

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1411>

КТ-перфузия в диагностике злокачественных образований ротоглотки и мониторинге химиолучевого лечения

© Головахина А.В.^{1*}, Солодкий В.А.², Нуднов Н.В.²

¹ ГБУЗ города Москвы “Городская клиническая онкологическая больница №1 ДЗ города Москвы”;
105005 Москва, ул. Бауманская, д. 17/1, Российская Федерация

² ФГБУ “Российский научный центр рентгенорадиологии” Минздрава России; 117997 Москва, ул. Профсоюзная, д. 86,
Российская Федерация

Цель исследования: определить эффективность метода КТ-перфузии в диагностике плоскоклеточного рака ротоглотки и в оценке динамических изменений в пораженной области после химиолучевого лечения.

Материал и методы. Проанализированы результаты КТ-перфузии и КТ с внутривенным контрастированием у 27 пациентов в возрасте от 40 до 76 лет, которые были подразделены на 3 группы: 1-я (контрольная) группа пациентов с подозрением на наличие опухоли ротоглотки – 9 (33,4%) человек; 2-я группа первичных (нелеченых) пациентов – 8 (29,6%) человек с верифицированным диагнозом плоскоклеточного рака; 3-я группа пациентов с данным диагнозом только после химиолучевого лечения – 10 (37,0%) человек.

Результаты. Разработан собственный алгоритм КТ-перфузии области ротоглотки. Определены цифровые показатели, характеризующие наличие опухолевой ткани в тканях ротоглотки: артериальный кровоток (AF) и объем кровенаполнения (BV). При изучении показателей КТ-перфузии было установлено следующее: в группе нелеченых больных, в отличие от контрольной группы пациентов, статистически значимо были повышены значения эквивалентного объема кровенаполнения (BV) и скорость артериального кровотока (AF), тогда как у больных после химиолучевого лечения по сравнению с группой нелеченых пациентов показатели КТ-перфузии были статистически значимо снижены по следующим параметрам: эквивалентный объем кровенаполнения (BV) и скорость артериального кровотока (AF). Анализ результатов КТ-перфузии у пациентов после химиолучевого лечения выявил почти полное восстановление показателей тканевой перфузии по показателям AF и BV относительно показателей перфузии у пациентов контрольной группы. Показатель проницаемости сосудов (FE) имеет лишь второстепенное значение в выявлении опухолевого процесса.

Заключение. Результаты нашего исследования свидетельствуют о диагностической эффективности метода КТ-перфузии в выявлении рака ротоглотки и в оценке соответствующих изменений в зоне поражения, возникающих после химиолучевого лечения. Изменения параметров КТ-перфузии взаимосвязаны с микроциркуляцией в зоне опухоли, что подтверждается статистически значимым снижением показателей BV и AF после проведенного химиолучевого лечения.

Ключевые слова: КТ-перфузия; рак ротоглотки; плоскоклеточная карцинома

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Головахина А.В., Солодкий В.А., Нуднов Н.В. КТ-перфузия в диагностике злокачественных образований ротоглотки и мониторинге химиолучевого лечения. *Медицинская визуализация*. 2024; 28 (1): 57–64. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1411>

Поступила в редакцию: 03.10.2023. **Принята к печати:** 18.02.2024. **Опубликована online:** 22.02.2024.



CT-perfusion in the diagnosis of oropharyngeal cancer and monitoring of chemoradiotherapy

© Alla V. Golovyakhina^{1*}, Vladimir A. Solodkiy², Nikolai V. Nudnov²

¹ City Clinical Oncology Hospital No. 1; 17/1, Baumanskaya str., Moscow 105005, Russian Federation

² Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 86, Profsoyusnaya str., Moscow 117997, Russian Federation

Purpose of the study: to identify diagnostic effectiveness of the CT perfusion method in diagnosing squamous cell carcinoma of the oropharynx and in assessing dynamic changes in the affected area after chemoradiotherapy.

Materials and methods. The results of CT perfusion and CT with intravenous contrast were analyzed in 27 patients aged 40 to 76 years, who were divided into three groups: 1) a control group of patients with suspected oropharyngeal tumors – 9 people (33.4%); 2) group of primary (untreated) patients – 8 people (29.6%) with a verified diagnosis of squamous cell carcinoma; 3) a group of patients with this diagnosis only after chemoradiotherapy – 10 people (37.0%).

Results. Our own algorithm for CT perfusion of the oropharynx region was developed. Digital indicators characterizing the presence of tumor tissue in the tissues of the oropharynx were determined: arterial blood flow (AF) and blood volume (BV). When studying CT perfusion indicators, the following was established: in the group of untreated patients, in contrast to the control group of patients, the values of equivalent blood volume (BV), arterial blood flow velocity (AF) and permeability (FE) were statistically significantly increased. Whereas in patients after chemoradiation treatment, compared with the group of untreated patients, CT perfusion indices were statistically significantly reduced in the following parameters: equivalent blood volume (BV), arterial blood flow velocity (AF). The vascular permeability indicator (FE) is only of secondary importance in identifying the tumor process. Analysis of the results of CT perfusion in patients after chemoradiation treatment revealed an almost complete restoration of tissue perfusion indices in terms of AF and BV relative to perfusion indices in patients in the control group.

Conclusion. The results of our study indicate the diagnostic effectiveness of CT perfusion in detecting oropharyngeal cancer and in assessing the corresponding changes in the affected area that occur after chemoradiotherapy. Changes in CT perfusion parameters are associated with microcirculation in the tumor area, which is confirmed by a statistically significant decrease in BV and AF parameters after chemoradiotherapy.

Keywords: CT-perfusion; oropharyngeal cancer; squamous cell carcinoma

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Golovyakhina A.V., Solodkiy V.A., Nudnov N.V. CT-perfusion in the diagnosis of oropharyngeal cancer and monitoring of chemoradiotherapy. *Medical Visualization*. 2024; 28 (1): 57–64. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1411>

Received: 03.10.2023.

Accepted for publication: 18.02.2024.

Published online: 22.02.2024.

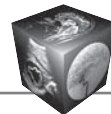
Введение

Злокачественные опухоли в области головы и шеи относятся к наиболее распространенным опухолевым поражениям в мире – примерно 6% всех случаев рака. Смертность составляет примерно 1–2% всех смертей от злокачественных опухолей [1]. При этом плоскоклеточная карцинома составляет более 95% всех случаев рака в области головы и шеи.

Частота заболеваемости раком ротоглотки увеличивается с каждым годом, большую часть заболевших составляет мужская популяция. По данным Министерства здравоохранения Российской Федерации, на 2018 г. показатель заболеваемости среди мужчин составил 2,8 случая на 100 000 населения, среди женщин – 0,48 случая.

КТ-перфузия представляет собой метод динамического контрастирования для количественной оценки микроциркуляции тканей [2]. Он был разработан почти 30 лет назад, в первую очередь для количественной оценки перфузии мозга у пациентов с острым инсультом, и недавно он был вновь открыт как многообещающий неинвазивный инструмент для оценки микроциркуляторных изменений, связанных с некоторыми новообразованиями, включая гепатоцеллюлярную карциному и рак поджелудочной железы, легкого, прямой кишки, головы и шеи [3–5].

В исследованиях областей, в которых была выявлена опухоль, отмечаются более высокие показатели объема кровенаполнения и скорости кровотока. Эти результаты были связаны с неова-



скуляризацией опухоли. Это наблюдение впоследствии было доказано в исследованиях перфузии опухолей головы и шеи [6].

В исследовании D. Troeltzsch и соавт. было показано, что с помощью КТ-перфузии можно дифференцировать рецидив от постлучевого отека мягких тканей на фоне проведенного химиолучевого лечения ($p < 0,05$) [4]. На сегодняшний день имеется небольшое количество исследований по оценке КТ-перфузии злокачественных новообразований области мягких тканей головы или шеи. Однако имеющиеся статьи позволяют судить о высокой диагностической значимости методики [7, 8].

Цель исследования: определить эффективность метода КТ-перфузии в диагностике плоскоклеточного рака ротоглотки и в оценке динамических изменений в пораженной области после химиолучевого лечения.

Материал и методы

Проанализированы данные результатов КТ-перфузии и стандартного трехфазного исследования КТ 27 пациентов в возрасте от 40 до 76 лет, которые были разделены на 3 группы.

Контрольная (1-я) группа состояла из 9 (33,4%) пациентов, которые проходили обследование с подозрением на наличие злокачественного новообразования ротоглотки, но по результатам как инструментальных методов, так и биопсии не было обнаружено признаков опухоли в зоне интереса.

Первичная (2-я) группа – 8 (29,6%) пациентов, находившихся на первичном этапе обследования, у которых по результатам морфологического анализа было подтверждено наличие плоскоклеточного рака в ротоглотке.

Группа после химиолучевого лечения (3-я) – 10 (37,0%) пациентов, прошедших химиолучевое лечение по основному заболеванию, раку ротоглотки, не имеющих при этом в анамнезе хирургического лечения.

Исследование проводилось на компьютерном томографе Aquilion One фирмы Canon с 640 срезами и детектором шириной 160 мм и толщиной среза 0,5 мм.

Учитывая отсутствие в настоящее время стандартизированного протокола исследования КТ-перфузии ротоглотки, нами был разработан собственный алгоритм исследования. Сканирование проходило в краниокаудальном направлении с введением в периферическую вену через периферический кубитальный инъекционный катетер 18 G (внутренний просвет 1,2 мм) неионного низкоосмолярного рентгеноконтрастного препарата Омнипак. Протокол сканирования КТ-перфузии включал в себя нативную фазу сканирования для

оценки ориентировочной точки начала опухолевого образования и серию последовательных сканирований одновременно с введением контрастного препарата со скоростью 5,0 мл/с объемом 40 мл с последующим введением физиологического раствора со скоростью 5,0 мл/с объемом 20 мл. Время ротации трубки – 1,0 с, ширина поля сканирования – 16 мм.

Через 30 мин проводилась стандартная трехфазная КТ с внутривенным контрастированием со скоростью введения 3,5–4 мл/с в объеме 100 мл. Протоколом выбора трехфазной КТ являлось мультифазное сканирование, включавшее в себя нативную (без внутривенного введения контрастного препарата), артериальную и венозную фазы сканирования. Для инъекции контрастного препарата использовался автоматический инжектор OptiVantage.

В нашем исследовании была использована методика постпроцессорной обработки методом Патлака, или, по-другому, двухблочная модель, основанная на динамическом распределении контраста между двумя блоками – внутрисосудистым и внесосудистым. После внутривенного болюсного введения контрастного препарата измерялась степень его концентрации в исследуемой области, для регистрации этого вся опухоль сканировалась в различные интервалы времени [9].

Обработка полученных изображений осуществлялась на рабочей станции Vitrea с использованием протокола 4D Body Perfusion. В процессе обработки полученных изображений измерялась плотность ткани в двух различных областях интереса – ROI (region of interest) в афферентной артерии (внутренняя сонная артерия) и области, в которой определяется/ранее определялся опухолевый процесс, для получения кривой время/плотность с последующим выстраиванием перфузионных карт (рис. 1). Выстраивалась перфузионная карта с показателями артериального кровотока (AF), эквивалентного объема крови (BV) и проницаемости (FE) (рис. 2).

Статистический анализ

Статистическая обработка результатов исследования проводилась с использованием программ Microsoft Office Excel 2016, SPSS Statistics, проверка выборок на соответствие нормальному закону распределения – с помощью метода Манна-Уитни, сравнения трех групп по числовым показателям – на основе непараметрического критерия Краскела-Уоллеса. Статистическая значимость различий групп для бинарных и номинальных показателей осуществлялась с использованием метода χ^2 Пирсона.

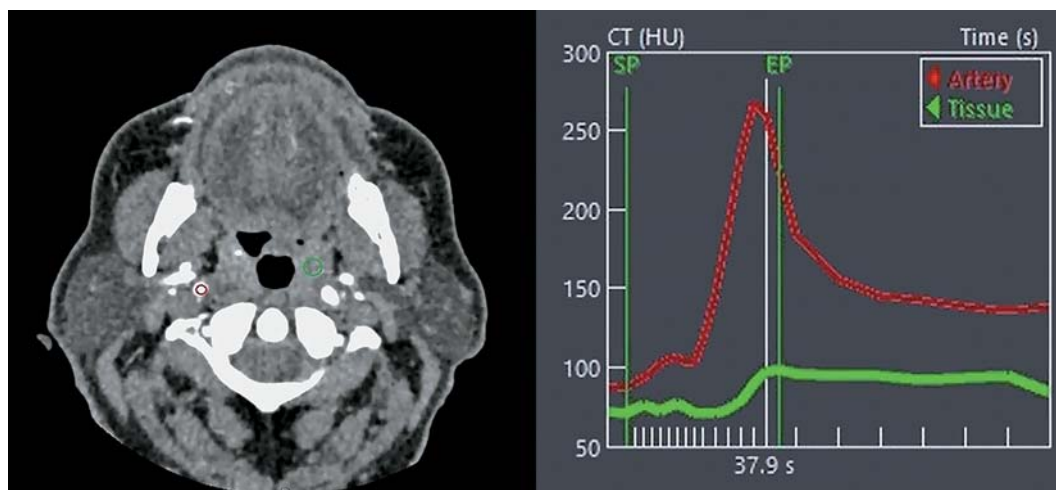
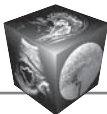


Рис. 1. Установка ROI в афферентную артерию (внутренняя сонная артерия) – красный кружок и в зону интереса – зеленый кружок, с построением кривой время/плотность.

Fig. 1. Setting the ROI in the afferent artery (internal carotid artery) – red circle and in the area of interest – green circle, with the construction of a time/density curve.

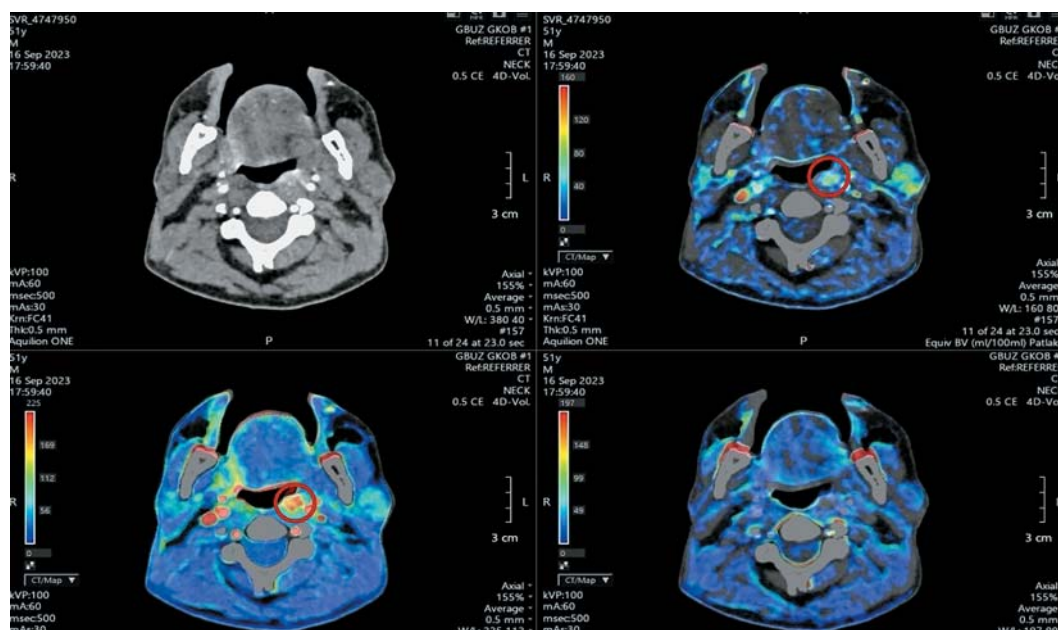
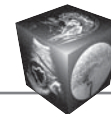


Рис. 2. Перфузионная карта пациента с верифицированным плоскоклеточным раком левой небной миндалины (красный круг).

Fig. 2. Perfusion chart of a patient with verified squamous cell carcinoma of the left palatine tonsil (red circle).



Результаты

Результаты работы основаны на анализе полученных данных лучевого обследования, включающие стандартный протокол КТ и КТ-перфузию.

При изучении показателей КТ-перфузии было установлено следующее: в группе пациентов с первично выявленным плоскоклеточным раком ротоглотки, в отличие от контрольной группы, статистически значимо были повышены значения эквивалентного объема кровенаполнения (BV), скорость артериального кровотока (AF), тогда как показатель проницаемости сосудистой стенки (FE) в зоне интереса был снижен (см. таблицу). Схемы 1–3 демонстрируют, что у пациентов с наличием в ротоглотке плоскоклеточного рака при проведении КТ-перфузии выявлено усиление кровотока в зоне интереса со снижением проницаемости сосудистой стенки, что коррелирует с данными литературы [10, 11], тогда как у пациентов после химиолучевого лечения статистически значимо были ниже показатели эквивалентного объема кровенаполнения (BV), скорость артериального кровотока (AF) по сравнению с группой

пациентов с первично выявленным плоскоклеточным раком ротоглотки.

Не было обнаружено статистически значимой корреляции показателя проницаемости сосудистой стенки (FE) во всех трех группах, что позволяет утверждать, что этот показатель недостаточно информативен по сравнению с показателями BV и AF.

При использовании методики двойного слепого просмотра результатов исследования двумя независимыми друг от друга рентгенологами во 2-й группе у 100% пациентов было подтверждено наличие злокачественного новообразования ротоглотки, что доказывалось данными морфологического исследования. Вместе с этим у пациентов из группы после химиолучевого лечения не было выявлено данных о продолженных росте/рецидиве в зоне ранее определяемой опухоли.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о высокой диагностической значимости метода КТ-перфузии при первичном обследовании пациентов с подозрением на плоскоклеточный рак ротоглотки и последующем динамическим контролем после химиолучевого лечения.

Таблица. Показатели перфузии всех групп пациентов

Table. Perfusion indicators of all patient groups

Показатели Parameters	Референс Reference	Первичная группа Primary group	Группа после курса химиотерапии Group after a course of chemotherapy
Эквивалентный объем кровенаполнения (BV), мл/100 мл Equivalent blood volume (BV), ml/100 ml			
Число пациентов / Number of patients	9	8	10
Среднее значение / Average value	18.3 ± 5.4	44.9 ± 10.2	17.6 ± 8.6
Максимальное значение / Maximum value	35.40	64.4	32.50
Минимальное значение / Minimum value	5.9	39.10	6.8
Скорость артериального кровотока (AF), мл/мин/100 мл Arterial blood flow (AF), ml/min/100 ml			
Число пациентов / Number of patients	9	8	10
Среднее значение / Average value	38.5 ± 12.9	169.2 ± 37.2	56.5 ± 16.4
Максимальное значение / Maximum value	50.40	406.00	68.50
Минимальное значение / Minimum value	19.8	94.5	27.1
Проницаемость (FE), мл/мин/100 мл Vascular wall permeability (FE), ml/min/100 ml			
Число пациентов / Number of patients	9	8	10
Среднее значение / Average value	11.3 ± 5.1	6.2 ± 3.5	4.3 ± 2.2
Максимальное значение / Maximum value	21.70	12.10	6.80
Минимальное значение / Minimum value	6.60	2.70	1.10



Обсуждение

Полученные нами результаты позволяют говорить о том, что повышение параметров КТ-перфузии статистически коррелирует с наличием злокачественного новообразования в ротоглотке по показателям эквивалентного объема кровенаполнения (BV) и скорости артериального кровотока (AF) у всех обследуемых пациентов (100%) (схемы 1, 2), что может быть связано с процессом образования новых кровеносных сосудов в опухоли [12].

При этом наибольший вклад в оценку наличия плоскоклеточного рака ротоглотки вносит фактор "AF, ml/min/100ml" (см. схему 2).

Построение перфузионных карт выявило значительные различия в характере контрастирования в области с верифицированным плоскоклеточным раком по сравнению с пациентами, прошедшими химиолучевое лечение. Так, у пациентов со злокачественным новообразованием, не имеющих в анамнезе лечения, отмечалось интенсивное накопление контрастного препарата, тогда как у пациентов после химиолучевого лечения его накопление в области интереса было сопоставимо с накоплением у пациентов контрольной группы. Известно, что особую роль в изменении перфузии в мягких тканях играют нарушения кровотока [11], исходя из этого, полученные нами данные, могут быть связаны с локальным лучевым поражением мягких тканей, что приводит к ингибированию ангиогенеза, уменьшению поступления кислорода в клетки опухоли с последующим апоптозом клеток [13].

Показатель проницаемости сосудов (FE) недостаточно прогнозирует ответ по сравнению с BV и AF (схема 3): только отдельные авторы указывают его достижимую эффективность [14].

Анализ результатов КТ-перфузии у пациентов, прошедших курс химиолучевого лечения, выявил почти полное восстановление показателей тканевой перфузии до значений контрольной группы по параметрам AF и BV. Таким образом, на основании полученных данных при КТ-перфузии существует возможность оценить гемодинамические показатели в мягких тканях ротоглотки с одновременной оценкой анатомических структур [9].

Параметры КТ-перфузии позволяют объективно оценить эффект проведенного химиолучевого лечения. Оценка тканевой перфузии также может быть применена при стадировании опухолевого процесса, что позволяет расширить возможности врача-онколога в определении дальнейшей тактики лечения [14, 15].

Безусловно, количество обследованных пациентов с учетом начального этапа работы может

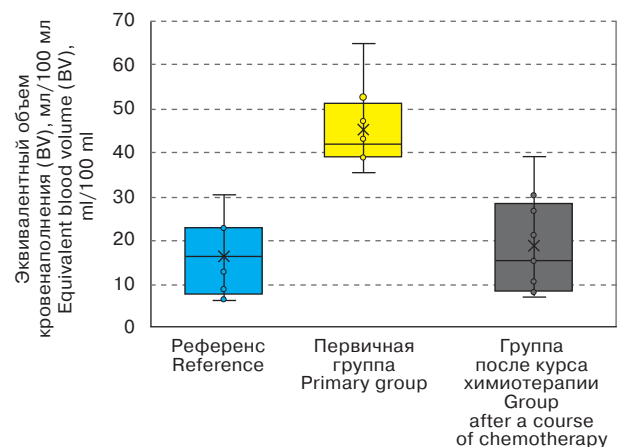


Схема 1. Сравнительная диаграмма эквивалентного объема кровенаполнения (BV) пациентов из трех исследуемых групп ($p < 0,001$).

Scheme 1. Comparative chart of equivalent blood volume (BV) of patients from the three study groups ($p < 0.001$).

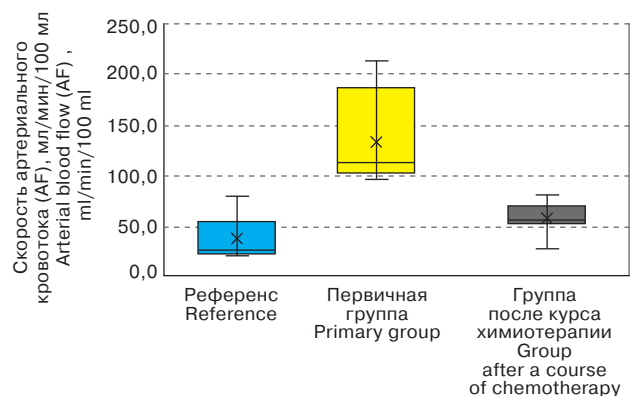


Схема 2. Сравнительная диаграмма скорости артериального кровотока (AF) пациентов из трех исследуемых групп ($p < 0,001$).

Scheme 2. Comparative diagram of arterial blood flow (AF) velocity of patients from the three study groups ($p < 0.001$).

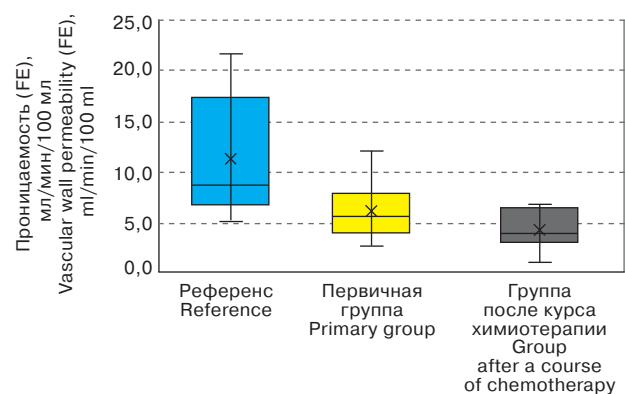
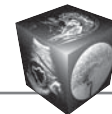


Схема 3. Сравнительная диаграмма проницаемости сосудистой стенки (FE) пациентов из трех исследуемых групп.

Scheme 3. Comparative diagram of vascular wall permeability (FE) of patients from the three study groups.



показаться ограниченным, однако в рамках нашего исследования этого количества пациентов было достаточно для получения статистически значимых результатов. Мы планируем продолжить исследование с большей выборкой пациентов.

Заключение

Разработанный нами протокол КТ-перфузии мягких тканей ротоглотки помогает составлять перфузионные карты и определять числовые показатели артериального кровотока, объема кровенаполнения и проницаемости сосудистой стенки. Использование КТ-перфузии на этапе первичного обследования пациента позволяет точнее выявлять распространенность злокачественного новообразования в тканях ротоглотки, что, в свою очередь, определяет выбор корректной тактики лечения.

Оценка тканевой микроциркуляции методом КТ-перфузии позволит проводить динамическое наблюдение пациентов после химиолучевого лечения.

Заявления и декларации

Авторы заявляют, что при подготовке данной рукописи не было получено никаких средств, грантов или другой поддержки. Авторы не имеют соответствующих финансовых или нефинансовых интересов, которые необходимо раскрывать.

Письменное информированное согласие было получено от каждого пациента после объяснения протокола, его целей и потенциальных рисков.

Участие авторов

Головахина А.В. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, сбор и обработка данных, обзор публикаций по теме статьи, статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, участие в научном дизайне, подготовка, создание опубликованной работы, ответственность за целостность всех частей статьи.

Солодкий В.А. – концепция и дизайн исследования, утверждение окончательного варианта статьи.

Нуднов Н.В. – концепция и дизайн исследования, подготовка и редактирование текста, участие в научном дизайне, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Golovyakhina A.V. – concept and design of the study, conducting research, collection and analysis of data, review of publications, statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data, writing text, text preparation and editing, participation in scientific design, preparation and creation of the published work, responsibility

for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Solodkiy V.A. – concept and design of the study, approval of the final version of the article.

Nudnov N.V. – concept and design of the study, text preparation and editing, approval of the final version of the article.

Список литературы

1. Siegel R.L., Miller K.D., Fuchs H.E., Jemal A. Cancer statistics. *CA Cancer J. Clin.* 2022; 72 (1): 7–33. <https://doi.org/10.3322/caac.21708>
2. Balyan V., Das C.J., Sharma R., Gupta A.K. Diffusion weighted imaging: technique and applications. *Wld J. Radiol.* 2016; 8 (9): 785–798. <https://doi.org/10.4329/wjr.v8.i9.785>
3. Ursino S., Faggioni L., Guidoccio F. et al. Role of perfusion CT in the evaluation of functional primary tumour response after radiochemotherapy in head and neck cancer: preliminary findings. *Br. J. Radiol.* 2016; 89 (1065): 20151070. <https://doi.org/10.1259/bjr.20151070>
4. Troeltzsch D., Niehues S.M., Fluegge T. et al. The diagnostic performance of perfusion CT in the detection of local tumor recurrence in head and neck cancer. *Clin. Hemorheol. Microcirc.* 2020; 76 (2): 171–177. <https://doi.org/10.3233/CH-209209>
5. Котляров П.М., Нуднов Н.В., Виниковецкая А.В., Егорова Е.В., Альбицкий И.А., Овчинников В.И., Гомболевский В.А. Перфузионная компьютерная томография в диагностике и оценке эффективности лечения злокачественных опухолей головного мозга. *Лучевая диагностика и терапия.* 2015; 2: 63–69.
6. Ding Z., Deng C., Wang Z. et al. Comparison of contrast-enhanced ultrasound and contrast-enhanced computed tomography for the diagnosis of cervical lymph node metastasis in squamous cell carcinoma of the oral cavity. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 2021; 50 (3): 294–301. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2020.07.013>
7. Юдин А.Л., Щетинин Р.А., Юматова Е.А., Афанасьева Н.И. Перфузионная компьютерная томография в диагностике рака языка. *Вестник РНЦПР.* 2016; 16 (3).
8. Долгушин М.Б., Пронин И.Н., Фадеева Л.М. и др. Метод КТ перфузии в дифференциальной диагностике вторичного опухолевого поражения головного мозга. *Медицинская визуализация.* 2007; 4: 100–106.
9. Petralia G., Preda L., D'Andrea G. et al. CT perfusion in solid-body tumours. Part I: technical issues. *La Radiologia Medica.* 2010; 6 (115): 843–857.
10. Кораблев Р.В., Васильев А.Г. Неоангиогенез и опухолевый рост. *Российские биомедицинские исследования.* 2017; 2 (4): 3–10.
11. Ткаченко Б.И., Мазуркевич Г.С., Тюкавин А.И. Физиология кровообращения. Физиология сосудистой системы: Руководство по физиологии. Л.: Наука, 1984. 652 с.
12. Ash L., Teknos T.N., Gandhi D. et al. Head and neck squamous cell carcinoma: CT perfusion can help noninvasively predict intratumoral microvessel density. *Radiology.* 2009; 251 (2): 422–430. <https://doi.org/10.1148/radiol.2512080743>
13. Grabham P., Sharma P. The effects of radiation on angiogenesis. *Vasc. Cell.* 2013; 5 (1): 19. <https://doi.org/10.1186/2045-824X-5-19>



14. Hansen M.L., Fallentin E., Lauridsen C. et al. Computed Tomography (CT) Perfusion as an Early Predictive Marker for Treatment Response to Neoadjuvant Chemotherapy in Gastroesophageal Junction Cancer and Gastric Cancer – A Prospective Study. *PLOS One*. 2014; 9 (5): e97605. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097605>
15. Argiris A., Karamouzis M.V., Raben D. et al. Head and neck cancer. *Lancet*. 2008; 371 (9625):1695–1709. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(08\)60728-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(08)60728-X)
- References**
1. Siegel R.L., Miller K.D., Fuchs H.E., Jemal A. Cancer statistics. *CA Cancer J. Clin.* 2022; 72 (1): 7–33. <https://doi.org/10.3322/caac.21708>
2. Balyan V., Das C.J., Sharma R., Gupta A.K. Diffusion weighted imaging: technique and applications. *Wld J. Radiol.* 2016; 8 (9): 785–798. <https://doi.org/10.4329/wjr.v8.i9.785>
3. Ursino S., Faggioni L., Guidoccio F. et al. Role of perfusion CT in the evaluation of functional primary tumour response after radiochemiotherapy in head and neck cancer: preliminary findings. *Br. J. Radiol.* 2016; 89 (1065): 20151070. <https://doi.org/10.1259/bjr.20151070>
4. Troeltzsch D., Niehues S.M., Fluegge T. et al. The diagnostic performance of perfusion CT in the detection of local tumor recurrence in head and neck cancer. *Clin. Hemorheol. Microcirc.* 2020; 76 (2): 171–177. <https://doi.org/10.3233/CH-209209>
5. Kotlyarov P.M., Nudnov N.V., Vinikovetskaya A.V. et al. Ct perfusion in diagnostic and estimation treatment efficacy of malignant cranial gliomas. *Diagnostic Radiology and Radiotherapy*. 2015; 2: 63–69. (In Russian)
6. Ding Z., Deng C., Wang Z. et al. Comparison of contrast-enhanced ultrasound and contrast-enhanced computed tomography for the diagnosis of cervical lymph node metastasis in squamous cell carcinoma of the oral cavity. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 2021; 50 (3): 294–301. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2020.07.013>
7. Yudin A.L., Shchetin R.A., Yumatova E.A., Afanasieva N.I. Perfusion computed tomography in the diagnosis of tongue cancer. *Vestnik of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology*. 2016; 16 (3). (In Russian)
8. Dolgushin M.B., Pronin I.N., Fadeeva L.M., Kornienko V.N. Perfusion Computed Tomography in Differential Diagnosis of Brain Metastases. *Medical Visualization*. 2007; 4: 100–106. (In Russian)
9. Petralia G., Preda L., D'Andrea G. et al. CT perfusion in solid-body tumours. Part I: technical issues. *La Radiologia Medica*. 2010; 6 (115): 843–857.
10. Korablev R.V., Vasilyev A.G. Neoangiogenesis and tumor growth. *Russian Biomedical Research*. 2017; 2 (4): 3–10. (In Russian)
11. Tkachenko B.I., Mazurkevich G.S., Tyukavin A.I. Physiology of blood circulation. Physiology of the vascular system: A guide to physiology. L.: Nauka, 1984. 652 p. (In Russian)
12. Ash L., Teknos T.N., Gandhi D. et al. Head and neck squamous cell carcinoma: CT perfusion can help noninvasively predict intratumoral microvessel density. *Radiology*. 2009; 251 (2): 422–430. <https://doi.org/10.1148/radiol.2512080743>
13. Grabham P., Sharma P. The effects of radiation on angiogenesis. *Vasc. Cell*. 2013; 5 (1): 19. <https://doi.org/10.1186/2045-824X-5-19>
14. Hansen M.L., Fallentin E., Lauridsen C. et al. Computed Tomography (CT) Perfusion as an Early Predictive Marker for Treatment Response to Neoadjuvant Chemotherapy in Gastroesophageal Junction Cancer and Gastric Cancer – A Prospective Study. *PLOS One*. 2014; 9 (5): e97605. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097605>
15. Argiris A., Karamouzis M.V., Raben D. et al. Head and neck cancer. *Lancet*. 2008; 371 (9625):1695–1709. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(08\)60728-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(08)60728-X)

Для корреспонденции*: Головяхина Алла Владиславовна – e-mail: golovyakhina@yandex.ru

Головяхина Алла Владиславовна – врач-рентгенолог ГБУЗ города Москвы “Городская клиническая онкологическая больница №1 ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0009-0003-7199-5324>

Солодкий Владимир Алексеевич – академик РАН, профессор, директор ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-1641-6452>. E-mail: direktor@rncrr.ru

Нуднов Николай Васильевич – доктор мед. наук, профессор, заместитель директора по научной работе, заведующий НИО комплексной диагностики заболеваний и радиотерапии ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>. E-mail: nudnov@rncrr.ru

Contact*: Alla V. Golovyakhina – e-mail: golovyakhina@yandex.ru

Alla V. Golovyakhina – Radiologist, City Clinical Oncology Hospital No. 1, Moscow. <https://orcid.org/0009-0003-7199-5324>

Vladimir A. Solodkiy – Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Director of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-1641-6452>. E-mail: direktor@rncrr.ru

Nikolai V. Nudnov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Deputy Director (Science), Chief of the research institute of complex diagnostics of diseases and radiotherapy of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>. E-mail: nudnov@rncrr.ru