

Ю.А. Васильев, Д.С. Конторович, Р.В. Решетников, И.А. Блохин, Д.С. Семенов

ВЫБОР МЕТОДА ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ ПРИ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЯХ ГОЛОВЫ И ШЕИ У ПАЦИЕНТОВ С ДЕНТАЛЬНЫМИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЯМИ: ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

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

Контактное лицо: Дарья Сергеевна Конторович, e-mail: KontorovichDS@zdrav.mos.ru

РЕФЕРАТ

Цель: Систематизировать данные о возможностях визуализации злокачественных новообразований (ЗНО) области головы и шеи (ОГШ) у пациентов с дентальными металлоконструкциями с помощью методов лучевой диагностики и выбрать наиболее информативный.

Материал и методы: Проведен поиск научных публикаций в информационно-аналитической системе PubMed до 2024 г. включительно по ключевым словам: *metal artifact*, *head and neck neoplasms*, *oropharyngeal cancer*. В общей сложности было проанализировано 26 статей. При выборе локализации образований критериями исключения являлись возможности применения метода и вероятное наличие металлоконструкций в зоне сканирования. Выбор локализации осуществлялся исходя из данных о среднем возрасте пациентов с впервые выявленными образованиями головы и шеи и распространенности преимущественно на анатомические зоны, наиболее подверженные артефактам от стоматологических металлоконструкций: область носоглотки, языка, мягких тканей дна полости рта.

Результаты: Изучение материалов позволило систематизировать современные данные о возможностях лучевой диагностики при визуализации опухолей головы и шеи у пациентов с металлоконструкциями в ротовой полости и сделать вывод о том, что методами выбора при данной патологии являются ПЭТ/КТ и МРТ с контрастным усилением (КУ), их численные показатели при обнаружении опухоли составляют 89 % для ПЭТ/КТ и 84 % для МРТ с КУ соответственно. При невозможности использования вышеуказанных методов стоит провести дообследование с помощью дополнительных методов: SCT plus SII, MAR*, двухэнергетическая КТ (ДЭКТ).

Заключение: В данном обзоре проведен сравнительный анализ методов лучевой диагностики, которые используются для подавления влияния металлических артефактов у пациентов с ЗНО ОГШ и указаны наиболее предпочтительные при выборе метода диагностики. Таким образом, грамотный выбор и последовательное применение различных методов лучевой диагностики с учетом их возможностей и ограничений является ключевым фактором для точной предоперационной оценки образований ОГШ при наличии артефактов от дентальных конструкций у пациентов.

Ключевые слова: *рак головы и шеи, дентальные металлоконструкции, КТ, МРТ, ПЭТ/КТ, артефакты изображений*

Для цитирования: Васильев Ю.А., Конторович Д.С., Решетников Р.В., Блохин И.А., Семенов Д.С. Выбор метода лучевой диагностики при злокачественных новообразованиях головы и шеи у пациентов с дентальными металлоконструкциями: литературный обзор // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2025. Т. 70. № 1. С. 74–80. DOI:10.33266/1024-6177-2025-70-1-74-80

Y.A. Vasilev, D.S. Kontorovich, R.V. Reshetnikov, I.A. Blokhin, D.S. Semenov

Priority Imaging Technique in Patients with Head and Neck Cancer and Dental Hardware: a Literature Review

Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russia

Contact person: D.S. Kontorovich, e-mail: KontorovichDS@zdrav.mos.ru

ABSTRACT

Purpose: To systematize the data on the possibilities of head and neck cancer visualization in patients with dental metal constructions using radial diagnostic methods and to choose the most informative one.

Material and methods: We searched for scientific publications in the information and analytical system PubMed up to 2024 inclusive by keywords: *metal artifact*, *head and neck neoplasms*, *oropharyngeal cancer*. A total of 26 articles were analyzed. When choosing the localization of masses, the exclusion criteria were the possibility of using the method and the probable presence of metal structures in the scanning area. The choice of localization was based on the data on the average age of patients with first-diagnosed head and neck neoplasms and extended mainly to the anatomical areas that are most susceptible to artifacts from dental metal structures: the nasopharynx, tongue, and soft tissues of the floor of the mouth.

Results: Studying of the materials allowed to systematize modern data on the possibilities of radial diagnostics in visualization of head and neck tumors in patients with metal structures in the oral cavity and to conclude that the methods of choice in this pathology are PET-CT and MRI with CT, their numerical indices in tumor detection are 89 % for PET-CT and 84% for MRI with CT, respectively. If it is impossible to perform the above methods, it is worth to perform additional examination with the help of additional methods: SCT plus SII, MAR*, dual-energy CT (DECT).

Conclusion: We have performed a comparative analysis in this review of the methods of radial diagnostics that are used to suppress metallic artifacts in patients with TNF OGSS and the most preferable ones are indicated when choosing a scanning method. Thus, the competent choice and consistent application of various methods of radial diagnostics taking into account their capabilities and limitations is a key factor for accurate preoperative assessment of head and neck masses in the presence of artifacts from dental structures in patients.

Keywords: head and neck cancer; dental hardware; CT, MRI, PET/CT, image artifacts

For citation: Vasilev YA, Kontorovich DS, Reshetnikov RV, Blokhin IA, Semenov DS. Priority Imaging Technique in Patients with Head and Neck Cancer and Dental Hardware: a Literature Review. Medical Radiology and Radiation Safety. 2025;70(1):74–80. (In Russian). DOI:10.33266/1024-6177-2025-70-1-74-80

Введение

Рак органов головы и шеи (ОГШ) является актуальной медико-социальной проблемой, ежегодно в мире регистрируется около 800 тыс. впервые выявленных случаев заболевания, в то время как в Российской Федерации – свыше 20 тыс. случаев [1, 2]. Средний возраст больных со впервые установленным диагнозом злокачественного новообразования (ЗНО) данной локализации составляет от 59 до 64 лет, в зависимости от органа [2].

На первом этапе постановки диагноза данные физического осмотра совместно с эндоскопической картиной дают представление о распространенности опухоли в пределах слизистой оболочки. В свою очередь, лучевые методы, такие как компьютерная и магнитно-резонансная томография с контрастным усилением (КУ), являются ведущими при оценке распространения опухоли в окружающие ткани: окологлоточное, жевательное, ретрофарингеальное, каротидное пространства, а также позволяют оценить наличие метастатических лимфатических узлов шеи – одного из наиболее важных факторов, влияющих на подходы к лечению и терапевтические результаты [3, 4]. Детальный анализ полученных изображений напрямую влияет на выбор методов лечения: химиотерапия, лучевая терапия, хирургическое лечение или применение их в комбинации на разных этапах [5].

По данным литературы, более 30 % населения в возрасте старше 60 лет страдают от полной или частичной адентии, и учитывая возраст пациента на момент установления диагноза ЗНО ОГШ, у части из них имеются дентальные металлоконструкции: зубные имплантаты, коронки, мосты, пломбы [2, 6]. Их наличие снижает качество изображения ввиду формирования металлических артефактов, что, в свою очередь, влияет на достоверность описания, и, как следствие – диагностическую ценность проведенного лучевого исследования [7, 8]. В результате этого повышается необходимость проведения исследований с помощью технологий, позволяющих подавить данный вид артефактов. Одним из наиболее доступных способов улучшения изображения вокруг металлоконструкций является повышение напряжения и тока трубки, позволяющее снизить рассеяние и поглощение излучения. Однако это приводит к увеличению дозы облучения. Уменьшение размера детектора, в свою очередь, снижает суммарное регистрируемое рассеянное излучение, сводя к минимуму общие артефакты рассеяния. Аналогично, использование узкой коллимации позволяет уменьшить эффект нелинейности единицы объема и одновременно минимизировать связанные с рассеянием артефакты [9].

При использовании компьютерной томографии программные алгоритмы подавления артефактов от металлоконструкций (MAR) основываются на достройке синопграмм (т.н. метод синопграмм) и заключаются в замене искаженных металлом рентгеновских проекций интерполяцией смежных, неизмененных. Программное обеспечение MAR встречается под различными коммерческими названиями, включая SEMAR (одноэнергетический MAR, CanonMedicalSystems, Отавара, Япония), O-MAR (ортопедическая MAR, Philips Healthcare, Best, Нидерланды), SMAR и MARS (SmartMAR и MARSequence, соответственно, GEHealthcare, Милуоки, США),

а также MARIS и iMAR (MAR в пространстве изображений и итеративный MAR соответственно Siemens Healthineers, Эрланген, Германия) и др., и отличается применяемыми алгоритмами и получаемыми в результате изображениями [9, 10].

В предложенном литературном обзоре внимание будет сфокусировано на образованиях рото/носоглотки, языка, мягких тканей дна полости рта. Отличием данной статьи от ранее опубликованных обзоров является проведение сравнительного анализа всех методов, которые используются для подавления артефактов, и разработка алгоритма обследования пациента от метода наиболее информативного к наиболее доступному. Все вышеизложенное свидетельствует об актуальности темы и клинической значимости исследований с подавлением артефактов от металла.

Материал и методы

Проведен поиск научных публикаций в информационно-аналитической системе PubMed до 2024 г. включительно по ключевым словам: metal artifact, head and neck neoplasms, oropharyngeal cancer. В общей сложности было проанализировано 26 статей. При выборе локализации образований критериями исключения являлись возможности применения метода и вероятное наличие металлоконструкций в зоне сканирования. Выбор локализации осуществлялся исходя из данных о среднем возрасте пациентов с впервые выявленными образованиями головы и шеи и распространился преимущественно на анатомические зоны, наиболее подверженные артефактам от стоматологических металлоконструкций: область носо/ротоглотки, языка, мягких тканей дна полости рта. Ввиду выбранного типа исследования статистическая обработка данных не проводилась.

Результаты и обсуждение

Грамотная оценка распространённости образования зависит не только от его первичной локализации и размеров, но и от выбранного метода лучевой диагностики, учитывая возможные его ограничения, в том числе в контексте влияния металлических артефактов на качество получаемых изображений [11].

Так, Hiyama et al провели исследование, в котором оценивали эффективность применения различных методов лучевой диагностики на дооперационном этапе: SEMAR (single energy metal artifact reduction – одноэнергетическое подавление артефактов от металла), SCT plus SII (single energy metal artifact reduction with subtraction iodine image – разностная компьютерная томография с применением алгоритма снижения артефактов от металла), магнитно-резонансная томография (MPT) у пациентов с плоскоклеточным раком языка и наличием стоматологических металлоконструкций [12]. Разностные йодные изображения получали путем вычитания нативных серий из постконтрастных. В исследовании оценивали чувствительность вышеописанных методов в определении границ опухоли, размеров и глубины инвазии, что оказывало влияние на стадирование заболевания и предоперационное планирование – оценку объема резекции, а также возможности проведения хирургического лечения. Всего было обследовано

57 пациентов, средний возраст которых составлял 61,5 лет. Стоматологические металлоконструкции определялись в 48 (84 %) случаях. Все случаи, идентифицированные при SEMAR в оценке границ опухоли, были также определены при использовании SCT plus SII с улучшением результатов предыдущего метода, однако методом с наивысшей чувствительностью оказался MPT (табл. 1). Статистическая оценка выявила значимую разницу между модальностями ($p < 0,05$). Частота случаев с правильным измерением размеров опухоли существенно выше при MPT при сравнении с КТ ($p < 0,01$, табл. 1). При оценке глубины инвазии наблюдалась схожая картина, с наихудшим результатом, полученным с помощью SEMAR, и наилучшим – с помощью MPT ($p < 0,05$, табл. 1). В единичном случае оценка размеров опухоли и глубины инвазии была невозможна при MPT за счет выраженных двигательных артефактов, при этом размеры достаточно четко определялись при SEMAR и SCT plus SII, а глубина инвазии – только при SCT plus SII. Соответственно, при невозможности длительного сканирования можно использовать альтернативные методы диагностики. В то же время, в 18 случаях размеры и глубина инвазии четко определялись при MPT, при этом данные показатели были неизмеримы при использовании КТ ввиду артефактов.

Таблица 1

Сравнительная характеристика методов
Comparative characterization of the methods

Автор	Дизайн исследования	Количество пациентов	Локализация образования	Метод исследования	Результаты
Hiyama et al	Ретроспективное	57	Язык (плоскоклеточный рак языка)	SEMAR (single energy metal artifact reduction – одноэнергетическое подавление артефактов от металла) SCT plus SII (single energy metal artifact reduction with subtraction iodine image – субтракционная компьютерная томография с применением алгоритма снижения артефактов от металла) MPT с КУ – магнитно-резонансная томография с контрастным усилением	Границы опухоли (больше/лучше): SEMAR: 36,8 % (21/57) SCT plus SII: 63,2 % (35/57) MPT: 91,2 % (52/57) Размеры опухоли (больше/лучше): SEMAR: 29,8 % (17/57) SCT plus SII: 52,6 % (30/57) MPT: 80,7 % (46/57) Глубина инвазии (больше/лучше): SEMAR: 29,8 % (17/57) SCT plus SII: 57,9 % (33/57) MPT: 86,0 % (49/57)
Hirata et al	Ретроспективное	40 (у всех пациентов имелись дентальные конструкции)	Образования полости рта	КТ с КУ – компьютерная томография с контрастным усилением КТ с КУ + SEMAR (single energy metal artifact reduction – одноэнергетическое подавление артефактов от металла)	Показатели шума (меньше/лучше): КТ с КУ: $187,7 \pm 162,7$ SEMAR: $38,4 \pm 18,0$ Значение плотности опухоли и окружающих мягких тканей (меньше/лучше): $63,4 \pm 25,9$ HU и $147,1 \pm 162,5$ HU
Hong et al	Проспективное	63 (37 из них имели дентальные конструкции)	Образования полости рта (плоскоклеточный рак полости рта)	^{18}F -ФДГ ПЭТ/КТ – позитронно-эмиссионная томография, совмещенная с рентгеновской компьютерной томографией КТ с КУ – компьютерная томография с контрастным усилением MPT с КУ – магнитно-резонансная томография с контрастным усилением	Обнаружение первичной опухоли: КТ с КУ: 9/24 (38 %) MPT с КУ: 31/37 (84 %) ^{18}F -ФДГ ПЭТ/КТ: 33/37 (89 %) Стадирование (T_1) и распространенность опухоли: MPT с КУ: 23/37, 62 % (95 % ДИ 0,428–0,754) ^{18}F -ФДГ ПЭТ/КТ: 33/37, 89 % (95 % ДИ 0,686–0,939) Объем опухоли: MPT с КУ: 31/37, $6,4 \pm 9,2$ мл (95 % ДИ 0,669–0,911) ^{18}F -ФДГ ПЭТ/КТ: 33/37, $8,4 \pm 11,4$ мл (95 % ДИ 0,738–0,928) Патоморфологические данные – 37/37 $8,7 \pm 17,6$ мл
Toepker et al	Проспективное	40 пациентов (23 из них имели дентальные конструкции)	Образования полости рта (преимущественно плоскоклеточный рак полости рта)	Двухэнергетическая компьютерная томография с использованием напряжения 80 и 140 кВ	Соотношение сигнал/шум у пациентов с металлическими артефактами: 80 кВ: $47,58 \pm 20,43$ 140 кВ: $36,91 \pm 27,62$ M (mixed image): $36,57 \pm 15,24$ OC (optimum contrast): $38,44 \pm 19,66$

Основываясь на данных исследования Hiyama et al, при невозможности проведения MPT или наличии выраженных артефактов, затрудняющих интерпретацию полученных изображений, следует сделать вывод, что применение SCT plus SII повышает точность оценки вышеописанных показателей на дооперационном этапе [12]. Медианное значение визуализации границ опухоли по шкале от 1–5 составило: при SEMAR – 2, SCT plus SII – 3, MPT – 4,5 (1 – низкая визуализация, 5 – высокая визуализация) [9]. В вышеприведенном исследовании применение SEMAR продемонстрировало наихудшие показатели в оценке распространенности опухоли при необходимости подавления артефактов. Однако при отсутствии альтернативных методов не стоит пренебрегать данным видом подавления артефактов.

Hirata et al ретроспективно изучили результаты исследования 40 пациентов (15 женщин (37,5 %), средний возраст $70,7 \pm 12$ лет) с наличием стоматологических металлоконструкций различной локализации: односторонних и двусторонних [13]. Всем пациентам была проведена КТ с КУ, полученные результаты независимо оценивались двумя врачами. У 18 пациентов рак ротовой полости был гистологически подтвержден и определялся в ротоглотке, языке, мягких тканях дна полости рта, мягком небе, десне, щеке. При использовании SEMAR

показатели шума были значительно меньше, чем при использовании стандартного протокола (КТ с КУ): $38,4 \pm 18,0$ HU и $187,7 \pm 162,7$ HU соответственно. Аналогичные изменения выявлены при оценке плотности образования и окружающих мягких тканей: $63,4 \pm 25,9$ HU (SEMAR) и $147,1 \pm 162,5$ HU (КТ с КУ). Статистическая оценка выявила значимую разницу между модальностями ($p < 0,001$). Среди пациентов, у которых рак ротовой полости был гистологически подтвержден, расстояние между опухолью и артефактами в 9 случаях (50 %) было неизмеримо при КТ с КУ, и лишь в одном случае неизмеримо при SEMAR. Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что использование SEMAR улучшает визуализацию образований полости рта за счет уменьшения артефактов от дентальных конструкций, что несет клинически важную информацию [13].

Hong et al всем пациентам за 1–3 недели до операции были выполнены сканирования методами: ПЭТ/КТ, КТ и МРТ [14]. Данные независимо оценивались двумя врачами-рентгенологами и двумя врачами ядерной медицины, у которых не было доступа к результатам патоморфологического исследования. Далее полученные при лучевых методах данные сравнивались с морфологическими данными. Не отмечалось статистической разницы между МРТ и ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ в оценке обнаружения опухоли ($p = 1,0$), тогда как КТ с КУ без использования различных методов подавления артефактов существенно уступала этим двум методам ($p < 0,001$, табл. 1). У 26 пациентов с отсутствием зубных артефактов, скрывающих первичную опухоль, частота выявления первичных опухолей методом ^{18}F -ФДГ ПЭТ/КТ была сопоставима с данными при КТ или МРТ (88, 83 или 88 % соответственно, $p > 0,5$). Это еще раз доказывает, что при отсутствии артефактов для оценки распространенности опухоли этой локализации возможно применение КТ с КУ, как метода наиболее быстрого и доступного в медицинских учреждениях [3, 14].

При выявлении первичных опухолей у 6 пациентов были обнаружены ложноотрицательные результаты при МРТ, в данных случаях образование полностью не визуализировалось на фоне артефактов. Аналогичные ложноотрицательные результаты были получены у 4 пациентов при ПЭТ/КТ с опухолями малого объема (диапазон 0,06–0,7 мл) ввиду низкого пространственного разрешения. Кроме того, у пациентов без зубных артефактов не было достоверной разницы в T-стадии между ^{18}F -ФДГ ПЭТ/КТ и МРТ-изображениями ($p = 0,527$). Результаты исследования показали, что ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ обеспечивает более точную информацию о распространенности первичной опухоли и демонстрирует большую специфичность в сравнении с данными при проведении МРТ с КУ, а также для выявления вторичного поражения окружающих мягких тканей, в том числе подъязычной железы и дна полости рта.

Основываясь на проведенном анализе вышеописанных статей, при образованиях полости рта, в том числе и плоскоклеточной карциноме языка, для первичного стадирования и оценки локальной распространенности опухоли методом выбора является ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ, а при невозможности ее проведения рекомендовано выполнение МРТ с КУ (рис. 1).

Несмотря на то, что МРТ является одним из наиболее информативных методов для диагностики образований вышеуказанных локализаций, существует ряд сложностей, связанных с методикой сканирования и применением катушек, наличием абсолютных и относительных противопоказаний, а также наличием у части пациентов индивидуальных имплантируемых изделий (ИМИ) – активных и пассивных. Одним из примеров пассивного ИМИ является имплантируемая венозная порт-система у пациентов, получающих химиотерапию, как один из этапов комбинированного лечения ЗНО головы и шеи [15]. Также в эту группу входят различные эндопротезы, металлофиксаторы, стенты, катетеры.

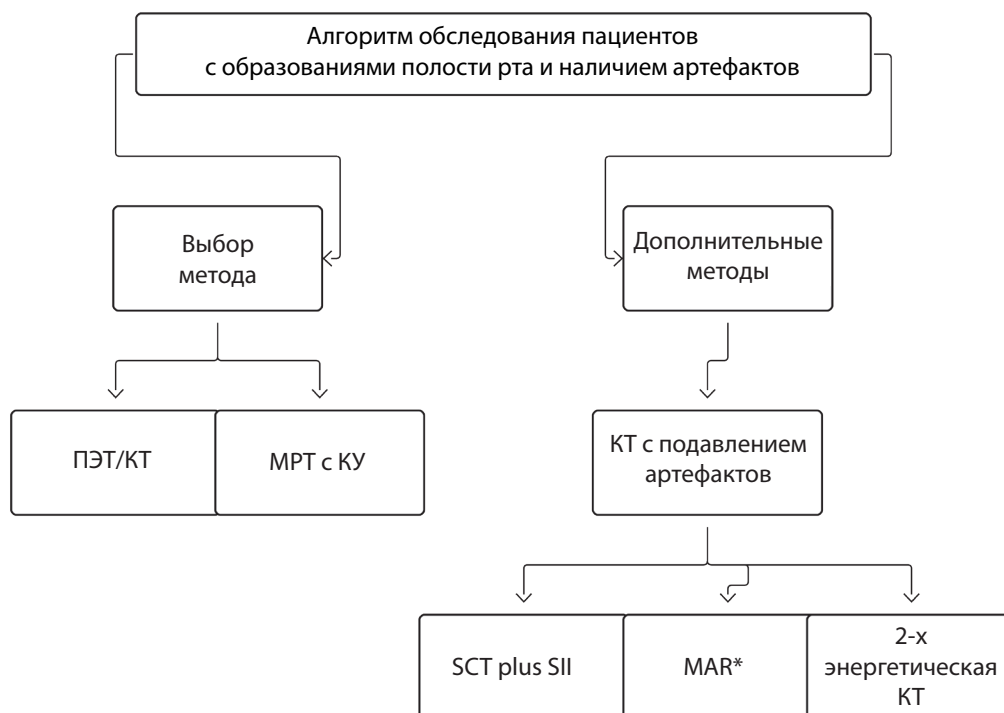


Рис. 1. Алгоритм выбора метода визуализации у пациентов с ЗНО ОГШ и металлоконструкциями в ротовой полости (методы на схеме расположены слева направо в порядке уменьшения информативности)

Fig. 1. Algorithm for selecting an imaging method in patients with head and neck cancer and metal structures in the oral cavity (the methods in the diagram are arranged from left to right in the order of decreasing informativeness)

Наибольшую опасность представляют активные ИМИ: ЭКС, ИКД, устройства для глубокой стимуляции мозга, стимуляторы блуждающего нерва. В результате взаимодействия магнитного поля с материалами, входящими в состав этих изделий, возможно появление таких нежелательных реакций, как нагрев или перемещение объекта. И несмотря на то, что МРТ является очень информативным методом в оценке ОГШ ввиду высокой контрастности мягких тканей, одним из его недостатков является наличие динамических артефактов, связанных с глотанием или движением языка ввиду длительности сканирования в сравнении с КТ [16].

Verduijn M.D. et al в своем исследовании показывают возможности оптимизации протокола сканирования у пациентов при опухоли гортани/гортаноглотки с целью планирования лучевой терапии, где выбор приемных катушек играет важнейшее значение. Авторы утверждают, что при невозможности использования специализированных катушек для головы и шеи хорошей альтернативой являются поверхностные катушки, обеспечивающие оптимальное качество изображения с достаточным охватом зоны интереса [17]. Подытоживая все вышесказанное, проведение МРТ-исследования при заболеваниях ОГШ требует грамотного и комплексного подхода, планирования сканирования и выбора различных катушек [18].

В клинических рекомендациях «Злокачественные новообразования полости рта» [19], а также клинических рекомендациях «Рак носоглотки» [20], «Рак ротоглотки» [21] всем пациентам показано выполнение КТ и/или МРТ пораженной области с внутривенным контрастированием для оценки первичной распространенности процесса. Применение ПЭТ/КТ с ^{18}F ФДГ рекомендовано пациентам только с III–IV стадиями в целях исключения отдаленных метастазов и по индивидуальным показаниям. Таким образом, клинические рекомендации не предлагают отдельных алгоритмов для пациентов с наличием металлоконструкций области интереса.

В последнее время в клиническую практику постепенно стали внедрять двухэнергетическую КТ (ДЭКТ), в том числе у пациентов с заболеваниями области ОГШ. Возможно использование сканеров как с двумя источниками энергии, так и быстрое переключение силы тока на рентгеновской трубке в момент сканирования [22]. Тоеркер et al всем пациентам в исследовании с верифицированным образованием полости рта, преимущественно плоскоклеточными карциномами по данным морфологического исследования, проводили ДЭКТ с целью стадирования заболевания с последующей постпроцессинговой обработкой данных в двух режимах реконструкции: М – mixed (смешанная контрастность представляет собой реконструкцию в пропорции 6:4 между 80 и 140 кВ, эта реконструкция рекомендована производителями томографа) и ОС – optimum contrast (изображение, реконструированное с помощью пакета Syngo Multi Modality Workplace [23]. Двухэнергетическая КТ (DECT) отличается от традиционной КТ наличием двух фотонных спектров при разных напряжениях на трубке (например, 90 и 140 кВ).

Технически такой результат достигается использованием двух рентгеновских трубок, быстрым переключением напряжения на одной или применением двухслойных детекторов. В итоге получается виртуальное монохроматическое изображение (VMI), обеспечивающее высокий уровень визуализации прилегающих к металлическому объекту тканей [24]. Разница в плотностных показателях между неизменными мягкими тканями и опухолью была более выражена при использовании напряжения 80 кВ, чем при использовании 140 кВ. Все

различия в отношении сигнал/шум между четырьмя реконструкциями изображений были статистически значимыми ($p < 0,01$). В оценке качества изображения использовалось отношение показателей сигнал/шум. Самый высокий показатель отношения сигнал/шум на изображениях был получен при использовании напряжения 80 кВ ($47,58 \pm 20,43$), и гораздо меньший показатель отношения сигнал/шум – при 140 кВ ($36,91 \pm 27,62$) (табл. 1, исследование 4). Результаты показали, что использование постпроцессорной обработки (реконструкции) показало более низкие значения шума, чем при использовании отдельных протоколов с напряжением 80 и 140 кВ. Например, при смешанной контрастности (Mixed) данные составили $36,57 \pm 15,24$, при optimum contrast (ОС) $38,44 \pm 19,66$. У 23 пациентов определялись дентальные металлоконструкции, и использование при сканировании пациентов комбинации высокого и низкого напряжения позволило уменьшить влияние артефактов [23].

В настоящее время возможно применение такого метода подавления артефактов как IMAR – итеративное подавление металлических артефактов. Он объединяет в себе два алгоритма NMAR и FSNM. Но важной особенностью применения IMAR является, а с одной стороны, подавление артефактов от металлоконструкций, а с другой стороны – возникновение артефактов, индуцированных его использованием.

Bayer et al провели исследование, в которое было включено 27 пациентов с гистологически подтвержденным раком ротовой полости и ротоглотки, наиболее частая локализация образования – язык, но неопластический процесс определялся также в небных миндалинах, корне языка, мягком небе [25]. Оценка изображений без использования IMAR показала самое низкое качество в определении границ и контрастности опухоли, что привело к невозможности ее грамотной разметки. По балльной шкале (от 1 до 5, больше – лучше), ее значения отмечались на уровне 1. При использовании IMAR определение границ опухоли и ее контрастности возросло при повышении интенсивности от IMAR1 и достигло максимальных показателей при IMAR в диапазоне 4–5 (медиана равнялась 4). К сожалению, при повышении числа итераций при реконструкции качество изображения ухудшалось ввиду усиления артефактов, индуцированных его использованием. Среднее значение составило 4 балла при использовании IMAR 2–5, хотя при IMAR 0–1 составляло 5 баллов. Все вышеописанные критерии были объединены и проанализированы в совокупности. Итак, использование IMAR в диапазоне 4–5 привело к улучшению качества изображения и визуализации опухоли и составило 4 балла, в то время как при его отсутствии показатели составили два балла ($p < 0,001$) [25].

По данным Bayer et al, эту реконструкцию лучше использовать при обнаружении опухолей небольшого размера и на ранних стадиях заболевания, где она может быть полностью скрыта артефактами, так как IMAR не только улучшает выявление образований, но и более четко определяет их границы. Последнее является важным аспектом в определении тактики лечения, в том числе хирургического этапа – планировании объема операции. Минусом применения итеративной реконструкции является возникновение иных артефактов, вызванных самим алгоритмом, и, к сожалению, эти артефакты возрастают пропорционально количеству итераций при вышеприведенной реконструкции. Но авторы статьи отмечают, что в данном исследовании «вторичные» артефакты визуализировались только на уровне зубов и не влияли на обнаружение опухоли и определение ее границ. Следует

отметить, что применение систем подавления артефактов от металлоконструкций при КТ можно оптимизировать за счет использования фантомов (тест-объектов) [26], а при МРТ – учитывать совместимость имплантируемых медицинских изделий [18, 27].

Заключение

Проведенный в данном обзоре сравнительный анализ методов лучевой диагностики, которые используются для визуализации опухолей головы и шеи у пациентов с металлоконструкциями в ротовой полости, позволил систематизировать современные данные и сделать вывод о том, что методами выбора при данной патологии являются ПЭТ/КТ и МРТ с КУ, их численные показатели при обнаружении опухоли составляют 89 % для ПЭТ/КТ и 84 % для МРТ с КУ соответственно. Однако при невозможности их проведения также могут рассматриваться альтернативные методы диагностики, которые обладают достаточно высокой информатив-

ностью, но уступают вышеприведенным: SCT plus SII, MAR*, двухэнергетическая КТ (ДЭКТ).

Так, например, компьютерная томография используется в большинстве случаев ввиду большей доступности и скорости выполнения исследования, хорошей дифференцировки мягких тканей шеи при контрастном усилении, однако при образованиях носо/ротоглотки, языка, мягких тканей дна полости рта, для оценки периневрального и интракраниального распространения опухоли предпочтительным методом является магнитно-резонансная томография с контрастированием вследствие возможности четкой визуализации распространения опухоли по невральным структурам.

Таким образом, грамотный выбор и последовательное применение различных методов лучевой диагностики с учетом их возможностей и ограничений является ключевым фактором для точной предоперационной оценки образований области головы и шеи в условиях наличия артефактов от дентальных конструкций у пациентов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Bray, F., Ferlay, J., Soerjomataram, I., Siegel, R. L., Torre, L. A., & Jemal, A. (2018). Global Cancer Statistics 2018: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. CA: A Cancer Journal for Clinicians. doi:10.3322/caac.214922.
- Злокачественные новообразования в России в 2020 году: (заболеваемость и смертность) / под редакцией А.Д. Каприна, В.В. Старинского, А.О. Шахзадовой – М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, – 2021. – 252 с.
- Sun J. et al. Computed tomography versus magnetic resonance imaging for diagnosing cervical lymph node metastasis of head and neck cancer: a systematic review and meta-analysis //OncoTargets and therapy. – 2015. – С. 1291-1313.
- Arya S., Rane P., Deshmukh A. Oral cavity squamous cell carcinoma: role of pretreatment imaging and its influence on management //Clinical radiology. – 2014. – Т. 69. – №. 9. – С. 916-930.
- Alfouzan A. F. Radiation therapy in head and neck cancer //Saudi medical journal. – 2021. – Т. 42. – №. 3. – С. 247.
- Hauck K. E. et al. Clinical and satisfaction outcomes of using one or two dental implants for mandibular overdentures: preliminary short-term follow-up of a randomized clinical trial //International Journal of Implant Dentistry. – 2021. – Т. 7. – С. 1-10.
- Kubo Y. et al. Diagnostic value of model-based iterative reconstruction combined with a metal artifact reduction algorithm during CT of the oral cavity //American Journal of Neuroradiology. – 2020. – Т. 41. – №. 11. – С. 2132-2138.
- Артефакты от металлоконструкций в магнитно-резонансной томографии: методические рекомендации / Ю.А. Васильев, Д.С. Семенов, О.Ю. Панина [и др.] // Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». – Вып. 83. – М.: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2022. – 40 с.
- Khodarahmi I. et al. Metal about the hip and artifact reduction techniques: from basic concepts to advanced imaging //Seminars in musculoskeletal radiology. – Thieme Medical Publishers, 2019. – Т. 23. – №. 03. – С. e68-e81.
- Kamila N. K. (ed.). Handbook of research on emerging perspectives in intelligent pattern recognition, analysis, and image processing. – 2015.
- Юдин А. Л., Щетинин Р. А., Афанасьева Н. И. Рак языка и дна полости рта: современные аспекты диагностики //Вестник рентгенологии и радиологии. – 2015. – №. 5. – С. 42-48.
- Hiyama T. et al. Subtraction iodine imaging with area detector CT to improve tumor delineation and measurability of tumor size and depth of invasion in tongue squamous cell carcinoma //Japanese Journal of Radiology. – 2022. – С. 1-10.
- Hirata K. et al. Added value of a single-energy projection-based metal-artifact reduction algorithm for the computed tomography evaluation of oral cavity cancers //Japanese journal of radiology. – 2015. – Т. 33. – С. 650-656.
- Hong H. R. et al. Clinical values of 18F-FDG PET/CT in oral cavity cancer with dental artifacts on CT or MRI //Journal of Surgical Oncology. – 2014. – Т. 110. – №. 6. – С. 696-701].
- Mesia R. et al. SEOM clinical guidelines for the treatment of head and neck cancer (2020) //Clinical and Translational Oncology. – 2021. – Т. 23. – С. 913-921.
- Castelijns JA. van den Brekel MW, Hermans R. Imaging of the larynx. Semin Roentgenol 2000;35:31-41
- Verduijn G. M. et al. Magnetic resonance imaging protocol optimization for delineation of gross tumor volume in hypopharyngeal and laryngeal tumors //International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics. – 2009. – Т. 74. – №. 2. – С. 630-636.
- Безопасность проведения магнитно-резонансного исследования пациентам с имплантируемыми медицинскими изделиями / К.А. Сергунова, Е.С. Ахмад, А.В. Петряйкин [и др.] // Бюллетень НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. Сердечно-сосудистые заболевания. – 2019. – Т. 20, № 4. – С. 313-323. – DOI 10.24022/1810-0694-2019-20-4-313-323.
- Каприн А. Д. Клинические рекомендации. Рак носоглотки. – 2020.
- Каприн А. Д. Клинические рекомендации. Злокачественные новообразования полости рта – 2020.
- Каприн А. Д. Клинические рекомендации. Рак ротоглотки. – 2024.
- Петровичев В. С. и др. Двухэнергетическая компьютерная томография рака головы и шеи. Digital Diagnostics. 2021;2(3):343-355. doi:10.17816/DD62572
- Toepker M. et al. Can dual-energy CT improve the assessment of tumor margins in oral cancer? //Oral oncology. – 2014. – Т. 50. – №. 3. – С. 221-227.
- Parakh A. et al. Dual-energy CT images: pearls and pitfalls //Radiographics. – 2021. – Т. 41. – №. 1. – С. 98-119.
- Bayer N. et al. Iterative metal artifact reduction in head and neck CT facilitates tumor visualization of oral and oropharyngeal cancer obscured by artifacts from dental hardware //Academic Radiology. – 2023. – Т. 30. – №. 12. – С. 2962-2972.
- Патент на полезную модель № 190308 U1 Российская Федерация, МПК А61В 6/02. Устройство фантома для оценки эффективности алгоритмов и методов подавления артефактов от металлоконструкций при проведении компьютерной томографии : № 2019105941 : заявл. 04.03.2019 : опубл. 25.06.2019 / К. А. Сергунова, А. В. Петряйкин, Д. С. Семенов [и др.] ; заявитель Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы» (ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»)
- Сергунова К. А. и др. Основы безопасности при проведении магнитно-резонансной томографии. – Москва : Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, 2019. – 68 с.

REFERENCES

1. Bray F, Ferlay J, Soerjomataram I, Siegel RL, Torre LA, Jemal A. Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA A Cancer J Clinicians*. 2018;68(6):394-424. doi:10.3322/caac.21492
2. Zlokachestvennyye novoobrazovaniya v Rossii v 2020 godu: (zabol-evaemost' i smertnost') / pod redakciej A.D. Kaprina, V.V. Starinskogo, A.O. Shahzadavoj – M.: MNIOI im. P.A. Gercena – filial FGBU "NMIC radiologii" Minzdrava Rossii, – 2021. – 252 s
3. Li L, Sun J, Li B, et al. Computed tomography versus magnetic resonance imaging for diagnosing cervical lymph node metastasis of head and neck cancer: a systematic review and meta-analysis. *OTT*. June 2015;1291. doi:10.2147/OTT.S73924
4. Arya S, Rane P, Deshmukh A. Oral cavity squamous cell carcinoma: Role of pretreatment imaging and its influence on management. *Clinical Radiology*. 2014;69(9):916-930. doi:10.1016/j.crad.2014.04.013
5. Alfouzan AF. Radiation therapy in head and neck cancer. *SMJ*. 2021;42(3):247-254. doi:10.15537/smj.2021.42.3.20210660
6. Hauck KE, Trentin MS, Skiba THI, Shibli JA, De Carli JP. Clinical and satisfaction outcomes of using one or two dental implants for mandibular overdentures: preliminary short-term follow-up of a randomized clinical trial. *Int J Implant Dent*. 2021;7(1):10. doi:10.1186/s40729-020-00286-8
7. Kubo Y, Ito K, Sone M, et al. Diagnostic value of model-based iterative reconstruction combined with a metal artifact reduction algorithm during ct of the oral cavity. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2020;41(11):2132-2138. doi:10.3174/ajnr.A6767
8. Artefakty ot metallokonstrukcij v magnitno-rezonansnoj tomografii: metodicheskie rekomendacii / Yu.A. Vasil'ev, D.S. Semenov, O.Yu. Panina [i dr.] // Seriya «Luchshie praktiki luchevoj i instrumental'noj diagnostiki». – Vyp. 83. – M.: GBUZ «NPKC DiT DZM», 2022. – 40 s.
9. Khodarahmi I, Isaac A, Fishman EK, Dalili D, Fritz J. Metal about the hip and artifact reduction techniques: from basic concepts to advanced imaging. *Semin Musculoskelet Radiol*. 2019;23(03):e68-e81. doi:10.1055/s-0039-1687898
10. Kamila N. K. (ed.). Handbook of research on emerging perspectives in intelligent pattern recognition, analysis, and image processing. – 2015.
11. Yudin A.L., Shchetinin R.A., Afanas'eva N.I. Cancer of the tongue and floor of the mouth: Current aspects of diagnosis. *Journal of radiology and nuclear medicine*. 2015;(5):42-48. (In Russ.) <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2015-0-5-84-89>
12. Hiyama T, Kuno H, Sekiya K, Tsushima S, Oda S, Kobayashi T. Subtraction iodine imaging with area detector CT to improve tumor delineation and measurability of tumor size and depth of invasion in tongue squamous cell carcinoma. *Jpn J Radiol*. 2022;40(2):167-176. doi:10.1007/s11604-021-01196-4
13. Hirata K, Utsunomiya D, Oda S, et al. Added value of a single-energy projection-based metal-artifact reduction algorithm for the computed tomography evaluation of oral cavity cancers. *Jpn J Radiol*. 2015;33(10):650-656. doi:10.1007/s11604-015-0471-9
14. Hong HR, Jin S, Koo HJ, et al. Clinical values of ¹⁸F-FDG PET/CT in oral cavity cancer with dental artifacts on CT or MRI. *Journal of Surgical Oncology*. 2014;110(6):696-701. doi:10.1002/jso.23691
15. Mesia R, Iglesias L, Lambea J, et al. SEOM clinical guidelines for the treatment of head and neck cancer (2020). *Clin Transl Oncol*. 2021;23(5):913-921. doi:10.1007/s12094-020-02533-1
16. Castelijns JA, Van Den Brekel MWM, Hermans R. Imaging of the larynx. *Seminars in Roentgenology*. 2000;35(1):31-41. doi:10.1016/S0037-198X(00)80030-9
17. Verduijn GM, Bartels LW, Raaijmakers CPJ, Terhaard CHJ, Pameijer FA, Van Den Berg CAT. Magnetic resonance imaging protocol optimization for delineation of gross tumor volume in hypopharyngeal and laryngeal tumors. *International Journal of Radiation Oncology*Biophysics*. 2009;74(2):630-636. doi:10.1016/j.ijrobp.2009.01.014
18. Sergunova K.A., Akhmad E.S., Petryaykin A.V., Kivasev S.A., Semenov D.S., Vasil'ev Yu.A., Morozov S.P., Vladimirov A.V., Nizovtsova L.A. Magnetic resonance safety for patients with implanted medical devices. *The Bulletin of Bakoulev Center. Cardiovascular Diseases*. 2019; 20 (4): 313–23 (in Russ.). DOI: 10.24022/1810-0694-2019-20-4-313-323
19. Kaprin A. D. Klinicheskie rekomendacii. Rak nosoglotki. – 2020.
20. Kaprin A. D. Klinicheskie rekomendacii. Zlokachestvennyye novoobrazovaniya polosti rta – 2020.
21. Kaprin A. D. Klinicheskie rekomendacii. Rak rotoglotki. – 2024.
22. Petrovichev VS, Neklyudova MV, Sinitsyn VE, Nikitin IG. Dual-energy computed tomography for head and neck cancer. *Digital Diagnostics*. 2021;2(3):343-355. doi:10.17816/DD62572
23. Toepker M, Czerny C, Ringl H, et al. Can dual-energy CT improve the assessment of tumor margins in oral cancer? *Oral Oncology*. 2014;50(3):221-227. doi:10.1016/j.oraloncology.2013.12.001
24. Parakh A, Lennartz S, An C, et al. Dual-energy ct images: pearls and pitfalls. *RadioGraphics*. 2021;41(1):98-119. doi:10.1148/rq.2021200102
25. Bayer N, May MS, Wuest W, et al. Iterative metal artifact reduction in head and neck ct facilitates tumor visualization of oral and oropharyngeal cancer obscured by artifacts from dental hardware. *Academic Radiology*. 2023;30(12):2962-2972. doi:10.1016/j.acra.2023.04.007
26. Utility model No. 190308 U1 the Russian Federation, IPC A61B 6/02. Ustrojstvo fantoma dlya ocenki effektivnosti algoritmov i metodov podavleniya artefaktov ot metallokonstrukcij pri provedenii komp'yuternoj tomografii [Phantom design for assessing the effectiveness of algorithms and methods for suppressing metal artifacts in computed tomography] : No. 2019105941 : submitted 04.03.2019 : published 25.06.2019 / K.A. Sergunova, A.V. Petraikin, D.S. Semenov [et al.] ; submitter Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department.
27. Sergunova K. A. i dr. Osnovy bezopasnosti pri provedenii magnitno-rezonansnoj tomografii //Metodicheskie rekomendacii. – 2019. – №. 63.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Данная статья подготовлена авторским коллективом в рамках НИР «Научное обоснование методов лучевой диагностики опухолевых заболеваний с использованием радиомического анализа», (№ ЕГИСУ: № 123031500005-2) в соответствии с Приказом от 21.12.2022 г. № 1196 «Об утверждении государственных заданий, финансовое обеспечение которых осуществляется за счет средств бюджета города Москвы государственным бюджетным (автономным) учреждениям подведомственным Департаменту здравоохранения города Москвы, на 2023 год и плановый период 2024 и 2025 годов» Департамента здравоохранения города Москвы.

Участие авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства 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 распределён следующим образом: Д.С. Конторович – анализ литературных источников, написание текста. Р.В. Решетников, И.А. Блохин – анализ литературных источников, редактирование статьи.

Поступила: 20.10.2024. Принята к публикации: 25.11.2024.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. This paper was prepared by a group of authors as a part of the research and development effort titled “Scientific evidence for using radiomics-guided medical imaging to diagnose cancer”, (USIS No. 123031500005-2) in accordance with the Order No. 1196 dated December 21, 2022 “On approval of state assignments funded by means of allocations from the budget of the city of Moscow to the state budgetary (autonomous) institutions subordinate to the Moscow Health Care Department, for 2023 and the planned period of 2024 and 2025” issued by the Moscow Health Care Department.

Contribution. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication). D.S. Kontorovich – literature review, collection and analysis of literary sources, writing the text. R.V. Reshetnikov, I.A. Blokhin – collection and analysis of literary sources and editing the article.

Article received: 20.10.2024. Accepted for publication: 25.11.2024.