методов, таких как магнитно-резонансная и компьютерная ангиография, ультразвуковое исследование, позитронно-эмиссионная томография, цифровая субтракционная рентгеновская ангиография. Точная диагностика имеет критическое значение для своевременного начала терапии и профилактики осложнений.

ЦЕЛЬ: Осветить основные аспекты этиопатогенеза и клинической картины заболевания. Проанализировать и систематизировать современные возможности диагностической визуализации при болезни Такаясу, опираясь на консенсус профессиональных сообществ ACR/EULAR-2022. Продемонстрировать типичные лучевые паттерны заболевания. Осветить возможности и перспективы новых диагностических методик, в том числе спектральной (двухэнергетической) компьютерной томографии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: Проведен поиск в научных базах PubMed/MEDLINE, Web of Science, eLIBRARY при помощи ключевых слов: «неспецифический аортоартериит Такаясу», «болезнь Такаясу» в сочетании с «лучевая диагностика», «УЗИ», «МРТ», «спектральная КТ», «ПЭТ-КТ». Критерии включения: руководства профессиональных обществ (EULAR, ACR/VF), систематические обзоры/мета-анализы и оригинальные исследования по визуализации болезни Такаясу. Исключались дубликаты и нерелевантные публикации. Извлекались сведения об этиопатогенезе заболевания, задачах методов диагностики, диагностических критериях, точности методов, ограничениях и дозовой нагрузке.

РЕЗУЛЬТАТЫ: Проанализированы 173 научные публикации, 36 из которых использованы для составления настоящего обзора. В обзоре представлены данные об основных аспектах этиопатогенеза болезни Такаясу, его клинических диагностических критериях, освещены вопросы мультимодальной визуализационной диагностики заболевания с указанием чувствительности и специфичности методов, рассмотрены возможности и перспективы спектральной (двухэнергетической) компьютерной томографии и других новых диагностических методик.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Современные методы диагностической визуализации играют ключевую роль в диагностике и мониторинге лечения болезни Такаясу. Их применение в соответствии с решаемой клинической задачей вносит значительный вклад в комплексную диагностику заболевания, что позволяет выработать оптимальную тактику лечения, направленную на снижение рисков осложнений и улучшение качества жизни пациентов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: неспецифический аортоартериит Такаясу, болезнь Такаясу, магнитно-резонансная ангиография, компьютерная томография, спектральная двухэнергетическая компьютерная томография, ультразвуковое исследование

*Для корреспонденции: Постаногов Роман Анатольевич, e-mail: r.a.postanogov@yandex.ru

Для цитирования: Постаногов Р.А., Марченко Н.В., Малеков Д.А., Виниченко С.В., Кудрявцева Е.В. Возможности и перспективы диагностической визуализации неспецифического аортоартериита Такаясу: обзор // *Лучевая диагностика и терапия*. 2026. Т. 17, № 2. С. 7–21, doi: <http://doi.org/10.22328/2079-5343-2026-17-2-7-21>.

POSSIBILITIES AND PROSPECTS OF DIAGNOSTIC IMAGING OF NON-SPECIFIC TAKAYASU AORTOARTERITIS: A REVIEW

^{1,2}Roman A. Postanogov[✉], ³Natalya V. Marchenko[✉], ¹Damir A. Malekov[✉], ⁴Sofia V. Vinichenko[✉],
⁵Ekaterina V. Kudryavceva[✉]

¹St. Petersburg State Pediatric Medical University, St. Petersburg, Russia

²Elizavetinskaya City Hospital, St. Petersburg, Russia

³St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

⁴St. Petersburg Research Institute of Phthisiopulmonology, St. Petersburg, Russia

⁵St. Petersburg Medical and Social Institute, St. Petersburg, Russia

INTRODUCTION: Takayasu's aortoarteritis (TA) is a chronic inflammatory systemic vasculitis affecting large vessels, primarily the aorta and its branches. The disease is more common in young women and leads to progressive stenosis, occlusion, aneurysms, and severe systemic complications.

Diagnosis of Takayasu's disease is based on a comprehensive assessment of the clinical picture, laboratory data, and imaging techniques such as magnetic resonance angiography, computed tomography angiography, ultrasound, positron emission tomography, and digital subtraction X-ray angiography. Accurate diagnosis is critical for timely initiation of therapy and prevention of complications.

OBJECTIVE: To highlight the key aspects of the etiopathogenesis and clinical presentation of the disease. To analyze and systematize current diagnostic imaging capabilities for Takayasu's disease, based on the ACR/EULAR-2022 consensus of professional societies. To demonstrate typical radiographic patterns of the disease. To highlight the capabilities and prospects of new diagnostic techniques, including spectral (dual-energy) computed tomography.

MATERIALS AND METHODS: A search was conducted in the scientific databases PubMed/MEDLINE, Web of Science, eLibrary using keywords: «nonspecific Takayasu's aortoarteritis», «Takayasu's disease», in combination with «radiation diagnostics», «ultrasound», «MRI», «spectral CT», «PET-CT». Inclusion criteria: professional society guidelines (EULAR, ACR/VF), systematic reviews/meta-analyses, and original studies on the imaging of Takayasu's disease. Duplicates and irrelevant publications were excluded. Data on the etiopathogenesis of the disease, the objectives of diagnostic methods, diagnostic criteria, the accuracy of the methods, limitations, and dose load were extracted.

RESULTS: A total of 173 scientific publications were analyzed, 36 of which were used to compile this review. This review presents data on the key aspects of the etiopathogenesis of Takayasu's disease and its clinical diagnostic criteria. It also highlights issues of multimodal imaging diagnostics, indicating the sensitivity and specificity of diagnostic techniques. It also examines the capabilities and prospects of spectral (dual-energy) computed tomography and other new imaging techniques.

CONCLUSION: Modern diagnostic imaging methods play a key role in the diagnosis and treatment monitoring of Takayasu's disease. Their use, in accordance with the clinical task being addressed, significantly contributes to the comprehensive diagnosis of the disease, enabling the development of optimal treatment strategies aimed at reducing the risk of complications and improving patients' quality of life.

KEYWORDS: nonspecific Takayasu aortoarteritis, Takayasu disease, magnetic resonance angiography, computed tomography, spectral dual-energy computed tomography, ultrasound

*For correspondence: Roman A. Postanogov, e-mail: r.a.postanogov@yandex.ru

For citation: Postanogov R.A., Marchenko N.V., Malekov D.A., Vinichenko S.V., Kudryavceva E.V. Possibilities and prospects of diagnostic imaging of non-specific Takayasu aortoarteritis: a review // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2026. Vol. 17, No. 2. P. 7–21, <http://doi.org/10.22328/2079-5343-2026-17-2-7-21>.

Введение. Системные васкулиты (СВ) — гетерогенная группа заболеваний, основным морфологическим признаком которых является воспаление сосудистой стенки, а клинические проявления зависят от типа, калибра, локализации пораженных сосудов и активности системного воспаления [1]. Среди СВ, поражающих сосуды крупного калибра, особый интерес представляет неспецифический аortoarterиит Такаюсу (болезнь Такаюсу, НАТ).

НАТ является редким гранулематозным системным васкулитом, преимущественно поражающим аорту, ее крупные ветви и (реже) легочные артерии,

с глобальной распространенностью 2–3 случая на 1 млн человек в год. Заболевание поражает преимущественно молодых женщин с пиком заболеваемости от 15 до 19 лет, причем соотношение женщин и мужчин может достигать 8:1 [2].

Наиболее высокую распространенность НАТ имеет в странах Азии, таких как Япония, Китай и Индия. В Северной Америке и Европе болезнь диагностируется значительно реже [2].

Диагностика НАТ основывается на комплексной оценке клинической картины, лабораторных данных, а также данных, полученных с использованием мето-

дов лучевой диагностики, таких как магнитно-резонансная (МРА) и компьютерно-томографическая ангиография (КТА), ультразвуковое исследование (УЗИ), позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ), цифровая субтракционная ангиография (ЦСА). Точная диагностика имеет критическое значение для своевременного начала терапии и профилактики осложнений [3].

Цель. Осветить основные аспекты этиопатогенеза и течения заболевания. Проанализировать и систематизировать современные возможности диагностической визуализации при НАТ, опираясь на консенсус профессиональных сообществ ACR/EULAR-2022. Продемонстрировать типичные лучевые паттерны заболевания. Осветить возможности и перспективы новых методик визуализации, таких как спектральная (двухэнергетическая) компьютерная томография (ДЭКТ). Изложить современные взгляды на место каждого из методов в диагностике болезни Такаясу.

Материалы и методы. Проведен поиск в научных базах PubMed/MEDLINE, Web of Science, eLIBRARY при помощи ключевых слов: «неспецифический аортоартериит Такаясу», «болезнь Такаясу», в сочетании с «лучевая диагностика», «УЗИ», «МРТ», «спектральная КТ», «ПЭТ-КТ». Критерии включения: руководства профессиональных обществ (EULAR, ACR/VF), систематические обзоры/мета-анализы и оригинальные исследования по визуализации болезни Такаясу. Исключались дубликаты и нерелевантные публикации. Извлекались сведения об этиопатогенезе заболевания, задачах методов диагностики, диагностических критериях, точности методов, ограничениях и дозовой нагрузке.

Результаты. Этиопатогенез. Ключевым звеном в патогенезе НАТ является хроническое гранулематозное воспаление стенок крупных артерий аутоиммунной природы. В качестве триггера обсуждаются инфекционные агенты (в том числе *Mycobacterium tuberculosis*), активирующие дендритные клетки адвентиции сосудов и макрофаги с продукцией провоспалительных цитокинов и последующим Т-клеточным ответом, что поддерживает хроническое воспаление и ремоделирование сосудистой стенки [3].

Воспаление инициируется со стороны адвентиции и *vasa vasorum*, распространяется на медию и интиму с формированием гранулем с гигантскими клетками, утолщением и фиброзом стенки, сужением просвета и развитием стенозов/окклюзий; возможны аневризмы вследствие ослабления стенки и формирование коллатералей для компенсации ишемии. Эндотелиальная дисфункция и ремоделирование способствуют тромбообразованию и гиперкоагуляции, что повышает риск ишемических событий, таких как ишемический инсульт и инфаркт миокарда [2, 4].

Клиническая картина. Клинические проявления НАТ варьируют от неспецифических симптомов

системного воспаления до тяжелых сосудистых осложнений в зависимости от фазы течения заболевания. На ранней активной стадии (недели-месяцы от начала заболевания) преобладают лихорадка, похудание, миалгии и артралгии, головные боли, одышка; течение может быть ремиттирующим, что затрудняет диагностику.

Поздняя «сосудистая» стадия характеризуется ишемией органов и конечностей вследствие стенозов и окклюзий; типичны межконечностная разница систолического артериального давления, ослабление/отсутствие пульса на плечевых артериях, сосудистые шумы. Сердечно-сосудистые проявления встречаются часто и зависят от локализации сосудистого поражения (в том числе гипертензия при стенозе почечных артерий, аортальная регургитация, сердечная недостаточность) [2, 3].

В настоящее время отмечается улучшение прогноза по сравнению с историческими наблюдениями, однако при дебюте в детском возрасте риск смерти выше, чем у взрослых. В детском возрасте показатель летальности при НАТ достигает 35% [5].

Диагностика. Специфических сывороточных маркеров НАТ не существует, характерны повышенные СОЭ/СРБ при активности заболевания. Биопсия крупных артерий проводится редко (как правило, по хирургическим показаниям) и не относится к рутинным методам подтверждения НАТ. В реальной практике ключевую роль в верификации играют методы визуализации в соответствии с актуальными рекомендациями. Отмечается, что среднее время от момента манифестации заболевания до постановки диагноза составляет 1–2 года [3].

В соответствии с локализацией поражения, установленной по данным диагностической визуализации, принята анатомическая классификация НАТ по Numano (1994), в рамках которой выделяют пять типов заболевания в зависимости от вовлечения в процесс аорты и ее ветвей. Классификация основана на результатах ЦСА и применяется по сей день [6].

Международным научным сообществом для верификации НАТ применяются совместные критерии Американской коллегии ревматологов (American College of Rheumatology, ACR) и Европейская антиревматической лиги (European League Against Rheumatism, EULAR), последний пересмотр которых состоялся в 2022 г. (консенсус ACR/EULAR-2022), учитывающие клинические данные, а также результаты лабораторных и инструментальных исследований. Согласно критериям, абсолютными требованиями для постановки диагноза являются возраст меньше 60 лет на момент манифестации и признаки васкулита крупных сосудов по данным визуализации.

Новые критерии демонстрируют чувствительность 93,8% и специфичность 99,2%, превосходя критерии ACR-1990 [7, 8].

Дифференциальная диагностика включает врожденные и приобретенные поражения аорты (коарктация,

срединный аортальный синдром, фибромускулярная дисплазия), синдром Марфана и иные наследственные аортопатии, а также другие первичные/вторичные васкулиты (гигантоклеточный артериит, болезнь Бехчета, IgG4-связанное поражение и др.) [1, 4].

В рамках консенсуса ACR/EULAR-2022 в 2023 г. были разработаны рекомендации по диагностической визуализации НАТ. Согласно им, предпочтение отдается неинвазивным методам: МРТ/МРА, КТ/КТА, УЗИ, ПЭТ-КТ [12]. Инвазивные методы, такие как ЦСА, для первичной диагностики не рекомендуются, только если они не сопряжены с реваскуляризирующим вмешательством или измерением градиентов давления при критических стенозах [8, 9].

Частота повторных исследований с целью динамического наблюдения определяется клинической задачей, при мониторинге желательно придерживаться одной и той же модальности. Рутинная повторная визуализация всем больным не требуется, но показана при подозрении на рецидив или для оценки прогрессирования внутрисосудистых изменений (стенозы/аневризмы) [8].

Целесообразно рассмотрение методов диагностической визуализации в порядке приоритетности, в соответствии с рекомендациями ACR/EULAR, с указанием их возможностей, ограничений и типичных диагностических паттернов заболевания.

Магнитно-резонансная томография. МРТ/МРА — неинвазивный, не сопряженный с дозовой нагрузкой метод, позволяющий одновременно оценить как воспаление стенки сосуда, так и изменения в его просвете. Согласно консенсусу ACR/EULAR, является предпочтительной стартовой модальностью при подозрении на НАТ [8].

Диагностическая ценность. По результатам мета-анализа 57 исследований L. Вагга и соавт. (2018) метод демонстрирует чувствительность 92% и специфичность 90% [10]. Более поздние обзоры также подтверждают высокую точность метода в диагностике факта наличия НАТ [9, 11]. При этом стандартизация критериев активности заболевания по МРТ/МРА остается неоднородной, что требует осторожной интерпретации [8, 11, 12].

Практический протокол. Рекомендовано применение высокопольных томографов с индукцией поля от 1,5 Тл, как минимум 16-канальной радиочастотной приемной катушки, при этом параметры протокола должны обеспечивать хорошее соотношение сигнал/шум для достижения на изображении высокого пространственного разрешения.

Оптимальный охват полем обзора — от дуги аорты до подвздошных артерий с включением сонных/подключичных/почечных бассейнов при необходимости. Следует использовать как стандартные T1-взвешенные изображения (ВИ) до и после введения парамагнитного контрастного вещества на основе гадолиния (преимущество лучше отдавать 3D-последовательностям (SPACE/FIESTA/CUBE),

T2-ВИ, в том числе с подавлением сигнала от жировой ткани (T2 FS, STIR/SPAIR или Dixon), и контрастную 3D-МРА. При противопоказаниях к гадолинию — бесконтрастные варианты ангиографии (TOF или PC). Также в протоколы следует включать диффузионно-взвешенные изображения с b-фактором не менее 1000 [8, 9, 12].

Лучевые паттерны. К ключевым признакам НАТ относятся: циркулярное утолщение стенок аорты и магистральных артерий, отек стенок на T2-ВИ, активное контрастное усиление на T1-ВИ, изменения просвета сосудов (стенозы, окклюзии, аневризмы), нередко многоуровневые. Считается, что активность НАТ по МРТ/МРА подтверждают сочетанием признаков: отек стенки по T2-ВИ и ее раннее контрастирование, при этом изолированное утолщение без контрастирования следует трактовать осторожно, скорее в пользу неактивной фазы (ремоделирование/фиброз) [4, 11, 12]. М. Копо и соавт. (2021) установлено, что отсроченное контрастирование стенки может быть чувствительно к ее ремоделированию [13]. На основании критерия контрастирования X. Guo и соавт. (2023) отмечают высокую согласованность данных активности по результатам МРТ/МРА с данными ПЭТ-КТ для легочных артерий [14]. Y. Kuroiwa и соавт. (2017) установили, что для активного воспаления характерно истинное ограничение диффузии сосудистой стенкой, отсутствующее у пациентов в ремиссии [15].

На рис. 1 и 2 продемонстрированы ключевые диагностические паттерны заболевания по данным МРТ/МРА.

Ограничения. При выполнении МРТ/МРА возможна переоценка степени стеноза при медленном или турбулентном кровотоке и, как правило, ограничена визуализация мелких дистальных артериальных ветвей. Помимо этого, методика подвержена двигательным и дыхательным артефактам. Критерии оценки активности воспаления по данным МРТ/МРА варьируют между исследованиями и зависят от протокола, стадии заболевания и временной точки после начала терапии, поэтому для подтверждения активного воспаления целесообразно сопоставление МР-картины с клинической картиной, лабораторными данными и/или результатами ПЭТ-КТ. В связи с этим применение метода для динамического наблюдения НАТ остается предметом исследований [16].

Компьютерная томография. Является доступной методикой с высоким пространственным разрешением, служащей для оценки поражения аорты и ее ветвей, уточнения степени стенозов/окклюзий, визуализации аневризм и коллатералей, а также для предоперационного планирования. Согласно консенсусу ACR/EULAR, КТ/КТА — равноправная альтернатива МРТ/МРА. Метод целесообразно применять при наличии противопоказаний к МРТ или если данный метод недоступен в конкретном

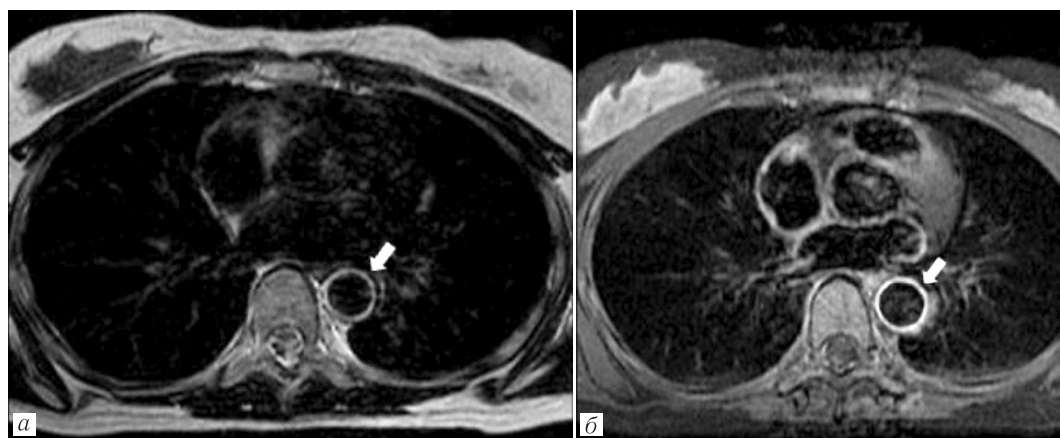


Рис. 1. МРТ 18-летней пациентки с НАТ: *а* — T2-ВИ; *б* — T1-ВИ+Gd. Пораженная стенка аорты демонстрирует слабое утолщение и кольцевидное повышение сигнала вдоль интимы (*а*, стрелка), а также активное накопление парамагнетика (*б*, стрелка)

Fig. 1. MRI of an 18-year-old patient with NTA: *a* — T2-WI; *б* — T1-WI+Gd [12]. The inflamed aortic wall demonstrates mild thickening and ring-shaped signal enhancement along the intima (*a*, arrow), and active paramagnetic enhancement (*б*, arrow) [12]

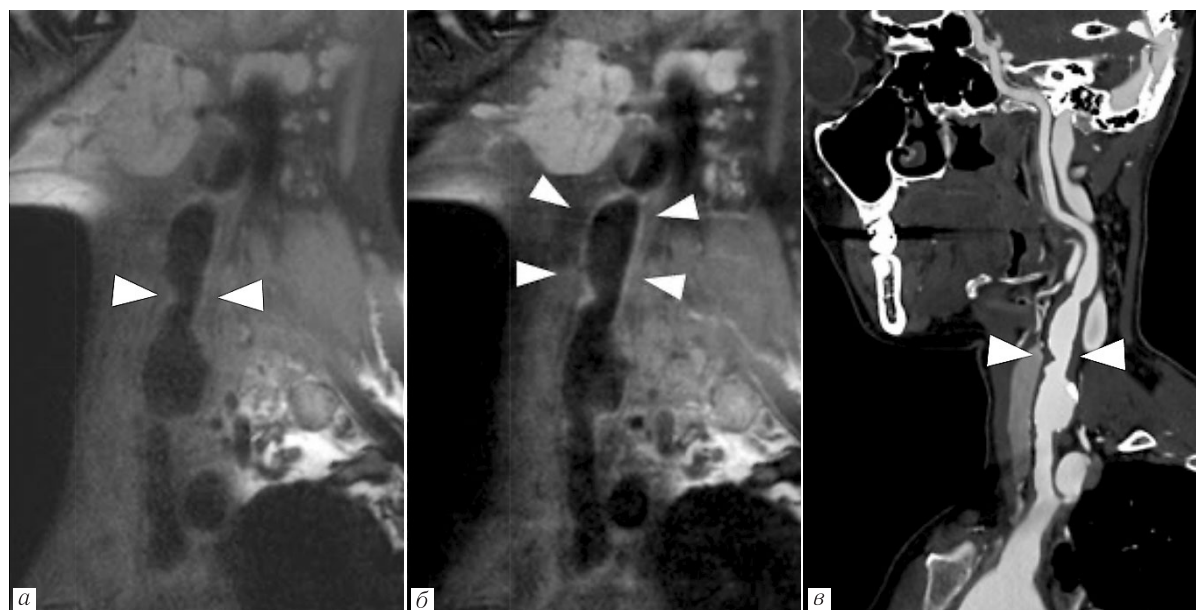


Рис. 2. МРТ и КТА 38-летней пациентки с НАТ: *а* — T1-ВИ; *б* — T1-ВИ+Gd; *в* — КТА, артериальная фаза. Неоднородное утолщение стенки правой общей сонной артерии с формированием стеноза (*а*, *в*, стрелки).

Пораженная стенка демонстрирует активное накопление парамагнетика (*б*, стрелки) [13]

Fig. 2. MRI and CT of a 38-year-old patient with NTA: *a* — T1-WI; *б* — T1-WI+Gd; *в* — CTA, arterial phase. Heterogeneous wall thickening of the right common carotid artery with the formation of a stenosis (*а*, *в*, arrows). The inflamed wall demonstrates active accumulation of paramagnetic enhancement (*б*, arrows) [13]

учреждении, а также на поздней стадии заболевания, в связи с большей диагностической ценностью КТ/КТА при визуализации фиброзных изменений и кальцинатов в структуре сосудистой стенки [8].

Диагностическая ценность. По данным мета-анализа Л. Вагга и соавт. (2018), объединенная чувствительность и специфичность КТ/КТА превышает 90% [10]. Недавние исследования также сообщают о высокой диагностической ценности метода в диагностике НАТ, с чувствительностью и специфичностью 90–100% [9, 11].

Практический протокол. Рекомендуемая область сканирования — от восходящей аорты

до подвздошных артерий, дополнительные таргетные серии брахиоцефальных, почечных или мезентериальных артерий при их вовлечении в патологический процесс. Фаза и тайминг: нативная фаза, артериальная фаза с автоматическим болюс-трекингом, венозная фаза (50 сек), отсроченные фазы; при оценке восходящей аорты предпочтительна ЭКГ-синхронизация для снижения пульсационных артефактов. Техника: тонкая коллимация пучка ($\approx 0,6$ мм), реконструкции с толщиной среза 0,5–1 мм, при необходимости оценки динамики обязательна воспроизводимость параметров сканирования. Рекомендовано контрастирование неонным

йодсодержащим контрастом в объеме 50–100 мл с индивидуализацией по массе и скорости инъекции (скорость не менее 4 мл/с) [8, 12].

Лучевые паттерны. К типичному КТ-признаку относят диффузное (часто циркулярное) утолщение стенки аорты и магистральных артерий. Как и по данным МРТ/МРА, характерно выявление изменения просвета сосудов: длинные сегментарные стенозы, «ступенчатые» окклюзии, постстенотические расширения, аневризмы, развитие коллатералей [4, 9, 12]. На контрастных КТ-сериях в венозную фазу хорошо известен знак «двойного кольца» (double-ring sign) или знак «гало», обусловленный выраженным контрастным усилением внешнего слоя сосудистой стенки и меньшим усилением внутреннего слоя. Считается, что усиленное «внешнее кольцо» представляет собой активное воспаление меди и адвентиции, менее усиленное «внутреннее кольцо» — отек интимы [17]. Специфичность использования знака для оценки активности заболевания составляет 100%, чувствительность — от 34% до 57% [9]. В. Снег и соавт. (2019) для оценки активности НАТ, помимо знака «двойного кольца»,

Диагностические паттерны заболевания по данным КТ/КТА продемонстрированы на рис. 2–4.

Ограничения. В отличие от ПЭТ-КТ, активность воспаления по КТ/КТА оценивается опосредованно, несмотря на предлагаемые некоторыми авторами критерии разной степени чувствительности и специфичности. Метод сопряжен с воздействием ионизирующего излучения и йодсодержащего контрастного вещества, что нужно учитывать при исследовании пациентов младшего детского возраста, пациентов с аллергией или снижением функции почек. Помимо прочего, КТ/КТА подвержена дыхательным и пульсационным артефактам, артефактам от внутрисосудистых стентов.

Двухэнергетическая компьютерная томография. По мнению ряда авторов, в диагностике и мониторинге лечения васкулитов крупных сосудов, в том числе НАТ, определенными перспективами обладает ДЭКТ — методика КТ, предполагающая получение двух наборов диагностических данных при высоких и низких энергиях рентгеновского излучения, т.е. в двух энергетических спектрах, из которых посредством алгоритмов постобработки,



Рис. 3. КТА 16-летней пациентки с НАТ и ренин-зависимой почечной гипертензией, артериальная фаза: *а* — реконструкция в коронарной плоскости; *б* — 3D VRT-реконструкция. Наконечник стрелки указывает на утолщенную стенку аорты с диффузным циркулярным поражением. Стрелками отмечено утолщение стенки правой почечной артерии с сужением просвета и сужение инфраренального отдела аорты [собственные наблюдения]

Fig. 3. CTA of a 16-year-old patient with NTA, arterial phase: *a* — coronal reconstruction; *b* — 3D VRT reconstruction. The arrowhead points to the thickened aortic wall with diffuse circumferential lesion. Arrows indicate thickening of the right renal artery wall with lumen narrowing and narrowing of the infrarenal aorta [personal observations]

предлагают использовать значение толщины стенки пораженного сосуда по данным КТ/КТА: ими установлено, что у пациентов с активным воспалением сосудистая стенка толще, чем у пациентов в неактивной фазе, были определены критические значения ($5,2 \pm 2,4$ мм в активной фазе против $2,5 \pm 0,8$ мм в фазе ремиссии) [18].

создаются «материал-специфические» реконструкции. Такие реконструкции позволяют дифференцировать вещества, одинаковые по плотности, но различные по химическому составу [19]. Консенсус ACR/EULAR рассматривает ДЭКТ как технически оправданное усиление КТ/КТА в случаях, когда эта технология доступна [8].

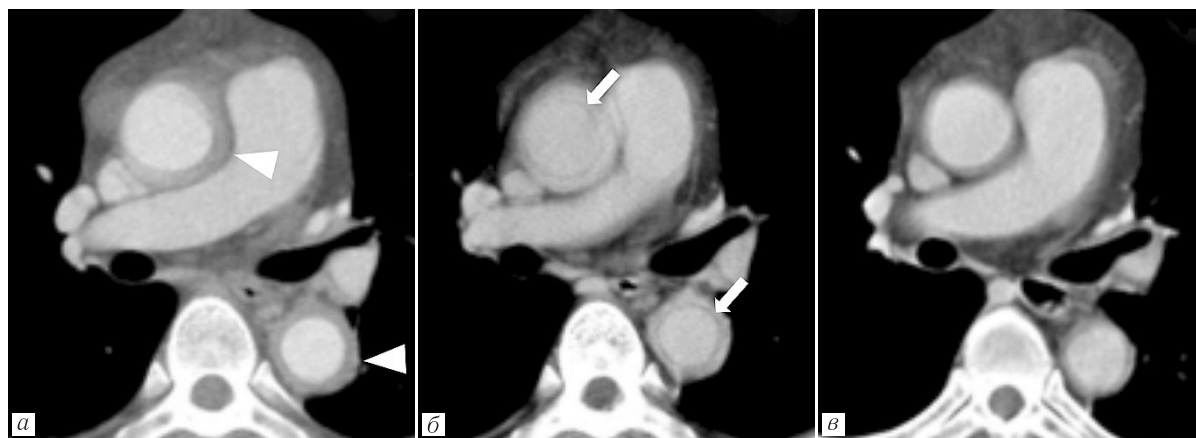


Рис. 4. КТА 34-летнего пациента с НАТ. Первичное исследование: *а* — артериальная фаза; *б* — венозная фаза. Контрольное исследование через 6,5 лет: *в* — венозная фаза. Начальная КТ демонстрирует диффузное утолщение стенки аорты (*а*, наконечники стрелок). В венозной фазе отмечается контрастирование стенки и знак «двойного кольца» (*б*, стрелки). При контрольном исследовании выявлено значительное снижение толщины стенки аорты, регресс контрастирования стенки и отсутствие знака «двойного кольца» [17]

Fig. 4. CTA of a 34-year-old man with NTA. Initial examination: *a* — arterial phase; *б* — venous phase. Follow-up examination after 6.5 years: *в* — venous phase. The initial CT scan demonstrates diffuse thickening of the aortic wall (*a*, arrowheads). In the venous phase, wall enhancement and the «double ring» sign are noted (*б*, arrows). The follow-up examination revealed a significant decrease in aortic wall thickness, regression of wall enhancement, and the absence of the «double ring» sign [17]

Диагностическая ценность. В настоящее время метаанализы, систематизирующие данные о чувствительности и специфичности методики в диагностике НАТ, отсутствуют, имеющиеся данные — немногочисленные клинические случаи, демонстрируют положительные результаты применения некоторых спектральных алгоритмов, в частности йодных карт. При этом, учитывая высокую диагностическую ценность традиционной КТ/КТА, авторы указывают, что ДЭКТ логично ее усиливает, предоставляя новые диагностические возможности: лучший контраст сосудистой стенки, уменьшение артефактов, возможность количественной оценки йода [20].

Практический протокол. В настоящее время для клинического применения доступно несколько типов ДЭКТ-сканеров, использующих для получения наборов данных высокой и низкой энергии разные техники: последовательное сканирование при низком и высоком напряжении на одном источнике; сканирование с двумя независимыми источниками излучения; сканирование с быстрым переключением напряжения на одном источнике; сканирование с постоянным напряжением на одном источнике и двуслойным детектором и другие.

Сканирование рекомендовано осуществлять по стандартам традиционной КТА с внутривенным болюсным контрастированием (описано выше), постобработка осуществляется на специализированной рабочей станции на основе собранных спектральных данных. Предлагается использование следующих алгоритмов постобработки: виртуальные моноэнергетические изображения с энергией 40–60 кэВ для усиления контраста стенки/просвета сосуда; карты йодной плотности с количественной оценкой степени накопления контраста, карты

эффективного атомного номера для дифференцировки кальцинатов, йода и мягких тканей, а также виртуальные бесконтрастные серии для замены истинных нативных серий [20, 21].

Лучевые паттерны. Виртуальная моноэнергетическая визуализация с реконструкцией данных, полученных в низкоэнергетическом спектре, увеличивает отношение контраст-шум для йода, тем самым может улучшить визуализацию равномерного или кольцевого усиления стенки аорты и ее ветвей, а также границы стенка/просвет сосуда. Йодная карта демонстрирует распределение контраста в тканях, в том числе в сосудистой стенке, и позволяет количественно оценить его накопление. Степень накопления контраста коррелирует с активностью заболевания, что демонстрирует потенциально высокую диагностическую ценность йодных карт для оценки активности воспаления и эффективности терапии [21]. Карта эффективного атомного номера отражает среднее значение атомных номеров химических элементов, из которых состоит ткань, позволяя различать морфологический субстрат, что может быть полезно при дифференциальной оценке изменения сосудистой стенки (фиброз стенки, отложение липидов, кальция и другие изменения) [22]. Алгоритм виртуальной неконтрастной карты (получается путем вычитания йодной карты из постконтрастной серии) может заменить нативное сканирование, существенно снижая дозовую нагрузку, что особенно полезно при частом динамическом наблюдении пациентов, а также в педиатрической практике [23].

Пример комплексного применения инструментов спектральной визуализации в диагностике НАТ представлен на рис. 5.

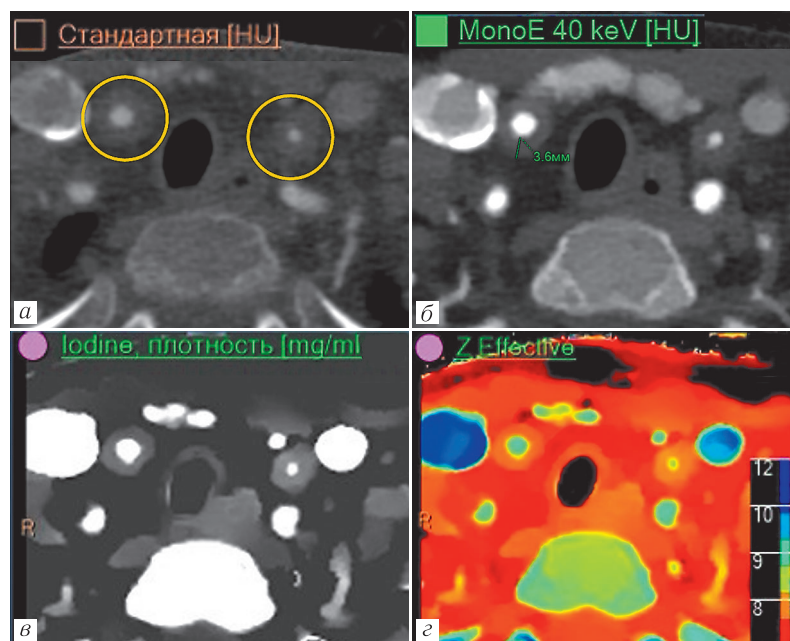


Рис. 5. ДЭКТ-ангиография 8-летней пациентки с НАТ, осложненным стенозом обеих сонных артерий: *а* — традиционные КТ-серии, артериальная фаза; *б* — виртуальное моноэнергетическое изображение с энергией 40 кэВ, артериальная фаза; *в* — карта йодной плотности, венозная фаза; *г* — карта эффективного атомного номера, венозная фаза. На традиционных КТ-сериях пораженные артерии визуализируются субоптимально (*а*, выделены кругами). При спектральной визуализации на моноэнергетическом изображении 40 кэВ отчетливо дифференцируется утолщенный интимальный слой артерий и их сохраненные просветы (*б*), на картах йодной плотности различимы внутренние и внешние границы сосудов, отмечается слабое накопление контрастного препарата воспаленной стенкой (*в*), карты эффективного атомного номера демонстрируют гомогенную структуру утолщенных стенок без патологических включений, отмечается снижение эффективного атомного номера в сравнении с неизменной сосудистой стенкой за счет отека (*г*) [собственные наблюдения]

Fig. 5. DECT angiography of an 8-year-old girl with NTA complicated by stenosis of both carotid arteries: *a* — conventional CT series, arterial phase; *b* — virtual monoenergetic image 40 keV, arterial phase; *в* — iodine density map, venous phase; *г* — effective atomic number map, venous phase. In conventional CT series, the affected arteries are visualized suboptimally (*a*, highlighted by circles). In spectral visualization, the thickened intimal layer of the arteries and their preserved lumens are clearly differentiated on a monoenergetic image of 40 keV (*b*); the internal and external boundaries of the vessels are distinguishable on iodine density maps; weak accumulation of the contrast agent by the inflamed wall is noted (*в*); the maps of the effective atomic number demonstrate a homogeneous structure of the thickened walls without pathological inclusions; a decrease in the effective atomic number is noted in comparison with the unchanged vascular wall due to edema (*г*) [personal observations]

Ограничения. На сегодняшний день для НАТ и других васкулитов крупных сосудов не предложено валидированных пороговых значений концентрации йода, позволяющих достоверно дифференцировать активную и неактивную фазу заболевания. Исследователи, как правило, используют собственные пороговые значения, полученные на малых выборках. При этом отмечается вариабельность показателей в зависимости от протокола исследования и типа сканера [24]. В связи с этим оценка концентрации йода по картам йодной плотности, несмотря на свою потенциально высокую диагностическую ценность, пока не может служить самостоятельным критерием активности и должна интерпретироваться только в контексте клинико-лабораторных данных и результатов ПЭТ-КТ [8]. Помимо прочего, ДЭКТ предъявляет высокие требования к качеству постобработки спектральных данных и опыту их интерпретации.

Ультразвуковое исследование. УЗИ и дуплексное сканирование (ДС) магистральных артерий относятся к доступным и неинвазивным методам визуализации, которые вносят существенный вклад в раннюю диагностику НАТ. УЗИ/ДС наиболее информативно при оценке изменений общих сонных, позвоночных и подключичных артерий, брахиоцефального ствола, почечных артерий. Согласно консенсусу ACR/EULAR, УЗИ рассматривается как альтернативный метод первичной визуализации при вовлечении в патологический процесс вышеперечисленных артерий, а также как один из основных инструментов долгосрочного мониторинга внутрисосудистых изменений (стенозы, окклюзии, аневризмы) [8]. Определенные перспективы в оценке активности заболевания представляет контраст-усиленное УЗИ (КУ-УЗИ) и микродоплеровское картирование кровотока (superb microvascular imaging, SMI) [12].

Диагностическая ценность. L. Вагга и соавт. (2018) сообщают об объединенной чувствительности УЗИ крупных артерий порядка 81 % и специфичности более 90 % [10].

Практический протокол. Рекомендовано использовать аппараты УЗИ экспертного класса с датчиками: линейный с частотой от 5 до 15 МГц и конвексный с частотой от 2 до 7 МГц. Протокол включает: сканирование общей, внутренней и наружной сонных артерий, подключичных и, при возможности, аксиллярных артерий в продольной и поперечной плоскостях; оценку позвоночных артерий (сегменты V₁–V₂), брюшной аорты и проксимальных отделов почечных артерий. При исследовании артерий в В-режиме выполняются стандартизированные измерения толщины стенки, комплекса интима–медиа с документированием максимальных значений и их динамики. При доплеровском сканировании производят регистрацию спектров кровотока в предполагаемых зонах стенозов и дистальнее с измерением пиковых систолических скоростей, расчетом относительного снижения просвета

скоростей, постстенотическую турбулентность, изменение спектра кровотока, возможное формирование коллатералей. При вовлечении почечных артерий и брюшной аорты могут выявляться значительные градиенты давления и характерные изменения спектра кровотока [25].

Критерии оценки активности НАТ по данным метода не стандартизированы и являются предметом исследований. Некоторые авторы считают перспективным применение КУ-УЗИ для оценки активности воспаления [26, 27]. Методика предполагает внутривенное введение препарата с микропузырьками газа, которые служат внутрисосудистыми маркерами, позволяющими количественно оценить микрососудистую перфузию артериальной стенки. Z. Li и соавт. (2019) показано, что интенсивность контрастирования и динамика перфузионных кривых коррелируют с клинической активностью НАТ и данными ПЭТ-КТ (для сонной артерии КУ-УЗИ продемонстрировало 100 % чувствительность и 80 % специфичность), в связи с чем авторы считают методику применимой в оценке активности заболевания [27].

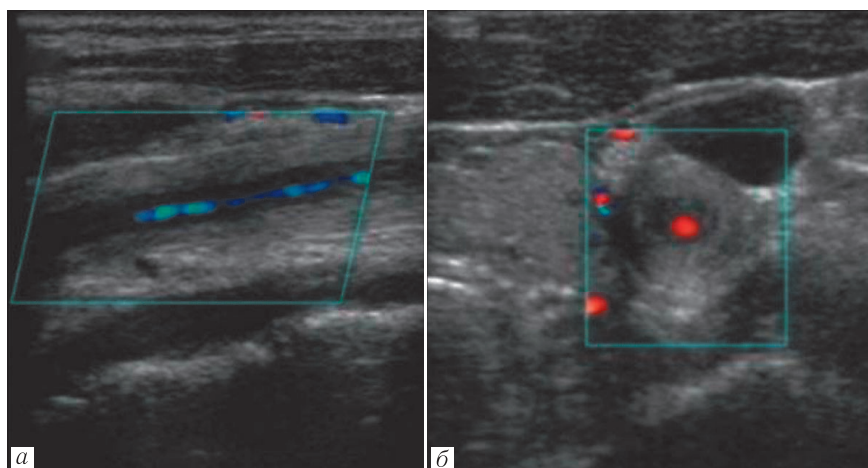


Рис. 6. УЗИ общей сонной артерии 14-летней пациентки с НАТ, В-режим с цветовым доплеровским картированием: *а* — длинная ось; *б* — короткая ось. Отмечается однородное циркулярное утолщение стенки сосуда — «macaroni sign» [12]

Fig. 6. Ultrasound of the common carotid artery in a 14-year-old patient with NTA, B-mode with color Doppler mapping: *a* — long axis; *b* — short axis. Homogeneous circumferential thickening of the vessel wall — the «macaroni sign» [12]

и оценкой гемодинамической значимости стенозов. При наличии технической возможности выполняется КУ-УЗИ для уточнения активности воспаления (перфузия стенки, неоваскуляризация) [8, 12].

Лучевые паттерны. В В-режиме стенка пораженной крупной артерии выглядит однородно утолщенной по всей окружности, с ровным внутренним контуром средней или несколько повышенной эхогенности — этот паттерн описывается как «macaroni sign» (знак «макарон») и рассматривается как высокоспецифичный признак НАТ [25].

Паттерн «macaroni sign» продемонстрирован на рис. 6.

Доплеровские режимы полезны в оценке стенозов и окклюзий: повышение пиковых систолических

Другие авторы заявляют о перспективности SMI — доплеровской методики, позволяющей визуализировать низкоскоростной микрососудистый кровоток без введения контрастного препарата за счет алгоритмов дифференцировки истинных сигналов микрокровотока от артефактов движения стенок и шумовых сигналов, что обеспечивает визуализацию мельчайших сосудов, таких как *vasa vasorum*. Данные SMI хорошо согласуются с результатами КУ-УЗИ в диагностике широкого спектра сосудистой патологии. В единичных исследованиях применения методики при НАТ отмечается, что SMI способствует обнаружению неоваскуляризации артериальной стенки [28]. F. J. Liu и соавт. (2023) указали, что неоваскуляризация сонной артерии,

обнаруженная посредством SMI, может быть маркером активности воспаления [29].

Ограничения. Связаны, в первую очередь, с высокой оператор-зависимостью, а также диагностическими пределами метода (ограниченные акустические окна для визуализации восходящей аорты, ее дуги, проксимальных отделов ее крупных ветвей), снижающими чувствительность при преимущественно проксимальном поражении. Количественные критерии (толщина стенки, скоростные пороги) стандартизированы не в полной мере, и, хотя в последние годы предложены различные ультразвуковые шкалы и индексы, необходима их дальнейшая валидация, что подчеркивается в рекомендациях ACR/EULAR [8]. Ограничения КУ-УЗИ включают потерю преимуществ ультразвука (таких как неинвазивность и простота использования) из-за применения контрастного агента, а также необходимость дополнительного обучения для интерпретации результатов. Технология SMI доступна лишь на экспертных сканерах некоторых производителей, ее использование требует дополнительного обучения.

Позитронно-эмиссионная томография. ПЭТ относится к методам функциональной визуализации, предоставляющим информацию о метаболической активности органов и тканей. Согласно рекомендациям ACR/EULAR, применение ПЭТ в совокупности с данными структурной визуализации обосновано в качестве метода оценки активности воспаления, а также у пациентов с атипичными клиническими проявлениями. Рекомендовано использование совмещенных с КТ установок, радиофармпрепарат (РФП) выбора — ^{18}F -ФДГ [8, 30].

Диагностическая ценность. Метаанализ L. Вагга и соавт. (2018) показал, что объединенная чувствительность и специфичность ПЭТ-КТ для оценки активности заболевания по сравнению с клинической оценкой составляют 81% и 74% соответственно [10]. Более поздние исследования демонстрируют, что ПЭТ-КТ способна хорошо дифференцировать активное воспаление и клиническую ремиссию: в обзоре T. Katakura и соавт. (2025) обобщены данные, где чувствительность метода для выявления активности заболевания при использовании визуальных и полуколичественных критериев достигает 87%, а специфичность — 75% [31].

Практический протокол. Подготовка к исследованию включает: голод не менее 6 часов, контроль уровня глюкозы перед введением РФП (предпочтительно менее 7 ммоль/л), по возможности выполнение исследования до начала или в ранние сроки после начала терапии; у детей — строгий учет массы тела при расчете дозы. Интервал между инфузией РФП и получением изображения должен быть не менее 60 мин, предпочтительно 90–120 мин. Зона сканирования: от основания черепа до колен, с обязательным включением всей аорты и магист-

ральных ветвей (подключичные, сонные, почечные, подвздошные артерии). При необходимости протокол расширяют с захватом всех верхних/нижних конечностей [31, 32].

Лучевые паттерны. ПЭТ-КТ выявляет линейное или сегментарное повышенное накопление ^{18}F -ФДГ по ходу аорты и ее крупных ветвей, соответствующее воспалительным изменениям стенки в активной фазе. Типично протяженное, относительно равномерное утолщение стенки аорты с интенсивностью накопления выше активности печени, с вовлечением аорты, сонных, почечных и подвздошных артерий [30, 31]. В рутинной практике применяют визуальную градацию интенсивности накопления (по отношению к печени/кровяному пулу), максимальное стандартное значение поглощения (SUVmax) и интегральную оценку сосудистой активности по данным ПЭТ (PETVAS). В исследовании Z.-H. Luo и соавт. (2024) определены пороговые значения показателей SUVmax и PETVAS сосудистой стенки у пациентов с активным воспалением ($6,3 \pm 2,7$ и $22,7 \pm 11,2$ соответственно) и у пациентов в ремиссии ($1,7 \pm 0,9$ и $3,5 \pm 5,5$ соответственно), и показано, что эти параметры коррелируют с клиническими шкалами активности. Авторы приходят к выводу о 100% чувствительности и специфичности пороговых значений SUVmax и PETVAS в оценке активности заболевания [32].

Признаки НАТ по данным ПЭТ-КТ представлены на рис. 7.

Ограничения. Несмотря на высокую чувствительность к активному воспалению, ПЭТ-КТ имеет ряд важных ограничений. Повышенное накопление ^{18}F -ФДГ в сосудистой стенке может наблюдаться при атеросклерозе, инфекционных и неопластических процессах, а также при репаративном фиброзе; это особенно актуально при обследовании пациентов старшего возраста. Также отмечено, что ^{18}F -ФДГ-позитивные участки могут не совпадать по протяженности с зонами стенозов и аневризм на МРТ и КТ [31]. Отмечается ограниченная пространственная разрешающая способность в отношении мелких ветвей и периферических сосудов, а также вариабельность полуколичественных показателей между сканерами различных производителей, требующая дальнейшей стандартизации протоколов и пороговых значений (SUV, PETVAS). При этом ПЭТ-КТ остается малодоступной и сопряженной с высокой дозовой нагрузкой процедурой, что ограничивает ее применение в педиатрии и в качестве метода динамического наблюдения.

Цифровая субтракционная ангиография. Аналоговая, а затем цифровая субтракционная ангиография, имея чувствительность и специфичность порядка 100%, долгое время оставалась «золотым стандартом» для оценки сосудистых изменений при НАТ и легла в основу ангиографических классификаций, наиболее известная из которых

Numano, применяемая и по сей день [6]. Классические работы описывали применение ЦСА для визуализации артериальных стенозов и окклюзий, оценки коллатерального кровообращения и визуализации аневризм [33, 34].

ный, у части пациентов — лучевой), обзорную аортографию (дуга аорты и ветви, затем грудная и брюшная аорта) с переходом к селективной катеризации пораженных бассейнов (сонные, позвоночные, подключичные, почечные, чревный ствол,

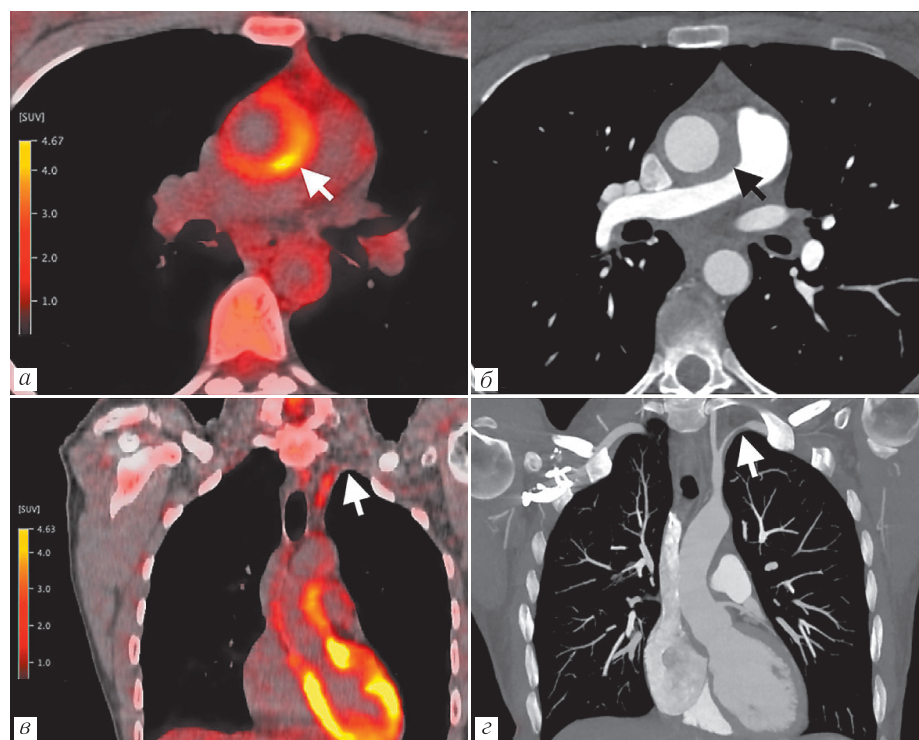


Рис. 7. ^{18}F -ФДГ ПЭТ-КТ и КТА 35-летней пациентки с длительным анамнезом НАТ: *а* — ПЭТ-КТ, аксиальный срез на уровне нисходящей аорты; *б* — КТА, венозная фаза, аксиальный срез на том же уровне; *в* — ПЭТ-КТ, корональный срез на уровне подключичных артерий; *г* — КТА, венозная фаза, аксиальный срез на том же уровне. Отмечается интенсивное поглощение РФП стенкой аорты (*а*, стрелка), соответствующее полуциркулярному утолщению стенки на КТ (*б*, стрелка), что свидетельствует об активности воспаления. При этом корональное изображение ПЭТ-КТ демонстрирует незначительное поглощение РФП левой подключичной артерией (*в*, стрелка), что соответствует значительному утолщению стенки и сужению просвета сосуда (*г*, стрелка) — признакам длительно текущего воспалительного процесса [11]

Fig. 7. ^{18}F -FDG PET-CT and CTA of a 35-year-old female patient with a long history of NTA: *a* — PET-CT, axial section at the level of the descending aorta; *b* — CTA, venous phase, axial section at the same level; *c* — PET-CT, coronal section at the level of the subclavian arteries; *d* — CTA, venous phase, axial section at the same level. There is intense radiopharmaceutical uptake by the aortic wall (*a*, arrow), corresponding to the semicircular wall thickening on CT (*b*, arrow), indicating active inflammation. At the same time, the coronal PET-CT image demonstrates insignificant radiopharmaceutical uptake by the left subclavian artery (*c*, arrow), which corresponds to significant wall thickening and narrowing of the vessel lumen (*d*, arrow) — signs of a long-term inflammatory process [11]

Согласно консенсусу ACR/EULAR, ЦСА не является методом выбора и не входит в методы первой линии диагностики, а рассматривается как резервный, инвазивный инструмент для решения ограниченного числа клинических задач: проведение эндоваскулярной реваскуляризации (баллонная ангиопластика или стентирование аорты, почечных, висцеральных, сонных, подключичных и подвздошных артерий), измерение градиентов давления при критических стенозах, когда данные КТА/МРА и клиническая картина расходятся, или в редких ситуациях, когда данных неинвазивной визуализации недостаточно (например, при сочетании НАТ с другими артериопатиями) [8].

Практический протокол. Типичный протокол ЦСА включает артериальный доступ (чаще бедрен-

верхняя и нижняя брыжеечные, общие и внутренние подвздошные артерии, при необходимости — легочная артерия). Производится выполнение серий с цифровой субтракцией в нескольких стандартных проекциях, с ограничением числа серий, объема контраста и экспозиции. При интервенционных вмешательствах также выполняется проведение внутрисосудистой манометрии для оценки градиента давления до и после дилатации, документирование результата [33, 34]. В педиатрической практике подчеркивается необходимость строгого отбора пациентов на ЦСА, применения низкодозовых протоколов, тщательного мониторинга контрастной нагрузки и обязательного наличия опыта у команды хирургов, работающей с детским НАТ [35].

Таблица

Table

Сравнительная характеристика методов диагностики болезни Такаюсу и показаний к их применению

Comparative characteristics of diagnostic methods for Takayasu's disease and indications for use

Метод	Преимущества	Ограничения	Диагностические паттерны	Показания к применению
МРТ/МРА	Хорошая визуализация просвета артерий. Возможность оценки сосудистой стенки (толщина, наличие отека, накопление парамагнетика). Высокая чувствительность в оценке воспаления. Отсутствие лучевой нагрузки	Не позволяет визуализировать мелкие сосуды. Тенденция к переоценке степени стеноза. Относительно высокая стоимость исследования	Циркулярное утолщение стенок аорты/магистральных артерий. Отек стенки на T2-ВИ. Ограничение диффузии стенкой при активном воспалении. Контрастное усиление на T1-ВИ. Изменение просвета сосуда (стенозы/окклюзии/аневризмы)	Предпочтительная стартовая модальность
КТ/КТА, ДЭКТ	Наилучшее пространственное разрешение. Хорошая визуализация просвета артерий. Возможность оценки сосудистой стенки (толщина, структура)	Неоднозначные данные относительно оценки активности заболевания. Высокая лучевая нагрузка. Высокое дозировки контрастного препарата	Циркулярное утолщение стенок аорты/магистральных артерий. Контрастное усиление на венозную фазу. Знак «двойного кольца» в венозную фазу. Кальцинаты в стенке. Изменение просвета сосуда (стенозы/окклюзии/аневризмы)	Равноценная альтернатива МРТ/МРА. Предоперационное планирование. ДЭКТ расширяет возможности традиционной КТ
УЗИ/ДС, КУ-УЗИ	Превосходная визуализация сосудистой стенки и просвета сосуда. Отсутствие лучевой нагрузки. Неинвазивность. Относительно низкая стоимость исследования	Оператор-зависимый метод. Неудовлетворительная визуализация аорты и проксимальных отделов ее ветвей. Низкая чувствительность в оценке воспаления	Однородное циркулярное утолщение стенок, с ровным внутренним контуром — «pachagopi sign». Изменение просвета сосуда (стенозы, окклюзии, аневризмы). Повышение пиковых систолических скоростей, постстенотическая турбулентность, изменение спектра кровотока. Контрастирование сосудистой стенки при КУ-УЗИ	Альтернативный метод первичной диагностики при вовлечении в процесс брахиоцефальных, подключичных, почечных артерий. Ведущий инструмент долгосрочного мониторинга. КУ-УЗИ расширяет возможности метода
ПЭТ-КТ с ¹⁸ F-ФДГ	Превосходная чувствительность в оценке активности воспаления.	Высокая лучевая нагрузка. Относительно высокая стоимость исследования. Низкая доступность	Линейное или сегментарное повышение накопления ¹⁸ F-ФДГ выше пороговых значений (SUV, PETVAS) по ходу аорты и ее крупных ветвей, соответствующее воспалению стенки	Дополнительный метод диагностики. Прямая оценка активности заболевания
ЦСА	Превосходная визуализация просвета артерий. Исследование в режиме реального времени. Возможно одномоментное проведение терапевтического вмешательства	Инвазивность. Высокая лучевая нагрузка. Высокие дозировки контрастного препарата. Низкая чувствительность в оценке ранних изменений сосудистой стенки и оценке активности заболевания	Изменение просвета сосуда (стенозы, окклюзии, аневризмы, постстенотические дилатации, неровность контуров). Редукция калибра дистального русла, развитые коллатеральные сети	Не рекомендована в качестве метода рутинной диагностики. Навигационный инструмент при эндоваскулярных вмешательствах

Лучевые паттерны. На ЦСА выявляются типичные для НАТ морфологические изменения просвета магистральных артерий: протяженные, нередко многоуровневые стенозы и окклюзии аорты и ее крупных ветвей; постстенотические дилатации и сегментарные или веретенообразные аневризмы; неровность контуров, уменьшение редукция калибра дистального русла; развитые коллатеральные сети; при вовлечении легочных артерий — сегментарные и субсегментарные стенозы/окклюзии с соответствующей редукцией периферического сосудистого рисунка [33, 34].

Ограничения. ЦСА является инвазивной процедурой, требующей седации или общей анестезии у детей, сопряжена с высокой лучевой и контрастной нагрузкой, несет риски сосудистых осложнений (диссекция, тромбоз в месте пункции, эмболия), особенно у детей и у пациентов с уже измененной сосудистой стенкой. Помимо этого, метод практически не дает информации о состоянии стенки сосуда и периартериальных структур, демонстрируя только просвет сосуда, поэтому ранняя престенотическая стадии НАТ с утолщением и отеком стенки может не визуализироваться при ЦСА. Помимо этого, метод не позволяет надежно дифференцировать активное воспаление стенки от фиброзно-рубцового ремоделирования [36].

На основании вышеизложенного в таблице представлена сравнительная характеристика методов диагностики НАТ и показаний к их применению в соответствии с актуальными рекомендациями ACR/EULAR-2022.

Следует отметить, что с практической точки зрения выбор стартовой модальности диагностики и мониторинга заболевания зачастую определяется клинической задачей и доступностью методики в конкретном учреждении.

Выводы. Неспецифический аортоартериит Такаясу — хронический аутоиммунный васкулит

с тяжелыми системными осложнениями. Специфических лабораторных маркеров заболевания не существует, его проявления на ранней стадии неспецифичны или практически отсутствуют.

Современные методы визуализации играют ключевую роль в диагностике и мониторинге лечения болезни Такаясу.

Согласно современным рекомендациям, методом первой линии диагностики является МРТ/МРА. Равноценной альтернативой служит КТ/КТА, имеющая преимущества на поздней стадии заболевания и при предоперационном планировании. УЗИ служит альтернативным методом первичной диагностики при вовлечении брахиоцефальных артерий и висцеральных ветвей аорты, а также ведущим инструментом долгосрочного мониторинга. Применение новых методик, таких как ДЭКТ и КУ-УЗИ, расширяет возможности методов.

Стандартизация критериев активности заболевания по данным методов структурной визуализации остается предметом исследований. ПЭТ-КТ позволяет производить прямую оценку активности болезни Такаясу.

ЦСА в настоящее время не рекомендована в качестве метода рутинной диагностики, может применяться в качестве навигационного инструмента при эндоваскулярных вмешательствах.

Заключение. Использование каждого из описанных в настоящем обзоре методов в соответствии с решаемой клинической задачей вносит значимый вклад в комплексную диагностику заболевания, что позволяет выработать оптимальную тактику лечения, направленную на снижение рисков осложнений и улучшение качества жизни пациентов.

Разработка и внедрение новых перспективных методик визуализации, их клиническая апробация говорят о неугасающем интересе к проблеме диагностики и лечения болезни Такаясу.

Сведения об авторах:

Постаногов Роман Анатольевич — ассистент кафедры современных методов диагностики и радиолучевой терапии имени профессора С. А. Рейнберга федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 194100, Санкт-Петербург, Литовская ул., д. 2; врач-рентгенолог рентгеновского отделения Санкт-Петербургского государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Городская больница Святой преподобномученицы Елизаветы»; 195257, Санкт-Петербург, ул. Вавиловых, д. 14, лит. А; e-mail: r.a.postanogov@yandex.ru; ORCID 0000-0002-0523-9411;

Марченко Наталья Викторовна — доктор медицинских наук, доцент кафедры лучевой диагностики Медицинского института федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»; 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9; e-mail: gmv2006@mail.ru; ORCID 0000-0002-2684-9980;

Малеков Дамир Асиятович — врач-рентгенолог, заведующий отделением функциональных и лучевых методов диагностики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 194100, Санкт-Петербург, Литовская ул., д. 2; e-mail: d.a.malekov@gmail.com; ORCID 0000-0002-1358-4725;

Виниченко Софья Владимировна — ординатор федерального государственного бюджетного учреждения «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 191036, Санкт-Петербург, Лиговский пр., д. 2–4; e-mail: sonya462001@mail.ru; ORCID 0009-0000-8032-458X;

Кудрявцева Екатерина Владимировна — ординатор частного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский медико-социальный институт»; 195271, Санкт-Петербург, Кондратьевский пр., д. 72, лит. А; e-mail: kate.kudryavceva@mail.ru; ORCID 0009-0007-1026-0737.

Information about the authors:

Roman A. Postanogov — Assistant, Department of Modern Diagnostic Methods and Radiotherapy named after Professor S.A. Reinberg, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «St. Petersburg State Pediatric Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation; 194100, St. Petersburg, Litovskaya St., 2; Radiologist, X-ray Department, St. Petersburg State Budgetary Healthcare Institution «Elizavetinskaya City Hospital», 195257, St. Petersburg, Vavilovskaya St., 14, litera A; e-mail: r.a.postanogov@yandex.ru; ORCID 0000-0002-0523-9411;

Natalya V. Marchenko — Dr. of Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Radiation Diagnostics, Medical Institute of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education, St. Petersburg State University; 199034, St. Petersburg, Universitetskaya Embankment, 7–9; e-mail: gmv2006@mail.ru; ORCID 0000-0002-2684-9980;

Damir A. Malekov — Radiologist, Head of the Department of Functional and Radiation Diagnostic Methods, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education, St. Petersburg State Pediatric Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation; 194100, St. Petersburg, Litovskaya St., 2; e-mail: d.a.malekov@gmail.com; ORCID 0000-0002-1358-4725;

Sofia V. Vinichenko — Resident, Federal State Budgetary Institution «St. Petersburg Research Institute of Phthisiopulmonology» of the Ministry of Health of the Russian Federation; 191036, St. Petersburg, Ligovsky Prospekt, 2–4; e-mail: sonya462001@mail.ru; ORCID 0009-0000-8032-458X;

Ekaterina V. Kudryavtseva — Resident, Private Educational Institution of Higher Education «St. Petersburg Medical and Social Institute»; 195271, St. Petersburg, Kondratyevsky Prospekt, 72, lit. A; e-mail: kate.kudryavtseva@mail.ru; ORCID 0009-0007-1026-0737.

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 — *Р.А. Постаногов, Н.В. Марченко*; сбор и анализ данных — *Д.А. Малеков*; подготовка рукописи — *Р.А. Постаногов, Е.В. Кудрявцева, С.В. Виниченко*.

Author's 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: *RAP, NVM* aided in the concept and plan of the study; *DAM* provided collection and analysis of data; *RAP, EVK, SVV* preparation of the manuscript.

Потенциальный конфликт интересов: авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов, который необходимо обнародовать.

Disclosure: the authors confirm that there is no conflict of interest that needs to be made public.

Поступила/Received: 20.01.2025

Принята к печати/Accepted: 29.05.2026

Опубликована/Published: 29.06.2026

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Briggs J.A., McAdoo S.P. Systemic vasculitides: an overview // *Medicine*. 2024. Vol. 52, No. 12. P. 746–753. doi: 10.1016/j.mpmed.2024.09.002.
- Joseph G., George P.V., Pati P.K., Chandy S.T. Takayasu arteritis: JACC Focus Seminar // *J. Am. Coll. Cardiol.* 2023. Vol. 81, No. 5. P. 499–517. doi: 10.1016/j.jacc.2022.09.051.
- Bhandari S., Butt S.R.R., Ishaq A. et al. Pathophysiology, diagnosis, and management of Takayasu arteritis: a review of current advances // *Cureus*. 2023. Vol. 15, No. 7, e42667. doi: 10.7759/cureus.42667.
- Popescu I., Pintican R., Cocarla L. et al. Imaging in large vessel vasculitis — a narrative review // *J. Clin. Med.* 2024. Vol. 13, No. 21, 6364. doi: 10.3390/jcm13216364.
- Rathore U., Chandwar K., Singh K., Misra D.P. Pediatric-onset Takayasu arteritis is associated with greater risk of mortality than adult-onset Takayasu arteritis: a systematic review with meta-analysis of observational cohort studies // *Semin. Arthritis Rheum.* 2024. Vol. 65. P. 152355. doi: 10.1016/j.semarthrit.2023.152355.
- Numano F., Kobayashi Y. Takayasu arteritis — beyond pulselessness // *Intern. Med.* 1999. Vol. 38, No. 3. P. 226–232. doi: 10.2169/internalmedicine.38.226.
- Grayson P.C., Ponte C., Suppiah R. et al. 2022 ACR/EULAR classification criteria for Takayasu arteritis // *Arthritis Rheumatol.* 2022. Vol. 74, No. 11. P. 1791–1799. doi: 10.1002/art.42324.
- Dejaco C., Ramiro S., Bond M. et al. EULAR recommendations for the use of imaging in large vessel vasculitis (2023 update) // *Ann. Rheum. Dis.* 2024. Vol. 83, No. 6. P. 741–751. doi: 10.1136/ard-2023-224543.
- Ghorishi A., Alayon A., Ghaddar T., Kandah M., Amundson P.K. MR and CT angiography in the diagnosis of vasculitides // *BJR Open*. 2023. Vol. 5, No. 1. 20220020. doi: 10.1259/bjro.20220020.
- Barra L., Kanji T., Malette J., Pagnoux C. Imaging modalities for the diagnosis and disease activity assessment of Takayasu's arteritis: a systematic review and meta-analysis // *Autoimmun. Rev.* 2018. Vol. 17, No. 2. P. 175–187. doi: 10.1016/j.autrev.2017.11.021.
- Aghayev A., Weber B., Lins de Carvalho T. et al. Multimodality imaging to assess diagnosis and evaluate complications of large vessel arteritis // *J. Nucl. Cardiol.* 2024. Vol. 37. P. 101864. doi: 10.1016/j.nuclcard.2024.101864.
- Oura K., Yamaguchi-Oura M., Itabashi R., Maeda T. Vascular imaging techniques to diagnose and monitor patients with Takayasu arteritis: a review of the literature // *Diagnostics (Basel)*. 2021. Vol. 11, No. 11. P. 1993. doi: 10.3390/diagnostics11111993.
- Kono M., Shimizu Y. Vessel wall magnetic resonance imaging of Takayasu arteritis // *Circ. Rep.* 2021. Vol. 3, No. 6. P. 354–355. doi: 10.1253/circrep.CR-21-0023.
- Guo X., Liu M., Ma Z. et al. Delayed contrast-enhanced magnetic resonance imaging enables detection of pulmonary artery lesions in Takayasu's arteritis // *Quant. Imaging Med. Surg.* 2023. Vol. 13, No. 1. P. 145–159. doi: 10.21037/qims-22-130.
- Kuroiwa Y., Tai H., Yamashita A. et al. High signal intensity in arterial walls on diffusion-weighted magnetic resonance imaging in the active phase of Takayasu arteritis // *Circ. J.* 2017. Vol. 81, No. 11. P. 1747–1748. doi: 10.1253/circj.CJ-17-0079.

16. Spira D., Xenitidis T., Henes J., Horger M. MRI parametric monitoring of biological therapies in primary large vessel vasculitides: a pilot study // *Br. J. Radiol.* 2016. Vol. 89. P. 20150892. doi: 10.1259/bjr.20150892.
17. Kim S.Y., Park J.H., Chung J.W. et al. Follow-up CT evaluation of the mural changes in active Takayasu arteritis // *Korean J. Radiol.* 2007. Vol. 8, No. 4. P. 286–294. doi: 10.3348/kjr.2007.8.4.286.
18. Chen B., Wang X., Yin W. et al. Assessment of disease activity in Takayasu arteritis: a quantitative study with computed tomography angiography // *Int. J. Cardiol.* 2019. Vol. 289. P. 144–149. doi: 10.1016/j.ijcard.2019.04.086.
19. Tatsugami F., Higaki T., Nakamura Y. et al. Dual-energy CT: minimal essentials for radiologists // *Jpn. J. Radiol.* 2022. Vol. 40, No. 6. P. 547–559. doi: 10.1007/s11604-021-01233-2.
20. Vlahos I., Chung R., Nair A., Morgan R. Dual-energy CT: vascular applications // *AJR Am. J. Roentgenol.* 2012. Vol. 199, No. 5 (Suppl.). P. S87–S97. doi: 10.2214/AJR.12.9114.
21. Chen L., Pan N., Hu B. et al. Monoenergetic reconstructions and iodine density maps for visualization of coronary artery stents using 8-cm dual-layer detector spectral computed tomography: an in vitro phantom study // *Quant. Imaging Med. Surg.* 2024. Vol. 14, No. 10. P. 7671–7683. doi: 10.21037/qims-24-786.
22. Chen W., Li R., Yin K. et al. Clinical feasibility of using effective atomic number maps derived from non-contrast spectral computed tomography to identify non-calcified atherosclerotic plaques: a preliminary study // *Quant. Imaging Med. Surg.* 2022. Vol. 12, No. 4. P. 2280–2287. doi: 10.21037/qims-21-643.
23. Wang A., Li W., Huang W. et al. Dual-layer spectral computed tomography aortography using a seventy-five-percent-reduced iodine dose protocol and multiparameter spectral imaging: comparison with conventional computed tomography imaging // *Quant. Imaging Med. Surg.* 2023. Vol. 13, No. 10. P. 6456–6467. doi: 10.21037/qims-23-101.
24. Harsaker V., Jensen K., Andersen H.K. et al. Quantitative benchmarking of iodine imaging for two CT spectral imaging technologies: a phantom study // *Eur. Radiol. Exp.* 2021. Vol. 5, No. 1, 24. doi: 10.1186/s41747-021-00224-2.
25. Tomelleri A., Dejaco C., Schmidt W.A. et al. Definitions of elementary ultrasound lesions in Takayasu arteritis: a study from the OMERACT Ultrasound Working Group // *RMD Open.* 2025. Vol. 11, No. 2, e005738. doi: 10.1136/rmdopen-2025-005738.
26. Dong Y., Wang Y., Wang Y. et al. Ultrasonography and contrast-enhanced ultrasound for activity assessment in 115 patients with carotid involvement of Takayasu arteritis // *Mod. Rheumatol.* 2023. Vol. 33, No. 5. P. 1007–1015. doi: 10.1093/mr/roac107.
27. Li Z., Zheng Z., Ding J. et al. Contrast-enhanced ultrasonography for monitoring arterial inflammation in Takayasu arteritis // *J. Rheumatol.* 2019. Vol. 46, No. 6. P. 616–622. doi: 10.3899/jrheum.180701.
28. Sato W., Sato T., Iino T., Seki K., Watanabe H. Visualization of arterial wall vascularization using superb microvascular imaging in active-stage Takayasu arteritis // *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2019. Vol. 20, No. 7. P. 719. doi: 10.1093/ehjci/jez285.
29. Liu F.J., Ci W.P., Cheng Y. Clinical study of carotid superb microvascular imaging in evaluating the activity of Takayasu's arteritis // *Front. Cardiovasc. Med.* 2023. Vol. 10. P. 1051862. doi: 10.3389/fcvm.2023.1051862.
30. Van der Geest K.S.M., Treglia G., Glaudemans A.W.J.M. et al. Diagnostic value of [¹⁸F]FDG-PET/CT for treatment monitoring in large vessel vasculitis: a systematic review and meta-analysis // *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging.* 2021. Vol. 48, No. 12. P. 3886–3902. doi: 10.1007/s00259-021-05362-8.
31. Katakura T., Shirai T. Positron emission tomography in Takayasu arteritis: a review including patterns of vascular involvement across modalities and regions // *J. Clin. Med.* 2025. Vol. 14, No. 9, 2939. doi: 10.3390/jcm14092939.
32. Luo Z.-H., Qi W.-L., Jin A.-F., Zeng Q.-Y. Benefits and challenges of ¹⁸F-FDG PET/CT in patients with Takayasu arteritis // *Clin. Radiol.* 2024. Vol. 79, No. 6. P. 428–435. doi: 10.1016/j.crad.2024.01.020.
33. Matsunaga N., Hayashi K., Aikawa H. et al. Digital subtraction angiography in Takayasu arteritis // *Acta Radiol.* 1987. Vol. 28, No. 3. P. 247–252. doi: 10.3109/02841858709177343.
34. Sharma S., Aggarwal S., Talwar K.K., Rajani M. Intravenous digital subtraction angiography in non-specific aorto-arteritis (Takayasu's disease) // *Br. J. Radiol.* 1989. Vol. 62, No. 734. P. 117–120. doi: 10.1259/0007-1285-62-734-117.
35. Aeschlimann F.A., Yeung R.S.M., Laxer R.M. An update on childhood-onset Takayasu arteritis // *Front. Pediatr.* 2022. Vol. 10, 872313. doi: 10.3389/fped.2022.872313.
36. Datta D., Dakshit D., Hansda S. The many faces of Takayasu arteritis with digital subtraction angiography — a case series // *IOSR J. Dent. Med. Sci.* 2021. Vol. 20, No. 12 (Ser. 7). P. 1–7. doi: 10.9790/0853-2012070107.