

© В.В. Нестерова¹, Д.В. Нестеров^{1,4}, И.А. Буровик^{1,2}, С.С. Багненко^{1,3},
 П.В. Балахнин¹, А.В. Кулиш¹, П.Ю. Гришко¹, А.С. Шмелев¹, В.И. Малькевич¹, Е.В. Загайнов^{1,4},
 А.М. Карачун¹, Е.А. Бусько^{1,2}, К.В. Козубова¹, А.С. Мамонтова¹, И.И. Ярмолюк¹

Методика КТ-артериогепатикографии у больных с метастазами колоректального рака в печени после химиотерапии

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н.Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Российская Федерация

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург, Российская Федерация

³Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Российская Федерация

⁴Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Российская Федерация

© Valeriya V. Nesterova¹, Denis V. Nesterov^{1,4}, Ilya A. Burovik^{1,2}, Sergey S. Bagnenko^{1,3},
 Pavel V. Balakhnin¹, Anna V. Kulish¹, Pavel Yu. Grishko¹, Aleksei S. Shmelev¹, Vasilii I. Malkevich¹,
 Evgeny V. Zagaynov^{1,4}, Aleksei M. Karachun¹, Ekaterina A. Busko¹, Ksenia V. Kozubova¹,
 Anna S. Mamontova¹, Igor I. Yarmolyuk¹

CT Arteriography for Assessing Colorectal Cancer Liver Metastases After Chemotherapy

¹N.N. Petrov National Medicine Research Center of Oncology, St. Petersburg, the Russian Federation

²St. Petersburg State University St. Petersburg, the Russian Federation

³St. Petersburg State Pediatric Medical University, St. Petersburg, the Russian Federation

⁴North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, St. Petersburg, the Russian Federation

Введение. Колоректальный рак занимает третье место в структуре онкологической заболеваемости в мире, метастазы в печени обнаруживают у 25 % пациентов на момент первичной диагностики и у 50 % пациентов после резекции первичной опухоли.

Цель. Предложить и апробировать методику КТ-артериогепатикографии для диагностики метастазов колоректального рака в печени после химиотерапии.

Материалы и методы. В исследование включено семь пациентов с колоректальным раком и метастазами в печени после неoadъювантной химиотерапии. Всем пациентам выполнена КТ-артериогепатикография с внутриартериальным введением 40 мл йодсодержащего контрастного препарата (300–320 мг йода/мл) со скоростью 2 мл/с. Сканирование проводилось в две фазы: на 22 сек (семь пациентов) и 33–38 сек (шесть пациентов) от начала введения контрастного вещества. Оценивались наличие капиллярной фазы контрастирования, визуализация метастазов и периферического ободка контрастирования вокруг них, выраженность транзиторных участков артериального усиления печени (ТАУП).

Результаты. Выявлено 19 метастазов печени. Капиллярная фаза контрастирования на 22 сек достигнута у четырех из семи пациентов (57 %), на 33–38 сек — у всех шести обследованных на этой фазе пациентов (100 %). Гиперваскулярный ободок контрастирования визуализировался у 15 необызвестленных метастазов (100 %) в обе

Introduction. Colorectal cancer ranks third in global cancer incidence. Liver metastases are present in 25 % of patients at initial diagnosis and develop in 50 % of patients following resection of the primary tumor.

Aim. To develop and evaluate a CT arteriography protocol for diagnosing colorectal cancer liver metastases following chemotherapy.

Materials and Methods. Seven patients with colorectal cancer and liver metastases after neoadjuvant chemotherapy were included. All patients underwent CT arteriography with intra-arterial administration of 40 ml iodinated contrast medium (300–320 mg iodine/ml) at 2 ml/s. Scanning was performed in two phases: arterial (22 seconds post-injection; n = 7) and portal venous (33–38 seconds; n = 6). Imaging assessment included capillary phase enhancement, metastasis visualization, peripheral rim enhancement, and severity of transient hepatic attenuation differences (THAD).

Results. Nineteen liver metastases were identified. Capillary phase enhancement was achieved in 4/7 patients (57 %) at 22 seconds and all 6 patients (100 %) at 33–38 seconds. Hypervascular rim enhancement was visualized in 15 non-calcified metastases (100 %) during both phases with consistent intensity. THAD was observed in all pa-

фазы сканирования с одинаковой выраженностью. ТАУП отмечены у всех пациентов при сканировании на 22 сек с уменьшением выраженности к 33–38 сек.

Заключение. Предложенная методика КТ-артерио-гепатикографии обеспечивает 100 % визуализацию периферического ободка контрастирования у необызвестленных метастазов колоректального рака после химиотерапии. Сканирование на 33–38 сек предпочтительнее из-за стабильного достижения капиллярной фазы и меньшей выраженности перфузионных артефактов при сохранении диагностической ценности ободка контрастирования.

Ключевые слова: колоректальный рак; метастазы печени; КТ-артерио-гепатикография; внутриартериальное контрастирование; ободок контрастирования

Для цитирования: Нестерова В.В., Нестеров Д.В., Буровик И.А., Багненко С.С., Балахнин П.В., Кулиш А.В., Гришко П.Ю., Шмелев А.С., Малькевич В.И., Загайнов Е.В., Карачун А.М., Бусько Е.А., Козубова К.В., Мамонтова А.С., Ярмолук И.И. Методика КТ-артерио-гепатикографии у больных с метастазами колоректального рака в печени после химиотерапии. *Вопросы онкологии*. 2025; 71(6): 00-00.-DOI: 10.37469/0507-3758-2025-71-6-OF-2399

✉ Контакты: Нестерова Валерия Валерьевна, nestlera00@gmail.com

Введение

Колоректальный рак занимает третье место в структуре онкологической заболеваемости в мире с выявлением 1,1 млн новых случаев ежегодно и является второй ведущей причиной смерти от злокачественных новообразований [1]. Метастазы в печени обнаруживают у 25 % пациентов на момент первичной диагностики данного заболевания и у 50 % пациентов после резекции первичной опухоли [2].

Точность выявления метастазов печени варьирует в зависимости от размера образований и метода визуализации. В метаанализе МРТ и КТ показали чувствительность 93,1 % и 82,1 % соответственно [3]. Для очагов диаметром < 10 мм диагностические возможности существенно снижаются: чувствительность КТ составляет 16 %, МРТ — 74 % [4]. Интраоперационное УЗИ находит дополнительные метастазы у 33 % пациентов, которые не были обнаружены при предоперационной визуализации, что особенно эффективно для поражений < 10 мм [5]. Несмотря на совершенствование методов диагностики, около 10 % больных имеют нераспознанные предоперационные метастазы, а частота рецидивов после резекции печени остается на уровне более 50 % [4, 6].

Визуализация метастазов в печени основана на различиях тех или иных характеристик между метастазом и окружающей паренхимой печени (рентгеновской плотности, интенсивности сигнала, экзогенности, в зависимости от метода лучевой диагностики) на нативных изображениях или на фоне введения контрастного препарата: йодсодержащего при КТ, гадолиний-содержащего при МРТ, формирующего микропузырьки

при УЗИ [7]. Увеличение контрастности обычно достигают повышением концентрации контрастных веществ, применением спектрального сканирования при КТ, использованием гепатоспецифичных препаратов при МРТ и прямым введением контрастного вещества в сосуды печени. При КТ метастазы колоректального рака обычно проявляются как гиподенсные очаги относительно нормальной паренхимы печени [8].

Conclusion. The proposed CT arteriography technique provides 100 % visualization of peripheral rim enhancement in non-calcified colorectal liver metastases after chemotherapy. The 33–38 second scan timing is preferred due to consistent capillary phase achievement and reduced perfusion artifacts while maintaining diagnostic rim enhancement quality.

Keywords: colorectal cancer; liver metastases; CT arteriography; intra-arterial contrast enhancement; rim enhancement

For Citation: Valeriya V. Nesterova, Denis V. Nesterov, Ilya A. Burovik, Sergey S. Bagnenko, Pavel V. Balakhnin, Anna V. Kulish, Pavel Yu. Grishko, Aleksei S. Shmelev, Vasilii I. Malkevich, Evgeny V. Zagaynov, Aleksei M. Karachun, Ekaterina A. Busko, Ksenia V. Kozubova, Anna S. Mamontova, Igor I. Yarmolyuk. CT arteriography for assessing colorectal cancer liver metastases after chemotherapy. *Voprosy Onkologii = Problems in Oncology*. 2025; 71(6): 00-00.-DOI: 10.37469/0507-3758-2025-71-6-OF-2399

вокруг метастаза при внутривенном или внутриартериальном введении контрастного препарата [9]. Гиперваскулярный ободок является известным паттерном усиления метастаза печени при КТ и МРТ и обладает высокой специфичностью, но встречается только у 35–89 % метастазов колоректального рака [10].

Гепатикография и возвратная портография широко использовались для выявления метастазов печени с помощью рентгеноскопии в 70–80-х гг. и КТ [8]. Ограничивающим фактором в визуализация гиповаскулярных метастазов колоректального рака при КТ-гепатикографии выступают артефакты контрастирования паренхимы печени, обусловленные неравномерностью ее перфузии [11]. Технология получила новое развитие с внедрением плоскодетекторной КТ (ПДКТ) и разработкой специализированных протоколов сканирования [12]. Принцип методики основан на создании капиллярной фазы контрастирования путем длительной инфузии контрастного препарата, обеспечивающего формирование выраженного ободка накопления вокруг метастазов. Это позволяет выявлять гиповаскулярные метастазы не на основании разности рентгеновской плотности очага и паренхимы печени, а благодаря

появлению специфического ободка контрастирования [12]. При использовании ПДКТ данный диагностический признак визуализируется у 100 % метастазов колоректального рака [12].

Отношение сигнал/шум и чувствительность к артефактам дыхания у ПДКТ хуже, чем у КТ, поэтому целесообразно изучение протокола введения контрастного вещества, используемого при ПДКТ, в других модальностях [13, 14]. Спиральная КТ отличается от ПДКТ по длительности сканирования, контрастности изображений, возможностям точного позиционирования катетера и максимальному допустимому инжектором давлению. На первых этапах изучения этого подхода требуется оценка качества получаемых изображений, воспроизводимости получения капиллярной фазы контрастирования печени и ободка контрастирования метастаза колоректального рака после неoadьювантного лечения. Для решения перечисленных выше вопросов и было проведено наше исследование. Цель исследования — предложить и апробировать методику КТ-артериогепатикографии для диагностики метастазов колоректального рака в печени после химиотерапии.

Материалы и методы

В исследование включено семь пациентов с колоректальным раком и метастазами в печени в возрасте от 37 до 78 лет, обследованных в ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова» Минздрава России. Все пациенты получали неoadьювантную химиотерапию на амбулаторном этапе с последующей госпитализацией для абляции или резекции метастазов печени. Выполнено семь КТ исследований с внутриартериальным контрастированием.

Прототипом для предлагаемой методики КТ-артериогепатикографии послужил способ ПДКТ-артериогепатикографии с внутриартериальным введением 40 мл йодсодержащего контрастного препарата с концентрацией йода 370 мг/мл со скоростью инфузии 2 мл/сек [12].

Всем пациентам в условиях рентгеноперационной под местной анестезией 1 % раствором лидокаина 10,0 выполнялась катетеризация правой бедренной артерии по Сельдингеру, чревного ствола и общей печеночной артерии при типичной анатомии целиако-мезентерального бассейна с использованием ангиографического катетера Cobra C2 5F и управляемого проводника. При вариантной анатомии с отхождением печеночных артерий от разных сосудов устанавливалось два катетера. Пациента на каталке транспортировали в отделение лучевой диагностики для выполнения КТ с внутриартериальным контрастированием.

КТ-исследование проводили на 128-срезовом КТ с параметрами: напряжение трубки — 120 kV, автоматический контроль экспозиции, толщина среза — 2 мм, питч — 1. Зона сканирования ограничивалась печенью. Использовали контрастные препараты с содержанием йода 300–320 мг/мл.

При кровоснабжении печени из одной артерии вводили 40 мл неразведенного йодсодержащего контрастного препарата со скоростью 2 мл/с. При вариантной анатомии контрастное вещество вводили последовательно в каждую артерию по 20 мл со скоростью 1 мл/с. Интервал между сканированиями составлял 5 мин.

Первую фазу сканирования выполняли на 22 сек от начала введения контрастного вещества для получения капиллярной фазы.

В связи с наблюдаемыми при обследовании первого пациента участками транзитного усиления паренхимы печени, остальным шести больным было принято решение дополнительно выполнить вторую фазу сканирования на 33–38 сек. Выбор задержки был обусловлен минимальным временем, необходимым для возврата стола томографа и подготовки к повторному сканированию.

Для каждой фазы сканирования определяли наличие контрастного вещества в печеночных артериях, печеночных венах, воротной вене. Под капиллярной фазой подразумевали фазу, на которой контрастное вещество отсутствовало в печеночных артериях и присутствовало в паренхиме печени и печеночных венах.

На полученных изображениях в каждую из серий сканирования оценивали характер контрастирования паренхимы печени и ее сосудов, число образований, соответствие КТ-картины характерному паттерну усиления для метастатического поражения, наличие гиперваскулярного ободка вокруг этих образований, критерием которого служило визуальное увеличение рентгеновской плотности линейной зоны по периферии.

Во все фазы сканирования оценивали участки транзитного артериального усиления печени (ТАУП), которые представляли собой гиперденсные зоны неизменной паренхимы печени [15, 16]. Основными дифференциально-диагностическими критериями ТАУП от патологических образований печени служили отсутствие масс-эффекта на соседние структуры, сохранность внутripеченочного сосудистого рисунка в зоне изменений и характерная клиновидная или трапециевидная форма [15, 16]. Визуально анализировали динамику ТАУП во второй фазе сканирования, по сравнению с первой по шкале: уменьшение выраженности, нет изменений, увеличение выраженности.

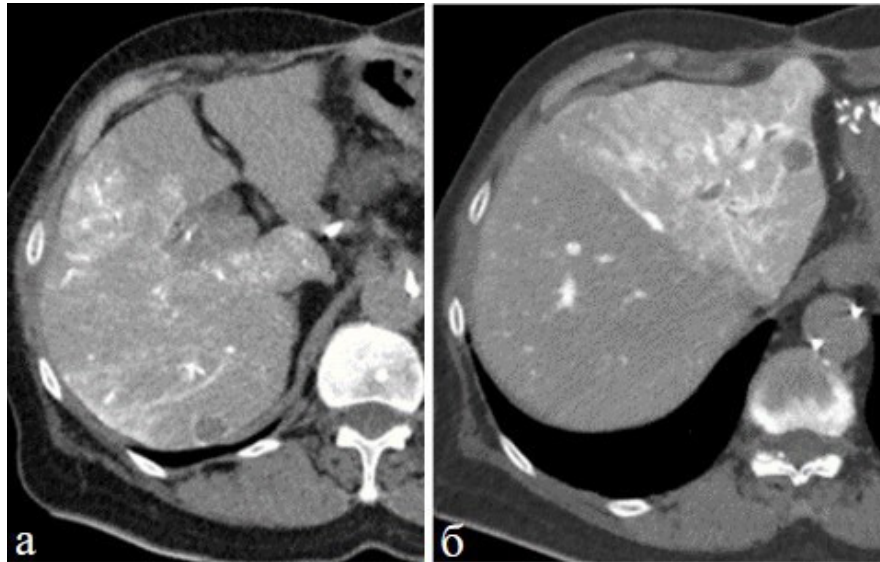


Рис. 1. КТ с внутриаартериальным контрастированием при вариантной анатомии печеночных сосудов, 22 сек сканирования.

а — контрастирование правой доли печени, б — контрастирование левой доли печени

Fig. 1. CT with intra-arterial contrast enhancement with anatomic variation of hepatic vessels at 22-second scan delay. а — contrast enhancement of the right hepatic lobe, б — contrast enhancement of the left hepatic lobe

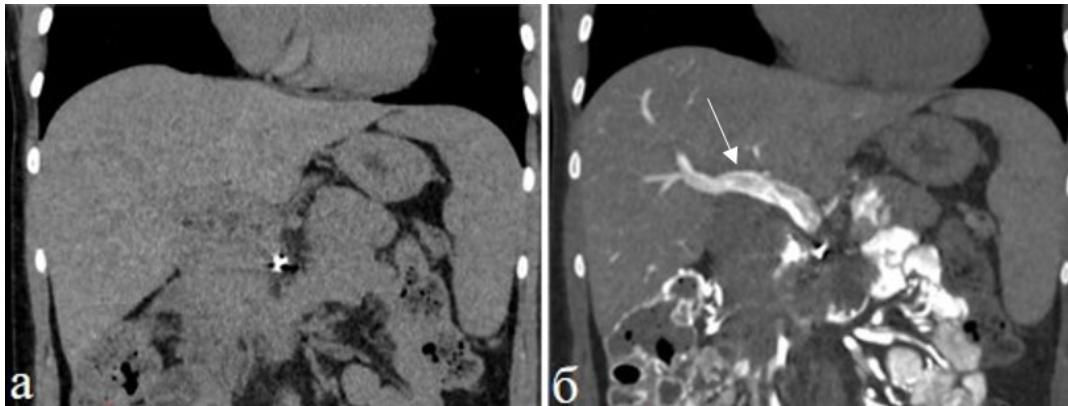


Рис. 2. КТ с внутриаартериальным контрастированием на уровне печени. а — нативная фаза; б — возвратная мезентерико-портальная фаза сканирования на 22 сек; контрастный препарат в воротной вене (стрелка)

Fig. 2. CT with intra-arterial contrast enhancement at the liver level. а — unenhanced phase; б — 22-second delayed phase demonstrating retrograde mesenteric-portal enhancement with contrast agent in the portal vein (arrow)

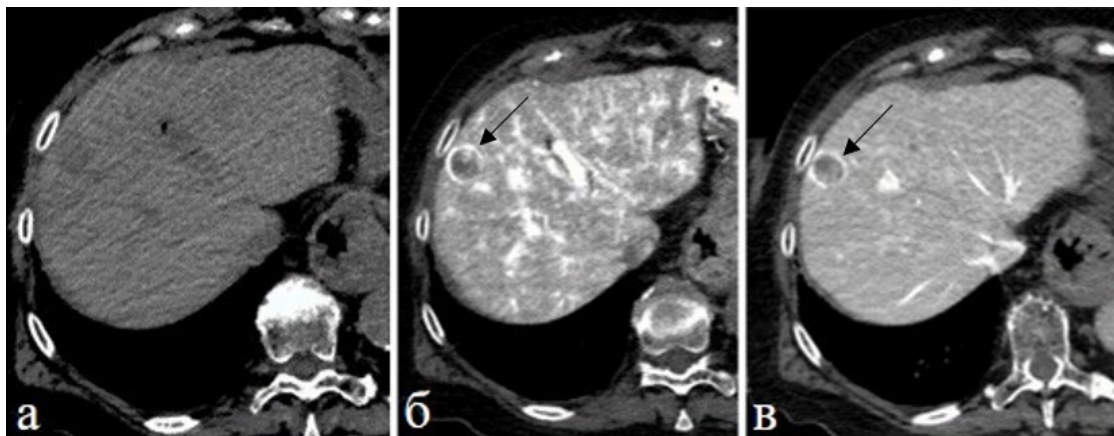


Рис. 3. КТ с внутриаартериальным контрастированием на уровне печени: а — нативная фаза; б — первая фаза контрастирования (22 сек); в — вторая фаза контрастирования (38 сек). Отмечается накопление контрастного препарата по периферии ободком метастаза (стрелки). Уменьшение выраженности участков транзитного усиления печени во второй фазе сканирования по сравнению с первой

Fig. 3. CT with intra-arterial contrast enhancement at the liver level: а — unenhanced phase; б — early arterial phase (22-second delay); в — Delayed phase (38-second delay) showing peripheral rim enhancement of metastasis (arrows). Demonstrates reduced transient hepatic attenuation differences (THAD) compared to the early phase

Результаты

Типичная анатомия целиако-мезентериально-го бассейна была у пяти пациентов. Вариантная анатомия была у двух больных: 3 и 9 типов по N. Michels.

У четырех пациентов (57 %) на 22 сек отмечалась капиллярная фаза контрастирования печени. У трех из этих четырех пациентов контрастное вещество определялось в артериях печени, у трех пациентов отмечалась возвратная портальная фаза.

На сериях, полученных на 33–38 сек, у всех шести пациентов также определялась капиллярная фаза, при этом контрастирование артерий не отмечалось. Появления контрастного вещества в воротной вене также не было.

Участки транзиторного усиления печени отмечены у шести больных (86 %) в первую фазу сканирования. Выраженность этих изменений уменьшились к 33–38 сек у всех пациентов.

Всего на КТ с внутриартериальным контрастированием выявлено 19 метастазов в печени.

У шести пациентов с фазами контрастирования на 22 и 33–38 сек было выявлено 15 метастазов, их количество и наличие гиперваскулярного ободка в разные фазы сканирования были идентичны.

У одного пациента с фазами контрастирования на 22 и 33 сек гиперваскулярный ободок у четырех метастазов не определялся, что было связано с выраженной кальцинацией очагов.

Обсуждение

Гиперваскулярный ободок вокруг очага является специфичным, хорошо изученным паттерном контрастирования метастаза печени [9, 17, 18]. Этот симптом универсален и определяется всеми методами лучевой диагностики. Гиперваскулярный ободок обусловлен комбинацией факторов: пролиферацией опухолевых клеток по периферии, перитуморальной десмопластической реакцией, воспалением и неоангиогенезом [9]. Согласно литературным данным, наиболее чувствительной методикой в выявлении этого признака является ПДКТ-артериография, при которой частота визуализации ободка контрастирования достигает 100 % [12].

Мы исследовали, насколько эффективно ободок контрастирования визуализируется при использовании спиральной КТ с протоколом внутриартериального введения контрастного вещества, основанного на протоколе ПДКТ. Перенос методики с одной модальности на другую представляет определенные трудности, связанные с различиями во временном и пространственном разрешении, а также в физических принципах формирования изображения.

П.В. Балахнин и соавт. описали методику ПДКТ инфузионной артериогепатикографии с введением 40 мл контрастного препарата с концентрацией йода 370 мг/мл со скоростью 2 мл/с и задержкой сканирования на 22 сек для получения капиллярной фазы [12]. В этой фазе контрастное вещество отсутствует в печеночных артериях, но присутствует в паренхиме печени и печеночных венах, что создает оптимальные условия для визуализации гиповаскулярных метастазов за счет формирования периферического ободка контрастирования вокруг очагов, который обладает высокой специфичностью для метастатического поражения печени. Мы адаптировали данный протокол для спиральной КТ, используя аналогичные параметры введения контрастного вещества.

Дополнительно мы исследовали вторую фазу сканирования на 33–38 сек, поскольку имелись опасения относительно выраженности ТАУП на 22 сек, которое может маскировать мелкие метастазы или имитировать патологические изменения. В нашем исследовании капиллярная фаза на 22 сек была достигнута у четырех из семи пациентов (57 %), а на 33–38 сек — у шести из шести пациентов (100 %). Частичная воспроизводимость методики на 22 сек может быть обусловлена индивидуальными вариациями гемодинамики, различиями в позиционировании катетера и техническими особенностями спиральной КТ, по сравнению с ПДКТ.

Гиперваскулярный ободок контрастирования визуализировался у 15 необызвествленных метастазов (100 %), что существенно превосходит литературные данные о выявлении ободка при стандартных КТ и МРТ с внутривенным контрастированием, где частота визуализации составляет 35–89 % [10]. Высокая частота определения ободка в нашем исследовании сопоставима с результатами ПДКТ-артериографии и подтверждает эффективность прямого внутриартериального введения контрастного вещества для визуализации этого диагностического признака.

Важным наблюдением стало то, что частота выявления и выраженность ободка контрастирования были идентичными в обе фазы сканирования (22 и 33–38 сек). Это согласуется с данными других исследований. Li и соавт. продемонстрировали сохранение визуализации гиперваскулярного ободка на 40 сек сканирования при многофазной КТ-артериогепатикографии [19]. Inoue и соавт. показали, что при двухфазной КТ-артериографии 80 % метастазов демонстрировали контрастирование ободка на 12 сек, и только 73 % сохраняли это контрастирование во второй фазе [20]. Расхождения между частотой появления ободка во второй фазе между нашими исследованиями может быть связано с разной задержкой

сканирования. В исследовании E. Inoue и соавт. второе сканирование выполнялось через 20 сек после окончания первого [20]. В нашем исследовании разница между окончанием первой и началом второй фазы составляла около 5 сек.

Основным фактором, затрудняющим анализ изображений при внутриартериальном контрастировании, является выраженное ТАУП. В нашем исследовании оно встречалось у шести пациентов из семи (86 %) при сканировании на 22 сек. Столь высокая частота встречаемости существенно превышает данные, приводимые для ТАУП при стандартной КТ с внутривенным контрастированием — 9–13 % и КТ-портнографии — 34–61 % [21, 22, 23]. Важно отметить, что прямое сопоставление наших результатов с литературными данными затруднено из-за различий в методике контрастирования. Большинство опубликованных исследований описывают ТАУП при внутривенном введении контрастного препарата, в то время как селективная внутриартериальная КТ-артериография создает принципиально иные гемодинамические условия с более выраженной гетерогенностью артериального кровоснабжения печени. Дополнительным фактором, объясняющим 100 % встречаемость транзиторного усиления в нашей серии, является предшествующая химиотерапия у всех включенных пациентов. По данным Roth и соавт. (1989), артериальные перфузионные аномалии выявляются у 60 % пациентов после шести мес. химиотерапии и у 82 % после года лечения [24].

Важно, что на 33–38 сек выраженность ТАУП уменьшилась у всех пациентов. Таким образом, сканирование на 33–38 сек представляется более предпочтительным, поскольку выраженность ободка контрастирования сохраняется, но улучшается визуализация паренхимы печени за счет отсутствия перфузионных артефактов.

Наше исследование имеет ряд ограничений. Малый размер выборки (семь пациентов) снижает мощность исследования. Отсутствие прямого сопоставления КТ-артериографии с другими методами визуализации не позволяет количественно оценить диагностическое преимущество методики. Просмотр всех изображений одним рентгенологом создает потенциальную субъективность в оценке наличия и выраженности ободка контрастирования. Необходимы дальнейшие исследования с большей выборкой и мультицентровым дизайном для валидации предложенной методики.

Заключение

Предложенная методика КТ-артериографии демонстрирует воспроизводимые результаты независимо от анатомических вариан-

тов кровоснабжения печени и обладает высоким потенциалом для улучшения визуализации метастазов колоректального рака в печени после неoadъювантной химиотерапии. Капиллярная фаза контрастирования на 33–38 сек представляется более перспективной, чем на 22 сек, т. к. характеризуется меньшей выраженностью артефактов и сохранением визуализации ободка контрастирования вокруг метастазов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Финансирование

В рамках государственного задания. Регистрационная карта № 125042105339-1.

Funding

This work was supported by a state research assignment (Registration Card No. 125042105339-1).

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики

Все процедуры с вовлечением больных были проведены в соответствии с Хельсинкской декларацией по правам человека в редакции 2013 г. Проведение данной работы одобрено этическим комитетом ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н.Н. Петрова» Минздрава России из протокола № 02 от 24.01.2024. Все больные подписывали информированное согласие на участие в исследовании.

Compliance with patient rights and principles of bioethics

All procedures involving human participants were conducted in accordance with the ethical standards of the Declaration of Helsinki (2013 version). The study protocol was approved by the Ethics Committee of the N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology (Protocol No. 02, January 24, 2024). Written informed consent was obtained from all individual participants.

Участие авторов

Все авторы в равной степени участвовали в подготовке публикации: разработке концепции статьи, получении и анализе фактических данных, написании и редактировании текста статьи, проверке и утверждении текста статьи.

Authors' contributions

All authors contributed equally to: study conception and design, data acquisition and analysis, manuscript drafting and critical revision, and final approval of the published version.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Sung H., Ferlay J., Siegel R.L., et al. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *CA Cancer J Clin.* 2021; 71(3): 209-249.-DOI: <https://doi.org/10.3322/caac.21660>.
2. Van Cutsem E., Nordlinger B., Adam R., et al. European Colorectal Metastases Treatment Group. Towards a pan-European consensus on the treatment of patients with colorectal liver metastases. *Eur J Cancer.* 2006; 42(14): 2212-2221.-DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejca.2006.04.012>.
3. Choi S.H., Kim S.Y., Park S.H., et al. Diagnostic performance of CT, gadoxetate disodium-enhanced MRI, and PET/CT for the diagnosis of colorectal liver metastasis: Systematic re-

- view and meta-analysis. *J Magn Reson Imaging*. 2018; 47(5): 1237-1250.-DOI: <https://doi.org/10.1002/jmri.25852>.
4. Schulz A., Viktil E., Godt J.C., et al. Diagnostic performance of CT, MRI and PET/CT in patients with suspected colorectal liver metastases: the superiority of MRI. *Acta Radiol*. 2016; 57(9): 1040-1048.-DOI: <https://doi.org/10.1177/0284185115617349>.
 5. Shah A.J., Callaway M., Thomas M.G., Finch-Jones M.D. Contrast-enhanced intraoperative ultrasound improves detection of liver metastases during surgery for primary colorectal cancer. *HPB (Oxford)*. 2010; 12(3): 181-187.-DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1477-2574.2009.00141.x>.
 6. Costa P.F., Coelho F.F., Jeismann V.B., et al. Repeat hepatectomy for recurrent colorectal liver metastases: A comparative analysis of short- and long-term results. *Hepatobiliary Pancreat Dis Int*. 2022; 21(2): 162-167.-DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hbpd.2021.08.005>.
 7. Oldenburg A., Hohmann J., Foert E., et al. Detection of hepatic metastases with low MI real time contrast enhanced sonography and SonoVue. *Ultraschall Med*. 2005; 26(4): 277-284.-DOI: <https://doi.org/10.1055/s-2005-858526>.
 8. Matsui O., Takashima T., Kadoya M., et al. Liver metastases from colorectal cancers: detection with CT during arterial portography. *Radiology*. 1987; 165(1): 65-69.-DOI: <https://doi.org/10.1148/radiology.165.1.2819942>.
 9. Irie T., Tsushima Y., Terahata S., et al. Rim enhancement in colorectal metastases at CT during infusion hepatic arteriography. Does it represent liver parenchyma or live tumor cell zone? *Acta Radiologica*. 1997; 38(3): 416-421.-DOI: <https://doi.org/10.1080/02841859709172093>.
 10. Cheng J., Qiu M., Zhang Y., et al. Enhanced rim on MDCT of colorectal liver metastases: assessment of ability to predict progression-free survival and response to bevacizumab-based chemotherapy. *Am J Roentgenol*. 2020; 215(6): 1377-1383.-DOI: <https://doi.org/10.2214/AJR.19.22280>.
 11. Bluemke D.A., Soyer P., Fishman E.K. Nontumorous low-attenuation defects in the liver on helical CT during arterial portography: frequency, location, and appearance. *Am J Roentgenol*. 1995; 164(5): 1141-1145.-DOI: <https://doi.org/10.2214/ajr.164.5.7717221>.
 12. Балахнин П.В., Шачинов Е.Г., Шмелев А.С., et al. Внутриагтеримальное Контрастирование для визуализации, навигации, мониторинга и оценки ответа на лечение при проведении чрескожной криоабляции гиповаскулярных метастазов в печени. *Практическая Онкология*. 2018; 19(1): 69-92.-URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32879064>. [Balakhnin P.V., Shachinov E.G., Shmelev A.S., et al. Intra-arterial contrast enhancement for visualization, navigation, monitoring and treatment response assessment during percutaneous cryoablation of hypovascular liver metastases. *Practical Oncology*. 2018; 19(1): 69-92.-URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32879064> (In Rus)].
 13. Gupta R., Cheung A.C., Bartling S.H., et al. Flat-panel volume CT: fundamental principles, technology, and applications. *Radiographics*. 2008; 28(7): 2009-2022.-DOI: <https://doi.org/10.1148/rg.287085004>.
 14. Pellerin O., Pereira H., Van Ngoc Ty C., et al. Is dual-phase C-arm CBCT sufficiently accurate for the diagnosis of colorectal cancer liver metastasis during liver intra-arterial treatment? *Eur Radiol*. 2019; 29(10): 5253-5263.-DOI: <https://doi.org/10.1007/s00330-019-06173-0>.
 15. Kim H.J., Kim A.Y., Kim T.K., et al. Transient hepatic attenuation differences in focal hepatic lesions: dynamic CT features. *Am J Roentgenol*. 2005; 184(1): 83-90.-DOI: <https://doi.org/10.2214/ajr.184.1.01840083>.
 16. Colagrande S., Centi N., La Villa G., Villari N. Transient hepatic attenuation differences. *Am J Roentgenol*. 2004; 183(2): 459-464.-DOI: <https://doi.org/10.2214/ajr.183.2.1830459>.
 17. Semelka R., Hussain S., Marcos H., Woosley J. Perilesional enhancement of hepatic metastases: correlation between MR imaging and histopathologic findings-initial observations. *Radiology*. 2000; 215(1): 89-94.-DOI: <https://doi.org/10.1148/radiology.215.1.r00mr2989>.
 18. Ozaki K., Higuchi S., Kimura H., Gabata T. Liver metastases: Correlation between Imaging Features and Pathomolecular Environments. *RadioGraphics*. 2022; 42(7): 1994-2013.-DOI: <https://doi.org/10.1148/rg.220056>.
 19. Li L., Liu L.-Z., Xie Z.-M., et al. Multi-phasic CT arterial portography and CT hepatic arteriography improving the accuracy of liver cancer detection. *World J Gastroenterol*. 2004; 10(21): 3118-3121.-DOI: <https://doi.org/10.3748/wjg.v10.i21.3118>.
 20. Inoue E., Fujita M., Hosomi N., et al. Double phase CT arteriography of the whole liver in the evaluation of hepatic tumors. *J Comput Assist Tomogr*. 1998; 22(1): 64.-DOI: <https://doi.org/10.1097/00004728-199801000-00011>.
 21. Yamasaki M., Furukawa A., Murata K., Morita R. Transient hepatic attenuation difference (THAD) in patients without neoplasm: frequency, shape, distribution, and causes. *Radiat Med*. 1999; 17(2): 91-96.
 22. Colagrande S., Carmignani L., Pagliari A., Capaccioli L., et al. Transient hepatic attenuation differences (THAD) not connected to focal lesions. *Radiol Med*. 2002; 104(1-2): 25-43.
 23. Nelson R.C., Thompson G.H., Chezmar J.L., et al. CT during arterial portography: diagnostic pitfalls. *Radiographics*. 1992; 12(4): 705-718.-DOI: <https://doi.org/10.1148/radiographics.12.4.1321980>.
 24. Roth J., Wallner B., Safi F. Arterial perfusion abnormalities of the liver after hepatic arterial infusion chemotherapy and their correlation with changes in the metastases: evaluation with CT and angiography. *AJR Am J Roentgenol*. 1989; 153(4): 751-754.-DOI: <https://doi.org/10.2214/ajr.153.4.751>.

Поступила в редакцию / Received / 06.06.2025

Прошла рецензирование / Reviewed / 18.06.2025

Принята к печати / Accepted for publication / 19.06.2025

Сведения об авторах / Author Information / ORCID

Валерия Валерьевна Нестерова / Valeriya V. Nesterova / ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-6798-5537>; SPIN: 4174-7832.

Денис Валерьевич Нестеров / Denis V. Nesterov / ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8022-6864>; SPIN: 1402-7132; Scopus ID: 56545380200.

Илья Александрович Буровик / Ilya A. Burovik / ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4714-1228>; SPIN: 1923-6457.

Сергей Сергеевич Багненко / Sergey S. Bagnenko / ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4131-6293>; SPIN: 4389-9374.

Павел Васильевич Балахнин / Pavel V. Balakhnin / ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3042-6729>; SPIN: 1431-4012.

Анна Васильевна Кулиш / Anna V. Kulish / ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8274-4967>; SPIN: 5194-2387, Scopus Author ID: 1217446

Павел Юрьевич Гришко / Pavel Yu. Grishko / ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4665-6999>; SPIN: 3109-1583; Scopus Author ID: 57209587221.

Алексей Станиславович Шмелев / Aleksei S. Shmelev / ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1610-8820>; SPIN: 2772-2824; Author ID: 860525.

Василий Игоревич Малькевич / Vasilii I. Malkevich / ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1082-6071>; SPIN: 8143-9671; Author ID: 988405.

Евгений Владимирович Загайнов / Evgeny V. Zagaynov / ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2024-7425>; SPIN: 7398-7458.

Алексей Михайлович Карачун / Aleksei M. Karachun / ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6641-7229>; SPIN: 6088-9313; Author ID: 338092; Scopus ID: 6505903635.

Екатерина Александровна Бусько / Ekaterina A. Busko / ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0940-6491>; SPIN: 7323-1083.

Ксения Вячеславовна Козубова / Ksenia V. Kozubova / ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9611-0439>; SPIN: 4834-3728.

Анна Сергеевна Мамонтова / Anna S. Mamontova / ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5829-6578>; SPIN: 2713-4254; Author ID (Scopus): 57190024918.

Игорь Игоревич Ярмолук / Igor I. Yarmolyuk / ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-2982-3649>; SPIN: 5919-2758.

