

УДК 616.36-006.6-08

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2025-16-1-126-138>

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПДКТ-СО<sub>2</sub>-АРТЕРИОГЕПАТИКОГРАФИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ БИОПСИИ ОПУХОЛИ ПЕЧЕНИ У ПАЦИЕНТКИ С ПОЧЕЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТЬЮ: КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ

<sup>1</sup>П. В. Балахнин<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>А. Г. Караханова<sup>✉\*</sup>, <sup>1</sup>А. В. Кулиш<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>Е. А. Павловская<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>П. Ю. Гришко<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>К. В. Козубова<sup>✉</sup>,  
<sup>1</sup>А. С. Шмелев<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>В. И. Малькевич<sup>✉</sup>, <sup>1,2</sup>С. С. Багненко<sup>✉</sup>, <sup>1,3</sup>Е. А. Бусько<sup>✉</sup>

<sup>1</sup>Национальный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

**ВВЕДЕНИЕ:** Углекислый газ (СО<sub>2</sub>) из-за отсутствия почечной токсичности и аллергического потенциала является безопасным контрастным веществом для пациентов, которым требуются эндоваскулярные и ангиографически-ассистированные процедуры. Особенно это важно для пациентов с почечной недостаточностью и аллергией на йодсодержащие контрастные вещества.

**ЦЕЛЬ:** Продемонстрировать клинический случай выполнения чрескожной биопсии под контролем СО<sub>2</sub>-артериогепатикографии и плоскодетекторной компьютерно-томографической СО<sub>2</sub>-артериогепатикографии (ПДКТ-СО<sub>2</sub>-артериогепатикографии) пациентке с подозрением на метастатический очаг в печени, имеющей в анамнезе плоскоклеточную карциному шейки матки и хроническую болезнь почек (ХБП).

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** Пациентке с плоскоклеточной карциномой шейки матки в связи с сопутствующей патологией почек было противопоказано выполнение компьютерной томографии (КТ) и ПДКТ-артериографии с йодсодержащим контрастным веществом. При нативном КТ-исследовании в SVII печени был выявлен гиподенсный очаг диаметром 17 мм. По данным УЗИ и магнитно-резонансной томографии (МРТ) с гадоксетовой кислотой картина была неоднозначной. Присутствие гиперваскулярного ободка в контрастные фазы не позволяло исключить метастаз. С целью гистологической верификации новообразования печени по решению междисциплинарной комиссии была выполнена чрескожная гильотинная биопсия, которая в связи с высоким риском кровотечения проводилась под контролем цифровой субтракционной СО<sub>2</sub>-артериогепатикографии и ПДКТ-СО<sub>2</sub>-артериогепатикографии с использованием СО<sub>2</sub> в качестве контрастного средства. Для этого после пункции правой бедренной артерии по Сельдингеру была выполнена катетеризация и СО<sub>2</sub>-артериогепатикография общей печеночной артерии на ангиографической установке Artis Zee (Siemens, Германия). После этого на той же установке в режиме 6sDCT Body выполнена ПДКТ-СО<sub>2</sub>-артериогепатикография общей печеночной артерии с введением в нее 30 мл СО<sub>2</sub> со скоростью 3 мл/сек при помощи специального инжектора углекислого газа для ангиографического применения «Angiodroid» (Италия) и задержкой сканирования 3 сек.

**РЕЗУЛЬТАТЫ:** При субтракционной СО<sub>2</sub>-артериогепатикографии и ПДКТ-СО<sub>2</sub>-артериогепатикографии в проекции SVII печени визуализировано одиночное гиперваскулярное образование диаметром 15 мм. С целью верификации новообразования под ультразвуковой (УЗ) и ПДКТ-навигацией выполнена его однократная биопсия. После биопсии выполнена повторная субтракционная СО<sub>2</sub>-артериогепатикография для исключения кровотечения из опухоли. По данным гистологического заключения метастатический характер очага достоверно опровергнут.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ:** СО<sub>2</sub> является безопасным контрастным веществом у пациентов с почечной недостаточностью и аллергией на йодсодержащие контрастные препараты. ПДКТ-СО<sub>2</sub>-артериогепатикография является эффективным альтернативным методом визуализации и контроля проведения интервенционных вмешательств у рассматриваемой группы пациентов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** углекислый газ, СО<sub>2</sub>, ПДКТ, КТ, МРТ, артериогепатикография, ангиография, плоскодетекторная компьютерная томография, непереносимость контрастных препаратов, ХБП

\* Для корреспонденции: Караханова Анна Геннадьевна, e-mail: [annakarakhanova@yandex.ru](mailto:annakarakhanova@yandex.ru)

Для цитирования: Балахнин П.В., Караханова А.Г., Кулиш А.В., Павловская Е.А., Гришко П.Ю., Козубова К.В., Шмелев А.С., Малькевич В.И., Багненко С.С., Бусько Е.А. Использование ПДКТ-СО<sub>2</sub>-артериогепатикографии при проведении биопсии опухоли печени у пациентки с почечной недостаточностью: клинический случай // *Лучевая диагностика и терапия*. 2025. Т. 16, № 1. С. 126–138, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2025-16-1-126-138>.

# FLAT-DETECTOR COMPUTED TOMOGRAPHIC CO<sub>2</sub> ARTERIOHEPATICOGRAPHY GUIDED LIVER BIOPSY IN PATIENT WITH LIVER TUMOR AND ADVANCED CHRONIC RENAL FAILURE: A CLINICAL CASE

<sup>1</sup>Pavel V. Balakhnin<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>Anna G. Karakhanova<sup>✉\*</sup>, <sup>1</sup>Anna V. Kulish<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>Evgenia A. Pavlovskaya<sup>✉</sup>,  
<sup>1</sup>Pavel Yu. Grishko<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>Ksenia A. Kozubova<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>Alexey S. Shmelev<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>Vasilii I. Malkevich<sup>✉</sup>,  
<sup>1,2</sup>Sergey S. Bagnenko<sup>✉</sup>, <sup>1,3</sup>Ekaterina A. Busko<sup>✉</sup>

<sup>1</sup>N. N. Petrov National Medical Research Center of Oncology, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>St. Petersburg State Pediatric Medical University, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup>St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

**INTRODUCTION:** Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) is a safe contrast agent for patients requiring endovascular and angiography-assisted procedures due to lack of renal toxicity and allergic potential. It is highly important in patients with renal failure and allergies to iodinated contrast agents.

**OBJECTIVE:** To demonstrate a clinical case of percutaneous biopsy guided with the flat-detector computed tomography (FDCT) CO<sub>2</sub> arteriohepaticography in the patient with suspected metastatic lesion of the liver, history of cervical squamous cell carcinoma and chronic kidney disease (CKD).

**MATERIALS AND METHODS:** A patient with squamous cell carcinoma of the cervix, due to concomitant kidney pathology (chronic tubulointerstitial nephritis, gouty nephropathy, CKD C4 according to the KDIGO classification) has contraindications for iodinated contrast, hence contrast enhanced computed tomography (CT) and regular FDCT angiography. A native CT study revealed a hypodense 17 mm diameter lesion in SVII of the liver. US and MRI data were ambiguous. The presence of a clear hypervascular rim in the arterial and venous phases of dynamic contrast enhancement could not rule out the metastasis.

In order to clarify the nature of the lesion in the liver, multidisciplinary team suggested biopsy under digital subtraction angiography and FDCT arteriohepaticography using CO<sub>2</sub> as a contrast agent because of the risk of the haemorrhage. For this purpose, using the Seldinger technique, through right femoral artery, by means of an Artis Zee angiographic unit (Siemens, Germany) catheterization and gas subtraction angiography of the common hepatic artery were performed. FDCT-CO<sub>2</sub>-arteriohepaticography of the common hepatic artery was performed afterwards using the same installation and injecting 30 ml of carbon dioxide at the rate of 3 ml/sec (special «Angiodroid» (Italy) CO<sub>2</sub> injector was used) and a scanning delay of 3 sec (in 6sDCT Body mode).

**RESULTS:** By means of subtraction CO<sub>2</sub>-arteriohepaticography and FDCT arteriohepaticography using CO<sub>2</sub> in SVII of the liver the solitary hypervascular 15 mm lesion was detected. In order to verify the lesion single-shot US and FDCT-guided biopsy was performed. It was followed by a control FDCT arteriohepaticography using CO<sub>2</sub> to exclude bleeding. Histopathology refuted metastasis.

**CONCLUSION:** CO<sub>2</sub> is a safe contrast agent in patients with renal failure and allergies to iodinated contrast agents. FDCT CO<sub>2</sub> arteriohepaticography is an effective alternative method, that allows safe visualization and bleeding control after interventions in patient with renal failure.

**KEYWORDS:** carbon dioxide, CO<sub>2</sub>, FDCT, CT, MRI, hepatic arteriography, angiography, chronic kidney disease, contrast intolerance

\* For correspondence: Anna G. Karakhanova, e-mail: [annakarakhanova@yandex.ru](mailto:annakarakhanova@yandex.ru)

**For citation:** Balakhnin P.V., Karakhanova A.G., Kulish A.V., Pavlovskaya E.A., Grishko P.Yu., Kozubova K.A., Shmelev A.S., Malkevich V.I., Bagnenko S.S., Busko E.A. Flat-detector computed tomographic CO<sub>2</sub> arteriohepaticography guided liver biopsy in patient with liver tumor and advanced chronic renal failure: a clinical case // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2025. Vol. 16, No. 1. P. 126–138, <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2025-16-1-126-138>.

**Введение.** Углекислый газ (CO<sub>2</sub>) из-за отсутствия почечной токсичности и аллергического потенциала является безопасным контрастным веществом для пациентов, которым требуются эндоваскулярные процедуры. Особенно это важно для пациентов с почечной недостаточностью и аллергией на йодсодержащие контрастные препараты. Уникальные физические свойства CO<sub>2</sub> (высокая растворимость, низкая вязкость, плавучесть и сжимаемость) дают возможность выполнения CO<sub>2</sub> ангиографии при проведении различных эндоваскулярных вмешательств. В отличие от йодсодержащего контрастного вещества, CO<sub>2</sub> вытесняет кровь и создает рентгено-

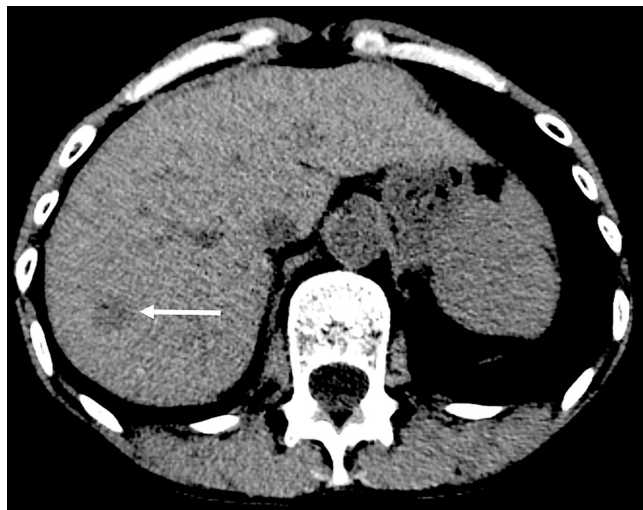
негативное изображение при цифровой субтракционной визуализации [1].

В статье продемонстрирована возможность использования субтракционной CO<sub>2</sub>-артериогепатикографии и ПДКТ-CO<sub>2</sub>-артериогепатикографии для контроля потенциального кровотечения при проведении чрескожной биопсии гипervаскулярной опухоли печени у пациентки с впервые выявленной плоскоклеточной карциномой шейки матки и ХБП 4 стадии.

**Клинический случай и описание методики.** У пациентки Г., 57 лет с диагнозом HPV-ассоциированная плоскоклеточная карцинома IIb стадии, T2bNoMx из сопутствующих заболеваний длительно

существующий хронический тубуло-интерстициальный нефрит, подагрическая нефропатия, ХБП С4 по классификации KDIGO, скорость клубочковой фильтрации (СКФ) составляет 16 мл/мин. В связи с ХБП выполнение исследований с йодсодержащими контрастными препаратами противопоказано.

Пациентке была выполнена КТ органов брюшной полости без внутривенного контрастирования. Выявлен гиподенсный очаг в SVII печени размерами 15×12 мм (рис. 1). Без внутривенного контрастирования высказаться о природе образования в печени не представлялось возможным.



**Рис. 1.** КТ брюшной полости без внутривенного контрастирования. В S7 печени визуализируется гиподенсное образование (стрелка) с нечеткими контурами

**Fig. 1.** Nonenhanced computer tomography of the abdomen. Hypodense lesion with uncertain margins in S7 of the liver (arrow)

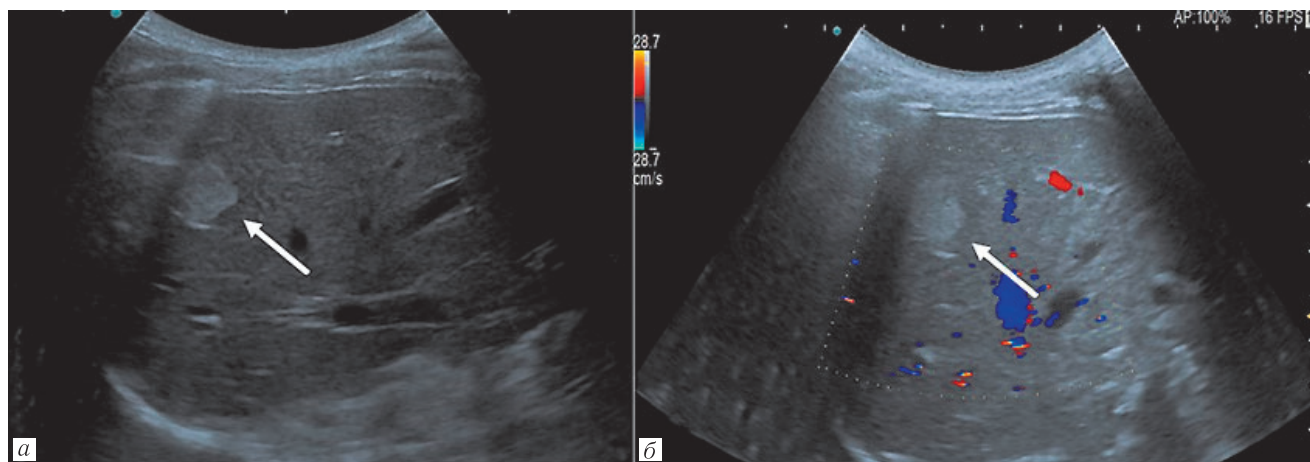
позволяло достоверно определить природу новообразования (рис. 2).

При проведении МРТ исследования обычный внеклеточный парамагнетик из-за низкой СКФ (16 мл/мин) для внутривенного контрастирования пациентке был противопоказан. И поэтому использовалось гепатоспецифическое контрастное вещество, как менее нефротоксичное, что также позволило бы выявить наличие более мелких очагов на гепатоспецифической фазе.

По данным МРТ с гадоксетовой кислотой, выявленное образование характеризовалось слабо гиперинтенсивным МР-сигналом на T2-ВИ (рис. 3), повышенным МР-сигналом на ДВИ и несколько сниженным на ИКД (рис. 4).

Картина не соответствовала типичной гемангиоме. Кроме того, наличие онкологического анамнеза и явного гиперваскулярного ободка в артериальную и венозную фазы при динамическом контрастном усилении (рис. 5, б и в), а также неотчетливое центростремительное контрастирование в равновесной фазе (рис. 5, г), не позволяло полностью исключить метастатическую природу данного образования. В гепатоспецифическую фазу контрастирования накопления препарата в образовании не выявлялось (рис. 5, д).

С учетом всех проанализированных сигнальных характеристик выявленный очаг в SVII печени не соответствовал классической гемангиоме, однако в редких случаях при атипичной гемангиоме накопление парамагнетика при динамическом исследовании не происходит или бывает слабым. Кроме того, может неотчетливо визуализироваться признак «яркой точки» в равновесную фазу. Это происходит

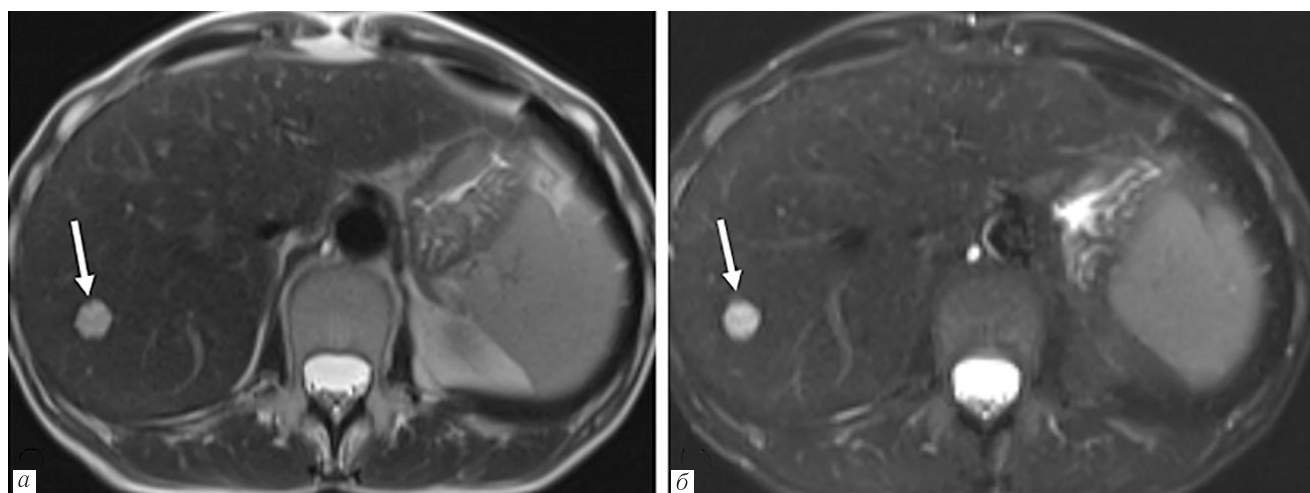


**Рис. 2.** УЗИ печени: а — В-режим. В S7 печени визуализируется гиперэхогенное образование (стрелка) с четкими неровными контурами; б — режим ЦДК; в структуре очага (стрелка) локусы кровотока не определяются

**Fig. 2.** Ultrasound: а — B-mode. Hyperechoic structure in S7 (arrow) with irregular contour; б — color flow mapping; no blood flow in the lesion (arrow)

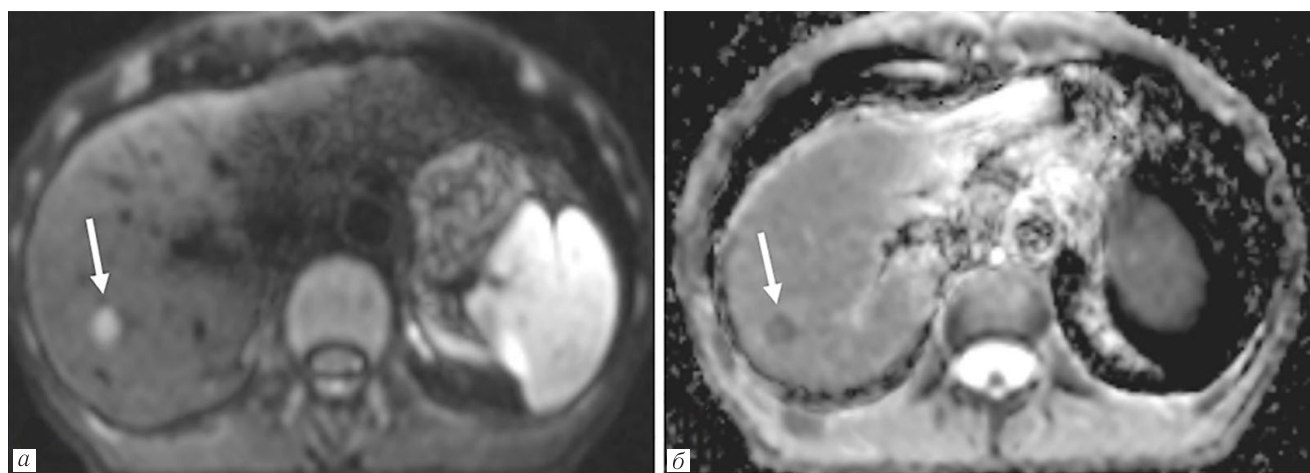
Для уточнения природы образования в печени были выполнены ультразвуковое исследование (УЗИ) и МРТ. По данным УЗИ в SVII печени определялся гиперэхогенный очаг округлой формы размерами 18×17 мм, без сосудов при ЭД и ЦДК, что не

в результате облитерации сосудистых пространств тромбами и соединительной тканью. На T2-ВИ гемангиома обычно определяется в виде гиперинтенсивного МР-сигнала (очень схожая по интенсивности с жидкостью), однако крайне редко отме-



**Рис. 3.** МРТ брюшной полости в аксиальной плоскости: *а* — T2-ВИ; *б* — T2-FS ВИ. В S7 печени интрапаренхиматозно — очаг округлой формы с нечеткими, неровными контурами, размерами 15×13 мм, характеризующийся слабоповышенным МР-сигналом на T2-ВИ и T2-FS ВИ (стрелка)

**Fig. 3.** Abdominal MRI, axial plane: *a* — T2-WI; *б* — T2-WI fat saturated. Deep located round lesion with uneven irregular margins 15×13 mm in size in S7 of the liver shows slightly hyperintense signal (arrow)



**Рис. 4.** МРТ брюшной полости, диффузионно-взвешенные изображения: *а* — ДВИ (b-фактор 800), слабоповышенный МР-сигнал на ДВИ в проекции выявленного очага (стрелка); *б* — ИКД, очаг с признаками ограничения коэффициента диффузии (стрелка)

**Fig. 4.** Abdominal MRI, DWI: *a* — DWI (b=800), slightly increased MR signal on DWI in the projection of the identified lesion (arrow); *б* — ADC-map, restriction of the diffusion in the lesion (arrow) is shown

чается снижение интенсивности сигнала всей гемангиомой на T2-ВИ, при котором она оказывается изоили гипоинтенсивной печеночной паренхиме [2].

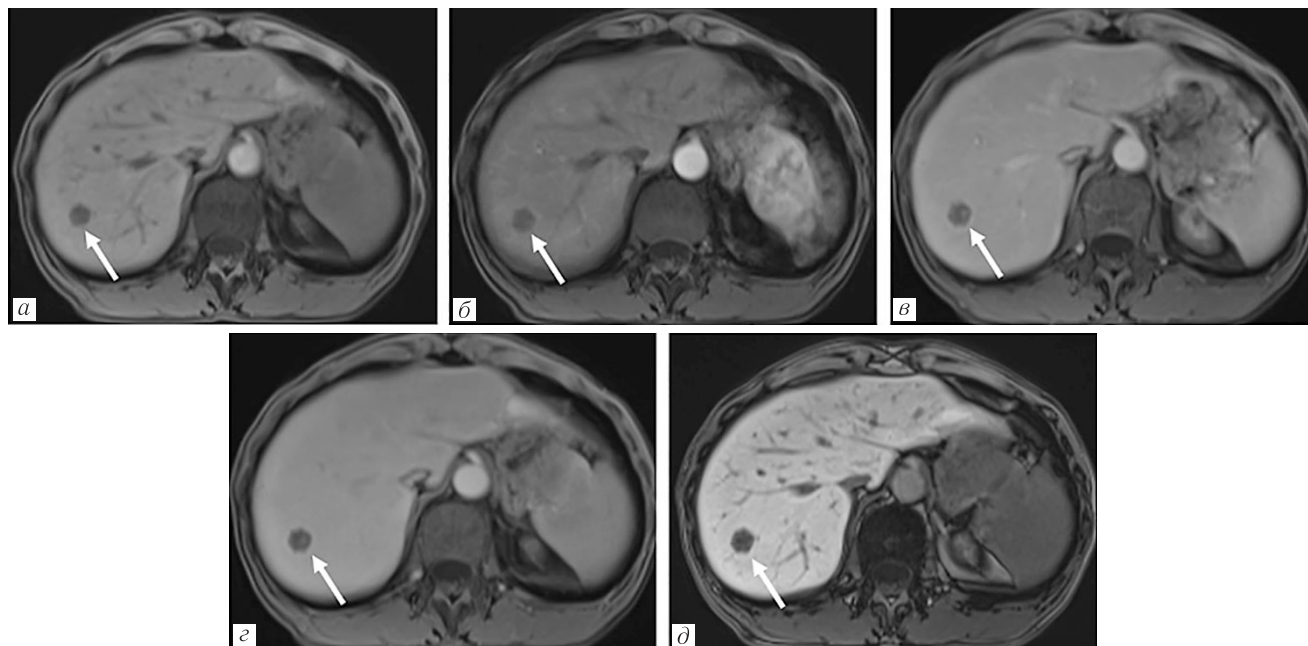
В представленном клиническом случае очаг характеризовался преимущественно периферическим накоплением парамагнетика в виде гиперинтенсивного ободка, с признаками ограничения коэффициента диффузии, что полностью не позволяло исключить вторичный характер новообразования.

Высокоспецифичным методом диагностики гемангиом печени является сцинтиграфия печени с мечеными эритроцитами, однако ее рекомендуется использовать для новообразований, диаметр которых превышает 20 мм [3]. В описываемом наблюдении размеры опухоли составляли 15×13 мм, поэтому возможный отрицательный результат (отсутствие накопления эритроцитов) не позволил бы исключить

ни гемангиому, ни метастатическое поражение. В связи с этим проведение сцинтиграфии было признано нецелесообразным.

Для определения дальнейшей тактики лечения необходимо было достоверно убедиться в природе очага в печени. При подтверждении отдаленного метастаза в печени стадия заболевания изменилась бы с IIВ на IVВ. По клиническим рекомендациям Министерства здравоохранения России лечение пациенток IIВ стадии и IVВ стадии различаются.

После обсуждения на междисциплинарной комиссии пациентке решено было выполнить чрескожную биопсию образования печени с целью его гистологической верификации. Учитывая высокий риск развития кровотечения из гемангиомы, биопсию решено было выполнить под контролем прямой ангиографии (артериографии). В случае артериального кровотечения это



**Рис. 5.** МРТ брюшной полости с динамическим контрастным усилением (парамагнетик с применением гадоксетовой кислоты), аксиальная плоскость, T1-vibe Dixon: *а* — нативная фаза сканирования; *б* — артериальная фаза; *в* — венозная фаза; *г* — отсроченная (равновесная) фаза; *д* — гепатоспецифическая фаза. Очаг в печени (стрелка) характеризуется гипervasкулярным ободком в артериальную (*б*) и венозную (*в*) фазы, неотчетливым центро-стремительным накоплением в равновесную фазу (*г*) и отсутствием накопления в гепатоспецифическую фазу (*д*)

**Fig. 5.** Abdominal MRI with dynamic contrast enhancement (Gadoteric acid), axial plane, T1-vibe Dixon WI: *a* — precontrast; *b* — arterial phase; *c* — venous phase; *d* — equilibrium phase; *e* — hepatotropic phase. The liver lesion shows (arrow) hypervascular band in arterial (*b*) and venous (*c*) phases, uneven centripetal enhancement in equilibrium (*d*) phase and no enhancement in hepatotropic phase (*e*)

позволило бы произвести суперселективную эмболизацию кровотокающего сосуда.

При проведении катетеризации общей печеночной артерии перед биопсией с целью уточнения природы образования пациентке была выполнена цифровая субтракционная ангиография и ПДКТ-артерио-гепатикография с использованием CO<sub>2</sub> в качестве контрастного средства. Для этого после пункции правой бедренной артерии по Сельдингеру была выполнена катетеризация и субтракционная CO<sub>2</sub>-артерио-гепатикография общей печеночной артерии на ангиографической установке Artis Zee (Siemens, Германия) с использованием специального инжектора углекислого газа для ангиографического применения «Angiodroid» (Италия) и введением 30 мл CO<sub>2</sub> со скоростью 3 мл/сек. После этого на той же установке выполнена ПДКТ-CO<sub>2</sub>-артерио-гепатикография общей печеночной артерии в режиме 6sDCT Body с введением 30 мл CO<sub>2</sub> со скоростью 3 мл/сек и задержкой сканирования 3 сек. При субтракционной CO<sub>2</sub>-артерио-гепатикографии в проекции S7 печени визуализировано одиночное гипervasкулярное образование диаметром 15 мм с ранним и интенсивным контрастированием в артериальную фазу и последующим длительным накоплением контрастного препарата в паренхиматозную фазу по типу «лакун» — патогномоничный признак гемангиомы печени (рис. 6).

Применение ПДКТ-CO<sub>2</sub>-артерио-гепатикографии позволило за одно введение CO<sub>2</sub> не только визуализи-

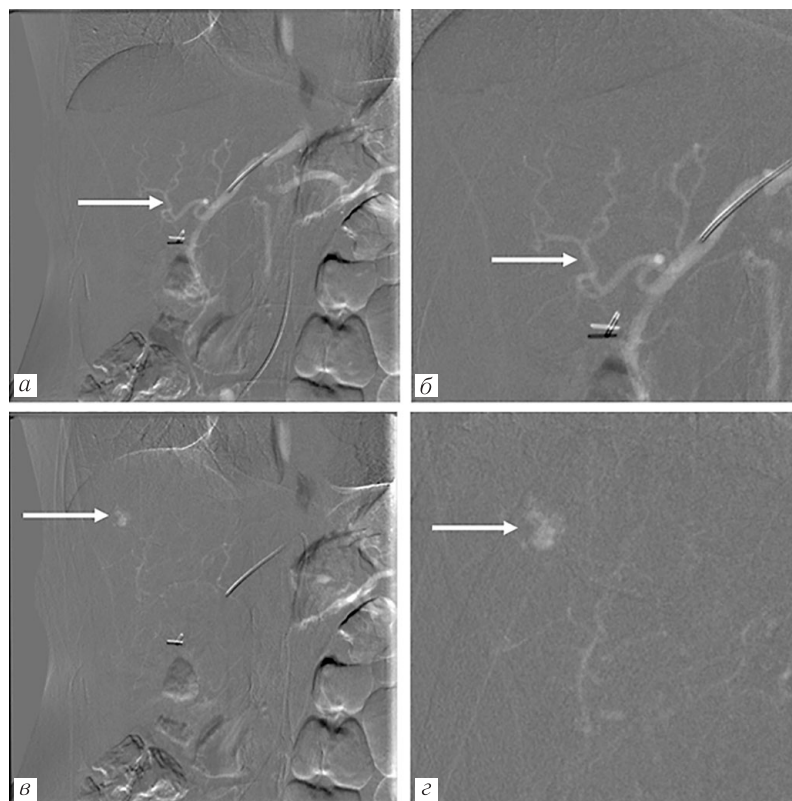
зировать опухоль с питающими сосудами (рис. 7), но и получить 3D-реконструкцию всего артериального русла печени (рис. 8).

Это дало возможность без дополнительного контрастирования построить внутрисосудистый 3D-путь к опухоли (рис. 9). Данная навигационная 3D-карта могла быть использована в случае возникновения кровотечения для проведения суперселективной катетеризации и эмболизации кровотокающего сосуда с использованием режима дополненной реальности (режима дополненной рентгенографии).

После катетеризации целевой артерии с целью морфологической верификации под УЗ-навигацией и ПДКТ-контролем была выполнена однократная биопсия новообразования печени. Получен один рыхлый столбик коричневого цвета. Материал отправлен на гистологическое исследование. Учитывая высокий риск кровотечения, была произведена повторная субтракционная CO<sub>2</sub>-артерио-гепатикография, не обнаружившая участков экстравазации контрастного препарата, на основании чего кровотечение было исключено (рис. 10).

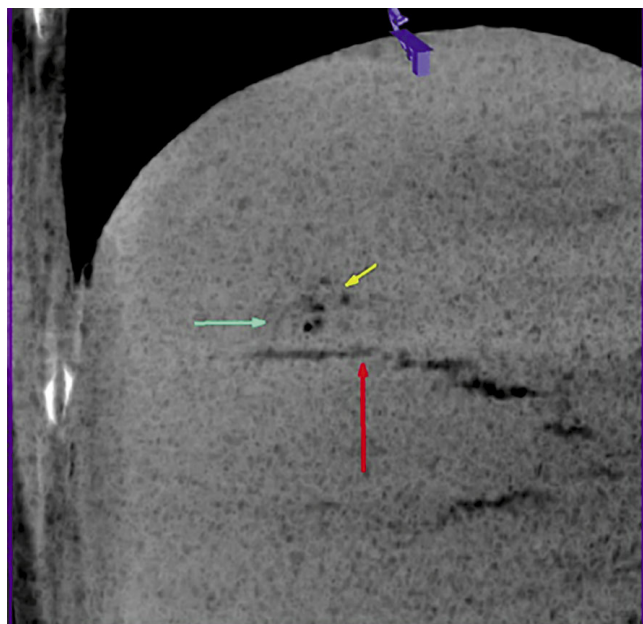
По данным гистологического заключения выявлена ткань печени с единичным мелким фокусом щелевидных некрупных сосудов, эндотелий которых без атипии, что в большей степени соответствовало сосудистой мальформации или гемангиоме.

**Обсуждение.** На протяжении последних 10 лет рак шейки матки стабильно занимает высокое пятое



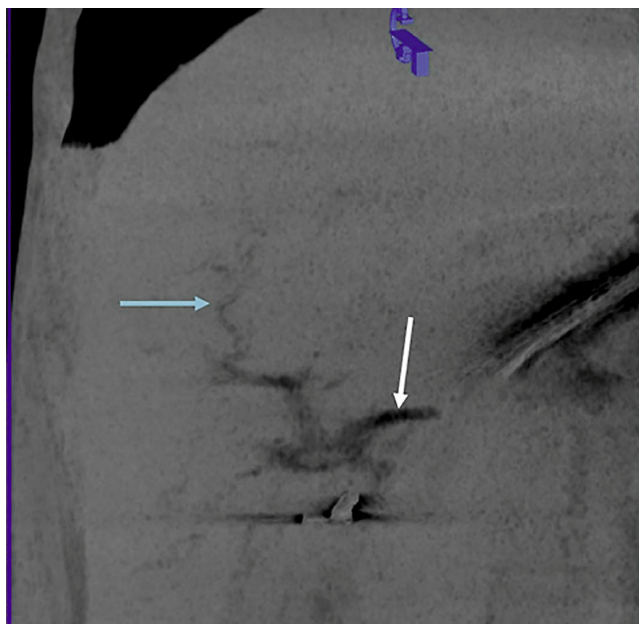
**Рис. 6.** Субтракционная CO<sub>2</sub>-артериогепатикография: *а* и *б* — ранняя артериальная фаза: визуализируются артерии печени (тонкие стрелки); *в* и *г* — ранняя паренхиматозная фаза: солитарная гемангиома печени с накоплением контрастного препарата по типу «лакун» (стрелка)

**Fig. 6.** Subtractional CO<sub>2</sub>-arteriohepaticography: *a* and *б* — early arteriak phase: thin hepatic arteries (thin arrows); *в* and *г* — early parenchymal phase: solitary liver hemangioma with lacunar type of enhancement (arrow)



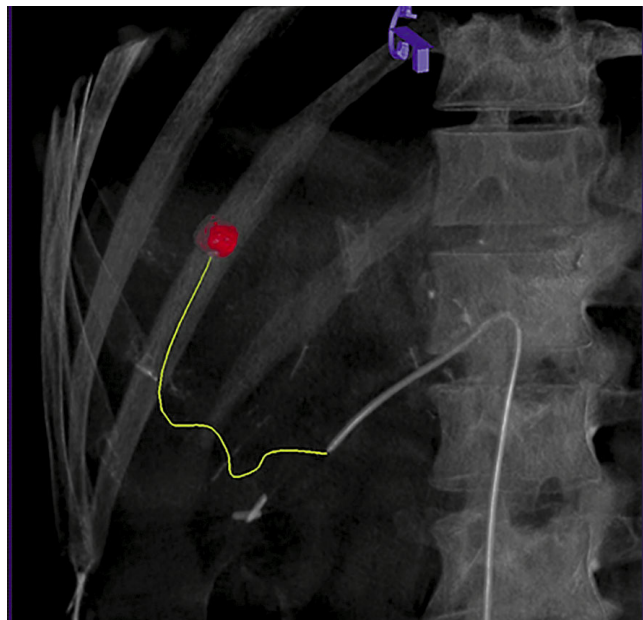
**Рис. 7.** ПДКТ-CO<sub>2</sub>-артериогепатикография в режиме MinIP. Отчетливо визуализируется субсегментарная артерия печени (длинная красная стрелка), а также отходящая от нее мелкая артерия (средняя голубая стрелка), питающая гемангиому (желтая короткая стрелка), накапливающую контрастный препарат по типу «лакун»

**Fig. 7.** Flat detector CO<sub>2</sub>-arteriohepaticography in MinIP mode. Subsegmental hepatic artery (red arrow), it's branch (blue arrow) supplying the hemangioma (yellow arrow) with lacunar type of enhancement are shown



**Рис. 8.** ПДКТ-CO<sub>2</sub>-артериогепатикография в режиме MinIP. Отчетливо визуализируется правая печеночная артерия (стрелка) с отходящими от нее артериями 4–5-го порядка (голубая стрелка).

**Fig. 8.** Flat detector CO<sub>2</sub>-arteriohepaticography in MinIP mode. Right hepatic artery (arrow) and its 4/5-order branches (blue arrow)



**Рис. 9.** VRT изображение траектории проведения микрокатетера от устья ангиографического катетера до артерии, питающей гемангиому. Траектория построена в ручном режиме на рабочей станции Syngo X-Workplace VD10E (Siemens, Германия) с использованием MinIP проекций. Данная траектория может быть передана в стереотаксическое 3D-пространство ангиографической установки для быстрой катетеризации целевой артерии в режиме дополненной рентгенооскопии (дополненной реальности)

**Fig. 9.** VRT image shows microcatheter trajectory from angiographic catheter mouth to the hemangioma-supplying artery. Trajectory is drawn in the hand-mode on Syngo X-Workplace VD10E station (Siemens, Germany) with MinIP projections. This trajectory can be transmitted to the 3D stereotactic space of the angiographic unit. Therefore, rapid catheterization of the target artery in the augmented roentgenoscopy (augmented reality) can be performed

ранговое место в структуре онкологической заболеваемости женщин [4] и является второй по частоте злокачественной опухолью женской половой системы, которая в 2018 г. стала причиной смерти 30 000 пациенток во всем мире [5].

Больных раком шейки матки с отдаленными метастазами по-прежнему трудно диагностировать и лечить. Помимо плохих результатов, отдаленные метастазы серьезно снижают выживаемость и качество жизни пациентов на поздних стадиях [6]. Так, медиана выживаемости пациентов с метастазами в одном отдаленном органе составляет около 8 месяцев и снижается до 5 месяцев при обнаружении мультиорганного поражения [7].

Печень у больных раком шейки матки является третьей по частоте мишенью гематогенного метастазирования после легких и костей [8]. Так, в своем исследовании Hang Liu и соавт. сообщили, что у 2,3% (431/19420) больных раком шейки матки были диагностированы метастазы в печени [9]. При этом отмечено, что метастазы в печени связаны с худшей общей выживаемостью [10].



**Рис. 10.** Контрольная субтракционная СО<sub>2</sub>-артериогепа- тикография: на контрольных СО<sub>2</sub>-артериограммах (ран- няя паренхиматозная фаза) участков экстравазации конт- растного препарата в проекции пункционного канала (стрелка) не определяется, данных за кровотечение нет  
**Fig. 10.** Double-check subtractional CO<sub>2</sub>-arteriohep- aticography (early parenchymal phase): no extravasation of the contrast agent in the puncture canal (arrow), no signs of bleeding

Методы визуализации, которые позволяют выполнять неинвазивную оценку метастазов в печени, включают УЗИ, КТ, МРТ, позитронно-эмиссионную томографию (ПЭТ), а также ПЭТ/КТ и ПЭТ/МРТ [11, 12]. На сегодняшний день КТ и МРТ являются основными методами визуализации для первоначального выявления поражений, последующего наблюдения и оценки ответа на лечение.

УЗИ — безопасный, доступный и недорогой метод, позволяющий в режиме реального времени оценить наличие патологических изменений в печени. Тем не менее он имеет ограничения, в том числе зависимость от опыта оператора, телосложения пациента, а также затруднение визуализации очагов в поддиафрагмальных отделах печени в связи с артефактами от костных и газовых структур [13]. Диагностическая эффективность серошкального УЗИ уступает иным методам визуализации с применением контрастного усиления и варьирует по данным различных авторов в диапазоне от 60 до 80% [14]. Контрастно-усиленное УЗИ (КУУЗИ) благодаря микропузырьковому контрастному агенту на основе инертного газа, позволяет визуализировать и оценить микроваскуляризацию в таргетном очаге, в том числе и у пациентов с противопоказаниями к иным лучевым исследованиям. Диагностическая эффективность КУУЗИ демонстрирует высокие показатели чувствительности, специфичности и точности, коррелирующие с КТ [15].

Точное обнаружение и характеристика метастазов в печени зависит от оптимизации методов визуали-

зации. По данным метаанализа, посвященного проблеме визуализации метастазов колоректального рака в печени [16], чувствительность МРТ, КТ и ПЭТ/КТ составляла 93,1 %, 82,1 % и 74,1 % соответственно. При этом важно, что большинство включенных в анализ процедур МРТ проводилось с использованием гадооксетовой кислоты и включало диффузионно-взвешенные изображения [17].

Гадооксетовая кислота является гепатотропным контрастным агентом, который имеет высокую чувствительность (90,3 %) при обнаружении метастазов в печени размером 1 см или меньше на постконтрастных сериях в гепатобилиарную фазу сканирования [18]. Помимо этого, МРТ позволяет визуализировать не только анатомические и морфологические особенности, но и проводить функциональную оценку изменений. Согласно проведенным исследованиям, сочетание гепатоспецифической фазы и ДВИ в значительной степени повышает диагностическую эффективность, достигая чувствительности в 95 % [17]. Ряд исследователей при включении ДВИ в рутинный протокол сообщали о превосходстве обнаружения поражений печени по сравнению с КТ, особенно при небольших размерах очагов [11].

КТ с внутривенным контрастированием — надежный метод обнаружения метастазов в печени и позволяет получать объемные изображения, рассчитывать объем печени и осуществлять трехмерные реконструкции при планировании резекции опухоли, одновременно сканировать брюшную и грудную полость для исключения метастазов в других органах, а также сопутствующих заболеваний [19, 20]. Однако при наличии у пациента аллергической реакции на йодсодержащие контрастные препараты и ХБП часто невозможно исключить метастазы в паренхиматозных органах брюшной полости, в том числе в печени методом бесконтрастной КТ. В этих случаях на помощь придут УЗИ, МРТ, ПЭТ, а также сцинтиграфия (в случае диагностики гемангиом печени). Сцинтиграфия печени мечеными эритроцитами является высокоспецифичным методом дифференциальной диагностики гемангиом печени, однако ее рекомендуется использовать для новообразований, диаметр которых превышает 20 мм [3].

Еще одним (инвазивным) методом визуализации первичных и метастатических опухолей печени является артериогепатикография, КТ-артериогепатикография и КТ-артериопортография, чаще всего используемые при проведении локорегионарной терапии [21]. Возвратная КТ-артериопортография обеспечивает максимальный контраст между опухолевыми очагами и печенью за счет интенсивного затемнения печеночной паренхимы, однако является совершенно неспецифическим методом [22]. У пациентов с аллергией на йодсодержащие контрастные препараты и нефропатией в анамнезе выполнить интервенционное исследование с приме-

нением йодсодержащих контрастных препаратов не представляется возможным.

Использование диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ) в качестве контрастного вещества началось в 1920-х годах, когда этот газ применяли для визуализации забрюшинных структур. В 1950-х и начале 1960-х годов  $\text{CO}_2$  вводился внутривенно для определения границ правого предсердия и выявления перикардального выпота [23, 24]. Этот метод визуализации был разработан на основе исследований на животных и клинических исследований, которые продемонстрировали, что  $\text{CO}_2$  безопасен и хорошо переносится при внутривенных инъекциях [25].

В 1970-х годах F. Irvin Hawkins стал пионером внутриартериального использования углекислого газа у пациентов из группы высокого риска с аллергией на йодсодержащие контрастные препараты и почечной недостаточностью [26]. Впоследствии, с добавлением цифровой субтракционной ангиографии высокого разрешения, программного обеспечения для суммирования (добавление нескольких изображений), наклонных столов и надежной, удобной в использовании системы доставки, визуализация с помощью  $\text{CO}_2$  стала сопоставимой, а в некоторых случаях даже превосходящей (например, для диагностики артериальных кровотечений) применение йодсодержащих контрастных препаратов. Это единственный безопасный контрастный препарат для пациентов с почечной недостаточностью, что чрезвычайно важно ввиду роста заболеваемости сахарным диабетом и сложности интервенционных процедур, требующих больших объемов контрастных средств. Низкая вязкость  $\text{CO}_2$  не только повышает чувствительность некоторых диагностических процедур, но и может дать преимущества для проведения ряда интервенционных вмешательств [25].

При введении в артерию или вену  $\text{CO}_2$  вытесняет кровь, тогда как йодсодержащее контрастное вещество смешивается с кровью. Несмотря на разницу в физических свойствах между газообразным  $\text{CO}_2$  и жидким контрастным веществом, артериограммы с  $\text{CO}_2$  вполне сопоставимы с традиционными артериограммами, предоставляя большую часть информации о сосудистом русле, которую можно получить с помощью стандартной субтракционной ангиографии с меньшим риском и меньшими затратами. Благодаря наличию цифровой субтракционной ангиографии высокого разрешения и надежной системы доставки газа  $\text{CO}_2$  можно легко вводить и визуализировать для диагностической ангиографии и эндоваскулярного вмешательства [27].

$\text{CO}_2$  является единственным доказанным безопасным контрастным веществом у пациентов с почечной недостаточностью и гиперчувствительностью к йодсодержащим контрастным веществам. В настоящее время  $\text{CO}_2$  широко используется в качестве внутрисосудистого контрастного вещества как в артериальном, так и в венозном кровообращении по различным

показаниям. Из-за потенциальной нейротоксичности и сердечной аритмии  $\text{CO}_2$  не следует использовать в грудной аорте, коронарных артериях и при исследовании мозгового кровообращения [1]. К абсолютным противопоказаниям к использованию  $\text{CO}_2$  относятся грудная аортография, коронарография и церебральная ангиография. Исследование на крысах с инъекцией  $\text{CO}_2$  в сонные артерии показало, что этот газ может быть нейротоксичным при мультифокальных ишемических инфарктах и нарушении гематоэнцефалического барьера [28, 29]. Клинические проявления в виде судорог и потери сознания описаны при рефлюксе  $\text{CO}_2$  в грудную аорту и церебральные артерии во время введения газового контраста в плечевую артерию [30].

$\text{CO}_2$  не следует вводить в брюшную аорту в положении лежа, поскольку плавучий газ может заполнить спинномозговые и поясничные артерии и вызвать ишемию спинного мозга. Аналогичным образом,  $\text{CO}_2$  не следует вводить в брюшную аорту при приподнятом положении головы пациента, поскольку газ может течь в направлении, противоположном току крови, особенно при гипоплазии аорты у детей [1].

У пациентов, подвергающихся анестезии закисью азота, следует избегать одновременного использования  $\text{CO}_2$ , поскольку закись азота может диффундировать в пузырь  $\text{CO}_2$ , значительно увеличивая его объем. В венозной системе такое быстрое расширение пузырька  $\text{CO}_2$  может привести к газовой эмболии легочной артерии [1].

Чрескожная биопсия гемангиом печени несет в себе достаточно высокий риск кровотечения. Поэтому при наличии характерных рентгенологических признаков гемангиомы выполнение биопсии не рекомендуется. В рассматриваемом случае имелись определенные сомнения в паттерне контрастирования новообразования, так как при МРТ выявлялся ободок перитуморального контрастирования. Перитуморальное контрастирование является патогномичным признаком метастазов в печени и возникает вследствие дренирования крови, оттекающей от метастазов в окружающие синусоиды и порталные венулы здоровой паренхимы печени [31]. Однако в литературе описаны отдельные случаи присутствия очень тонкого перитуморального ободка в быстрорастущих гемангиомах и кистах печени что обусловлено, по всей видимости, механическим сдавлением печеночной паренхимы [32].

Учитывая важность дифференциальной диагностики образования печени в рассматриваемом нами случае (для стадирования рака шейки матки), было принято решение выполнить чрескожную биопсию. Взятие биопсии из гиперваскулярных опухолей в печени может осложняться кровотечением, что требует мониторинга процесса, а в случае массивного кровотечения — суперселективной эмболизации кровоточащего сосуда [32]. Стандартным методом

диагностики острых кровотечений из паренхиматозных органов является МСКТ с контрастным препаратом, однако в данном случае введение йодсодержащих контрастов было противопоказано. Кроме того, при развитии острого массивного кровотечения в любом случае была бы необходима прямая катетеризация артерий печени и суперселективная эмболизация [32]. Учитывая вышеперечисленные обстоятельства, было принято решение выполнить чрескожную биопсию под контролем  $\text{CO}_2$ -артерио-гепатикографии.

В ряде проведенных исследований было показано, что субтракционная  $\text{CO}_2$ -артерио-гепатикография обладает в три раза большей чувствительностью при определении источника артериального кровотечения из верхних и нижних этажей брюшной полости по сравнению с классической ангиографией. Связано это в первую очередь с тем, что вязкость  $\text{CO}_2$  в 400 раз меньше вязкости йодсодержащих контрастных препаратов. Таким образом, отсутствие признаков экстравазации  $\text{CO}_2$ -контрастного препарата после биопсии и контрольной субтракционной  $\text{CO}_2$ -артерио-гепатикографии практически со 100% надежностью гарантирует отсутствие продолжающегося артериального кровотечения [33, 34].

В одном исследовании, опубликованном А. А. Wong и соавт., было показано, что выполнение ПДКТ- $\text{CO}_2$ -артерио-гепатикографии является перспективным для визуализации узлов гепатоцеллюлярного рака и гиперваскулярных метастазов в печени, а также питающих их артерий [35]. Наше клиническое наблюдение полностью это подтвердило. Выполненная нами ПДКТ- $\text{CO}_2$ -артерио-гепатикография позволила за одно введение контрастного препарата не только получить кроссекционные КТ-изображения гиперваскулярной опухоли печени, но и визуализировать артериальное русло печени в 3D-режиме. На кроссекционных изображениях определялось равномерное распределение газа в отдельных лакунах опухоли, что свидетельствовало о непосредственной связи этих лакун с артериальным руслом. Это позволило предположить наличие гемангиомы, что и было подтверждено гистологически. Насколько нам известно, паттерн контрастирования гемангиом при поведении ПДКТ- $\text{CO}_2$ -артерио-гепатикографии ранее в литературе описан не был.

Как было показано в недавнем исследовании L. S. Becker ПДКТ- $\text{CO}_2$ -артериография может быть более чувствительным методом визуализации артериального русла (в частности, гемодинамически значимых стенозов магистральных артерий таза) по сравнению с субтракционной  $\text{CO}_2$ -артериографией [36]. В связи с этим можно предположить, что для диагностики артериальных кровотечений из паренхиматозных органов ПДКТ- $\text{CO}_2$ -артериография также может оказаться более чувствительной, чем субтракционная  $\text{CO}_2$ -артериография, однако, для проверки этого предположения необходимы дополнительные

исследования. Особо следует отметить, что так как современные программные пакеты позволяют практически сразу же после проведения ПДКТ строить трехмерные «дорожные карты» от устья катетера до участка экстравазации контрастного препарата, то в случае массивного кровотечения технология может оказаться очень полезной для проведения быстрой суперселективной катетеризации кровоточащих артерий в режиме дополненной рентгеноскопии с последующим проведением эмболизации.

Необходимо также отметить, что в настоящее время значительная часть пациентов с непереносимостью йодсодержащих контрастных препаратов или ХБП не может получать современные виды противоопухолевой внутриартериальной терапии, такие как трансартериальная химиоэмболизация при гепатоцеллюлярном раке [37] или радиоэмболизация и имплантация внутриартериальных систем порт-катетер при метастазах колоректального рака в печени [38]. Внедрение СО<sub>2</sub>-артериографии и ПДКТ-СО<sub>2</sub>-артериографии, в особенности с использованием современных автоматических СО<sub>2</sub> инжекторов, может снять ограничения на проведение как диагностических, так и лечебных рентгенохирургических вмешательств у этой категории пациентов.

Таким образом, использование субтракционной СО<sub>2</sub>-артериогепатикографии и, в особенности, ПДКТ-СО<sub>2</sub>-артериогепатикографии, представляется весьма перспективным при проведении как диагностических (ангиография, биопсия), так и лечеб-

ных (трансартериальная химиоэмболизация, чрескожная энергетическая абляция, эмболизация при кровотечении) интервенционно-радиологических вмешательств у пациентов с аллергией на йодсодержащие контрастные препараты или ХБП.

**Закключение.** СО<sub>2</sub> является безопасным контрастным веществом у пациентов с почечной недостаточностью и аллергией на йодсодержащие контрастные препараты. Использование СО<sub>2</sub> позволило выполнить пациентке с нефропатией катетеризацию и субтракционную СО<sub>2</sub>-артериогепатикографию общей печеночной артерии без применения йодсодержащих препаратов. ПДКТ-СО<sub>2</sub>-артериогепатикография в артериальную фазу позволила получить кроссекционные КТ-изображения гипervasкулярной опухоли печени, а также визуализировать артериальное русло в 3D-режиме, что могло быть использовано для проведения суперселективной катетеризации и эмболизации в случае развития массивного кровотечения. Наличие артериального доступа и использование субтракционной СО<sub>2</sub>-артериогепатикографии позволило исключить возможное кровотечение после биопсии, что существенно снизило риск проведения данной процедуры у пациентки с нефропатией. Паттерн контрастирования новообразования при СО<sub>2</sub>-артериогепатикографии и ПДКТ-СО<sub>2</sub>-артериогепатикографии соответствовал гемангиоме печени (накопление газа в сосудистых лакунах опухоли), что и было подтверждено гистологически.

#### Сведения об авторах:

*Балахнин Павел Васильевич* — кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник научного отделения диагностической и интервенционной радиологии, заведующий отделением рентгенохирургических методов диагностики и лечения, врач по рентгенэндоваскулярной диагностике и лечению федерального государственного бюджетного учреждения «Научный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 68; ORCID 0000-0002-3042-6729;

*Караханова Анна Геннадьевна* — врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики федерального государственного бюджетного учреждения «Научный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 68; ORCID 0000-0002-1913-9390;

*Кулиш Анна Васильевна* — врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики федерального государственного бюджетного учреждения «Научный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 68; ORCID 0000-0001-8274-4967;

*Павловская Евгения Александровна* — кандидат медицинских наук, врач-рентгенолог отделения МРТ федерального государственного бюджетного учреждения «Научный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 68; ORCID 0000-0003-4356-3690;

*Гришко Павел Юрьевич* — кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник научного отделения диагностической и интервенционной радиологии, доцент отдела учебно-методической работы, врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики федерального государственного бюджетного учреждения «Научный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 68; ORCID 0000-0003-4665-6999;

*Козубова Ксения Вячеславовна* — аспирант научного отделения диагностической и интервенционной радиологии, врач ультразвуковой диагностики отделения лучевой диагностики федерального государственного бюджетного учреждения «Научный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 68; ORCID 0000-0001-9611-0439;

*Шмелев Алексей Станиславович* — врач по эндоваскулярным методам диагностики и лечения отделения рентгенохирургических методов диагностики и лечения федерального государственного бюджетного учреждения «Научный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 68; ORCID 0000-0002-1610-8820;

*Малькевич Василий Игоревич* — врач по эндоваскулярным методам диагностики и лечения отделения рентгенохирургических методов диагностики и лечения федерального государственного бюджетного учреждения «Научный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 68; ORCID 0000–0002–1082–6071;

*Багненко Сергей Сергеевич* — доктор медицинских наук, доцент, заместитель директора, заведующий научным отделением диагностической и интервенционной радиологии федерального государственного бюджетного учреждения «Научный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 68; профессор кафедры современных методов диагностики и радиолучевой терапии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 194100, Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2; ORCID 0000–0002–4131–6293;

*Бусько Екатерина Александровна* — доктор медицинских наук, доцент, ведущий научный сотрудник научного отделения диагностической и интервенционной радиологии, врач ультразвуковой диагност, врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики федерального государственного бюджетного учреждения «Научный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 68; профессор НК и ОЦ «Лучевая диагностика и ядерная медицина», медицинский факультет федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»; 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9.

#### Information about the authors:

*Pavel V. Balakhnin* — Cand. of Sci. (Med.), Senior Researcher of the Scientific Department of Diagnostic and Interventional Radiology, Head of Department of Interventional Radiology, Physician for endovascular diagnostics and treatment of Federal State Budgetary Institution «N. N. Petrov National Medical Research Centre of Oncology» Ministry of public health of Russian Federation, St. Petersburg, Russia, 197758; ORCID 0000–0002–3042–6729;

*Anna G. Karakhanova* — Radiologist, N. N. Petrov National Medical Research Center of Oncology, Ministry of Health of Russia, ORCID 0000–0002–1913–9390;

*Anna V. Kulish* — Radiologist, N. N. Petrov National Medical Research Center of Oncology, Ministry of Health of Russia; ORCID 0000–0001–8274–4967;

*Evgenia A. Pavlovskaya* — Cand. of Sci. (Med.), radiologist, MRI specialist in N. N. Petrov National Medical Research Center of Oncology; ORCID 0000–0003–4356–3690;

*Pavel Yu. Grishko* — Cand. of Sci. (Med.), Leading researcher Scientific Department of Diagnostic and Interventional Radiology, radiologist N. N. Petrov National Medical Research Center for Oncology; ORCID 0000–0003–4665–6999;

*Ksenia V. Kozubova* — postgraduate student of the Scientific Department of Diagnostic and Interventional Radiology, Ultrasound Diagnostic Specialist of the Department Radiology of the Federal State Budgetary Institution «N. N. Petrov Research Institute of Oncology» of the Ministry of Health of the Russian Federation; ORCID 0000–0001–9611–0439;

*Alexey S. Shmelev* — MD of Department of Interventional Radiology of Federal State Budgetary Institution «N. N. Petrov National Medical Research Centre of Oncology» Ministry of public health of Russian Federation; ORCID 0000–0002–1610–8820;

*Vasilii I. Malkovich* — MD of Department of Interventional Radiology of Federal State Budgetary Institution «N. N. Petrov National Medical Research Centre of Oncology» Ministry of public health of Russian Federation; ORCID 0000–0002–1082–6071;

*Sergey S. Bagnenko* — Dr. of Sci. (Med.), Associate professor, Deputy Director, Head of the Scientific Department-Leading researcher of the Scientific Department of Diagnostic and Interventional Radiology, Radiologist of the Department of Radiology of the Federal State Budgetary Institution «NMIC of Oncology named after N. N. Petrov» of the Ministry of Health of the Russian Federation; Associate professor of St-Petersburg Pediatric University, Saint Petersburg; ORCID 0000–0002–4131–6293;

*Ekaterina A. Busko* — Dr. of Sci. (Med.), Assoc. Prof., Leading researcher of the NMRC Oncology named after N. N. Petrova; Ministry of health of Russia; Professor of St-Petersburg State University; ORCID 0000–0002–0940–6491.

**Вклад авторов.** Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования — П.В.Балахнин, А.Г.Караханова, А.В.Кулиш, Е.А.Павловская, К.В.Козубова; сбор и анализ данных — П.В.Балахнин, А.С.Шмелев, В.И.Малькевич; подготовка рукописи — А.Г.Караханова, П.В.Балахнин, П.Ю.Гришко, Е.А.Павловская, С.С.Багненко, Е.А.Бусько.

**Authors' contributions.** All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution is distributed as follows: concept and design of the study — PVB, AGK, AVK, EAP, KVK; conducting the study — PVB, ASSh, VIM; preparation of the manuscript — AGK, PVB, PYuG, EAP, SSB, EAB.

**Потенциальный конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Disclosure:** the authors declare that they have no competing interests.

**Соответствие принципам этики:** одобрения этического комитета не требовалось. Информированное согласие получено от пациента.

**Adherence to ethical standards:** ethics committee approval was not required. Informed consent is obtained from the patient.

Поступила/Received: 06.08.2024

Принята к печати/Accepted: 28.02.2025

Опубликована/Published: 29.03.2025

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Kyung Jae Cho, Carbon Dioxide Angiography: Scientific Principles and Practice // *Vasc. Specialist Int.* 2015. Sep; Vol. 31, No. 3. P. 67–80. doi: 10.5758/vsi.2015.31.3.67.
2. Klotz T., Montoriol P.-F., Da Ines D., Petitcolin V., Joubert-Zakeyh J., Garcier J.-M., Hepatic haemangioma: Common and uncommon imaging features // *Diagnostic and Interventional Imaging.* 2013. Vol. 94, Issue 9. P. 849–859. <https://doi.org/10.1016/j.diii.2013.04.008>.

3. Tsai C.C., Yen T.C., Tzen K.Y. The value of Tc-99m red blood cell SPECT in differentiating giant cavernous hemangioma of the liver from other liver solid masses // *Clin. Nucl. Med.* 2002. Aug. Vol. 27, No. 8. P. 578–581. doi: 10.1097/00003072-200208000-00006. PMID: 12170003.
4. Рубцова Н.А., Березовская Т.П., Быченко В.Г., Павловская Е.А., Солопова А.Е., Агабабян Т.А., Ходжибекова М.М., Рыжкова Д.В., Чекалова М.А., Мешкова И.Е., Гажонова В.Е., Гус А.И., Багненко С.С., Медведева Б.М., Ашрафян Л.А., Новикова Е.Г., Берлев И.В., Демидова Л.В., Крикунова Л.И., Коломиец Л.А. Лучевая диагностика рака шейки матки. Консенсус экспертов // *Медицинская визуализация*. 2024. Т. 28, № 1. С. 141–156. [Rubtsova N.A., Berezovskaya T.P., Bychenko V.G., Pavlovskaya E.A., Solopova A.E., Agababyan T.A., Khodzhibekova M.M., Ryzhkova D.V., Chekalova M.A., Meshkova I.E., Gazhonova V.E., Gus A.I., Bagnenko S.S., Medvedeva B.M., Ashrafyan L.A., Novikova E.G., Berlev I.V., Demidova L.V., Krikunova L.I., Kolomiets L.A. Radiation diagnosis of cervical cancer. Expert consensus. *Medical imaging*, 2024, Vol. 28, No. 1, pp. 141–156 (In Russ.).] <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1341>.
5. Arbyn M., Weiderpass E., Bruni L., de Sanjose S., Saraiya M., Ferlay J. et al. Estimates of incidence and mortality of cervical cancer in 2018: a worldwide analysis // *Lancet Glob Health*. 2020. Vol. 8, No. 2. P. e191–203. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(19\)30482-6](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(19)30482-6).
6. Li H., Wu X., Cheng X. Advances in diagnosis and treatment of metastatic cervical cancer // *J. Gynecol. Oncol.* 2016. Vol. 27, No. 4. P. e43. <https://doi.org/10.3802/jgo.2016.27.e43>.
7. Zhang Y., Guo Y., Zhou X., Wang X., Wang X. Prognosis for different patterns of distant metastases in patients with uterine cervical cancer: a population-based analysis // *J. Cancer*. 2020. Vol. 11, No. 6. P. 1532–1541. <https://doi.org/10.7150/jca.37390>.
8. Qian C., Liu H., Feng Y., Meng S., Wang D., Nie M. et al. Clinical characteristics and risk of second primary lung cancer after cervical cancer: a population-based study // *PLoS One*. 2020. Vol. 15, No. 8. P. e0231807. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231807>.
9. Hang Liu, Xiangsen Ye, Di Li, Qian Yao & Yan Li, Incidence, clinical risk and prognostic factors for liver metastasis in patients with cervical cancer: a population-based retrospective study // *BMC Cancer*. 2021. Vol. 21, Article number: 421.
10. Yin Z., Tang H., Li L., Ni J., Yuan S., Lou H. et al. Impact of sites versus number of metastases on survival of patients with organ metastasis from newly diagnosed cervical cancer // *Cancer Manag. Res.* 2019. Vol. 11. P. 7759–7766. <https://doi.org/10.2147/CMAR.S203037>.
11. Freitas P.S., Janicas C., Veiga J., Matos A.P., Herédia V., Ramalho M. Imaging evaluation of the liver in oncology patients: A comparison of techniques // *World J. Hepatol.* 2021. Dec 27; Vol. 13, No. 12. P. 1936–1955. Published online 2021. Dec. 27. doi: 10.4254/wjh.v13.i12.1936.
12. Труфанов Г.Е., Багненко С.С., Рудь С.Д. Лучевая диагностика заболеваний печени: нормальная лучевая анатомия печени, описание лучевой семиотики наиболее часто встречающихся заболеваний и повреждений печени, приводится дифференциальная диагностика, тактика лучевого исследования, вопросы этиологии, патогенеза, морфологии клинические проявления заболеваний. СПб.: ЭЛБИ-СПб, 2011. 415 с. [Trufanov G.E., Bagnenko S.S., Rud S.D. Radiation diagnostics of liver diseases: normal radiation anatomy of the liver, a description of radiation semiotics of the most common diseases and injuries of the liver, differential diagnosis, tactics of radiation examination, issues of etiology, pathogenesis, morphology and clinical manifestations of diseases are provided. St. Petersburg: ELBI-Spb, 2011, 415 p. (In Russ.).]
13. Cantisani V., Grazhdani H., Fioravanti C., Rosignuolo M., Calliada F., Messineo D., Bernieri M.G., Redler A., Catalano C., D'Ambrosio F. Liver metastases: Contrast-enhanced ultrasound compared with computed tomography and magnetic resonance // *World J. Gastroenterol.* 2014. Aug. 7. Vol. 20, No. 29. P. 9998–10007. doi: 10.3748/wjg.v20.i29.9998.
14. Maleux G., Izamis M.-L., Werbrout C., Radaelli A., Prenen H., Van Cutsem E., Vandecaveye V. Characterization of Liver Metastases During Catheter-Directed Liver Interventions: A Comparison between Dual Phase Cone-Beam Computed Tomography and Conventional Contrast-Enhanced Computed Tomography // *J. Belg. Soc. Radiol.* 2020. Vol. 104, No. 1. P. 41. Published online 2020. Jul 8. doi: 10.5334/jbsr.2052.
15. Козубова К.В., Бусько Е.А., Багненко С.С. и др. Сравнительный анализ эффективности ультразвукового исследования с контрастным усилением и компьютерной томографии в дифференциальной диагностике очагового поражения печени у пациентов с отягощенным онкологическим анамнезом // *Вопросы онкологии*. 2023. Т. 69, № 5. С. 897–907 [Kozubova K.V., Busko E.A., Bagnenko S.S. et al. Comparative analysis of the effectiveness of contrast-enhanced ultrasound and computed tomography in the differential diagnosis of focal liver lesions in patients with a significant history of cancer. *Questions of Oncology*, 2023, Vol. 69, No. 5, pp. 897–907 (In Russ.).] doi: 10.37469/0507-3758-2023-69-5-897-907. EDN EREFJW.
16. 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 review and meta-analysis // *J. Magn. Reson. Imaging*. 2018. Vol. 47, No. 5. P. 1237–1250.
17. Liver Metastases: Correlation between Imaging Features and Pathomolecular Environments, Kumi Ozaki, Shohei Higuchi, Hirohiko Kimura, Toshifumi Gabata, Author Affiliations, Published Online: Sep 23. 2022. <https://doi.org/10.1148/rg.220056>.
18. Багненко С.С., Труфанов Г.Е., Алентьев С.А., Дзидзава И.И. Магнитно-резонансная томография в диагностике очаговых поражений печени с применением гепатотропного контрастного препарата «Примовист» // *Вестник Российской Военно-медицинской академии*. 2012. № 1 (37). С. 97–105. [Bagnenko S.S., Trufanov G.E., Alentyev S.A., Dzizawa I.I. Magnetic resonance imaging in the diagnosis of focal liver lesions using the hepatotropic contrast agent «Primovist». *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*, 2012, No. 1 (37), pp. 97–105 (In Russ.).]
19. Matos A.P., Altun E., Ramalho M., Velloni F., AlObaidy M., Semelka R.C. An overview of imaging techniques for liver metastases management // *Expert Rev. Gastroenterol. Hepatol.* 2015. Vol. 9, No. 12. P. 1561–1576. doi: 10.1586/17474124.2015.1092873. Epub 2015 Sep 28.
20. Kulemann V., Schima W., Tamandl D., Kaczirek K., Gruenberger Th., Wrba F., Weber M., Ba-Ssalamah A. Preoperative detection of colorectal liver metastases in fatty liver: MDCT or MRI? // *Eur. J. Radiol.* 2011. Aug. Vol. 79, No. 2. P. e1–6. doi: 10.1016/j.ejrad.2010.03.004. Epub 2010 Apr 13.
21. Mahnken A.H., Pereira Ph.L., de Baère T. Interventional Oncologic Approaches to Liver Metastases // *Radiology*. 2013. Feb 1. Vol. 266, No. 2. <https://doi.org/10.1148/radiol.12112544>
22. Inaba Y., Arai Y., Kanematsu M., Takeuchi Y., Matsueda K., Yasui K., Hoshi H., Yuji, Revealing Hepatic Metastases from Colorectal Cancer: Value of Combined Helical CT During Arterial Portography and CT Hepatic Arteriography with a Unified CT and Angiography System // *Hepatobiliary Imaging*. April. 2000. Vol. 174, Issue 4. doi.org/10.2214/ajr.174.4.1740955.
23. Paul R.E., Durant T.M., Oppenheimer M.J., Stauffer H.M. Intravenous carbon dioxide for in tracardiac gas contrast in the roentgen diagnosis of pericardial effusion and thickening // *Am.J. Roentgenol. Radium. Ther. Nucl. Med.* 1957. Vol. 78. P. 224–225.
24. Scatliff J.H., Kummer A.J., Janzen A.H. The diagnosis of pericardial effusion with intracardiac carbon dioxide // *Radiology*. 1959. Vol. 73. P. 871–883.

25. Barrera F., Durant T.M., Lynch P.R., Oppenheimer M.J., Stauffer H.M., Stewart G.H. 3<sup>rd</sup>. In vivo visualization of intracardiac structures with gaseous carbon dioxide; cardiovascular-respiratory effects and associated changes in blood chemistry // *Am. J. Physiol.* 1956. Vol. 186. P. 325–334.
26. Hawkins I.F., Cho K.J., Caridi J.G. Carbon dioxide in angiography to reduce the risk of contrast-induced nephropathy // *Radiol. Clin. North Am.* 2009. Sep. Vol. 47, No. 5. P. 813–825, v-vi. doi: 10.1016/j.rcl.2009.07.002.
27. Cho K.J., Hawkins I.F. Carbon // Cho K.J., Hawkins I.F., eds. Carbon dioxide angiography: principles, techniques, and practices. New York: Informa Healthcare, 2007.
28. Dimakakos P.B., Stefanopoulos T., Doufas A.G., Papasava M., Gouliamos A., Mourikis D. et al. The cerebral effects of carbon dioxide during digital subtraction angiography in the aortic arch and its branches in rabbits // *AJNR Am. J. Neuroradiol.* 1998. Vol. 19. P. 261–266.
29. Kozlov D.B., Lang E.V., Barnhart W., Gossler A., De Girolami U. Adverse cerebrovascular effects of intraarterial CO<sub>2</sub> injections: development of an in vitro/in vivo model for assessment of gas-based toxicity // *J. Vasc. Interv. Radiol.* 2005. Vol. 6. P. 713–726.
30. Kariya S., Tanigawa N., Kojima H., Komemushi A., Shiraishi T., Kawanaka T. et al. Efficacy of carbon dioxide for diagnosis and intervention in patients with failing hemodialysis access // *Acta Radiol.* 2010. Vol. 51. P. 994–1001.
31. Балахнин П.В., Шмелев А.С., Шачинов Е.Г., Цикоридзе М.Ю., Поздняков А.В., Мацко Д.Е., Моисеенко В.М. Природа и перфузионная динамика перитуморального кольцевого контрастирования мелких (5–9 мм) и очень мелких (<5 мм) гиповаскулярных метастазов в печени: Анализ данных динамической КТ-артериоэнцефалографии // *Практическая онкология.* 2017. Т. 18. № S1. С. 58–78. [Balakhnin P.V., Shmelev A.S., Shachinov E.G., Tsikoridze M.J., Pozdnyakov A.V., Matsko D.E., Moiseyenko V.M. Nature and perfusion dynamics of peritumoral ring enhancement of small (5–9 mm) and very small (<5 mm) hypovascular liver metastases: Dynamic CT during hepatic arteriography data analysis. *Practical oncology*, 2017, Vol. 18, No. S1, pp. 58–78 (In Russ.)].
32. Балахнин П.В. Рентгенохирургические методы лечения неотложных состояний в онкологии // *Практическая онкология.* 2015. Т. 16, № 4. С. 140–156. [Balakhnin P.V. Balakhnin P.V. X-ray surgical methods for treating emergency conditions in oncology. *Practical oncology*, 2015, Vol. 16, No. 4, pp. 140–156 (In Russ.)].
33. Sharafuddin M.J., Marjan A.E. Current status of carbon dioxide angiography // *J. Vasc. Surg.* 2017, Aug; Vol. 66, No. 2. P. 618–637. doi: 10.1016/j.jvs.2017.03.446.
34. Sawada Y., Shimohira M., Nagai K., Kawai T., Ohta K., Nakayama K., Shibamoto Y. Carbon Dioxide Angiography for the Detection of Lower Gastrointestinal Arterial Bleeding Initially Occult to Angiography with Iodinated Contrast Media // *J. Vasc. Interv. Radiol.* 2022. Nov; Vol. 33, No. 11. P. 1329–1334. doi: 10.1016/j.jvir.2022.06.028.
35. Wong A.A., Charalel R.A., Louie J.D., Sze D.Y. Carbon dioxide contrast enhancement for C-arm CT utility for treatment planning during hepatic embolization procedures // *J. Vasc. Interv. Radiol.* 2013. Jul; Vol. 24, No. 7. P. 975–980. doi: 10.1016/j.jvir.2013.03.029.
36. Becker L.S., Dewald C.L.A., Maschke S.K., Werncke T., Meyer B.C., Wacker F.K., Hinrichs J.B. CO<sub>2</sub>-based C-arm computed tomography (CACT) of the pelvic arteries: feasibility and diagnostic performance in comparison to CO<sub>2</sub>-angiography in patients with peripheral arterial disease // *Acta Radiol.* 2021. Dec; Vol. 62, No. 12. P. 1707–1715. doi: 10.1177/0284185120969954.
37. Балахнин П.В., Беляев А.М., Багненко С.С., Буровик И.А., Шмелев А.С. Технологии плоскодетекторной компьютерной томографии в интервенционной онкологии: Диагностика, стадирование и лечение гепатоцеллюлярного рака // *Медицина высоких технологий.* 2023. Т. 1, № 1. С. 6–25. [Balakhnin P.V., Belyaev A.M., Bagnenko S.S., Burovik I.A., Shmelev A.S. Flat-detector computed tomography technologies in interventional oncology: Diagnosis, staging and treatment of hepatocellular carcinoma. *High-tech medicine*, 2023, Vol. 1, No. 1, pp. 6–25 (In Russ.)].
38. Генералов М.И., Балахнин П.В., Руткин И.О., Полисалов В.Н., Таразов П.Г., Поликарпов А.А., Розенгауз Е.В., Иванова А.А., Калашников П.А., Гранов Д.А. Внутриаартериальная химиотерапия с использованием имплантируемых инфузионных систем в лечении пациентов с метастазами колоректального рака в печень // *Вопросы онкологии.* 2007. Т. 53, № 1. С. 72–78. [Generalov M.I., Balakhnin P.V., Routkin I.O., Polysalov V.N., Tarazov P.G., Polykarпов A.A., Rosenhouse Ye.V., Ivanova A.A., Kalashnikov P.A., Granov D.A. Intraarterial chemotherapy using implantable port-catheter system in patients with colorectal liver metastases. *Problems in oncology*, 2007, Vol. 53, No. 1, pp. 72–78 (In Russ.)].