#### СОVID-19: ЧТО НЕОБХОДИМО ЗНАТЬ РЕНТГЕНОЛОГУ

### ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА РИНООРБИТОЦЕРЕБРАЛЬНОГО МУКОРМИКОЗА У БОЛЬНЫХ ПОСЛЕ COVID-19

Зельтер П.М.<sup>1</sup>, Суровцев Е.Н.<sup>1,2</sup>, Колсанов А.В.<sup>1</sup>, Зелёва О.В.<sup>1</sup>, Сидоров Е.А.<sup>1</sup>, Иванова О.В.<sup>1</sup>, Пышкина Ю.С.<sup>1</sup>, Цой А.В.<sup>1</sup>

4 - ΦΓБΟУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России. г. Самара, Россия.
 2 - ООО «ΛДЦ МИБС - Тольятти». г. Тольятти, Россия.

ель исследования. Проанализировать КТ- и МР-паттерны риноорбитоцеребрального мукормикоза (РОЦМ) у больных сахарным диабетом II типа после перенесённой новой коронавирусной инфекции.

Материалы и методы. Представлены лучевые изображения 11 пациентов с РОЦМ после COVID-19. Исследования выполнялись на компьютерном томографе Revolution EVO (GE, Россия) и МР-томографе Aera, с напряжённостью магнитного поля 1,5 Тл (Siemens, Германия).

**Результаты.** Нами были выделены несколько КТ- и МР-паттернов у наблюдаемых пациентов: поражение околоносовых синусов, глазниц, зрительного нерва, крупных артерий; внутричерепное распространение; вовлечение костей основания черепа. Представлены особенности дифференциальной диагностики и рекомендации по модификации стандартных протоколов.

Заключение. КТ околоносовых синусов является методом выбора при подозрении на мукормикоз. МРТ рекомендуется выполнять при подозрении на вовлечение глазницы, вещества головного мозга и кавернозного синуса. Комплексное использование обоих методов позволяет оценить мягкотканую инвазию и деструкцию костных стенок для оптимальной тактики лечения РОЦМ.

Ключевые слова: коронавирусная инфекция, COVID-19, компьютерная томография (КТ), МРТ, мукормикоз, околоносовые синусы, верхнечелюстные синусы.

Контактный автор: Пышкина Ю.С., e-mail: yu.pyshkina@yandex.ru.

Для цитирования: Зельтер П.М., Суровцев Е.Н, Колсанов А.В., Зелёва О.В., Сидоров Е.А., Иванова О.В., Пышкина Ю.С., Цой А.В. Лучевая диагностика риноорбитоцеребрального мукормикоза у больных после COVID-19. REJR 2022; 12(4):5-21. DOI: 10.21569/2222-7415-2022-12-4-5-21.

Статья получена: 07.01.22 Статья принята: 10.08.22

### RADIOLOGY OF RHINOORBITOCEREBRAL MYCORMYCOSIS IN PATIENTS AFTER COVID-19

Zelter P.M.<sup>1</sup>, Surovcev E.N.<sup>1,2</sup>, Kolsanov A.V.<sup>1</sup>, Zeleva O.V.<sup>1</sup>, Sidorov E.A.<sup>1</sup>, Ivanova O.V.<sup>1</sup>, Pyshkina Yu.S.<sup>1</sup>, Tsoy A.V.<sup>1</sup>

Samara State Medical University. Samara, Russia.
 Berezin Sergey Medical Institute. Tolyatti, Russia.

**urpose.** The analysis of CT and MR patterns of rhinoorbitocerebral mucormycosis (ROCM) among patients with type 2 diabetes (T2D) after COVID-19. **Materials and methods.** The study included 11 patients with confirmed COVID-19 and invasive ROCM in the long-term period. CT examinations were performed on Revolution EVO CT scanner (GE, Russia) and MRI on Aera MR scanner 1.5 T (Siemens, Germany).

**Results.** We report several CT and MR patterns for a series of patients: involvement of paranasal sinuses, orbits, optic nerves, large arteries; intracranial spread; involvement bones of cranial base. The features of differential diagnosis and recommendations for standard protocols are presented.

**Conclusion.** CT of paranasal sinuses is the method of choice for suspected fungal infections. MRI is recommended if there is a suspicion of orbital, vascular, and intracranial complications or cavernous sinus extension. The combination of both methods makes it possible to showed soft tissue invasion and bony destruction to choose optimal medical tactics ROCM.

Keywords: coronavirus infection, COVID-19, computed tomography, magnetic resonance imaging, mucormycosis, paranasal sinus, maxillary sinuses.

Corresponding author: Pyshkina Yu.S., e-mail: yu.pyshkina@yandex.ru.

For citation: Zelter P.M., Surovcev E.N., Kolsanov A.V., Zeleva O.V., Sidorov E.A., Ivanova O.V., Pyshkina Yu.S., Tsoy A.V. Radiology of rhinoorbitocerebral mycormycosis in patients after COVID-19. REJR 2022; 12(4):5-21. DOI: 10.21569/2222-7415-2022-12-4-5-21.

Received: 07.01.22 Accepted: 10.08.22

иноорбитоцеребральный мукормикоз (РОЦМ) - агрессивная форма грибкового процесса, которая проявляется активной инвазией в структуры черепа, изменениями лицевого скелета и потенциально летальными осложнениями. РОЦМ в большинстве случаев возникает у иммунокомпрометированных пациентов после проведённого лечения гормональными препаратами, моноклональными антителами и антибиотиками широкого спектра. Выделяют особый фактор риска - неконтролируемый сахарный диабет. РОЦМ требует незамедлительной диагностики и активного лечения [1]. До пандемии COVID-19 были опубликованы единичные случаи мукормикоза в России у пациентов преимущественно онкогематологического профиля, в настоящее время ожидается увеличение количества подобных пациентов в связи с особенностями терапии коронавирусной инфекции [2].

Эмпирическую противогрибковую терапию у пациентов с характерной клиникой и специфическими диагностическими признаками РОЦМ можно начинать до подтверждения диагноза микробиологическими или гистопатологическими методами [3]. В связи с этим визуализация играет важную роль в определении распространённости РОЦМ, вовлечения структур глазницы и головного мозга, что имеет решающее значение при принятии решения о дальнейшей тактике лечения.

Мукормикоз распространяется преимущественно путём инвазии в ткани [4], за счёт разрушения кости, через естественные костные и анатомические каналы (носослёзные протоки, лимфатические сосуды и сосудисто-нервные пучки). Тщательное внимание к этим анатомическим областям на компьютерной (КТ) и магнитно-резонансной томограммах (МРТ) необходимо для всесторонней оценки заболевания.

Цель исследования.

Проанализировать КТ- и МР-паттерны риноорбитоцеребрального мукормикоза у больных сахарным диабетом II типа после перенесённой новой коронавирусной инфекции.

#### Материалы и методы исследования.

В статье представлены результаты обследования 11 пациентов с подтверждённым COVID-19, у которых в отдалённом периоде было диагностировано осложнение в виде развития РОЦМ различной степени тяжести. Пациенты были госпитализированы в отделение оториноларингологии Клиники ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» МЗ РФ. Больным были проведены КТ грудной клетки и околоносовых синусов на сканере Revolution EVO (GE, Россия) с контрастированием и без контрастирования, а также МРТ глазниц и головного мозга с контрастным усилением на МРтомографе Aera, с напряжённостью магнитного поля 1,5 Тл (Siemens, Германия). Всем пациентам проводилось оперативное вмешательство с гистологическим исследованием материалов с окрашиванием гематоксилином и эозином, была выявлена типичная картина грибкового процесса (рис. 1).

Результаты исследования и обсуждение.

У всех пациентов был выявлен сахар-



ный диабет II типа, причём у некоторых диагноз был установлен впервые. Уровень глюкозы крови у обследуемых повышался до 40 ммоль/л, двое пациентов поступили в состоянии диабетической кетоацидотической комы. Все пациенты при лечении коронавирусной инфекции получали инъекционные глюкокортикостероиды, антибиотики широкого спектра действия, иммуномодулирующие препараты, антикоагулянтную терапию, витамины (продолжительность лечения - 10-40 дней). Ни у одного пациента не было выявлено грибкового поражения легких по данным КТ органов грудной клетки. Общими клиническими признаками у госпитализированных пациентов были: головная боль, затруднение носового дыхания и выделения из носа разного характера (слизисто-гнойные или кровянистые), отёк мягких тканей лица и снижение зрения на стороне большего поражения. Пяти пациентам кроме КТ было проведено МРТ головного мозга и глазниц с контрастным усилением для оценки внутриорбитальной и церебральной инвазии.

КТ грудной клетки у всех обследуемых показала выраженные остаточные изменения лёгких после двусторонней интерстициальной пневмонии в виде ретикулярных изменений легочной ткани и криволинейных уплотнений (рис. 2).

Нами были выделены несколько КТ- и

МР-паттернов у наблюдаемых пациентов.

Поражение околоносовых синусов. Нормальные околоносовые синусы представляют собой заполненные воздухом структуры. При грибковом синусите наблюдается заполнение носовых синусов мягкотканым содержимым. Множественное поражение носовых пазух наблюдалось примерно в половине случаев РОЦМ [3]. Двустороннее поражение выявлено у всех пациентов. Отмечались утолщение и воспалительные изменения слизистой оболочки околоносовых синусов, а также тотальное заполнение мягкотканым содержимым и распространение в окружающие ткани. Поражались чаще клетки решетчатой кости и основной синус, несколько реже верхнечелюстные и лобные синусы. Особенности визуализации на КТ и МРТ представлены на рисунках 3-5.

Вовлечение глазниц: у 9 из 11 исследуемых пациентов было отмечено пролабирование грибковых масс в одну или обе глазницы через разрушенные или истончённые стенки околоносовых синусов со стороны клеток решётчатого лабиринта или верхней стенки верхнечелюстного синуса. Также часто отмечается распространение в крылонёбные ямки.

Согласно литературным данным ранние признаки вовлечения глазницы включают инфильтрацию мягких тканей и отёк ретроорбитальной клетчатки вокруг глазодвигательных мышц [5]. Это согласуется с нашими данными – инфильтрация ретроорбитальной клетчатки лучше всего оценивалась на последовательностях Т2-ВИ с жироподавлением. Поскольку инвазия орбиты обычно происходила через медиальную стенку, воспалительная инфильтрация или образование абсцесса наблюдались вдоль медиальной стороны орбиты с латеральным смещением и отёком медиальной прямой мышцы глаза. Обращает на себя внимание значительно более четкая визуализация внутриорбитального компонента на МРТ по сравнению с КТ (рис. 6).

Поражение зрительного нерва. При инвазии в глазницы отмечается распространение поражения на глазодвигательные мышцы и зрительный нерв. Могут возникнуть периорбитальный отёк, экзофтальм, снижение зрения и слепота. Некоторые пациенты испытывают паралич или слабость глазодвигательных мышц (офтальмоплегия), что затрудняет или вызывает боль при движении глазами [5].

Инфаркт зрительного нерва проявляется ограничением диффузии на диффузионно-взвешенных изображениях. Кроме того, инвазия может проходить по мягкой мозговой оболочке, это будет проявляться выраженным постконтрастным усилением, которое в большей степени может быть оценено на МРТ. Изолированное поражение зрительного нерва предполагает распространение инфекции через ветви глазной артерии, что является показанием для начала этиотропного лечения [6].

Диффузная орбитальная инфильтрация может проявляться тяжёлым экзофтальмом и ограничением подвижности глазного яблока. При КТ возможности визуализации ограничены: определяется нарушение дифференцировки структур орбиты с экзофтальмом. Более четко изменения видны при МРТ: отек ретробульбарной клетчатки с точечными гипоинтенсивными участками в режимах Т2-ВИ и FLAIR с участками ограничения диффузии и инвазией или ишемическими изменениями зрительного нерва (рис. 7).

Поражение верхушки глазницы: усиление сигнала от мягких тканей ретробульбарной клетчатки глазницы, изменения распространяются как на зрительный канал, так и на верхнюю глазничную щель, может клинически проявляться синдромом верхней глазничной щели. Инфекция может проникать от верхушки глазницы кзади через верхнюю глазничную щель в кавернозный синус и через нижнюю глазничную щель через крылонёбную ямку в подвисочную ямку [7].

Кавернозный синус и поражение крупных артерий. При РОЦМ также возможна инвазия в мягкие ткани, ведущая от верхней глазничной щели к кавернозному синусу [8]. Может быть затронута верхняя глазная вена и кавернозный сегмент внутренней сонной артерии – частые причины острых нарушений кровообращения головного мозга. Среди исследуемых нами пациентов тромбоза кавернозного синуса и поражения крупных артерий не было выявлено.

Внутричерепное распространение при мукормикозе обычно происходит при прямом распространении через решетчатую пластинку, стенки решетчатой кости и лобные синусы. Также могут поражаться черепные ямки от крылонёбной ямки и вдоль внутренней сонной артерии [9]. Периневральное распространение из кавернозного синуса вдоль тройничного нерва может привести к преимущественному поражению задней черепной ямки. Раннее внутричерепное распространение лучше оценивается на изображениях T1-BИ с контрастным усилением, проявляется пахименингеальным усилением (рис. 8, 9).

Другие внутричерепные проявления включают абсцессы и инфаркты (рис. 10). Грибковая инвазия паренхимы головного мозга проявляется в виде нечётких участков изменённой интенсивности сигнала, обычно гиперинтенсивности Т2-ВИ, внесосудистого распределения. Присутствуют минимальный перифокальный отёк и различное периферическое усиление. Развитие хорошо очерченной массы с разжиженным центральным гиперинтенсивным ядром Т2-ВИ, показывающее ограничение диффузии, указывает на формирование абсцесса. Абсцессы при РОЦМ могут не демонстрировать характерное чётко выраженное усиление края, наблюдаемое при бактериальных абсцессах, из-за слабой иммуногенной реакции иммунокомпрометированного пациента [10].

Деструкция костных стенок. При распространении грибкового процесса у всех пациентов наблюдалась деструкция костных стенок околоносовых синусов и глазниц, а также костей основания черепа и твёрдого нёба. Одним из специфических признаков является наличие мелких пузырьков газа в костных структурах (рис. 11).

Секвестрация. При запущенном процессе дальнейшая деструкция костных стенок приводит к их секвестрации и картине схожей с остеомиелитом (рис. 12). Так, часть пациентов первично обратились именно к челюстно-лицевым хирургам, где во время



Рис. 3 а (Fig. 3 а)



Рис. 3 б (Fig. 3 b)

#### Рис. 3. КТ околоносовых синусов двух пациентов.

а – Аксиальная плоскость, мягкотканое электронное окно; определяется содержимое в правой верхнечелюстной пазухе, деструкция латеральной стенки и инфильтрация мягких тканей (\*) позади периантральной области за счёт распространения грибкового процесса.

б - Корональная плоскость, костное электронное окно; двустороннее поражение околоносовых синусов с неравномерным их заполнением: субтотальное в правом верхнечелюстном синусе и ячейках решетчатого лабиринта, деструкция кости правых отделов твёрдого нёба и нижней стенки правого верхнечелюстного синуса (стрелка).

### Fig. 3. CT of paranasal sinuses of two patients.

a - axial image, soft tissue window, unilateral mucosal thickening with bony destruction and soft-tissue infiltration (\*) of the right retroantral fat.

b - coronal image, bone window, mucosal thickening of both maxillary sinuses: subtotal in the right maxillary sinus and ethmoid air cells, bony destruction of hard palate and inferior wall of the right maxillary sinus (arrow).



Рис. 4 в (Fig. 4 с)

#### Рис. 4. МРТ головного мозга и околоносовых синусов: а – аксиальная плоскость, Т2-ВИ; б – аксиальная плоскость, FLAIR; в – корональная плоскость, T1-ВИ.

На фоне выраженного снижения пневматизации околоносовых синусов за счёт утолщения слизистых оболочек, в левых отделах синуса клиновидной кости определяется грибковое тело (\*) в виде зоны гипо/изоинтенсивного на Т2-ВИ, изоинтенсивного на T1-BИ, гиперинтенсивного на FLAIR MP-сигнала, без признаков рестрикции диффузии и не повышающей сигнал после контрастирования. Гипоинтенсивность МР-сигнала на Т2-ВИ при грибковом поражении (симптом «области лишённой сигнала») может быть ошибочно интерпретирована как воздух в пазухе, поэтому необходимо сопоставлять Т2-ВИ и Т1-ВИ. Грибковое поражение будет иметь на Т1-ВИ изо/-гиперинтенсивный МР-сигнал, газ будет гипоинтенсивным как на Т2-ВИ, так и на Т1-ВИ (см. правые отделы клиновидного синуса в данном примеpe).

### Fig. 4. MRI of brain and paranasal sinuses, axial images: a – axial view, T2-WI; b – axial view, FLAIR, c – axial view, T1-WI.

Bilateral subtotal mucosal thickening with T2-WI hypo/iso-intensive and T1-WI isointense signal, FLAIR hyperintense contents in the left cell of sphenoid sinus - the abnormal mucosa does not show enhancement on postcontrast T1-WI images -"black turbinate sign". T2-WI hypointense signal in case of fungal infection can be wrongly interpreted as air in the sinus; therefore, it is necessary to compare T2-WI and T1-WI. The fungal etiology (\*) of content is T1-WI iso/hyperintense, air - T2-WI and T1-WI hypointense (see the right cell of the sphenoid sinus in this example).



# Рис. 5. МРТ головного мозга и околоносовых синусов, аксиальная плоскость: а – T2-BИ; б – FLAIR; в – STIR.

Ранние признаки распространения воспаления за пределы синусов. Определяются воспалительные изменений слизистой оболочки левого верхнечелюстного синуса (\*), при этом отмечается отёк жировой клетчатки (повышение MP-сигнала на T2-BИ, STIR и FLAIR FS), расположенный позади синуса и левой латеральной крыловидной мышцы (стрелка) без признаков их деструкции.

### Fig. 5. MRI of the brain and paranasal sinuses, axial images: a – T2-WI; b – FLAIR; c – STIR.

Early signs of inflammatory changes of the mucous in the left maxillary sinus (\*) with involving of retroantral fat and soft tissues (T2-WI, STIR and FLAIR FS hyperintense) and left lateral pterygoid muscle (arrow) without destruction.



Рис. 6. МРТ головного мозга и околоносовых пазух: а – аксиальная плоскость, Т2-ВИ; б – аксиальная плоскость, FLAIR; в – корональная плоскость, Т1-ВИ СЕ. КТ орбит, аксиальная плоскость, мягкотканое электронное окно (г).

А-В: отмечается распространение воспаления из околоносовых синусов в левую орбиту. В медиальных отделах левой орбиты определяется участок воспаления ретробульбарной клетчатки (\*) в виде зоны изо/гипоинтенсивного на T2-BИ и T1-BИ, повышающий свои сигнальные характеристики после контрастирования. Участок выявленных изменений на постконтрастных T1-BИ теряется на фоне гиперинтенсивного MP-сигнала от жировой клетчатки орбиты, поэтому для оценки характера повышения MP-сигнала предпочтительно в качестве постконтрастных последовательностей использовать T1-BИ с жироподавлением. Г: определяется тотальное заполнение решетчатого лабиринта с пролабированием через неизменённую медиальную стенку глазницы и инвазией в ретробульбарную клетчатку с поражением глазодвигательных мышц и зрительного нерва.

Fig. 6. MRI of brain and paranasal sinuses: a – axial image, T2-WI, b – axial image, FLAIR, c – coronal image, T1-WI CE. CT of orbits, axial image, soft tissue window (d).

A-C: left orbital extension from ethmoid sinus. T2-WI and T1-WI iso/hypointense zone of intraconal soft tissue edema (\*) with postcontrast signal increasing. The area is different on postcontrast T1-WI images because of hyperintense MR signal from intraconal fat, therefore it is necessary to use fat-saturated postcontrast T1-WI. D - left orbital extension from ethmoid sinus with involving of intraconal soft tissues, muscles and optic nerve.



Рис. 7. а-з – МРТ головного мозга и околоносовых синусов с контрастированием: а, б – аксиальная плоскость, Т2-ВИ; в – сагиттальная плоскость, Т2-ВИ, г-д – аксиальная плоскость, FLAIR FS; д – аксиальная плоскость, Т1-ВИ; е – аксиальная плоскость, DWI b-1000; ж-з – аксиальная плоскость, Т1-ВИ СЕ. .

Отмечается повышение MP-сигнала на T2-BИ и FLAIR FS от правого зрительного нерва (стрелки – б, г) и контрастирование его оболочек, что, вероятно, обусловлено воспалительными изменениями. Глазные мышцы интактны, оттеснены зоной некроза.

в - Определяется правосторонний экзофтальм и деформация глазного яблока (стрелка).

е – Муфтообразно охватывая зрительный нерв, определяется отграниченная зона некроза жировой клетчатки орбиты (\*), имеющая гиперинтенсивный МР-сигнал на T2-BИ, FLAIR и неоднородный по T1-ВИ, с ограничением диффузии по периферии (стрелки) и периферическим контрастированием по типу «кольца».

и – КТ орбит, аксиальная плоскость, мягкотканое электронное окно; отмечается пролабирование через медиальную стенку глазницы и инвазия в ретробульбарную клетчатку с поражением глазодвигательных мышц и зрительного нерва.

Fig. 7. MRI, brain and paranasal sinuses with contrast enhancement, a, b – axial images, T2-WI, c – sagittal image, T2-WI, d, e – axial images, FLAIR FS; e – axial image, T1-WI; f – axial image, DWI b-1000; g-h – axial view, T1-WI CE.

T2-WI and FLAIR FS hyperintense right optic nerve (arrows – b, d) with intense perineural enhancement suggesting inflammation and infarction. Extraocular muscles are intact and displacement by necrotic soft tissues.

c – Right globe is deformed and elongated in anterior-posterior dimension with gross proptosis and globe tenting (arrow).

f – Involving intraconal fat and optic nerve (\*) T2-WI, FLAIR hyperintense and T1-WI heterogeneous signal with limited value of diffusion (arrows) and peripheral "ring" enhancing.

i – CT orbits, axial image, soft tissue window. Right orbital extension from ethmoid sinus with invasion intraconal and extraconal fat and extraocular muscles and optic nerve.



Рис. 8 а (Fig. 8 а)



Рис. 8 б (Fig. 8 b)



Рис. 8 в (Fig. 8 с)

## Рис. 8. МРТ головного мозга и околоносовых пазух: а – корональная плоскость, Т1-ВИ; б – корональная плоскость, Т1-ВИ СЕ; в – аксиальная плоскость, Т1-ВИ FS СЕ.

Отмечается утолщение и выраженное контрастирование оболочек мозга (белые стрелки – а, б), без чёткой их ограниченности от выстланной слизистой оболочки основной пазухи (чёрная стрелка – а, б), указанные изменения соответствуют МРТ проявлениям менингита.

в – В ряде случаев воспаление может протекать без выраженного утолщения оболочек, но обязательно сопровождается их постконтрастным усилением (белые стрелки).

### Fig. 8. MRI, brain and paranasal sinuses, a – coronal image, T1-WI; b – coronal image, T1-WI CE; c – axial image, T1-WI FS CE.

Perineural spread to the cerebral parenchyma with thickening and intense enhancement of the meninges (white arrows – a-b) and extension of disease from the ethmoid sinuses, across the cribriform plate into the left frontal lobe (black arrow – a-b) - MRI manifestations of meningitis.

c – in some cases, inflammation may not show the thickening of the membranes, but always increase enhancement at postcontrast images (white arrows – c).



Рис. 9. МРТ головного мозга и околоносовых синусов: а – корональная плоскость, Т2-ВИ; б, в – аксиальная плоскость, FLAIR; г – корональная плоскость, Т1-ВИ; д – корональная плоскость, Т1-ВИ СЕ; е – аксиальная плоскость, Т1-ВИ FS СЕ.

Отмечается инвазия из пазух носа в полость черепа с вовлечением оболочек и вещества мозга. Зона менингоэнцефалита (чёрный контур) имеет неоднородный гиперинтенсивный МР-сигнал на T2-BИ и FLAIR, гипоинтенсивный на T1-BИ, без признаков рестрикции диффузии, характеризуется выраженным, но неоднородным контрастированием. По периферии зоны энцефалита определяется отёк вещества мозга (белый контур).

### Fig. 9. MRI, brain and paranasal sinuses: a – coronal image, T2-WI; b, c – axial image, FLAIR; d – coronal image, T1-WI; d – coronal image, T1-WI CE; e – axial image, T1-WI FS CE.

Cerebral parenchymal invasion with extension of disease from the ethmoid sinuses across the cribriform plate into the right frontal lobe. The parenchymal lesion (black outline) is heterogeneous hyperintense on T2-WI and FLAIR, hypointense on T1-WI, without restricted diffusion but with intense heterogeneous enhancing. Perilesional edema and variable peripheral enhancement are present (white outline).



Рис. 10. МРТ головного мозга и околоносовых синусов: а – аксиальная плоскость, T2-BИ; б – аксиальная плоскость, FLAIR; в – корональная плоскость, T1-BИ; г – аксиальная плоскость, DWI b-1000; д – аксиальная плоскость, ADC; е – корональная плоскость, T1-BИ CE.

Определяется распространение в полость черепа с формированием небольшого абсцесса вещества мозга (стрелка). Абсцесс характеризуется типичными проявлениями – гиперинтенсивный MP-сигнал на T2-BИ и FLAIR FS, выраженная рестрикция диффузии от содержимого и выраженное контрастирование по типу «кольца».

Fig. 10. MRI, brain and paranasal sinuses: a – axial image, T2-WI; b – axial image, FLAIR; c – coronal image, T1-WI; d – axial image, DWI b-1000; d – axial image, ADC; e – coronal image, T1-WI CE.

Cerebral parenchymal invasion with the formation of a small abscess (arrow). An abscess with typical manifestations - T2-WI and FLAIR FS hyperintense signal, with restricted diffusion and "ring" type enhancing.



Рис. 11 а (Fig. 11 а)



#### Рис. 11 б (Fig. 11 b)

#### Рис. 11. КТ околоносовых синусов, корональная плоскость, костное электронное окно.

В верхней стенке левого верхнечелюстного синуса и в твёрдом нёбе определяется деструкция костной ткани с пузырьками газа в структуре (стрелки).

#### Fig. 11. CT scan of paranasal sinuses, coronal images, bone window.

Patchy bony destruction with scattered intraosseous air foci is present in superior wall of left maxillary sinus and hard palate (arrows).





Рис. 12 б (Fig. 12 b)

Рис. 12. КТ околоносовых синусов, а – аксиальная плоскость, б – сагиттальная плоскость, костное электронное окно.

Отмечается деструкция с секвестрацией костных стенок правой верхнечелюстной пазухи с распространением на альвеолярный отросток верхней челюсти.

#### Fig. 12. CT scan of paranasal sinuses, a – axial image, b – sagittal image, bone window.

Bony destruction with bony sequestrum of the walls of the right maxillary sinus with involving the alveolar process of the maxilla.

первичного обследования была заподозрена истинная природа процесса.

Вовлечение основания черепа. Остеомиелит основания черепа – редкое осложнение, обычно наблюдаемое на поздних стадиях заболевания [11, 12]. Поражение костей происходит в ходе заболевания, ангиоинвазивная природа гриба способствует широкому распространению инфекции в глубокие мягкие ткани через периваскулярные каналы ещё до разрушения кости (рис. 13).

E.H. Middlebrooks с соавторами [13] описали основанную на КТ диагностическую модель с семью переменными для прогнози-

рования острого инвазивного грибкового синусита. Наличие любой из семи переменных (распространение в окружающую жировую клетчатку, глазницы, в крылонёбную ямку, клиновидно-нёбное отверстие, носослёзный проток, слёзный мешок, костную деструкцию) имело чувствительность в 95% и специфичность 86% в отношении грибковой этиологии. Наличие любых двух переменных давало 88% чувствительности, 100% специфичности и 100% положительной прогностической ценности для диагностики инвазивного грибкового синусита. Анализ визуальных характеристик в соответствии с приве



Рис. 13. а-г – МРТ головного мозга и околоносовых синусов, аксиальная плоскость: а – T2-ВИ; б – FLAIR; в – T1-BИ FS; г – T1-BИ FS CE. д – КТ околоносовых пазух, аксиальная плоскость, костное электронное окно.

На фоне воспалительных изменений околоносовых синусов клиновидная кость бесструктурная, в её центральных отделах определяется зона (\*) некроза – гипоинтенсивный на T1-BИ FS и изоинтенсивный на FLAIR FS MP-сигнал с выраженным контрастированием по периферии.

На КТ (д) более отчётливо определяется линия отграничения с визуализацией нескольких секвестров.

Fig. 13. MRI of the of brain and paranasal sinuses, axial image: a – T2-WI; b – FLAIR; c – T1-WI FS; d – T1-WI FS CE. CT of the paranasal sinuses, axial image (e), bone window.

Skull base involvement, sphenoid bone is structureless, there is necrotic soft tissues (\*) with T1-WI FS hypointense and FLAIR FS isointense MR signal with intense peripheral enhancement.

On CT (e) the demarcation line with several sequesters looks more distinct.

Таблица №1. КТ- и МР-паттерны у пациентов.							
Пациент: возраст, пол	Поражение пери- антральной клет- чатки	Костная деструк- ция	Инвазия в глаз- ницы	Поражение зри- тельного нерва	Распространение в крылонебную ямку	Инвазия в носо- слезный проток и слезный мешок	Вовлечение внут- ричерепных структур
62, Ж	+	+	+	+	+	-	+
39, M	+	+	+	+	+	-	-
60, M	+	+	+	-	-	-	-
42, Ж	+	+	+	-	+	-	-
57, M	+	+	+	-	+	-	-
58, M	+	+	-	-	+	-	-
48, Ж	+	+	-	-	+	+	-
69, M	+	+	+	+	-	-	+
67, Ж	-	+	+	-	-	-	+
69, M	-	+	+	-	-	-	-
74, Ж	-	+	+	-	-	-	-

дёнными признаками представлен в таблице №1.

Особенности дифференциальной диагностики при визуализации.

На основании типичных изменений при КТ инвазивный грибковый процесс можно дифференцировать с хроническим остеомиелитом костей лицевого скелета. При этом зачастую разница между двумя процессами минимальна (рис. 14).

Полипоз околоносовых синусов может сопровождать грибковые процессы, являться как фоном, на который накладывается РОЦМ, так и защитной реакцией организма на инвазию костных стенок. В связи с этим важно отличать содержимое синусов, подозрительное на грибковый процесс, от типичных полипов (рис. 15).

При этом КТ не столь эффективно в дифференцировке между полипами и мукормикозом, классический признак гиперденсного включения в структуре может быть обусловлен не только грибковым процессом, но и высокобелковыми включениями внутри полипа (рис. 16).

#### Заключение.

РОЦМ является редким, но потенциально летальным осложнением (в среднем до 54%) новой коронавирусной инфекции [15]. Мы представили результаты обследования 11 пациентов с мукормикозом на фоне COVID-19 и выявили основные визуальные признаки на КТ и MPT, с которыми могут столкнуться врачи разных специальностей. Результаты анализа указывают на агрессивность РОЦМ, включая деструкцию костных стенок синусов с наличием пузырьков газа, инфильтрацию и инвазию в окружающие ткани. Гиперплазия слизистой оболочки и полипоз являются неспецифичными признаками, поэтому следует особое внимание уделять оценке окружающей клетчатки, глазни

цы, твёрдого неба, верхней челюсти и головного мозга.

КТ околоносовых синусов является методом выбора при подозрении на грибковое поражение. При этом высокая чувствительность МРТ к патологии мягких тканей рано выявляет экстрасинусное распространение, что позволяет рекомендовать метод при по



Рис. 14 (Fig. 14)

### Рис. 14. КТ околоносовых синусов, аксиальная плоскость, костное электронное окно.

Пациент с хроническим остеомиелитом, без перенесённой новой коронавирусной инфекции и без сахарного диабета. Определяются деструкция и секвестрация костных стенок правого верхнечелюстного синуса с распространением на скуловую дугу, отёчность мягких тканей и гиперреакция слизистой оболочки правого верхнечелюстного синуса.

### Fig. 14. CT, paranasal sinuses, axial image, bone window.

A patient with chronic osteomyelitis, no previous COVID-19 and no diabetes mellitus. Bony destruction and sequestration of the right maxillary sinus wall with involving to the zygomatic arch, soft tissues edema and hyperreaction of the right maxillary sinus mucous.



## Рис. 15. МРТ околоносовых синусов: а, г – аксиальная плоскость, Т2-ВИ; б, д – аксиальная плоскость, FLAIR; в – корональная плоскость, Т1-ВИ; е – аксиальная плоскость, Т1-ВИ.

Представлены результаты исследования двух пациентов: а - в – с грибковым поражением (\*) клиновидной пазухи, г - е – с полипозным разрастанием (стрелка). Сигнальные характеристики грибкового шара и полипа схожи, отличить их помогает наличие взаимосвязи полипа со стенкой синуса, в то время как грибковый шар в абсолютном большинстве случаев располагается в центральных отделах синуса и отделён от стенки, гиперинтенсивной на Т2-ВИ утолщённой слизистой оболочкой.

## Fig. 15. MRI of paranasal sinuses: a, d – axial images, T2-WI; b, e – axial images, FLAIR; c – coronal image, T1-WI, f – axial image, T1-WI.

The results of a study of two patients are presented: a-c - with fungal infection (\*) of the sphenoid sinus, d-f - polyposis (arrow) with mucosal thickening.

The signals of the fungal masses and the polyp are similar. The polyp has a connection with the sinus wall, while the fungal masses in the majority of cases is located in the central parts of the sinus and separated from the wall by thickening T2-WI hyperintense mucous membrane.



Рис. 16 (Fig. 16)

# Рис. 16. КТ околоносовых синусов, аксиальная плоскость, мягкотканое электронное окно.

В правом верхнечелюстном синусе определяется гетерогенное содержимое с гиперденсным участком. По интраоперационным данным – полип, признаков грибкового процесса не выявлено. Таким образом, гиперденсные включения в структуре, которые принято считать патогномоничными для грибкового характера, могут быть неизменённым полипом вследствие высокобелкового содержимого [14].

# Fig. 16. CT of paranasal sinuses, axial image, soft tissue window.

In the right maxillary sinus, there is heterogeneous content with a hyperdense areas. According to intraoperative data - a polyp, no evidence of a fungal process. Thus, hyperdense inclusions in the structure, which are considered to be pathognomonic for a fungal character, may be an unchanged polyp due to the high protein content [14].

дозрении на вовлечение глазницы, вещества головного мозга, кавернозного синуса. Только при комплексном использовании обоих методов возможно оценить мягкотканую инвазию и деструкцию костных стенок.

На основании анализа исследований можно сформулировать несколько рекомендаций по визуализации РОЦМ:

1. при КТ использовать протокол сканирования головного мозга с захватом околоносовых синусов, а не стандартный протокол околоносовых синусов, для которого характерны низкие значения мА на рентгеновской трубке и низкое мягкотканое разрешение, которое не позволяет заподозрить интракраниальную инвазию; 2. при МРТ для оценки жировой клетчатки вокруг околоносовых синусов включать в протокол T2-WI с жироподавлением или STIR;

3. для постконтрастных сканов использовать последовательность 3D-градиентное эхо (GRE) с жироподавлением для точной оценки ретробульбарного вовлечения и поражения зрительного нерва;

4. вследствие того, что в режиме DWI на границе кость-головной мозг часты артефакты, желательно дополнять стандартную аксиальную плоскость корональной, а также для диффузии и FLAIR исключать артефакты от металлических стоматологических конструкций. Источник финансирования и конфликт интересов.

Авторы данной статьи подтвердили от-

#### Список литературы:

1. Karadeniz Uğurlu S., Selim S., Kopar A., Songu M. Rhinoorbital mucormycosis: Clinical findings and treatment outcomes of four cases. Turk J Ophthalmol. 2015; 45 (4): 169-174. DOI: 10.4274/tjo.82474.

2. Климко Н.Н., Хостелиди С.Н., Шадривова О.В., Богомолова Т.С., Авдеенко Ю.Л., Волкова А.Г., Попова М.О., Михайлова И.А., Колбин А.С., Бойченко Э.Г., Медведева Н.В., Подольцева Э.И., Климович А.В., Белогурова М.Б., Зюзгин И.С., Успенская О.С., Семелев В.Н., Пономарева Н.И., Абдилова Г.К., Зубаровская Л.С., Афанасьев Б.В. Инвазивный мукормикоз у онкогематологических больных (результаты проспективного исследования). Онкогематология. 2017; 12 (2): 14-22.

3. Honavar SG. Code mucor: guidelines for the diagnosis, staging and management of rhino-orbito-cerebral mucormycosis in the setting of COVID-19. Indian J Ophthalmol. 2021; 69 (6): 1361-1365. DOI: 10.4103/ijo.IJO\_1165\_21.

4. Sreshta K., Dave T.V., Varma D.R., Nair A.G., Bothra N., Naik M.N., Sistla S.K. Magnetic resonance imaging in rhinoorbital-cerebral mucormycosis, Indian Journal of Ophthalmology. 2021; 69 (7): 1915-1927. DOI: 10.4103/ijo.IJO\_1439\_21.

5. Jiang N., Zhao G., Yang S., Lin J., Hu L., Che C., Wang Q., Xu Q. A retrospective analysis of eleven cases of invasive rhino-orbito-cerebral mucormycosis presented with orbital apex syndrome initially. BMC Ophthalmol. 2016; 16: 10. DOI: 10.1186/s12886-016-0189-1.

6. Alsuhaibani A.H., Al-Thubaiti G., Al Badr F.B. Optic nerve thickening and infarction as the first evidence of orbital involvement with mucormycosis. Middle East Afr J Ophthalmol. 2012; 19 (3): 340-342. DOI: 10.4103/0974-9233.97957.

 Sotoudeh H., Shafaat O., Aboueldahab N., Vaphiades M., Sotoudeh E., Bernstock J. Superior ophthalmic vein thrombosis: what radiologist and clinician must know? Eur J Radiol Open. 2019; 6: 258-264. DOI: 10.1016/j.ejro.2019.07.002.
 de Moura Feitoza L., Altemani A., Adolfo da Silva N. Jr,

#### **References:**

1. Karadeniz Uğurlu S., Selim S., Kopar A., Songu M. Rhinoorbital mucormycosis: Clinical findings and treatment outcomes of four cases. Turk J Ophthalmol. 2015; 45 (4): 169-174. DOI: 10.4274/tjo.82474.

2. Klimko N.N., Khostelidi S.N., Shadrivova O.V., Bogomolova T.S., Avdeenko Y.L., Volkova A.G., Popova M.O., Mihailova I.A., Kolbin A.S., Boychenko E.G., Medvedeva N.V., Podoltseva E.I., Klimovich A.V., Belogurova M.B., Zuzgin I.S., Uspenskaya O.S., Semelev V.N., Ponomoreva N.I., Abdilova G.K., Zuborovskaya L.S., Afanasiev B.V. Mucormycosis in oncohematology patients (results of the prospective study). Oncohematology. 2017; 12 (2): 14 -22 (in Russian).

3. Honavar SG. Code mucor: guidelines for the diagnosis, staging and management of rhino-orbito-cerebral mucormycosis in the setting of COVID-19. Indian J Ophthalmol. 2021; 69 (6): 1361-1365. DOI: 10.4103/ijo.JJO\_1165\_21.

сутствие финансовой поддержки исследования и конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.

Reis F. Teaching NeuroImages: Mucormycosis-associated vasculitis: A new sequence to show an old invasive infection. Neurology. 2019; 92 (15): e1796-e1797. DOI: 10.1212/WNL.000000000007275.

9. Ghuman M.S., Kaur S., Bhandal S.K., Ahluwalia A., Saggar K. Bilateral optic nerve infarction in rhino-cerebral mucormycosis: A rare magnetic resonance imaging finding. J Neurosci Rural Pract. 2015; 6 (3): 403-404. DOI: 10.4103/0976-3147.158790.

 10. Gamba J.L., Woodruff W.W., Djang W.T., Yeates A.E.

 Craniofacial mucormycosis: assessment with CT. Radiology.

 1986;
 160
 (1):
 207-212.
 DOI:

 10.1148/radiology.160.1.3715034.

11. Devireddy S.K., Kumar R.K., Gali, R., Kanubaddy S.R., Dasari M.R., Akheel M. Mucormycotic skull base osteomyelitis: a case report. Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, Medicine, and Pathology. 2014; 26 (3): 336-339. DOI: 10.1016/j.ajoms.2013.01.006.

12. Chan L.L, Singh S., Jones D., Diaz EM Jr., Ginsberg L.E. Imaging of mucormycosis skull base osteomyelitis. AJNR Am J Neuroradiol. 2000; 21 (5): 828-831.

13. Middlebrooks E.H., Frost C.J., De Jesus R.O., Massini T.C., Schmalfuss I.M., Mancuso A.A. Acute invasive fungal rhinosinusitis: a comprehensive update of CT findings and design of an effective diagnostic imaging model. AJNR Am J Neuroradiol. 2015; 36 (8): 1529-1535. DOI: 10.3174/ajnr.A4298.

14. Sinonasal polyposis (2021). Available at: http://radiopaedia.org/articles/sinonasal-polyposis?lang=us (accessed 13 December 2021)

15. Roden M.M., Zaoutis T.E., Buchanan W.L., Knudsen T.A., Sarkisova T.A., Schaufele R.L., Sein M., Sein T., Chiou C.C., Chu J.H., Kontoyiannis D.P., Walsh T.J. Epidemiology and outcome of zygomycosis: a review of 929 reported cases. Clin Infect Dis. 2005; 41 (5): 634-653. DOI: 10.1086/432579.

 Sreshta K., Dave T.V., Varma D.R., Nair A.G., Bothra N., Naik M.N., Sistla S.K. Magnetic resonance imaging in rhinoorbital-cerebral mucormycosis, Indian Journal of Ophthalmology. 2021; 69 (7): 1915-1927. DOI: 10.4103/ijo.IJO\_1439\_21.

5. Jiang N., Zhao G., Yang S., Lin J., Hu L., Che C., Wang Q., Xu Q. A retrospective analysis of eleven cases of invasive rhino-orbito-cerebral mucormycosis presented with orbital apex syndrome initially. BMC Ophthalmol. 2016; 16: 10. DOI: 10.1186/s12886-016-0189-1.

6. Alsuhaibani A.H., Al-Thubaiti G., Al Badr F.B. Optic nerve thickening and infarction as the first evidence of orbital involvement with mucormycosis. Middle East Afr J Ophthalmol. 2012; 19 (3): 340-342. DOI: 10.4103/0974-9233.97957.

7. Sotoudeh H., Shafaat O., Aboueldahab N., Vaphiades M., Sotoudeh E., Bernstock J. Superior ophthalmic vein throm-

bosis: what radiologist and clinician must know? Eur J Radiol Open. 2019; 6: 258-264. DOI: 10.1016/j.ejro.2019.07.002. 8. de Moura Feitoza L., Altemani A., Adolfo da Silva N. Jr, Reis F. Teaching NeuroImages: Mucormycosis-associated vasculitis: A new sequence to show an old invasive infection. Neurology. 2019; 92 (15): e1796-e1797. DOI: 10.1212/WNL.000000000007275.

9. Ghuman M.S., Kaur S., Bhandal S.K., Ahluwalia A., Saggar K. Bilateral optic nerve infarction in rhino-cerebral mucormycosis: A rare magnetic resonance imaging finding. J Neurosci Rural Pract. 2015; 6 (3): 403-404. DOI: 10.4103/0976-3147.158790.

10. Gamba J.L., Woodruff W.W., Djang W.T., Yeates A.E.Craniofacial mucormycosis: assessment with CT. Radiology.1986;160(1):207-212.DOI:10.1148/radiology.160.1.3715034.

11. Devireddy S.K., Kumar R.K., Gali, R., Kanubaddy S.R., Dasari M.R., Akheel M. Mucormycotic skull base osteomyelitis: a case report. Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, Medicine, and Pathology. 2014; 26 (3): 336-339. DOI: 10.1016/j.ajoms.2013.01.006.

12. Chan L.L, Singh S., Jones D., Diaz EM Jr., Ginsberg L.E. Imaging of mucormycosis skull base osteomyelitis. AJNR Am J Neuroradiol. 2000; 21 (5): 828-831.

13. Middlebrooks E.H., Frost C.J., De Jesus R.O., Massini T.C., Schmalfuss I.M., Mancuso A.A. Acute invasive fungal rhinosinusitis: a comprehensive update of CT findings and design of an effective diagnostic imaging model. AJNR Am J Neuroradiol. 2015; 36 (8): 1529-1535. DOI: 10.3174/ajnr.A4298.

14. Sinonasal polyposis (2021). Available at: http://radiopaedia.org/articles/sinonasal-polyposis?lang=us (accessed 13 December 2021)

15. Roden M.M., Zaoutis T.E., Buchanan W.L., Knudsen T.A., Sarkisova T.A., Schaufele R.L., Sein M., Sein T., Chiou C.C., Chu J.H., Kontoyiannis D.P., Walsh T.J. Epidemiology and outcome of zygomycosis: a review of 929 reported cases. Clin Infect Dis. 2005; 41 (5): 634-653. DOI: 10.1086/432579.