

Новые технологии чрескожной криоабляции опухолей под контролем плоскодетекторной компьютерной томографии: непосредственные и отдаленные результаты лечения 256 пациентов

Контакты:

Павел Васильевич
Балахнин
balahnin_p@mail.ru

П.В. Балахнин^{1,2}, А.С. Шмелев¹, В.И. Малькевич¹, М.Д. Ханевич², И.А. Курносов¹,
С.С. Багненко^{1,2}, А.М. Беляев^{1,3}

¹ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Петрова»
Минздрава России; Россия, 197758 Санкт-Петербург, пос. Песочный, ул. Ленинградская, 68

²ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет»
Минздрава России; Россия, 194100 Санкт-Петербург, ул. Литовская, 2

³ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова»
Минздрава России; Россия, 191015 Санкт-Петербург, ул. Кирочная, 41

Введение. Ранее нами были разработаны и описаны две технологии ангиографически-ассистированной аргоно-гелиевой чрескожной криоабляции (ЧКА) метастазов в печени и опухолей почки с использованием плоскодетекторной компьютерной томографии (ПДКТ) для визуализации, навигации, мониторинга и оценки непосредственного ответа на лечение. Кроме того, мы применяли ПДКТ-визуализацию и ПДКТ-навигацию при выполнении ЧКА метастатических опухолей легких и костей, а также крионейролизиса. Однако как непосредственные, так и отдаленные результаты использования этих новых технологий до настоящего времени нами представлены не были.

Цель исследования – оценить непосредственные и отдаленные результаты проведения ангиографически-ассистированной ПДКТ-контролируемой ЧКА гиповаскулярных метастазов в печени, опухолей почки и ПДКТ-контролируемой ЧКА метастазов в легких.

Материалы и методы. С февраля 2017 г. по февраль 2021 г. выполнено 345 сеансов аргоно-гелиевой ЧКА у 256 пациентов: в 216 случаях – по поводу метастазов в печени, в 14 – по поводу опухолей почки, в 7 – по поводу метастазов в легких, в 19 – по поводу болевого синдрома.

Результаты. Технический успех ангиографически-ассистированной ПДКТ-контролируемой ЧКА метастазов в печени составил 98,7 %, опухолей почки – 92,9 %, метастазов в легких – 100 %. Технический успех и клиническая эффективность ЧКА, направленной на лечение болевого синдрома, составили 100 %. Все осложнения соответствовали I–III степени тяжести по классификации CIRSE (Европейское общество специалистов по сердечно-сосудистой и интервенционной радиологии) и успешно устранены либо непосредственно в процессе криоабляции, либо в раннем послеоперационном периоде. После ангиографически-ассистированной ПДКТ-контролируемой ЧКА метастазов в печени медиана общей выживаемости составила 37,0 мес, а 1-, 2-, 3- и 5-летняя выживаемость – соответственно 93,0; 69,1; 51,7 и 27,9 %, после аналогичных процедур по поводу опухолей почки – 73,5 мес и 100, 100, 100 и 100 %, после аналогичных вмешательств по поводу метастазов в легких – 26,0 мес и 85,7; 71,4; 28,6 и 28,6 % соответственно.

Заключение. Разработанные технологии аргоно-гелиевой ЧКА под ПДКТ-контролем позволяют безопасно и эффективно лечить злокачественные опухоли печени, почки и легкого, а также применимы для паллиативного лечения метастазов в кости и крионейролизиса. Для подтверждения полученных результатов и дальнейшего развития ангиографически-ассистированных ПДКТ-контролируемых технологий ЧКА с возможным их включением в стандарты оказания медицинской помощи необходимо проведение дополнительных крупных проспективных многоцентровых исследований.

Ключевые слова: плоскодетекторная компьютерная томография, ангиографически-ассистированная чрескожная криоабляция, лечение олигометастазов, крионейролизис, интервенционная радиология, интервенционная онкология, рентгенохирургия

Для цитирования: Балахнин П.В., Шмелев А.С., Малькевич В.И. и др. Новые технологии чрескожной криоабляции опухолей под контролем плоскодетекторной компьютерной томографии: непосредственные и отдаленные результаты лечения 256 пациентов. Медицина высоких технологий 2026;1(1):8–40.

DOI: 10.63769/3034-008X-2026-1-1-8-40

New technologies of percutaneous cryoablation of tumors under the control of flat-detector computed tomography: Immediate and long-term results of treatment of 256 patients

P.V. Balakhnin^{1,2}, A.S. Shmelev¹, V.I. Malkevich¹, M.D. Khanevich², I.A. Kurnosov¹, S.S. Bagnenko^{1,2}, A.M. Belyaev^{1,3}

¹National Medical Research Center of Oncology n. a. N.N. Petrov, Ministry of Health of Russia; 68 Leningradskaya St., Pesochny Vil., Saint-Petersburg 197758, Russia

²St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of Russia; 2 Litovskaya St., Saint-Petersburg 194100, Russia

³North-Western State Medical University n. a. I.I. Mechnikov, Ministry of Health of Russia; 41 Kirochnaya St., Saint-Petersburg 191015, Russia

Contacts: Pavel Vasilyevich Balakhnin balakhnin_p@mail.ru

Background. Previously, we developed and described two technologies for angiographically-assisted percutaneous argon-helium cryoablation (PCA) of metastatic liver tumors and kidney cancer using flat-detector computed tomography (FD-CT) for visualization, navigation, monitoring, and assessment of the immediate treatment response. Furthermore, we have used FD-CT imaging and FD-CT navigation to perform PCA of metastatic lung and bone tumors, as well as cryoneurolysis. However, we have not yet presented either immediate or long-term results of using these new technologies.

Aim. To study the immediate and long-term results of using the technology of angiographically-assisted FD-CT-guided PCA of hypovascular liver metastases, kidney tumors and FD-CT-guided PCA of lung metastases.

Materials and methods. Between February 2017 and February 2021, 345 sessions of argon-helium PCA were performed in 256 patients: in 216 cases due to liver metastases, in 14 due to kidney tumors, in 7 due to lung metastases, in 19 due to pain syndrome.

Results. The technical success of angiographically-assisted FD-CT-controlled PCA was 98.7 % for liver metastases, 92.9 % for kidney tumors, 100 % for lung metastases. The technical success and clinical effectiveness of interventions aimed at treating pain syndrome were 100 %. All complications were grade I–III per the CIRSE (Cardiovascular and Interventional Radiological Society of Europe) classification and were successfully eliminated either directly during the cryoablation procedure or in the early postoperative period. After angiographically-assisted FD-CT-controlled PCA of liver metastases, median overall survival was 37.0 months, 1-, 2-, 3- and 5-year survival rates were, respectively, 93.0, 69.1, 51.7 and 27.9 %; after the procedures for kidney tumors the values were 73.5 months and 100, 100, 100 and 100 %; after the procedures for lung metastases, 26.0 months and 85.7, 71.4, 28.6 and 28.6 %, respectively.

Conclusion. The developed technologies of argon-helium PCA under FD-CT control are safe and effective for curative treatment of malignant tumors of the liver, kidneys and lungs, as well as for palliative treatment of bone metastases and cryoneurolysis. To confirm the obtained results and further develop angiographically-assisted FD-CT-guided PCA technologies with their possible inclusion in the standards of medical care, it is necessary to conduct additional large prospective multicenter studies.

Keywords: flat-detector computed tomography, angiographically-assisted percutaneous cryoablation, oligometastasis treatment, cryoneurolysis, interventional radiology, interventional oncology, X-ray surgery

For citation: Balakhnin P.V., Shmelev A.S., Malkevich V.I. et al. New technologies of percutaneous cryoablation of tumors under the control of flat-detector computed tomography: Immediate and long-term results of treatment of 256 patients. *Medsina vysokikh tekhnologiy* = High-Tech Medicine 2026;1(1):8–40. (In Russ.)

DOI: 10.63769/3034-008X-2026-1-1-8-40

ВВЕДЕНИЕ

Технологии чрескожной энергетической абляции (ЧЭА) получают все большее распространение и признание как эффективные методы лечения первичных и метастатических опухолей различных локализаций. Связано это прежде всего с совершенствованием методов лучевой диагностики, которые помогают выявлять гепатоцеллюлярный рак, рак почки, легкого, молочной железы, метастазы колоректального рака в печени и другие опухоли на самой ранней стадии, что позволяет использовать для их радикального лечения малоинвазивные органосохраняющие вмешательства, такие как ЧЭА [1]. Существенный вклад в развитие технологий ЧЭА вносит также заметное расширение возможностей современной интраоперационной визуализации и навигации, произошедшее в последнее

десятилетие в области интервенционной радиологии (рентгенохирургии) [2]. Включению технологий ЧЭА в стандарты лечения различных опухолей способствует и постепенное «созревание» доказательной базы — проведение рандомизированных контролируемых многоцентровых исследований и появление крупных метаанализов, в которых подтверждается сопоставимость непосредственных и отдаленных результатов ЧЭА и хирургического лечения при ряде новообразований, в частности метастазах колоректального рака в печени, а также сообщается о значительно меньшем числе интрапроцедурных и постпроцедурных осложнений и меньшей периоперационной летальности [3, 4].

В настоящее время для широкого клинического использования рекомендованы три вида ЧЭА: радиочастотная абляция (РЧА), микроволновая абляция

(МВА) и аргоно-гелиевая чрескожная криоабляция (ЧКА), каждый из которых имеет как достоинства, так и недостатки [5]. По сравнению с гипертермическими технологиями аргоно-гелиевая ЧКА обладает рядом уникальных преимуществ, делающих ее крайне привлекательным методом лечения первичных опухолей печени [6, 7], почки [8, 9], легкого [10], молочной [11, 12] и предстательной железы [13] и олигометастазов в этих органах [14, 15], а также циторедуктивного лечения опухолей поджелудочной железы [16, 17] и паллиативного лечения метастазов в кости [18, 19] и в позвоночнике [20], болевого синдрома [21], карциноидного синдрома, рецидивирующих опухолевых кровотечений (например, при местнораспространенном раке почки) и др. [22, 23].

К неоспоримым преимуществам ЧКА относятся:

- безболезненность, позволяющая выполнять ее под местной анестезией;
- возможность визуализации «ледяного шара», обеспечивающая эффективный мониторинг процедуры с прецизионным контролем границ зоны крионекроза;
- возможность формирования очень больших и/или геометрически сложных зон крионекроза, позволяющая аблировать опухоли, диаметр которых значительно превышает 3 см;
- сохранение «коллагенового каркаса» тканей, что делает процедуру более безопасной (в особенности при проведении ЧКА возле критических структур, таких как желчный пузырь или чашечно-лоханочная система почки) [5, 23–25];
- возможность использования дополнительных криозондов для блокирования кровотока или «приклеивания» тканей с целью их фиксации или тракции [26];
- существенное влияние на иммунную систему, благодаря которому в перспективе ЧКА может быть использована в комбинации с иммунотерапией для усиления противоопухолевого эффекта [27–29].

В то же время ЧКА имеет и ряд недостатков, таких как технологическая сложность и большая длительность процедуры, необходимость использования нескольких криозондов и более высокая стоимость [5, 23–25]. Процедуры ЧКА, в особенности при проведении на печени, могут сопровождаться специфическими побочными явлениями, такими как тромбоцитопения, миоглобинемия/миоглобинурия и цитокинопосредованные системные воспалительные реакции, способные вызывать тяжелые осложнения, вплоть до летального исхода [30–32]. Хотя в обзорах литературы эти побочные эффекты рассматриваются даже не как недостатки ЧКА, а как «плата» за ее многочисленные технологические преимущества (поскольку их можно достаточно надежно контролировать), в раннем после-

операционном периоде требуется тщательный мониторинг состояния пациентов [5, 23–25]. К сожалению, в отечественной и зарубежной научной литературе уделено крайне мало внимания особенностям проведения ЧКА, послеоперационного ведения пациентов (в том числе с учетом риска вышеперечисленных побочных явлений), методам профилактики, диагностики и лечения осложнений.

Кроме того, главным недостатком ЧКА по сравнению с РЧА и МВА на протяжении многих лет считается более высокий риск развития послеоперационных кровотечений, обусловленный отсутствием в первых моделях криогенных аппаратов возможности интрапроцедурной коагуляции пункционных каналов и, в значительно меньшей степени, развитием постабляционной тромбоцитопении [5, 23–25, 33–35]. Хотя в новых поколениях криогенных установок, таких как Visual Ice и ICEfx (Boston Scientific, США), этот недостаток в значительной степени устранен (благодаря возможности нагрева криозондов до 100°C), он на протяжении многих лет сдерживал развитие ЧКА, в особенности в сфере лечения опухолей, локализующихся в таких хорошо кровоснабжаемых органах, как печень и почки (рис. 1).

Учитывая этот серьезный недостаток ЧКА, в 2016 г. для интрапроцедурной диагностики и лечения кровотечений мы разработали и впервые применили технологию ангиографически-ассистированной ЧКА опухолей печени, которая позволяет успешно выявлять и устранять кровотечения путем суперселективной эмболизации кровоточащих сосудов [36]. Годом позже, также впервые в мире, мы предложили технологию ангиографически-ассистированной ЧКА гиповаскулярных метастазов в печени под контролем плоскостекторной компьютерной томографии (ПДКТ), которая объединила возможность контроля кровотечения с преимуществами внутриартериального ПДКТ-контрастирования [37–39]. Предпосылки появления и история создания ПДКТ, а также фундаментальные принципы ее практического использования и перспективы дальнейшего развития были описаны нами ранее в других работах [40, 41]. Здесь же необходимо отметить, что удачная комбинация чрескожных и эндоваскулярных технологий с использованием различных режимов ПДКТ-артериогапатографии позволила нам принципиальным образом улучшить возможности интрапроцедурной ПДКТ-визуализации, ПДКТ-навигации, ПДКТ-мониторинга, а также оценки непосредственного ответа на лечение в ходе ЧКА гиповаскулярных метастазов (в первую очередь метастазов колоректального рака) в печени, превратив эту процедуру в прецизионный технологический процесс [39, 42].

В том же 2017 г. также впервые в мире мы разработали аналогичную технологию ангиографически-



Рис. 1 | Fig. 1

Один из вариантов современного криогенного оборудования компании Boston Scientific (США): а – криогенная установка Visual Ice, оснащенная мобильной консолью с большим сенсорным HD-экраном для управления циркуляцией газов под высоким давлением (аргона для замораживания и гелия для размораживания) через аппликаторы (иглы) с закрытым контуром. Данная система позволяет использовать аппликаторы (иглы) с маркировкой CX как в режиме i-Thaw™, предназначенном для активного размораживания льда без использования гелия, так и в режиме гипертермической абляции пункционных каналов; б – аппликаторы (иглы) для криоабляции под ультразвуковым и/или компьютерно-томографическим контролем. Аппликаторы с маркировкой CX диаметром 1,5 мм (17 G) и 2,1 мм (14 G) позволяют производить абляцию пункционных каналов путем электрического нагрева рабочей части до температуры 100 °C с создания равномерной зоны коагуляционного некроза. Изображения взяты из официальных буклетов компании Boston Scientific (США)

One of the setups of modern cryogenic equipment by Boston Scientific (USA): а – Visual Ice cryogenic system equipped with mobile console with a large HD touchscreen for controlling circulation of gases under high pressure [argon for freezing and helium for thawing] through closed-tip applicators (needles). This system allows to use applicators (needles) with CX features both in i-Thaw™ mode designed for active thawing of ice without helium and in hyperthermic ablation of needle tracks; б – applicators (needles) for cryoablation under ultrasound and/or computed tomography control. Applicators with CX features and diameters 1.5 mm (17 G) and 2.1 mm (14 G) allow to perform track ablation through electric heating of the working part up to 100 °C with creation of uniform area of coagulation necrosis. The images are taken from official Boston Scientific (USA) brochures

ассистированной ЧКА рака почки стадии T1a под ПДКТ-контролем, обеспечившую высокоточный мониторинг процедуры, а также надежную диагностику и купирование кровотечений с минимальным расходом рентгенконтрастных препаратов [43]. В 2021 г. мы начали использовать технологии ПДКТ-артериографической для проведения ангиографически-ассистированной МВА первичных и метастатических опухолей печени [44]. В дальнейшем эти ангиографически-ассистированные ПДКТ-контролируемые технологии были «позаимствованы» (к сожалению, без ссылок на первоисточники) зарубежными коллегами также для проведения чрескожной МВА метастазов в печени и чрескожной МВА опухолей почки [45–48]. Однако данных о проведении ангиографически-ассистированной ПДКТ-контролируемой ЧКА в других зарубежных центрах нам в медицинских базах данных обнаружить не удалось.

Кроме того, начиная с 2017 г. мы впервые в России использовали ЧКА под ПДКТ-контролем (без дополнительного контрастирования) для лечения метастатических опухолей легкого, а также (с использованием внутривенного ПДКТ-контрастирования) для лечения метастатических опухолей костей, проведения крио-

нейролизиса при болевом синдроме и лечения ряда доброкачественных новообразований, таких как десмоидные опухоли и остеонид-остеоиды [49, 50].

Несмотря на то что все эти технологии ПДКТ-контролируемой ЧКА в той или иной мере были описаны нами ранее, подробного анализа побочных эффектов и осложнений, а также непосредственных и отдаленных результатов лечения пациентов с их использованием до настоящего времени нами представлено не было. **Цель настоящего исследования** – описать разработанные нами технологии ПДКТ-контролируемой аргоно-гелиевой ЧКА (с внутриартериальным контрастированием, внутривенным контрастированием и без контрастирования), а также проанализировать непосредственные и отдаленные результаты их использования для лечения пациентов с метастатическими опухолями печени, легкого и костей, а также пациентов с почечноклеточным раком стадии T1a.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Все процедуры ПДКТ-контролируемой ЧКА были выполнены в течение 4 лет (с февраля 2017 г. по февраль 2021 г.) в рамках пилотного клинического исследования на базе ГБУЗ «Санкт-Петербургский клинический

научно-практический центр специализированных видов медицинской помощи (онкологический)» врачами отделения рентгенохирургических методов диагностики и лечения, которые являются авторами данной работы (П.В. Балахниним, А.С. Шмелевым и В.И. Малькевичем). К моменту начала исследования все врачи имели опыт работы по специальности более 5 лет, а также опыт выполнения ЧЭА (РЧА и МВА) опухолей различных локализаций более чем у 100 пациентов. У всех пациентов первичные опухоли были гистологически верифицированы, а гистологическую верификацию метастазов в печени, легких и костях выполняли только тогда, когда это было целесообразно.

Решение о необходимости и возможности выполнения ЧКА принималось на онкологическом консилиуме с участием мультидисциплинарной бригады в составе онколога, радиолога, профильного врача-хирурга (абдоминального хирурга, уролога и др.), врача-рентгенолога и врача — специалиста по рентгенэндоваскулярной диагностике и лечению (рентгенохирурга). При этом все пациенты с изолированными олигометастазами в печени и легких, а также пациенты с метастазами в кости и болевым синдромом проходили противоопухолевую лекарственную терапию 1, 2, 3, 4-й и даже 5-й линии в зависимости от конкретной клинической ситуации до и после выполнения ЧКА. Пациентам, получавшим бевацизумаб, отменяли его прием за 4 нед до планируемой процедуры ЧКА и возобновляли лечение после ее проведения. У всех пациентов до начала процедуры ЧКА было получено добровольное письменное информированное согласие на выполнение вмешательства, а также согласие на последующую обработку и использование полученных данных.

Все процедуры ПДКТ-контролируемой ЧКА выполняли под местной анестезией 1-процентным раствором лидокаина в рентгенооперационной отделении рентгенохирургических методов диагностики и лечения на ангиографической установке Artis Zee Floor (Siemens, Германия), оснащенной плоским цифровым детектором, состоящим из 2480×1910 пикселей с шагом в 154 мкм, активной матрицей размерами 30×40 см и 14-битным аналогово-цифровым преобразователем с квантовой эффективностью 73 %, серошкальным диапазоном в 16 384 оттенка серого и пространственным разрешением 3,25 л. п./мм (рис. 2). Сканирование (ротационную рентгенографию) для получения ПДКТ-изображений выполняли в течение 6,6 с в режиме DynaCT 8sDCT Body (Siemens, Германия) со скоростью вращения гентри 30° в секунду и частотой рентгенографии 60 кадров в секунду (серия, состоящая из 397 отдельных планарных рентгеновских изображений). Реконструкцию полученного массива данных осуществляли в автоматическом режиме с использованием матрицы 512×512

на рабочей станции Syngo Workplace VB15D (Siemens, Германия). Анализ полученных изображений производили с использованием программного пакета InSpace (Siemens, Германия) в режиме мультипланарных реконструкций и режиме объемных реконструкций либо непосредственно в рентгенооперационной, либо в примыкающей к ней комнате управления (пультовой). Для установки кризондов в целевые узлы в режиме дополненной рентгеноскопии использовали программный пакет iGuide Needle Guidance (Siemens, Германия), реализующий технологию трехмерной стереотаксической навигации в режиме реального времени, а также опцию 3D/3D Fusion (Siemens, Германия), позволяющую производить слияние любых трехмерных массивов ПДКТ-данных между собой и с данными, полученными с использованием других модальностей визуализации, таких как мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ), магнитно-резонансная томография (МРТ) и др. В качестве контрастного препарата (КП) при проведении цифровой субтракционной ангиографии (ЦСА) и ПДКТ-артериогепагиографии во всех случаях использовали неразведенный контрастный препарат «Ультравист-370» (Bayer, Германия) который вводили с помощью шприца-инжектора Mallinckrodt Angiomat Illumena (Mallinckrodt, Ирландия). Все пациенты до начала вмешательства были проинструктированы (и прошли небольшой тренинг) о необходимости задержки дыхания во время ПДКТ-сканирования и ПДКТ-контролируемой установки кризондов в одной и той же фазе дыхания, а именно в конце фазы пассивного выдоха.

Для проведения ЧКА использовали аргоно-гелиевую криогенную установку SeedNet Gold (Boston Scientific, США) (рис. 3) и кризонды IceEDGE диаметром 13 G (2,4 мм), IceRod диаметром 17 G (1,5 мм) и/или IceSphere диаметром 17 G (1,5 мм) (Boston Scientific, США) (рис. 4), выбор которых зависел от органа и размеров опухолевых узлов (рис. 5). Число кризондов выбирали так, чтобы расчетные размеры «ледяного шара» полностью перекрывали опухоль с выходом за ее контур не менее чем на 10 или 15 мм (в зависимости от органа и цели вмешательства) по всей поверхности опухоли, при этом ориентировались на сведения расчетных таблиц, предоставленных производителем оборудования (рис. 6, 7). Учитывали тот факт, что зона летальной гипотермии (от -20°C до -40°C) располагается на 5 мм глубже визуализируемой поверхности «ледяного шара» («ледяного фронта»), непосредственно на которой температура составляет 0°C (рис. 8).

У всех пациентов после окончания процедуры и на следующие сутки после вмешательства выполняли забор крови для проведения общего, биохимического и количественного (на уровень миоглобина) анализа крови, а также забор мочи для ее общего



Рис. 2 | Fig. 2

Общий вид рентгенооперационной с ангиографической установкой Artis Zee Floor (Siemens, Германия)

General appearance of X-ray operating room with angiography system Artis Zee Floor (Siemens, Germany)

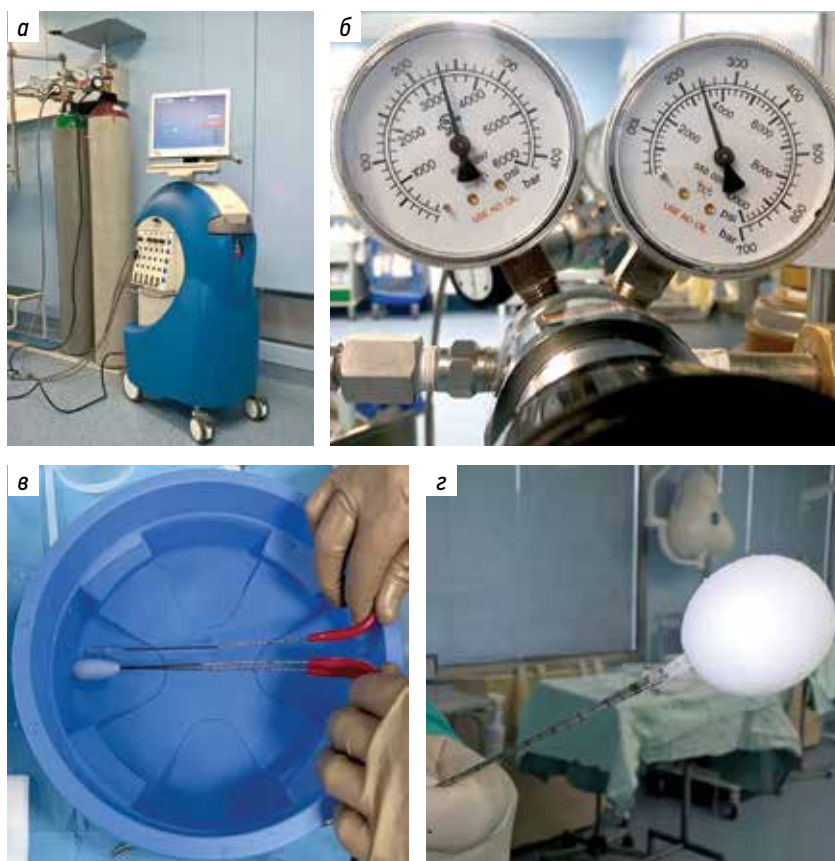


Рис. 3 | Fig. 3

Оборудование для криоабляции, использовавшееся при проведении исследования: а – аргон-гелиевая криогенная установка SeedNet Gold (Boston Scientific, США) с подключенными к ней баллонами аргона и гелия; б – газовый редуктор для снижения давления газа в баллоне (300–450 бар) до рабочего давления (260 бар); в – кризонды IceRod 17 G (1,5 мм) в режиме проверки их работоспособности; г – «ледяной шар», созданный в тестовом режиме 3 кризондами IceSphere 17 G (Boston Scientific, США) при непрерывной подаче аргона в режиме 100-процентной интенсивности в течение 10 мин

Equipment for cryoablation used in the study: а – argon-helium cryogenic system SeedNet Gold (Boston Scientific, USA) with attached argon and helium tanks; б – gas reductor for decreasing pressure in the tank (300–450 bar) to working level (260 bar); в – IceRod 17 G (1.5 mm) cryoprobes during verification of their functionality; г – ice ball created in test mode by 3 IceSphere 17 G cryoprobes (Boston Scientific, USA) during continuous supply of argon in 100-percent efficacy mode for 10 minutes

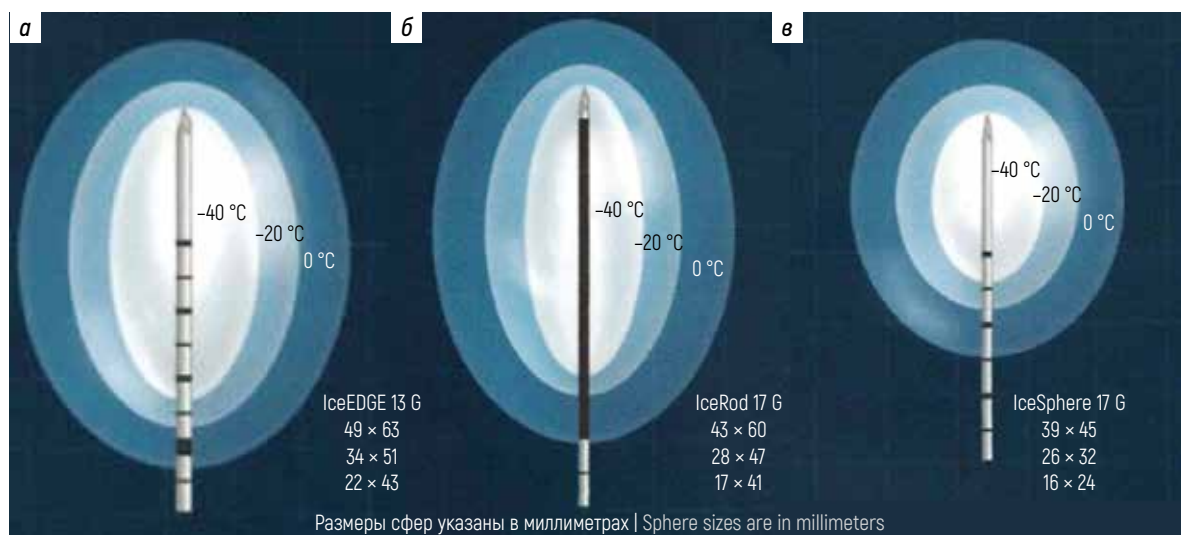


Рис. 4 | Fig. 4

Изотермы в «ледяных шарах», полученных *ex vivo* (в геле, нагретом до температуры 37 °C) при использовании кризондов IceEDGE диаметром 13 G (2,4 мм) [а], IceRod диаметром 17 G (1,5 мм) [б] и IceSphere диаметром 17 G (1,5 мм) [в] при подаче аргона в режиме 100-процентной интенсивности в течение 10 мин.

Изображения взяты из официальных буклетов компании Boston Scientific (США)

Isotherms in ice balls created *ex vivo* (in gel heated to 37 °C) using IceEDGE cryoprobes with diameter 13 G (2.4 mm) [a], IceRod with diameter 17 G (1.5 mm) [б] and IceSphere with diameter 17 G (1.5 mm) [в] and argon supply in 100-percent efficacy mode for 10 min. The images are taken from official Boston Scientific (USA) brochures



Рис. 5 | Fig. 5

Процесс проведения чрескожной криоабляции опухолей различных локализаций и различных размеров с применением кризондов трех модификаций:

а – криоабляция метастаза в печени диаметром >5 см с использованием 6 кризондов IceEDGE 13 G (2,4 мм); б – криоабляция метастаза в легком диаметром 2 см с использованием 3 кризондов IceRod 17 G (1,5 мм); в – криоабляция опухоли почки (почечноклеточный рак) диаметром 2 см с использованием 3 кризондов IceSphere диаметром 17 G (1,5 мм)

Transcutaneous cryoablation of tumors in different sites and of different sizes using three types of cryoprobes: а – cryoablation of liver metastasis with diameter >5 cm using 6 IceEDGE 13 G (2.4 mm) cryoprobes; б – cryoablation of lung metastasis with diameter 2 cm using 3 IceRod 17 G (1.5 mm) cryoprobes; в – cryoablation of kidney tumor (renal cell carcinoma) with diameter 2 cm using 3 IceSphere 17 G (1.5 mm) cryoprobes

анализа. При уровне миоглобина крови >1000 нг/мл с целью профилактики острой болезни почек (развивающейся вследствие миоглобинурии, которая приводит к «закислению» мочи и осаждению миоглобина в просвете канальцев с формированием пигментных цилиндров) пациенту назначали инфузионную терапию — непрерывное введение 5-процентного раствора

гидрокарбоната натрия в объеме 400 мл в сутки до снижения уровня миоглобина крови <1000 нг/мл [30, 32]. При развитии массивного кровотечения со снижением уровня гемоглобина <70 г/л незамедлительно начинали трансфузию крови и/или ее компонентов. При формировании в послеоперационном периоде скоплений жидкости и/или абсцессов выполняли их чрескожное

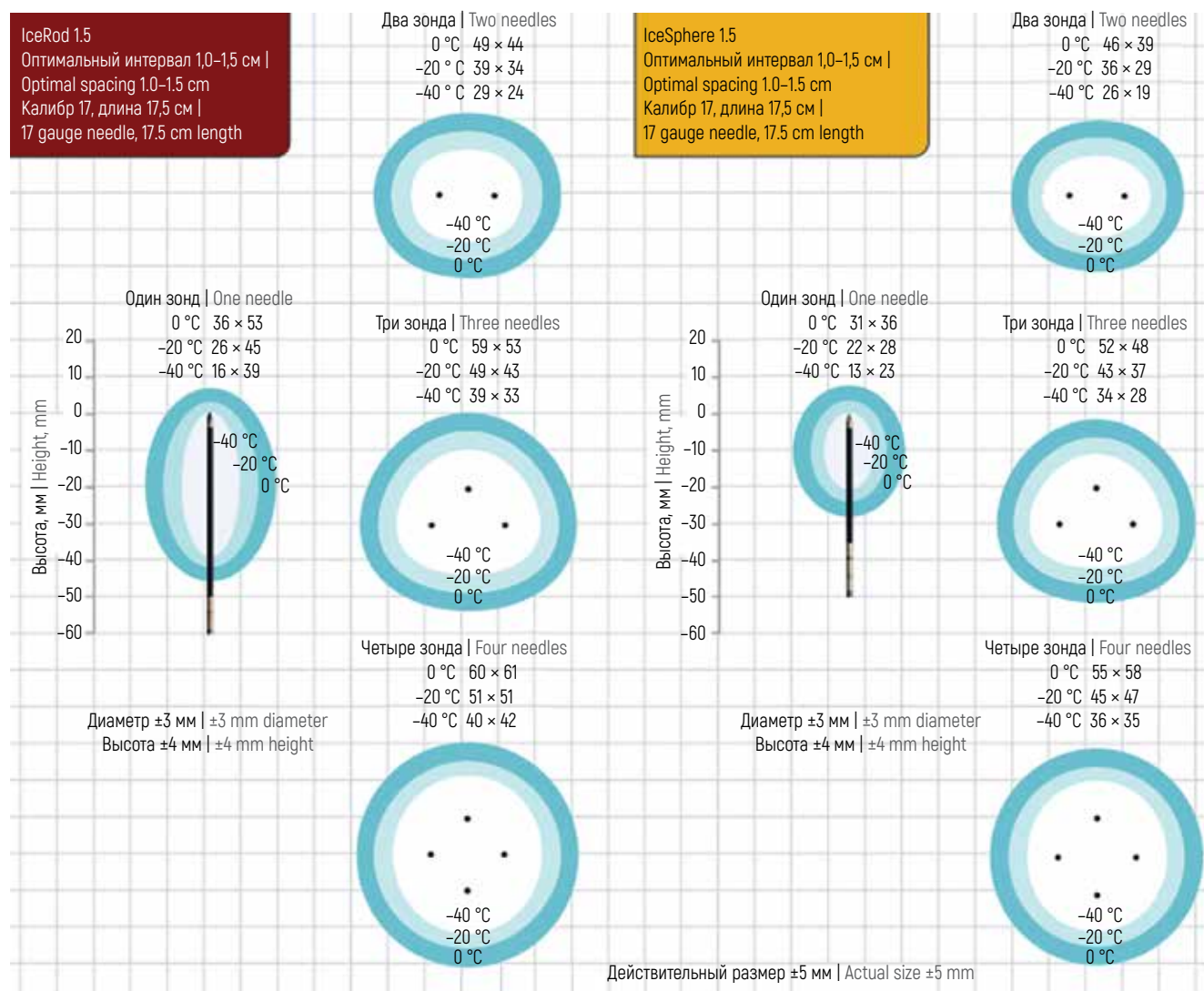


Рис. 6 | Fig. 6

Размеры «ледяных шаров» с изотермами 0 °C, -20 °C и -40 °C при использовании от 1 до 4 криозондов IceRod 17 G (1,5 мм) и IceSphere 17 G (1,5 мм) в геле, нагретом до температуры 37 °C, при подаче аргона в режиме 100-процентной интенсивности в течение 10 мин. Изображения взяты из официальных буклетов компании Boston Scientific (США)

Sizes of ice balls with 0 °C, -20 °C and -40 °C isotherms created using 1 to 4 IceRod 17 G (1.5 mm) and IceSphere 17 G (1.5 mm) cryoprobes in gel heated to 37 °C and with argon supply in 100-percent efficacy mode for 10 min. The images are taken from official Boston Scientific (USA) brochures

дренирование под ультразвуковым и/или ПДКТ-контролем по стандартной методике.

Все осложнения оценивали в соответствии с рекомендациями Европейского общества специалистов по сердечно-сосудистой и интервенционной радиологии (Cardiovascular and Interventional Radiological Society of Europe, CIRSE), в которых выделено 6 степеней тяжести в зависимости от длительности послеоперационного наблюдения и долгосрочного влияния на здоровье пациента [51]. К осложнениям I степени тяжести относили все возникающие осложнения, которые были немедленно и полностью устранены в момент

проведения вмешательства и не влияли на дальнейшее течение послеоперационного периода. Осложнениями II степени тяжести считали те, которые не требовали дополнительного лечения, но увеличивали длительность госпитализации из-за необходимости наблюдения за пациентом. К осложнениям III степени тяжести относили те, при которых возникала потребность в дополнительном лекарственном, интервенционно-радиологическом или хирургическом лечении, но которые не имели отдаленных последствий для здоровья пациента. Осложнениями IV и V степени считали те осложнения, которые вызывали соответственно легкие

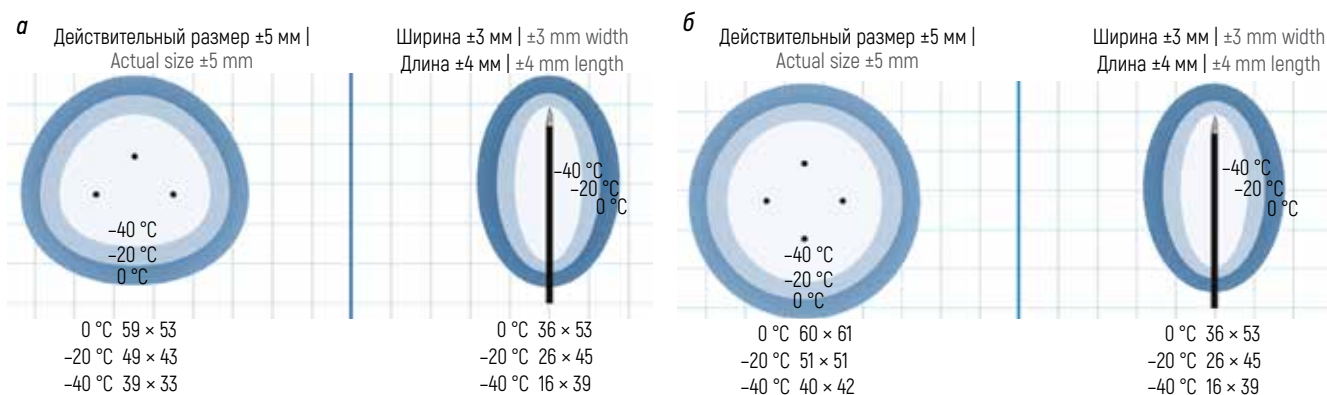


Рис. 7 | Fig. 7

Размеры «ледяных шаров» с изотермами 0 °C, -20 °C и -40 °C в геле, нагретом до температуры 37 °C, при подаче аргона в режиме 100-процентной интенсивности в течение 10 мин: *а* – при использовании 3 криозондов IceRod 17 G (1,5 мм); *б* – при использовании 4 криозондов IceRod 17 G (1,5 мм). Изображения взяты из официальных буклетов компании Boston Scientific (США)

Sizes of ice balls with 0 °C, -20 °C and -40 °C isotherms created in gel heated to 37 °C and with argon supply in 100-percent efficacy mode for 10 min: *a* – using 3 IceRod 17 G (1.5 mm) cryoprobes; *b* – using 4 IceRod 17 G (1.5 mm) cryoprobes. The images are taken from official Boston Scientific (USA) brochures

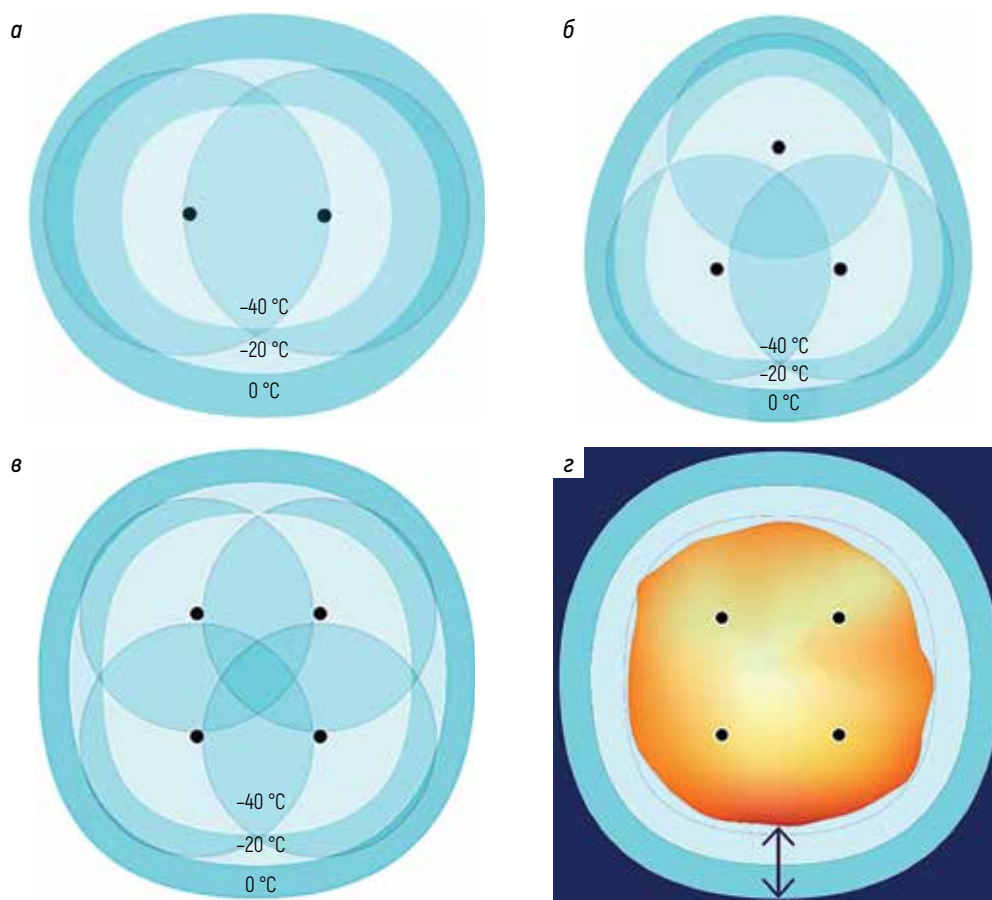


Рис. 8 | Fig. 8

Изотермы в «ледяных шарах», полученных *ex vivo* в геле, нагретом до температуры 37 °C, при использовании двух (*а*), трех (*б*) или четырех (*в*) криозондов IceRod диаметром 17 G (1,5 мм) при подаче аргона в режиме 100-процентной интенсивности в течение 10 мин и схема расположения криозондов, рекомендованная производителем для лечения опухоли диаметром 4 см (*г*). Изображения взяты из официальных буклетов компании Boston Scientific (США)

Isotherms in ice balls created *ex vivo* in gel heated to 37 °C using two (*a*), three (*b*) or four (*v*) IceRod 17 G (1.5 mm) cryoprobes with argon supply in 100-percent efficacy mode for 10 min, and diagram of cryoprobe placement recommended by the manufacturer for treating a 4 cm tumor (*r*). The images are taken from official Boston Scientific (USA) brochures

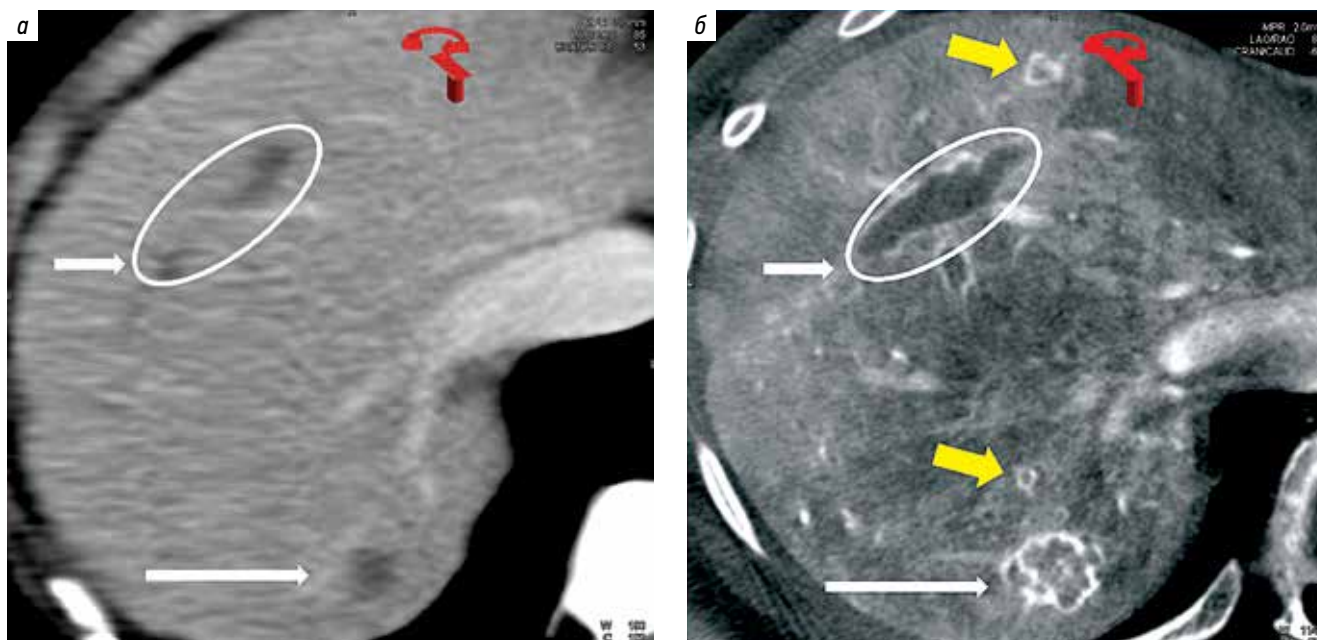


Рис. 9 | Fig. 9

Пример выявления двух оккультных метастазов колоректального рака в печени (диаметром 7 и 4 мм) в процессе проведения ангиографически-ассистированной чрескожной криоабляции под контролем плоскостекторной компьютерной томографии (ПДКТ): а – предоперационная мультиспиральная компьютерная томография в портальной фазе внутривенного контрастирования. Определяется зона абляции после ранее проведенной в другом учреждении микроволновой абляции метастаза IV сегмента печени (короткая белая стрелка и белый овал); выявлен метастаз диаметром 16 мм в VII сегменте печени (длинная белая стрелка); б – при проведении ПДКТ в капиллярной фазе инфузионной артериогепатикографии кроме ранее выявленных зоны абляции и метастаза (короткая и длинная белые стрелки соответственно) отчетливо визуализируются два метастаза диаметром 7 и 4 мм (толстые желтые стрелки) с перитуморальным контрастированием, не обнаруженные на дооперационном этапе. Их выявление требует быстрого пересмотра плана криоабляции (см. продолжение на рис. 18)

An example of detection of two occult metastases of colorectal cancer in the liver (diameters 7 and 4 mm) during angiographically-assisted transcutaneous cryoablation under the control of flat-detector computed tomography (FD-CT): а – preoperative multislice computed tomography in the portal phase of intravenous contrast. An area of ablation after previous microwave ablation of a metastasis in liver segment IV performed at another facility is visualized (short white arrow and white oval); metastasis with diameter 16 mm in liver segment VII is detected (long white arrow); б – during FD-CT in capillary phase of infusion hepatic arteriography, apart from previously detected areas of ablation and metastasis (short and long white arrows, respectively) two metastases with diameters 7 and 4 mm are clearly visualized [thick yellow arrows] with peritumoral contrast which were not found at the preoperative stage. Their detection requires fast re-planning of cryoablation [see continuation in Fig. 18]

и тяжелые необратимые последствия для здоровья. Осложнение VI степени тяжести – смерть пациента [51]. При отсутствии осложнений пациентов выписывали из стационара на 5-е сутки для дальнейшего амбулаторного наблюдения. Контрольную МСКТ выполняли через 1, 3, 6 и 12 мес после процедуры ЧКА и далее каждые 6 мес.

Техника выполнения ангиографически-ассистированной ПДКТ-контролируемой ЧКА гиповаскулярных метастазов в печени [39]. Первым этапом пунктировали правую бедренную артерию по методике Сельдингера и проводили диагностическую ЦСА печени с целью определения варианта ее артериального кровоснабжения [52]. После ЦСА ангиографический катетер диаметром 5 F (обычно в модификации Cobra C2 или Sim 2) устанавливали в общую печеночную артерию и выполняли диагностическую ПДКТ в капиллярной фазе инфузионной артериогепатикографии с задержкой дыхания пациента в конце фазы пассивного

выдоха. Для этого в артериальный катетер вводили 40 мл КП со скоростью 2 мл/с (продолжительность введения 20 с) и осуществляли сканирование печени (ротационную рентгенографию) на 22-й секунде от начала введения КП (т. е. через 2 с после окончания контрастирования) [53]. Если у пациента имелось два независимых источника кровоснабжения печени, выполняли две серии ПДКТ в капиллярной фазе артериогепатикографии с уменьшением объема КП вдвое. Целью этой процедуры было выявление/исключение мелких и очень мелких гиповаскулярных метастазов в печени, которые не были визуализированы на амбулаторном этапе с помощью ультразвукового исследования (УЗИ), МСКТ и/или МРТ (оккультных метастазов) (рис. 9). Помимо этого, с помощью ПДКТ в капиллярной фазе инфузионной артериогепатикографии получали информацию о ранее выявленных метастазах с определением их «текущих» размеров, характера васкуляризации и прилегания к сосудистым структурам

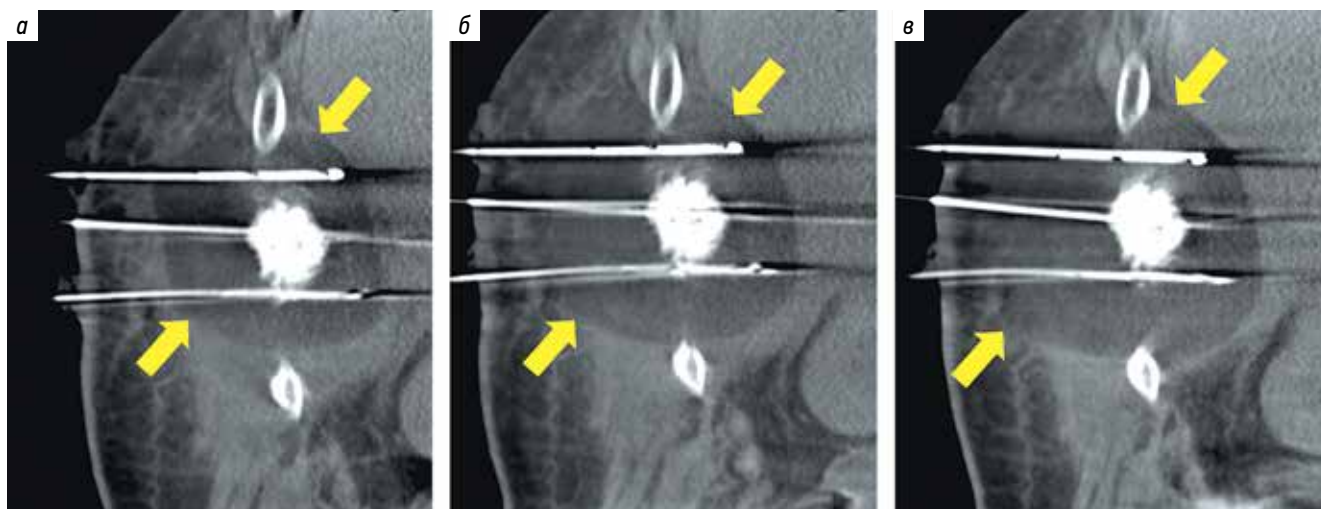


Рис. 10 | Fig. 10

Плоскодетекторная компьютерная томография пациента с болевым синдромом, обусловленным метастатическим поражением X ребра справа, в ходе чрескожной криоабляции с использованием трех кризондов IceRod 17 G (1,5 мм). Продемонстрирован рост размеров «ледяного шара» при увеличении длительности подачи аргона с 10 мин [а] до 15 мин [б] и 25 мин [в]. Этот феномен использовали в тех случаях, когда размеры «ледяного шара» при подаче аргона в течение 10 мин были недостаточными для обеспечения запланированной величины края абляции

Flat-detector computed tomography of a patient with pain syndrome caused by metastatic involvement of rib X on the right during transcutaneous cryoablation using three IceRod 17 G (1.5 mm) cryoprobes. Increase in ice ball size with increased duration of argon supply from 10 min [a] to 15 min [b] to 25 min [c] is demonstrated. This phenomenon was used in cases when ice ball size was insufficient for the planned ablation margin size after 10 min of argon supply

и органам. Эти данные использовали для составления плана ЧКА и таргетирования целевых узлов. Катетер оставляли в общей печеночной артерии (при нетипичном варианте анатомии — в aberrантной артерии, кровоснабжающей целевые метастазы) на все время проведения вмешательства, фиксировали его к коже в месте пункции и в дальнейшем использовали для выполнения дополнительных сеансов ПДКТ-артериогепатикографии в процессе ЧКА, а также для контроля и лечения возможных артериальных кровотечений [39].

При ЧКА опухолей печени использовали только кризонды IceEDGE диаметром 13 G (2,4 мм), рассчитывая их число таким образом, чтобы ширина края абляции после завершения процедуры была не менее 10 мм. При этом учитывали тот факт, что зона летальной гипотермии располагается на 5 мм глубже визуализируемой поверхности «ледяного шара». Таким образом, границы «ледяного шара» («ледяного фронта») должны были перекрывать опухоль не менее чем на 15 мм по всей ее периферии при 10-минутной длительности подачи аргона. При этом число устанавливаемых кризондов, как правило, соответствовало диаметру целевого узла, т. е. в метастаз диаметром 3 см устанавливали 3 кризонда IceEDGE (расчетные размеры «ледяного шара» — 68 × 66 × 55 мм, расчетная зона абляции — 58 × 56 × 48 мм при подаче аргона в течение 10 мин). Для дополнительного роста «ледяного шара» (без добавления кризондов) увеличивали длительность по-

дачи аргона до 12–15 мин и иногда даже более (рис. 10). Для лечения очень крупных метастазов одновременно использовали до 7 кризондов IceEDGE.

После подготовки операционного поля проверяли герметичность и работоспособность кризондов, погружая их целиком в стерильный физиологический раствор и включая криогенную установку в режиме тестирования (рис. 11). Если в это время начиналось формирование «ледяного шара» с последующим его «соскальзыванием» (на этапе отогрева рабочей части аппликатора), начинали процесс установки кризондов в опухолевые узлы (этап таргетирования), чаще всего под ультразвуковым контролем.

В тех случаях, когда визуализация метастазов и/или их таргетирование были технически затруднены или невозможны под ультразвуковым контролем (мелкие и очень мелкие или очень крупные, изоэхогенные («невидимые»), располагающиеся поддиафрагмально, плохо визуализируемые из-за предлежащего газа или костных структур метастазы и т. д.), для контроля применяли ПДКТ в режиме дополненной рентгеноскопии (дополненной реальности). Для этого центрировали зону интереса и после повторной ПДКТ в капиллярной фазе инфузионной артериогепатикографии на рабочей станции строили траекторию установки кризондов с использованием программного пакета iGuide Needle Guidance, избегая их прохождения через крупные артериальные и венозные стволы и желчные протоки (рис. 12). Далее передавали данные в виртуальное

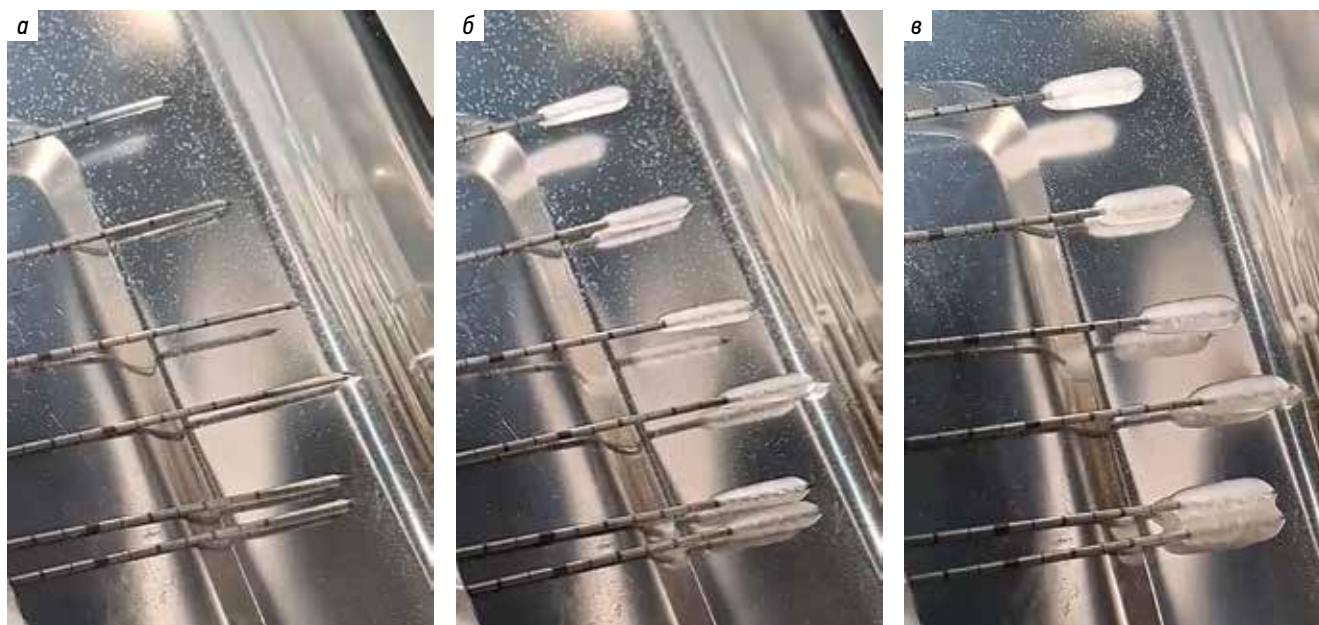


Рис. 11 | Fig. 11

Тестирование 6 кризондов IceSphere 17 G (1,5 мм) на герметичность и работоспособность: представлено формирование «ледяных шаров» через 1 с [а], 5 с [б] и 15 с [в] от начала подачи аргона в тестовом режиме. Кризонды работают нормально, утечка газа отсутствует, возможна установка в целевые очаги
Testing of 6 IceSphere 17 G (1.5 mm) cryoprobes for airtightness and functioning: formation of ice balls after 1 s [a], 5 s [b] and 15 s [v] of argon supply in test mode. Cryoprobes are working normally, no gas leak, placement in the target lesions is possible

стереотаксическое пространство ангиографического комплекса и осуществляли установку кризондов под контролем рентгеноскопии в режиме реального времени согласно заданным траекториям, которые отражались на рентгеноскопических мониторах в рентгеноперационной (рис. 13). Для контроля правильного положения кризондов в опухоли производили повторную ПДКТ в капиллярной фазе артериогепатикографии с половинной дозой КП (20 мл) или ПДКТ без контрастирования и использовали технологию слияния изображений (3D/3D Fusion), с помощью которой объединяли нативные изображения кризондов с данными о целевых метастазах, полученными при «диагностической» ПДКТ в капиллярной фазе артериогепатикографии [39]. При необходимости положение кризондов корректировали под контролем рентгеноскопии в режиме iGuide Needle Guidance и осуществляли повторное сканирование. На начальных этапах освоения методики ЧКА в случаях краевого расположения метастазов для предотвращения повреждения смежных органов (диафрагма, ребра, желудок, тонкая кишка, ободочная кишка и др.) формировали искусственный асцит и/или пневмоперитонеум по стандартной методике, используемой при проведении РЧА и МВА. В дальнейшем от этих дополнительных манипуляций отказались (за исключением случаев прилегания опухоли к стенке ободочной кишки) в связи с очень щадящим воздействием ЧКА

на «коллагеновый каркас» прилежащих органов, которое позволяет избежать их повреждения и большинства связанных с этим осложнений, характерных для РЧА и МВА.

Во всех случаях ЧКА осуществляли с использованием двукратного цикла замораживания-оттаивания. После того как убеждались в адекватном расположении всех кризондов, начинали первый цикл замораживания опухоли и прилежащей паренхимы печени в течение 10–15 мин (в зависимости от особенностей формирования «ледяного шара» и числа установленных кризондов в каждой конкретной клинической ситуации) в режиме 100-процентной интенсивности подачи аргона с мониторингом процесса абляции по данным УЗИ и/или ПДКТ-артериогепатикографии. При этом с целью визуализации «ледяного шара» использовали ПДКТ в паренхиматозной фазе инфузионной артериогепатикографии, для этого вводили 20 мл КП со скоростью 2 мл/с и начинали сканирование на 11-й секунде от начала инъекции (рис. 14). Будущий край абляции определяли с помощью программного пакета 3D/3D Fusion. Для этого производили слияние трехмерного массива данных о «ледяном шаре» с массивом данных об опухоли, полученным до начала криоабляции. Если край «ледяного шара» не перекрывал опухоль на 15 мм и более по всей ее поверхности (даже при 15-минутной длительности подачи аргона), производили репозиционирование и/или установку

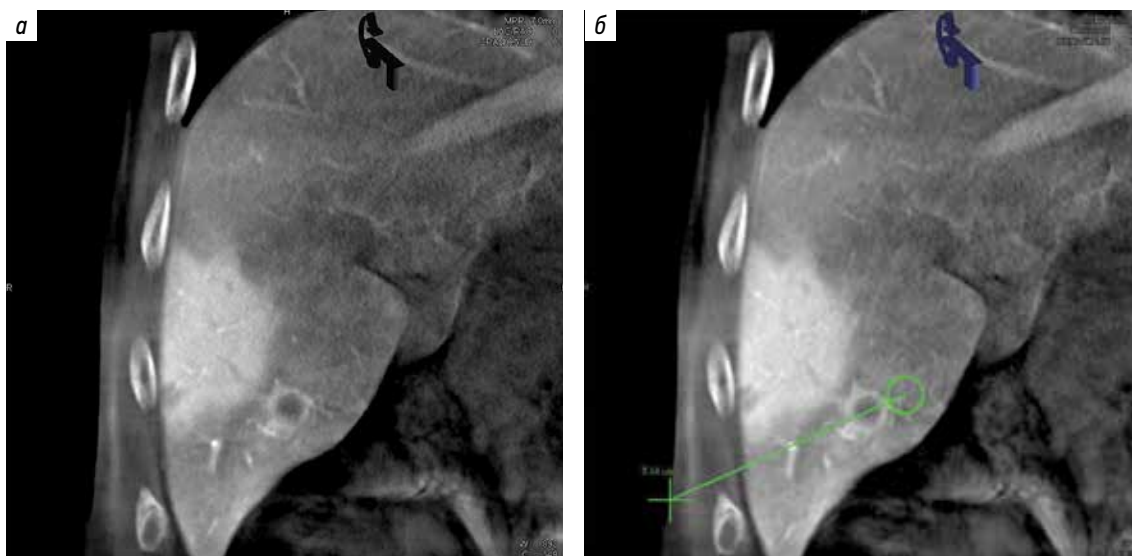


Рис. 12 | Fig. 12

Определение траектории установки криозонда с использованием программного пакета iGuide Needle Guidance: *а* – в ходе плоскодетекторной компьютерной томографии в капиллярной фазе инфузионной артериогепатикографии в правой доле печени визуализируется метастаз колоректального рака диаметром 9 мм; *б* – на рабочей станции построена траектория таргетирования с доступом в правом межреберье. Траектория в автоматическом режиме передается на рентгеноскопические мониторы в рентгенооперационной для использования в режиме дополненной реальности в стереотаксическом пространстве ангиографического комплекса

Determination of cryoprobe placement trajectory using iGuide Needle Guidance software: *a* – during flat-detector computed tomography in capillary phase of infusion hepatic arteriography, metastasis of colorectal cancer with diameter 9 mm is visualized in the right liver lobe; *б* – a targeting trajectory is constructed at the working station with access through the right intercostal space. The trajectory is automatically transferred to X-ray monitors in the X-ray operative room in augmented reality mode in stereotactic space of the angiography complex

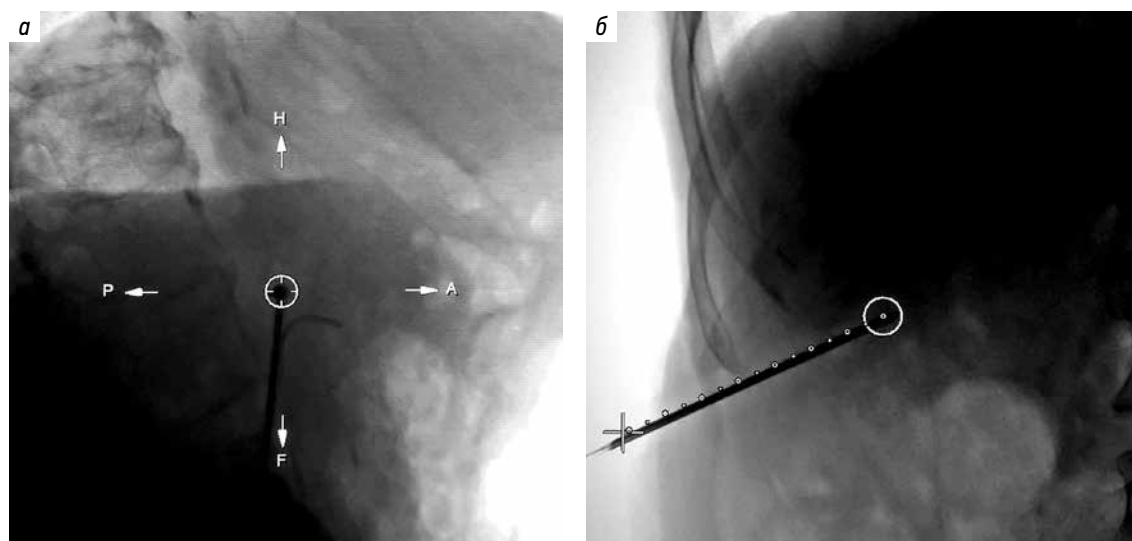


Рис. 13 | Fig. 13

Визуализация траекторий таргетирования опухоли на рентгеноскопических мониторах в режиме дополненной реальности: *а* – проекция «вид сверху», позволяющая определить точку входа криозонда на коже пациента согласно запланированной траектории, а также провести криозонд в опухоль, избегая его смещения за контур цели; *б* – прямая проекция траектории, позволяющая визуализировать дистальную целевую точку установки криозонда. Данная траектория имеет вторую ортогональную (взаимно перпендикулярную) проекцию, позволяющую повысить точность проведения криозонда в опухоль и избежать его отклонения по второй оси (здесь не показана)

Visualization of tumor-targeting trajectories in X-ray monitors in augmented reality mode: *a* – “top view” projection allowing to determine the point of cryoprobe entrance on the patient's skin in accordance with the planned trajectory and to guide cryoprobe into the tumor without its shift outside the target contour; *б* – direct trajectory projection allowing to visualize distal target point of cryoprobe placement. This trajectory has a second orthogonal [mutually perpendicular] projection allowing to increase accuracy of cryoprobe entrance into the tumor and to avoid its deviation from the second axis [not shown]



Рис. 14 | Fig. 14

Визуализация «ледяных шаров» после первого цикла замораживания с применением одного (а), двух (б) и четырех (в) кризондов IceEDGE 13 G (2,4 мм) и методики плоскодетекторной компьютерной томографии в паренхиматозной фазе артериогепатикографии

Visualization of ice balls after the first freezing cycle using one (a), two (b) or four (v) IceEDGE 13 G (2.4 mm) cryoprobes and flat detector computed tomography in arteriohepaticography parenchymal phase

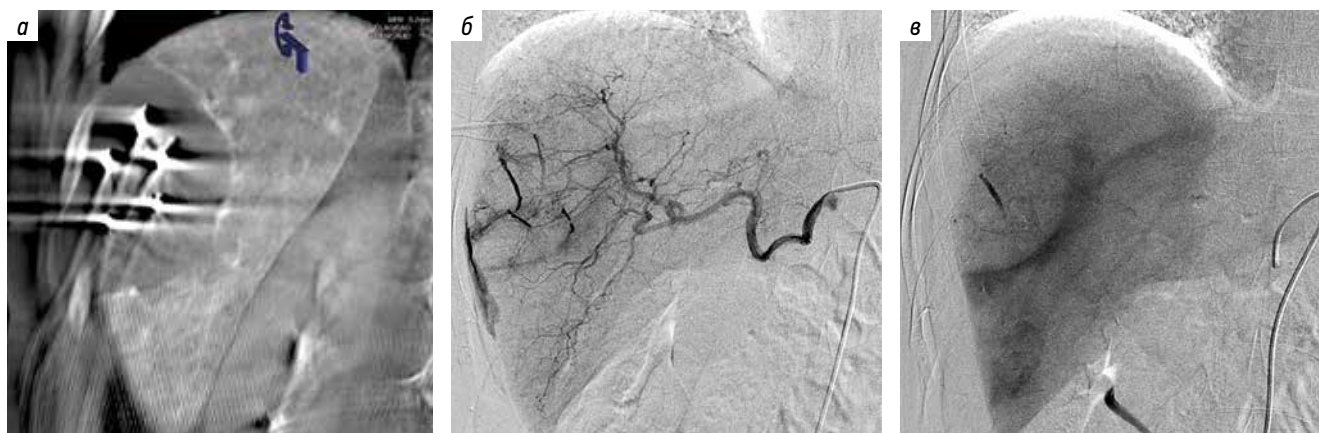


Рис. 15 | Fig. 15

Кровотечение в ходе ангиографически-ассистированной чрескожной криоабляции крупного (диаметром 5 см) метастаза колоректального рака в печени (с использованием 5 кризондов IceEDGE 13 G (2,4 мм)). Кровотечение остановлено путем компрессии брюшной стенки в месте пункции: а – плоскодетекторная компьютерная томография в портальной фазе артериогепатикографии после первого цикла замораживания. Визуализация «ледяного шара»; б – контрольная субтракционная ангиография сразу после удаления всех кризондов. Интенсивное подтекание контрастного препарата (крови) по всем пункционным каналам с последующим поступлением в брюшную полость; в – повторная субтракционная ангиография после компрессии передней брюшной стенки в течение 10 мин. Признаков экстравазации контрастного препарата по пункционным каналам нет

Bleeding during angiography-assisted percutaneous cryoablation of a large (5 cm diameter) colorectal cancer metastasis in the liver. Five IceEDGE cryoprobes 13 G (2.4 mm) were used. The bleeding was stopped by compression of the abdominal wall at the puncture site: а – flat-detector computed tomography in arteriohepaticography portal phase after the first freezing cycle. Visualization of the ice ball; б – control subtraction angiography immediately after removal of all probes. Intense flow of the contrast agent (blood) through all needle tracks with subsequent arrival into the abdominal cavity; в – repeat subtraction angiography after compression of the anterior abdominal wall for 10 min. No signs of contrast agent extravasation through the needle tracks

дополнительных кризондов и повторяли первый цикл замораживания. После этого ждали полного пассивного оттаивания «ледяного шара» (в течение 10–15 мин) и начинали второй цикл замораживания-оттаивания по аналогичной схеме. После полного повторного оттаивания «ледяного шара» кризонды удаляли и обязательно осуществляли контрольную ЦСА бассейна общей печеночной артерии (или ее аналога) для исключения артериального кровотечения, прояв-

ляющегося экстравазацией КР по пункционным каналам (с последующим его распространением по брюшной полости или выходом на брюшную стенку). При незначительном подтекании КР по пункционным каналам выполняли компрессию брюшной стенки в месте пункции в течение 10–15 мин, после чего ЦСА повторяли (рис. 15). В случае интенсивного кровотечения и неэффективности 10-минутного компрессионного гемостаза проводили суперселективную эмболизацию

кровоотчающего сосуда гемостатической губкой с использованием микрокатетерной техники (рис. 16) [39].

Для лечения метастазов диаметром более >4 см (крупных метастазов) с целью обеспечения достаточного края абляции по длиннику целевого узла процедуру проводили в 2 этапа: сначала осуществляли двукратное замораживание дистального полюса опухоли, после чего криозонды подтягивали в проксимальном направлении (на 2–3 см) и повторяли двукратную процедуру криоабляции. По завершении ЧКА, когда все криозонды были полностью удалены, производили контрольную ПДКТ в интерстициальной фазе диффузионной ангиографии с целью визуализации зоны абляции, а также находящегося внутри нее «призрака опухоли» (т.е. метастаза, подвергнутого ЧКА) и точного вычисления минимальной ширины края абляции (по аналогии с краем резекции) как минимального расстояния от границы аблированной опухоли до границы неповрежденной паренхимы печени (рис. 17–19). Для этого в ангиографический катетер вводили 40 мл КП со скоростью 20 мл/мин и начинали ПДКТ через 3 мин после окончания введения КП.

За одну процедуру выполняли абляцию не более 7 опухолевых узлов диаметром <1 см, 3 узлов диаметром <3 см, 2 опухолевых узлов диаметром 3–4 см или 1 узла диаметром 4–6 см. При необходимости разделения процедуры ЧКА на несколько этапов второй

этап абляции осуществляли через 4 нед после первого. Пациентам с подтвержденным локальным прогрессированием и/или локальным рецидивом заболевания проводили повторную диагностическую ПДКТ в капиллярной фазе инфузионной ангиографии и повторные лечебные сеансы ЧКА при сохранении изолированного олигометастатического характера поражения печени.

Техника выполнения ангиографически-ассистированной ПДКТ-контролируемой ЧКА опухолей почек [43]. Первым этапом в положении пациента на спине бедренным доступом по методике Сельдингера катетеризировали целевую почечную артерию ангиографическим катетером диаметром 5 F (обычно в модификации Cobra C2), после чего производили диагностическую ЦСА с 8 мл КП, вводимого со скоростью 2 мл/с (на всех этапах вмешательства старались использовать наименьшее достаточное количество КП). После этого выполняли ПДКТ почечной артерии в артериальной фазе ангиографии с задержкой дыхания пациентом в конце фазы пассивного выдоха. Для этого через катетер в почечную артерию вводили 12 мл неразведенного КП со скоростью 1 мл/с и начинали ПДКТ через 5 с от начала контрастирования. Полученные ПДКТ-реконструкции использовали для оперативной оценки размеров и локализации опухоли почки, прилегания ее к чашечно-лоханочной

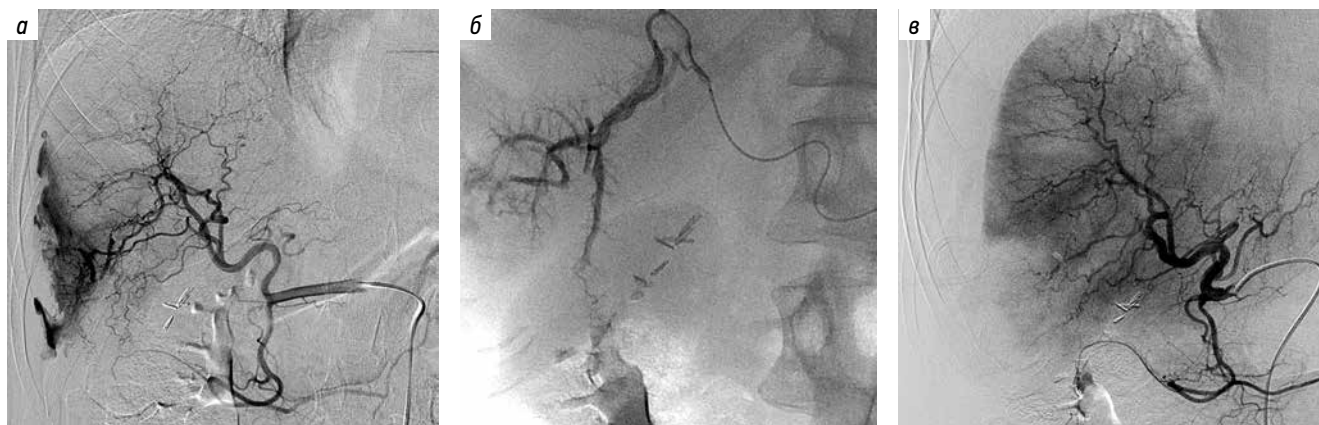


Рис. 16 | Fig. 16

Интенсивное кровотечение в ходе ангиографически-ассистированной чрескожной криоабляции метастаза в печени под контролем плоскодетекторной компьютерной томографии (с использованием 3 криозондов IceEDGE 13 G [2,4 мм]). Кровотечение остановлено путем суперселективной эмболизации кровоотчающей артерии: а – контрольная субтракционная ангиография сразу после удаления криозондов. Интенсивное подтекание контрастного препарата (крови) по 2 пункционным каналам с последующим поступлением в брюшную полость; б – поскольку компрессия брюшной стенки в месте пункции в течение 10 мин не привела к остановке кровотечения по одному из пункционных каналов, выполнена суперселективная катетеризация артерии, являвшейся источником кровотечения, и ее эмболизация гемостатической губкой с использованием микрокатетерной техники; в – контрольная субтракционная ангиография сразу после эмболизации. Признаков экстравазации контрастного препарата по пункционным каналам нет. Сохраняется нормальное кровоснабжение здоровой паренхимы печени

Intense bleeding during angiography-assisted percutaneous cryoablation of liver metastasis under the control of flat-detector computed tomography. Three IceEDGE 13 G (2.4 mm) cryoprobes were used. The bleeding was stopped by superselective embolization of the bleeding artery: а – control subtraction angiography immediately after removal of the cryoprobes. Intense flow of the contrast agent (blood) through 2 needle tracks with subsequent arrival into the abdominal cavity; б – because 10-minute compression of the abdominal wall at the point of puncture did not stop the bleeding through one of the tracks, superselective catheterization of the artery causing bleeding was performed with its embolization using a hemostatic sponge and microcatheter technique; в – control subtraction angiography immediately after embolization. No signs of extravasation of the contrast agent through needle tracks. Normal blood supply of healthy liver parenchyma is preserved



Рис. 17 | Fig. 17

Визуализация «призрака опухоли». Ангиографически-ассистированная чрескожная криоабляция метастаза колоректального рака в печени под контролем плоскодетекторной компьютерной томографии (ПДКТ) с использованием 3 кризондов IceEDGE 13 G (2,4 мм): а – ПДКТ в капиллярной фазе инфузионной артериогепатикографии до проведения чрескожной криоабляции. Метастаз в IV сегменте печени диаметром <2 см с характерным перитуморальным контрастированием; б – ПДКТ в паренхиматозной фазе артериогепатикографии после первого цикла замораживания. «Ледяной шар» полностью покрывает опухоль, однако достоверно определить ширину края абляции (с помощью прямого измерения) не представляется возможным; в – ПДКТ в интерстициальной фазе диффузионной артериогепатикографии после второго цикла замораживания и удаления всех кризондов. Благодаря эффекту реперфузии аблированной паренхимы печени (наблюдается в первые 24 ч после процедуры) отчетливо визуализируется гиперденная зона криоабляции, содержащая внутри себя гиподенный «призрак опухоли», соответствующий находившемуся здесь опухолевому узлу. Данный эффект характерен только для криоабляции и не наблюдается при микроволновой и радиочастотной абляции, после них визуализация «призрака опухоли» практически невозможна

Visualization of tumor phantom. Angiographically-assisted transcutaneous cryoablation of a liver metastasis under the control of flat-detector computed tomography using 3 IceEDGE 13 G (2.4 mm) cryoprobe: a – FD-CT in capillary phase of infusion hepatic arteriography prior to transcutaneous cryoablation. Metastasis in liver segment IV with diameter <2 cm with characteristic peritumoral contrast; б – FD-CT in parenchymal phase of hepatic arteriography after the first freezing cycle. Ice ball completely covers the tumor, however accurate determination of the width of ablation margin (using direct measuring) does not seem possible; в – FD-CT in interstitial phase of diffuse hepatic arteriography after the second freezing cycle and removal of all cryoprobe. Due to the effect of reperfusion of ablated liver parenchyma (observed during the first 24 h hours after the procedure), hyperdense area of cryoablation is clearly visualized containing hypodense tumor phantom corresponding to the tumor lesion. This effect is characteristic of cryoablation and is not observed after microwave and radiofrequency ablation after which visualization of tumor phantom is almost impossible

системе и смежным органам (петли кишечника, надпочечник, селезенка и т.д.) и составления плана ЧКА с определением числа и модификации необходимых кризондов. После этого катетер оставляли в средней трети почечной артерии, а его наружную часть фиксировали к бедру в месте пункции клейкой лентой на всем протяжении. Пациента переворачивали на живот, обрабатывали и отграничивали операционное поле (поясничную область), центрировали зону интереса и проверяли работоспособность кризондов. Далее выполняли повторную ПДКТ почечной артерии в артериальной фазе ангиографии по той же программе и на рабочей станции строили траекторию установки кризондов с использованием программного пакета iGuide Needle Guidance. Для облегчения установки кризондов старались, когда это было возможно, использовать только прямые по отношению к телу пациента углы атаки (рис. 20).

После этого передавали данные в виртуальное стереотаксическое пространство ангиографического комплекса и устанавливали кризонды под контролем рентгеноскопии в режиме реального времени (режиме дополненной рентгеноскопии) согласно заданным

траекториям, которые отражались на рентгеноскопических мониторах в рентгеноперационной. Для ЧКА использовали кризонды IceEDGE диаметром 13 G (2,4 мм) и IceRod и/или IceSphere диаметром 17 G (1,5 мм). Число необходимых кризондов IceRod и IceSphere определяли по формуле: максимальный диаметр опухоли в сантиметрах + 1. Это должно было гарантировать, что «ледяной шар» полностью перекроет новообразование с выходом за его контур не менее чем на 10 мм по всей поверхности. При этом учитывали тот факт, что зона летальной гипотермии располагается на 5 мм глубже визуализируемой поверхности «ледяного шара». Таким образом, ширина края абляции должна была составлять не менее 5 мм. После установки кризондов выполняли повторную ПДКТ почечной артерии в артериальной фазе ангиографии по той же методике с целью оценки адекватности расположения аппликаторов в опухоли. При необходимости положение кризондов корректировали под контролем рентгеноскопии в режиме iGuide Needle Guidance и осуществляли повторное сканирование. После того как убеждались в адекватном расположении всех кризондов, проводили первый цикл замораживания в течение 10–15 мин



Рис. 18 | Fig. 18

Прецизионная оценка минимальной ширины края абляции. Ангиографически-ассистированная чрескожная криоабляция с использованием 2 кризондов IceEDGE 13 G (2,4 мм) под контролем плоскодетекторной компьютерной томографии (ПДКТ): а – ПДКТ в капиллярной фазе инфузионной артериогепатикографии до проведения чрескожной криоабляции. Отчетливо визуализируются 2 метастаза колоректального рака в печени (толстые желтые стрелки) диаметром 16 и 4 мм (представленные ранее на рис. 9); б – ПДКТ в паренхиматозной фазе артериогепатикографии после первого цикла замораживания. «Ледяной шар» (тонкие голубые стрелки) полностью покрывает опухоль, однако достоверно определить ширину края абляции (с помощью прямого измерения) не представляется возможным; в – ПДКТ в интерстициальной фазе диффузионной артериогепатикографии после второго цикла замораживания и удаления всех кризондов. Внутри гиперденсной зоны абляции визуализируются два гиподенсных «призрака опухоли», оставшиеся на месте метастазов; г – то же изображение с увеличением. Ширина минимального края абляции (расстояние от границы «призрака опухоли» до границы здоровой паренхимы печени) для обоих метастазов значительно превышает 10 мм (двойные желтые стрелки), в связи с чем можно сделать вывод о технической успешности и технической эффективности процедуры

Precision evaluation of minimal width of ablation margin. Angiographically-assisted transcutaneous cryoablation using 2 IceEDGE 13 G (2.4 mm) cryoprobe under the control of flat-detector computed tomography (FD-CT): а – FD-CT in capillary phase of infusion hepatic arteriography prior to transcutaneous cryoablation. Two metastases of colorectal cancer in the liver with diameters 16 and 4 mm (shown earlier in Fig. 9) are clearly visualized (thick yellow arrows); б – FD-CT in parenchymal phase of hepatic arteriography after the first freezing cycle. Ice ball (thin blue arrows) completely covers the tumor, however accurate determination of the width of ablation margin (using direct measuring) does not seem possible; в – FD-CT in interstitial phase of diffuse hepatic arteriography after the second freezing cycle and removal of all cryoprobes. Inside the hyperdense cryoablation zone, two hypodense tumor phantoms at the sites of metastases are visualized; г – same image with magnification. Width of the minimal ablation margin (distance between the edge of tumor phantom and the edge of healthy liver parenchyma) significantly exceeds 10 mm (double yellow arrows) for both metastases; therefore, it can be concluded that the procedure was technically successful and technically effective

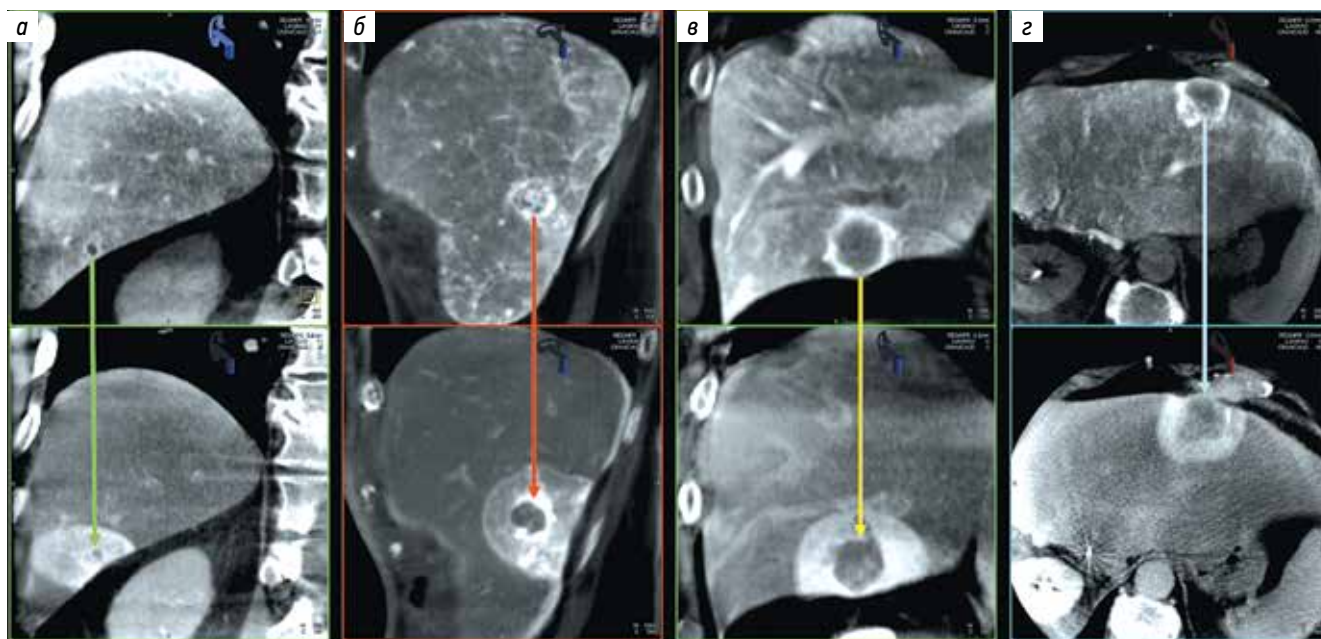


Рис. 19 | Fig. 19

Плоскодетекторная компьютерная томография. Метастазы колоректального рака в печени (верхний ряд, капиллярная фаза инфузионной артериогепатикографии) диаметром 5 мм (а), 17 мм (б), 22 мм (в) и 35 мм (г) и «призраки опухоли» на месте этих метастазов (нижний ряд, интерстициальная фаза диффузионной артериогепатикографии) после криоабляции. Во всех примерах минимальная ширина края абляции превышает 10 мм, что свидетельствует о технической успешности и технической эффективности процедуры

Flat-detector computed tomography. Metastases of colorectal cancer in the liver (upper row, capillary phase of infusion hepatic arteriography) with diameters 5 mm (a), 17 mm (б), 22 mm (в) and 35 mm (г) and tumor phantoms at the sites of these metastases (lower row, interstitial phase of diffuse hepatic arteriography) after cryoablation. In all examples, minimal width of ablation margin exceeds 10 mm which demonstrates technical success and technical efficacy of the procedure

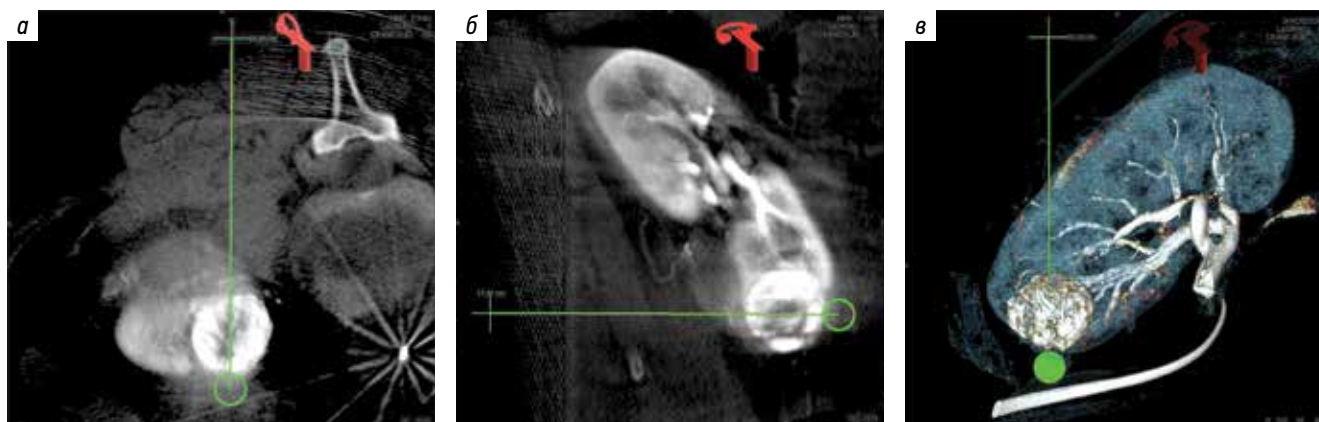


Рис. 20 | Fig. 20

Построение траектории установки кризонда в опухоль нижнего полюса левой почки с использованием только прямых по отношению к телу пациента углов атаки: а – аксиальный срез; б – сагиттальный срез; в – 3D-режим

Reconstruction of the trajectory of cryoprobe placement into tumor of the lower pole of the left kidney using only direct angles of attack relative to the patient's body: а – axial section; б – sagittal section; в – 3D mode

на аппарате SeedNet Gold в режиме 100-процентной интенсивности подачи аргона. Для ЧКА опухолей диаметром >4 см (очень крупных) с целью обеспечения достаточного края абляции по длиннику целевого очага процедуру проводили в два этапа: сначала осуществляли двукратное замораживание дистального полюса опухоли, после чего криозонды подтягивали на 1–2 см в проксимальном направлении и повторяли циклы криоабляции.

В случаях прилегания опухоли к петлям кишечника выполняли гидродиссекцию с использованием 300–1000 мл стерильного физиологического раствора, вводимого под контролем УЗИ и/или ПДКТ в брюшную полость и/или забрюшинное пространство. Непосредственно сразу после окончания первого цикла замораживания производили повторную ПДКТ почечной артерии в артериальной фазе ангиографии с целью визуализации «ледяного шара». Будущий край абляции определяли с использованием программного пакета 3D/3D Fusion. Для этого осуществляли слияние трехмерного массива данных о «ледяном шаре» с массивом данных об опухоли, полученным до начала криоабляции (рис. 21). Если край «ледяного шара» не перекрывал опухоль на 10 мм и более по всей ее поверхности (т. е. ширина будущего края абляции составляла <5 мм), производили репозиционирование и/или установку дополнительных криозондов и повторяли первый цикл замораживания. После пассивного оттаивания «ледяного шара» в течение 10 мин осуществляли повторный 15-минутный цикл замораживания. Далее выполняли активное оттаивание криозондов (путем 2-минутной подачи в них гелия) и их удаление, после чего пациента переворачивали на спину, дожидались полного оттаивания «ледяного шара»

и выполняли контрольную ЦСА. В случае экстравазации КП (признак кровотечения) производили компрессию места пункции в течение 10 мин путем подкладывания под поясничную область пациента твердого валика большого размера, после чего повторяли ЦСА (рис. 22). Если для достижения полного гемостаза компрессии было недостаточно (при интенсивном кровотечении), временно перекрывали кровоток по целевой почечной артерии, являющейся источником кровотечения, путем «заклинивания» в ней ангиографического катетера диаметром 5 F в течение 10 мин. Только если оба вышеперечисленных мероприятия не давали эффекта, выполняли суперселективную эмболизацию кровоточащего сосуда гемостатической губкой с использованием микрокатетерной техники (рис. 23). По завершении процедуры производили контрольную ПДКТ почечной артерии в артериальной фазе ангиографии для оценки непосредственного ответа на лечение и выявления возможных осложнений, таких как массивная периренальная или забрюшинная гематома, перфорация стенки кишки (свободный газ в брюшной полости), пневмоторакс, гемоторакс и т. д.

Техника выполнения ПДКТ-контролируемой ЧКА метастазов в легких. Первым этапом в положении пациента на спине выполняли ПДКТ грудной клетки на стороне поражения без использования дополнительного контрастирования с задержкой дыхания в конце фазы пассивного выдоха. Полученные ПДКТ-реконструкции использовали для оперативной оценки размеров и локализации метастазов в легком, прилегания их к плевре, крупным бронхам или корню легкого и составления плана ЧКА с определением числа и модификации необходимых криозондов. После

этого пациента укладывали в оптимальное для установки криозондов положение (на спине, на животе или на боку), обрабатывали и ограничивали операционное поле, центрировали зону интереса и проверяли работоспособность криозондов. Далее выполняли повторную ПДКТ без контрастирования и на рабочей станции осуществляли сегментирование целевой опухоли и построение траектории установки криозондов с использованием программного пакета iGuide Needle Guidance таким образом, чтобы криозонды не пересекали крупные бронхи, сосудистые структуры и междолевую плевру (рис. 24, а, б). Для облегчения установки криозондов старались, когда было возможно, использовать прямые по отношению к телу пациента углы атаки. После этого передавали данные в виртуальное стереотаксическое пространство ангиографического комплекса и осуществляли установку криозондов под контролем рентгеноскопии в режиме реального времени (режиме дополненной рентгеноскопии) согласно заданным траекториям, которые отражались на рентгеноскопических мониторах в рентгеноперационной.

Для ЧКА использовали только криозонды IceRod диаметром 17 G (1,5 мм) или IceSphere диаметром 17 G (1,5 мм). Число необходимых криозондов определяли по формуле: максимальный диаметр опухоли в сантиметрах + 1. Это должно было гарантировать, что «ледяной шар» полностью перекроет новообразование с выходом за его контур не менее чем на 10 мм по всей

поверхности опухоли. При этом учитывали тот факт, что зона летальной гипотермии располагается на 5 мм глубже визуализируемой поверхности «ледяного шара», планируя таким образом ширину будущего края абляции не менее 5 мм. После установки первого криозонда осуществляли повторную ПДКТ с целью оценки адекватности его расположения в опухоли (рис. 24, в). При адекватном расположении криозонда для избежания его выхода из опухоли и смещения легкого в случае развития пневмоторакса выполняли «приклеивание» аппликатора путем подачи в него аргона в режиме 20-процентной интенсивности (режиме stick). Далее по той же методике устанавливали остальные криозонды и осуществляли повторную ПДКТ. По мере возможности для метастазов диаметром <15 мм старались использовать методику don't touch, заключающуюся в позиционировании аппликаторов не в самой опухоли, а в паренхиме легкого по ее периферии (рис. 24, г).

После того как убеждались в адекватном расположении всех криозондов, проводили индукционный цикл замораживания в течение 7–10 мин на аппарате SeedNet Gold в режиме 100-процентной интенсивности подачи аргона, необходимый для создания отека альвеол и формирования безвоздушной ткани в области планируемой абляции здоровой паренхимы. После этого выполняли пассивное оттаивание «ледяного шара» и начинали первый лечебный цикл замораживания в течение 10–15 мин (в зависимости от особенностей формирования «ледяного шара» в каждой конкретной

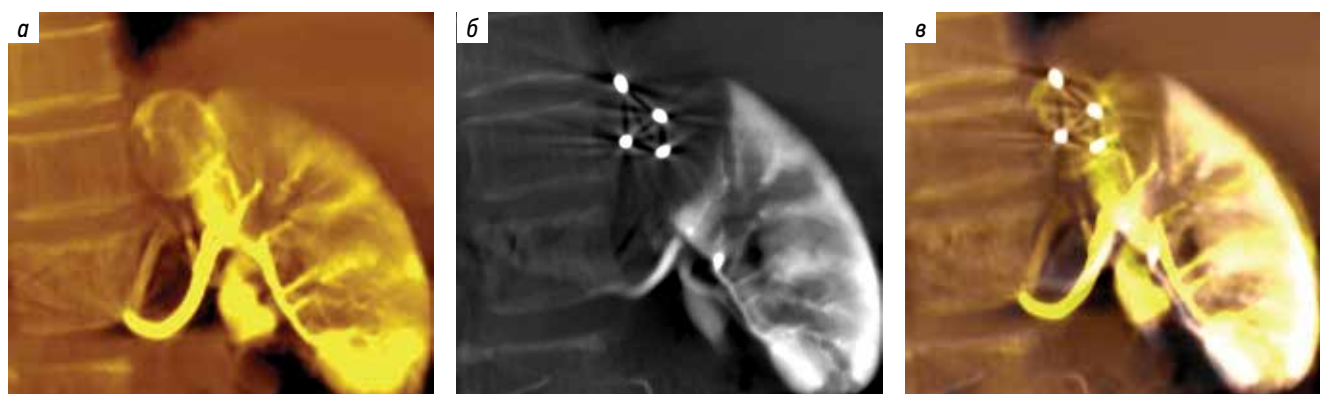


Рис. 21 | Fig. 21

Определение ширины будущего края абляции при проведении ангиографически-ассистированной чрескожной криоабляции опухоли почки с использованием 4 криозондов IceEDGE 13 G (2,4 мм) под контролем плоскодетекторной компьютерной томографии (ПДКТ): а – ПДКТ в артериальной фазе артериографии до начала первого цикла замораживания. Опухоль верхней трети правой почки с выходом за верхнемедиальный контур и смешанной васкуляризацией; б – ПДКТ в артериальной фазе артериографии сразу после окончания первого цикла замораживания. «Ледяной шар»; в – объединенное изображение опухоли и «ледяного шара», полученное путем слияния двух массивов данных в полуавтоматическом режиме с использованием программного пакета 3D/3D Fusion. Минимальная ширина края абляции составляет более 10 мм, установка дополнительных криозондов не требуется

Determination of the width of future ablation margin during angiographically-assisted transcutaneous cryoablation using 4 IceEDGE 13 G (2.4 mm) cryoprobe under the control of flat-detector computed tomography (FD-CT): а – FD-CT in arterial phase of arteriography prior to the first freezing cycle. Tumor of the upper third of the right kidney extending beyond the superomedial contour with mixed vascularization; б – FD-CT in arterial phase of arteriography immediately after the first freezing cycle. Ice ball; в – combined image of the tumor and ice ball constructed through merging two sets of data in semi-automatic mode using 3D/3D Fusion software. Minimal width of ablation margin exceeds 10 mm, placement of additional cryoprobes is unnecessary



Рис. 22 | Fig. 22

Диагностика и лечение острого кровотечения после чрескожной криоабляции опухоли левой почки с использованием 4 кризондов IceEDGE 13 G (2,4 мм). Субтракционная ангиография левой почечной артерии: а – до процедуры. Гиперваскуляризованная опухоль в нижней трети органа с выходом за нижнемедиальный контур; б – после удаления кризондов и оттаивания «ледяного шара». Участок экстравазации контрастного препарата (признак артериального кровотечения); в – после 10-минутной компрессии области выполненного вмешательства. Признаков экстравазации препарата (кровотечения) нет, временного перекрытия кровотока или эмболизации сосудов не требуется

Diagnosis and treatment of acute hemorrhage after transcutaneous cryoablation of tumor of the left kidney using 4 IceEDGE 13 G (2.4 mm) cryoprobe. Subtraction angiography of the left renal artery: a – prior to the procedure. Hypervascularized tumor in the lower third of the organ extending beyond the inferomedial contour; б – after removal of the cryoprobe and ice ball thawing. An area of contrast agent extravasation (sign of arterial bleeding); в – after 10-minute compression of the intervention area. No signs of contrast agent extravasation (bleeding), transient blood flow blockage or vessel embolization are unnecessary

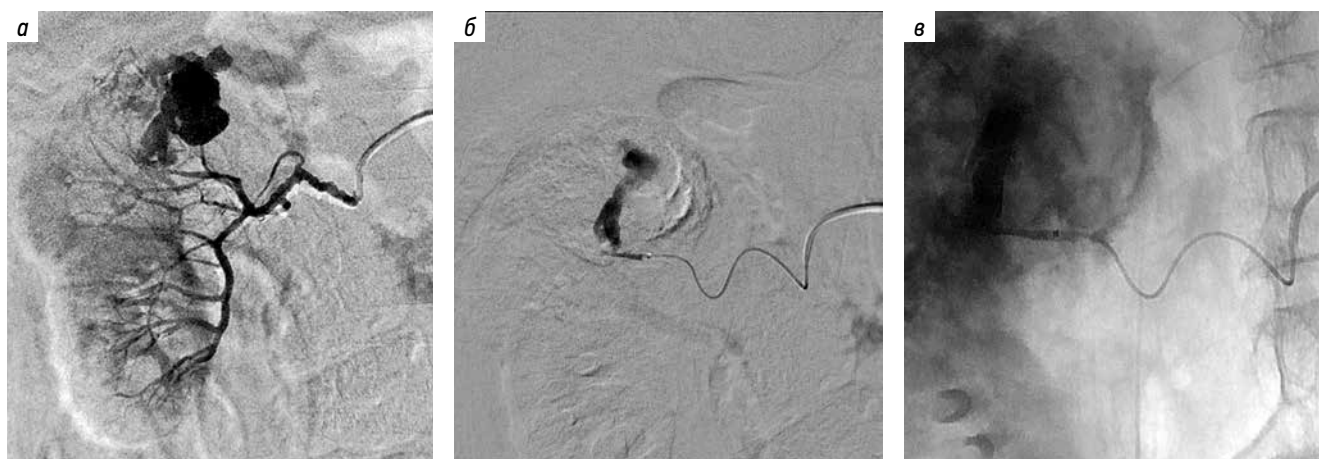


Рис. 23 | Fig. 23

Диагностика и лечение острого кровотечения после чрескожной криоабляции опухоли правой почки с использованием 4 кризондов IceEDGE 13 G (2,4 мм): а – субтракционная ангиография правой почечной артерии сразу после удаления кризондов и оттаивания «ледяного шара». Участок экстравазации контрастного препарата (признак интенсивного кровотечения); б – суперселективная субтракционная ангиография кровоточащего сосуда через микрокатетер. Источником интенсивного кровотечения является одна из ветвей правой почечной артерии; в – суперселективная эмболизация кровоточащего сосуда фрагментами гемостатической губки через микрокатетер под контролем рентгенооскопии

Diagnosis and treatment of acute hemorrhage after transcutaneous cryoablation of tumor of the right kidney using 4 IceEDGE 13 G (2.4 mm) cryoprobe: а – subtraction angiography of the right renal artery immediately after removal of the cryoprobe and ice ball thawing. Area of extravasation of the contrast agent (sign of intense bleeding); б – superselective subtraction angiography of the bleeding vessel through a microcatheter. One of the branches of the right renal artery is the source of intense bleeding; в – superselective embolization of the bleeding vessel with fragments of hemostatic sponge through a microcatheter under X-ray control

клинической ситуации). Непосредственно сразу после окончания первого лечебного цикла ЧКА производили повторную ПДКТ без контрастирования с целью

визуализации «ледяного шара» (рис. 24, д). Будущий край абляции определяли с использованием программного пакета 3D/3D Fusion. Для этого производили слияние

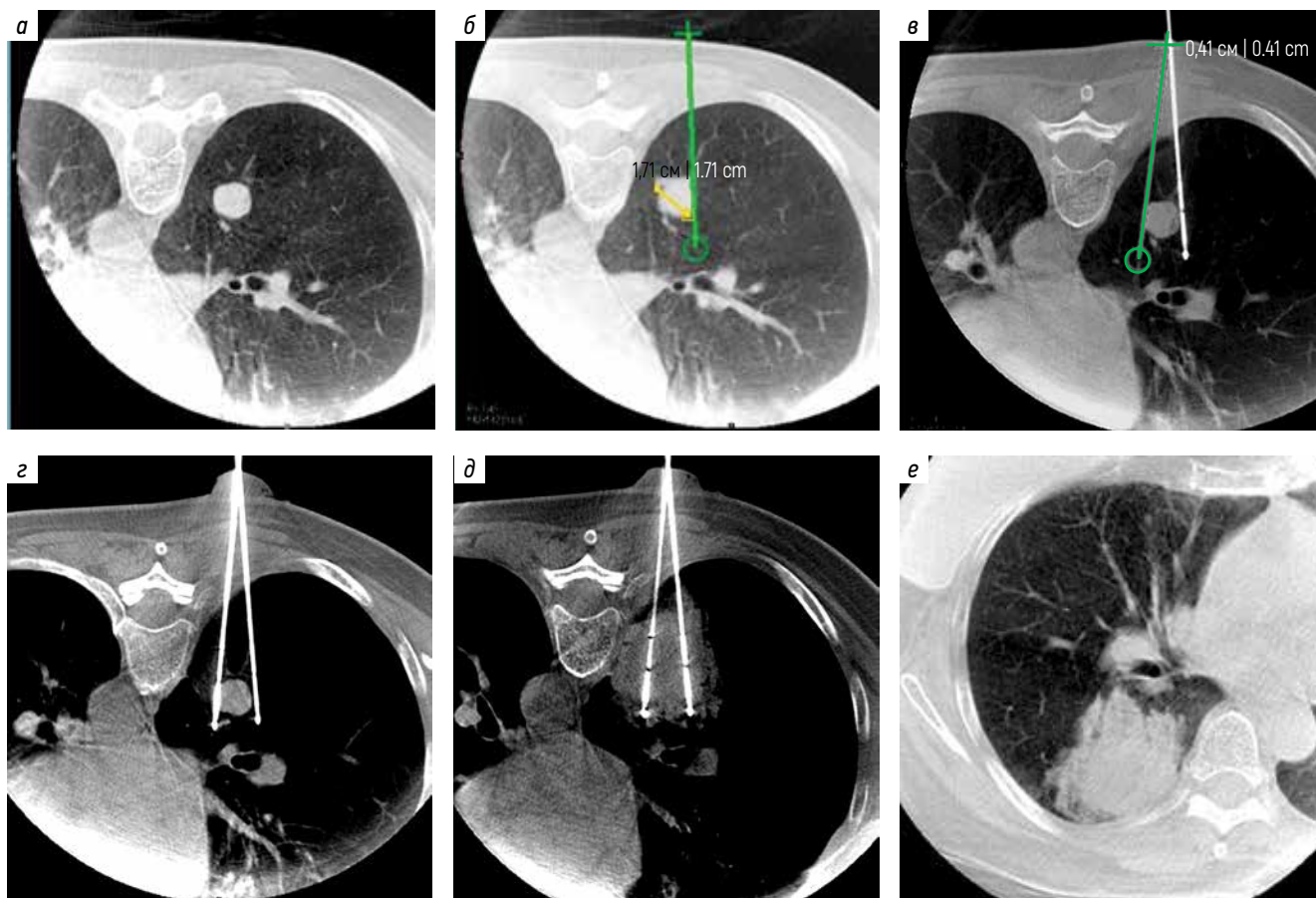


Рис. 24 | Fig. 24

Этапы чрескожной криоабляции солитарного метастаза колоректального рака диаметром 10 мм в правом легком. Плоскодетекторная компьютерная томография без контрастирования: а – после укладки пациента в положение для проведения вмешательства; б – построение на рабочей станции первой траектории таргетирования по методу don't touch; в – построение второй траектории таргетирования по методу don't touch после установки первого кризонда и его «приклеивания» в режиме stick; г – контроль положения кризондов; д – «ледяной шар» после первого лечебного цикла замораживания; е – зона абляции после удаления кризондов и перемещения пациента в положение на спине [с целью снижения риска развития пневмоторакса]

Stages of transcutaneous cryoablation of solitary metastasis of colorectal cancer with diameter of 10 mm in the right lung. Flat-detector computed tomography without contrast: а – after positioning the patient for intervention; б – construction of the first targeting trajectory on the working station using the "don't touch" approach; в – construction of the second targeting trajectory using the "don't touch" approach after placement of the first cryoprobe and its "sticking"; г – control of cryoprobe position; д – ice ball after the first treatment freezing cycle of the treatment; е – ablation zone after cryoprobe removal and positioning the patient on their back (to decrease the risk of pneumothorax)

трехмерного массива данных о «ледяном шаре» с массивом данных об опухоли, полученным перед началом первого цикла криоабляции. Если край «ледяного шара» не перекрывал опухоль на 10 мм и более по всей ее поверхности (при подаче аргона в течение 15 мин), производили репозиционирование и/или установку дополнительных кризондов и повторяли первый цикл замораживания. Выполняли пассивное оттаивание «ледяного шара» в течение 10 мин, избегая при этом полного размораживания кризондов (с целью исключения риска смещения легкого в случае развития пневмоторакса), после чего осуществляли повторный 10–15-минутный цикл замораживания. Далее выполняли активное оттаивание кризондов (путем подачи

гелия в течение 2 мин) и их удаление. После этого пациента укладывали таким образом, чтобы обеспечить прилегание легкого (в области вхождения кризондов) непосредственно к грудной стенке. Дожидались полного оттаивания «ледяного шара» и выполняли контрольную ПДКТ для оценки технической эффективности процедуры и выявления возможных осложнений – пневмоторакса, гемоторакса и др. (рис. 24, е). При выявлении пневмоторакса ПДКТ повторяли через 10 мин и при отрицательной динамике накопления воздуха устанавливали плевральный дренаж с последующим подключением активной вакуум-аспирации. При развитии кровохарканья проводили консервативную гемостатическую терапию.

Техника выполнения ПДКТ-контролируемой ЧКА метастазов в кости и ПДКТ-контролируемого чрескожного крионейролизиса при болевом синдроме. Первым этапом в положении пациента на спине выполняли ПДКТ области планируемого вмешательства в артериовенозной фазе болюсного внутривенного контрастирования. Для этого в периферический венозный катетер сначала вводили 12 мл КП со скоростью 3 мл/с и выполняли ЦСА со скоростью 1 кадр в секунду, определяя точное время начала контрастирования артерий в области планируемого вмешательства. Исходя из полученных данных, выполняли ПДКТ на фоне болюсного введения 60 мл КП со скоростью 3 мл/с (в течение 20 с) с выполнением ПДКТ через 15 с от начала контрастирования артериального русла (т. е. примерно через 30–40 с от начала введения КП). Полученные ПДКТ-реконструкции использовали для оперативной оценки размеров и локализации метастазов в кости, прилегания опухоли к полым органам, сосудисто-нервным пучкам и другим критическим структурам и составления плана ЧКА с определением числа и модификации необходимых кризондов (рис. 25, а).

Перед проведением крионейролизиса определяли необходимое расположение кризондов в области целевых нервных структур, например ганглиев чревного сплетения или проводящих нервных стволов. После этого пациента укладывали в оптимальное для установки кризондов положение (на спине, на животе или на боку), обрабатывали и отграничивали операционное поле, центрировали зону интереса и проверяли работоспособность кризондов. Далее выполняли повторную ПДКТ без дополнительного контрастирования, на рабочей станции осуществляли сегментирование целевой опухоли и строили траекторию установки кризондов с использованием программного пакета iGuide Needle Guidance таким образом, чтобы кризонды не проходили через полые органы и крупные артериальные и венозные стволы. При необходимости для повышения точности таргетирования использовали слияние первого (контрастного) ПДКТ-массива данных (полученного в артериовенозной фазе болюсного контрастирования) со вторым массивом данных, полученных без контрастирования. Для облегчения установки кризондов старались там, где это было возможно, использовать прямые по отношению к телу пациента углы атаки. После этого передавали данные в виртуальное стереотаксическое пространство ангиографического комплекса и устанавливали кризонды под контролем рентгеноскопии в режиме реального времени (режиме дополненной рентгеноскопии) согласно заданным траекториям, которые отражались на рентгеноскопических мониторах в рентгенооперационной (рис. 25, б). Для устранения

болевого синдрома, связанного с метастазами в кости, старались проводить полную циторедукцию опухоли; при невозможности этого (в случае очень крупных или прилежащих к жизненно важным органам метастазов) осуществляли криовоздействие в месте непосредственного прилегания опухоли к надкостнице и/или нервам. При необходимости проведения кризондов через неповрежденные костные структуры использовали трепанационные костные иглы диаметром 15 G, устанавливаемые также под ПДКТ-контролем.

Для ЧКА метастатических опухолей костей использовали кризонды IceRod диаметром 17 G (1,5 мм), а для проведения крионейролизиса — кризонды IceSphere диаметром 17 G (1,5 мм). Число необходимых кризондов определяли как соответствующее размерам планируемой (в паллиативном режиме) зоны криодеструкции опухолевой ткани, ганглиев или нерва: размеры «ледяного шара» должны были полностью перекрыть ее с выходом за контур не менее чем на 5 мм (рис. 26), поскольку зона летальной гипотермии располагается на 5 мм глубже визуализируемой поверхности «ледяного шара». При проведении крионейролизиса размеры зоны криодеструкции должны были быть достаточными для стойкой девитализации целевых проводящих нервных путей или ганглиев. После того как убеждались в адекватном расположении всех кризондов, осуществляли первый цикл замораживания в течение 10–15 мин (в зависимости от особенностей формирования «ледяного шара» в каждой конкретной клинической ситуации). Непосредственно сразу после окончания первого цикла ЧКА проводили повторную ПДКТ в артериовенозной фазе болюсного контрастирования с целью визуализации «ледяного шара» (рис. 25, в, г). Будущий край абляции определяли с использованием программного пакета 3D/3D Fusion. Для этого выполняли слияние трехмерного массива данных о «ледяном шаре» с массивом данных об опухоли, полученным перед началом первого цикла криоабляции. В случае если границы «ледяного шара» не соответствовали запланированным, производили репозиционирование и/или установку дополнительных кризондов и повторяли цикл замораживания. После пассивного оттаивания «ледяного шара» в течение 10 мин осуществляли повторный 10–15-минутный цикл замораживания. Далее выполняли активное оттаивание кризондов (путем подачи гелия в течение 2 мин) и их удаление. После полного оттаивания «ледяного шара» выполняли контрольную ПДКТ в артериовенозной фазе болюсного внутривенного контрастирования для оценки технической эффективности процедуры, а также для выявления возможных осложнений. Клиническую эффективность вмешательства оценивали по степени

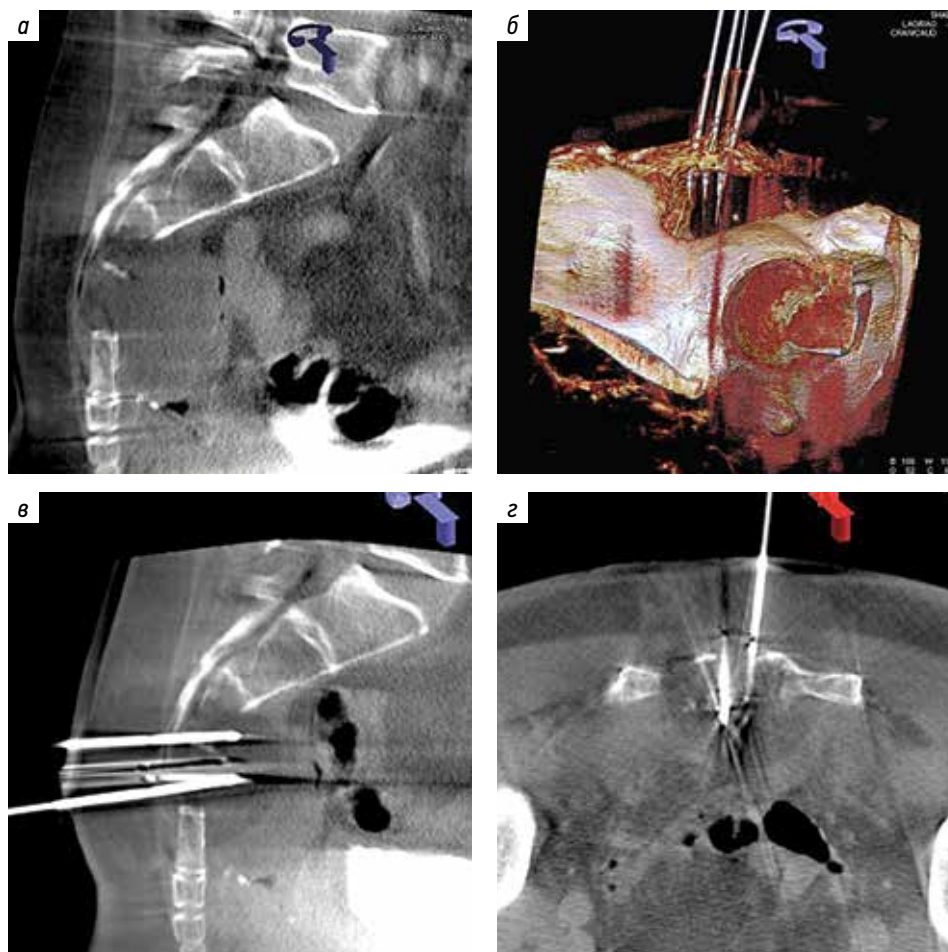


Рис. 25 | Fig. 25

Этапы паллиативной чрескожной криоабляции с применением 4 кризондов IceRod 17 G (1,5 мм) у пациента с выраженным болевым синдромом. Плоскодетекторная компьютерная томография: а – в артериовенозной фазе болюсного внутривенного контрастирования. Оценка распространенности опухолевого процесса и планирование абляции. Визуализирован крупный метастаз с прорастанием в кости крестца; б – без контрастирования. Оценка положения кризондов, установленных в опухолевый узел; в, г – в артериовенозной фазе болюсного внутривенного контрастирования. «Ледяной шар» в двух ортогональных проекциях: сагиттальной (в) и аксиальной (г). Шар полностью покрывает опухоль в месте ее контакта с костной тканью, установка дополнительных кризондов не требуется

Stages of palliative transcutaneous cryoablation using 4 IceRod 17 G (1.5 mm) cryoprobes in a patient with severe pain syndrome. Flat-detector computed tomography: а – in arteriovenous phase of bolus intravenous contrast. Evaluation of tumor advancement and ablation planning. A large metastasis growing into the sacral bone is visualized; б – without contrast. Evaluation of the position of the cryoprobes placed in the tumor lesion; в, г – in arteriovenous phase of bolus intravenous contrast. Ice ball in two orthogonal projections: sagittal (в) and axial (г). The ball completely covers the tumor at the point of its contact with bone tissue, installation of additional cryoprobes is unnecessary

снижения интенсивности болевого синдрома или его купированию непосредственно в ходе процедуры, а также в последующие дни.

Всего за период исследования (с февраля 2017 г. по февраль 2021 г.) прошли лечение 256 пациентов, которым выполнено 345 сеансов аргоно-гелиевой ЧКА: 304 процедуры у 216 пациентов – по поводу метастазов в печени, 15 процедур у 14 пациентов – по поводу опухолей почки, 7 процедур у 7 пациентов – по поводу метастазов в легких, 14 процедур у 14 пациентов – по поводу метастазов в костях и 5 процедур у 5 пациентов – по поводу болевого синдрома.

Статистический анализ. При статистической обработке были проанализированы данные о поле, возрасте, диагнозе, а также виде ЧКА, размерах и числе опухолевых узлов, подвергнутых лечению (в том числе и occultных метастазов, выявленных в ходе вмешательства), числе использованных кризондов, минимальной ширине края абляции, технической эффективности каждой процедуры, побочных эффектах и осложнениях, а также методах их устранения и отдаленных результатах лечения (1-, 2-, 3- и 5-летней выживаемости, медиане общей выживаемости). При выявлении сразу после ЧКА остаточной неаблированной

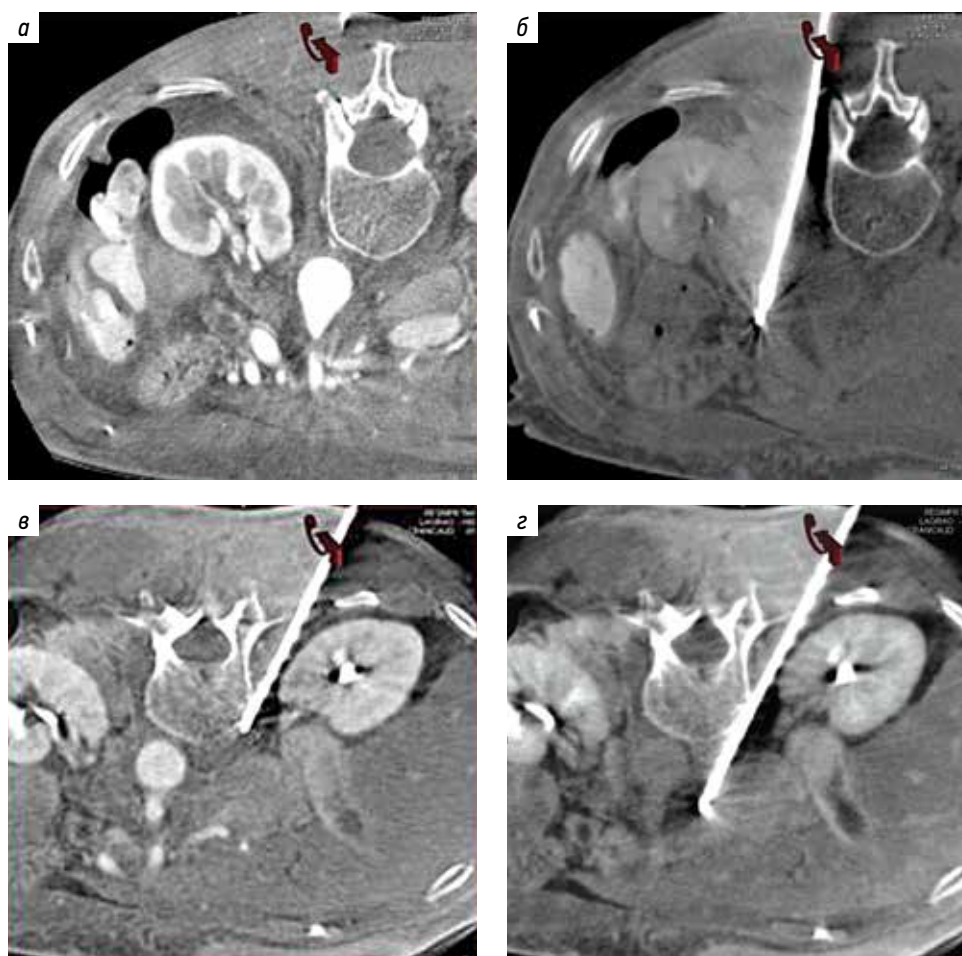


Рис. 26 | Fig. 26

Этапы чрескожного крионейролизиса чревного сплетения у пациента с местнораспространенным раком поджелудочной железы, осложненным выраженным болевым синдромом. Плоскодетекторная компьютерная томография в артериовенозной фазе болюсного внутривенного контрастирования: а – в положении пациента на животе. Оценка анатомии и определение места расположения чревных ганглиев; б – контроль положения криозонда IceRod 17 G (1,5 мм), установленного в области чревного сплетения слева перед началом первого цикла замораживания. Положение криозонда адекватное; в – контроль положения криозонда, установленного в области чревного сплетения справа. Положение криозонда неадекватное; г – контроль положения криозонда после дополнительного продвижения. Положение криозонда адекватное, можно начинать первый цикл замораживания

Stages of transcutaneous cryoneurolysis of the celiac plexus in a patient with locally advanced pancreatic cancer complicated by severe pain syndrome. Flat-detector computed tomography in arteriovenous phase of bolus intravenous contrast: а – patient is positioned on their stomach. Evaluation of anatomy and determination of the location of celiac ganglia; б – control of the position of IceRod 17 G (1.5 mm) cryoprobe placed in the area of the celiac plexus on the left prior to the first freezing cycle. Position of the cryoprobe is adequate; в – control of the position of cryoprobe placed in the area of the celiac plexus on the right. Position of the cryoprobe is inadequate; г – control of the cryoprobe position after additional advancement. Position of the cryoprobe is adequate, the first freezing cycle can be started

опухоли процедуру расценивали как технически неуспешную. Технически неуспешными считали также сеансы ЧКА, которые были запланированы как радикальное лечение, но после которых ширина края абляции составляла <5 мм. Появление опухоли в зоне абляции в процессе динамического наблюдения расценивали как локальное прогрессирование заболевания, связанное с неверным планированием и/или контролем ширины края абляции [5]. Появление в процессе динамического наблюдения новых метастазов в печени вне зон абляции расценивали как локальный рецидив

заболевания, связанный с ростом невыявленных и неаблированных occultных метастазов. Частоту локального рецидива и локального прогрессирования заболевания оценивали в течение 2 лет после последней процедуры ЧКА. Общую выживаемость пациентов определяли как время от первой процедуры ЧКА до смерти пациента от любых причин.

Сбор и систематизацию первичных данных проводили с использованием программного пакета Microsoft Office Excel 2016, статистическую обработку данных – с помощью Statistica 12 (StatSoft). В ходе первичной

статистической обработки критерий Шапиро–Уилка показал $p < 0,05$ для большинства переменных, что указывало на отклонение от нормального распределения. Поэтому при описании результатов исследования указывали среднее и медианное значение.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Гиповаскулярные метастазы в печени. За анализируемый период ангиографически-ассистированная ПДКТ-контролируемая ЧКА по поводу метастазов в печени выполнена у 216 пациентов (92 мужчин и 124 женщин) в возрасте от 28 до 86 лет (в среднем 62,4 года, медиана 64,0 года). При этом у 163 пациентов были изолированные метастазы колоректального рака, у 49 — изолированные олигометастазы опухолей других первичных локализаций: рака молочной железы — у 15, гастроинтестинальных стромальных опухолей — у 7, нейроэндокринных опухолей — у 5, рака легкого — у 5, рака внутривисцеральных и внепечерных желчных протоков — у 4, рака почки — у 4, яичников — у 4, шейки матки — у 2, меланомы — у 2, слюнных желез — у 1. Еще 4 пациентам ЧКА была назначена с целью лечения очень раннего и раннего гепатоцеллюлярного рака. Показаниями к криоабляции метастазов колоректального рака считали наличие в печени до 7 метастазов максимальным диаметром ≤ 3 см или до 2 метастазов максимальным диаметром < 6 мм.

Всего было проведено 304 сеанса (от 1 до 5 на пациента), из них 245 — с целью лечения метастазов колоректального рака (в среднем 1,5 сеанса на пациента), 59 — с целью лечения остальных опухолей печени (в среднем 1,1 сеанса на пациента).

В общей сложности ЧКА был подвергнут 431 метастаз диаметром от 4 до 57 мм (в среднем 20,6 мм, медиана 19,0 мм). Важно отметить, что число пролеченных метастазов диаметром < 10 мм составило 59 (13,7 %), при этом 37 (8,6 %) из них не были обнаружены с помощью УЗИ, МСКТ и/или МРТ на догоспитальном этапе и были выявлены только во время процедуры криоабляции, что потребовало коррекции плана ЧКА (оккультные метастазы). Метастазы диаметром 10–20 мм наблюдались в 188 (43,6 %) случаях. Необходимо также подчеркнуть, что метастазы диаметром > 30 мм имели место в 184 случаев, что составило целых 42,7 % от общего числа опухолей, подвергнутых ЧКА.

В ходе каждой процедуры ЧКА было подвергнуто криовоздействию от 1 до 7 (в среднем 1,4, медиана 1,0) метастазов с использованием от 1 до 14 криозондов IceEDGE 13 G (в среднем 3, медиана 3). Минимальная ширина края абляции для каждого метастаза составила от 3 до 15 мм (в среднем 8,3 мм, медиана 8,0 мм). ЧКА, в которых ширина минимального края абляции превышала 5 мм, расценены как технически успешные и технически эффективные. Частота технического

успеха составила 98,8 % (426 успешно аблированных метастазов из 431 подвергнувшегося абляции).

Осложнения наблюдались при проведении 109 (35,8 %) из 304 сеансов. Кровотечение по пункционным каналам после извлечения криозондов зарегистрировано в ходе 46 (15,1 %) из 304 процедур. При этом в 24 (7,9 %) случаях кровотечение было полностью купировано путем компрессии передней брюшной стенки в течение 10 мин и не потребовало дополнительных манипуляций. В остальных 22 (7,2 %) случаях наблюдалось более интенсивное кровотечение, не купируемое временной компрессией места пункции, в связи с чем была выполнена суперселективная эмболизация артерий, являющихся источником кровотечения, с помощью фрагментов гемостатической губки с использованием микрокатетерной техники. Во всех случаях это позволило добиться стойкого гемостатического эффекта, ни в одном случае не потребовалось повторных эндоваскулярных вмешательств. В 5 (1,6 %) случаях кровотечение было массивным и привело к снижению уровня гемоглобина < 70 г/л, в связи с чем после процедуры проводилась трансфузия крови и/или ее компонентов. Кроме того, у 4 (1,3 %) пациентов после эмболизации развился постэмболизационный абсцесс печени в зоне криоабляции, потребовавший чрескожного дренирования, которое привело к полному выздоровлению. Эти 4 случая абсцесса были отнесены нами к осложнениям III степени по классификации CIRSE.

Другими осложнениями, также потребовавшими чрескожного дренирования, были спонтанные (не вследствие эмболизации с гемостатической целью) внутривисцеральные абсцессы (у 4 (1,3 %) пациентов), связанные, по всей видимости, с наличием билиодигестивных анастомозов, а также постабляционный массивный гидроторакс (у 4 (1,3 %)) и массивный гемоперитонеум (у 2 (0,7 %)). В 1 (0,3 %) случае на следующие сутки после ЧКА произошла перфорация желчного пузыря, потребовавшая срочной холецистэктомии, санации и дренирования брюшной полости и закончившаяся выздоровлением пациента. В 11 случаях (3,6 %) наблюдалось критическое (> 1000 нг/мл) повышение уровня миоглобина крови, потребовавшее непрерывного суточного введения 5-процентного раствора гидрокарбоната натрия в объеме 400 мл в течение 1–2 дней с целью профилактики острой болезни почек. Повышение миоглобина до уровня < 1000 нг/мл, не требовавшее дополнительного лечения и наблюдения, отмечалось после 83 (27,3 %) процедур. Осложнениями, потребовавшими только динамического наблюдения, были незначительный правосторонний реактивный плеврит в 30 (9,9 %) случаях, реактивный холецистит в 9 (3,0 %), малый пневмоторакс в 3 (1,0 %) и реактивный гидроперикард в 1 (0,3 %) случае.

Осложнения I степени по классификации CIRSE (кровотечения, купированные интраоперационно путем компрессии или эмболизации) наблюдались в 35 (11,5 %) случаях, осложнения II степени, потребовавшие только наблюдения, — в 43 (14,1 %), осложнения III степени, потребовавшие консервативного (трансфузионная и инфузионная терапия), интервенционно-радиологического (эндоваскулярная эмболизация с последующим дренированием, чрескожное дренирование спонтанных абсцессов и патологических скоплений жидкости) или хирургического (холецистэктомия вследствие перфорации желчного пузыря) лечения — в 31 (10,2 %) [51]. Осложнений IV степени (легкие необратимые последствия для здоровья), V степени (тяжелые необратимые последствия) и VI степени (смерть) не наблюдали.

К моменту обработки данных (февраль 2026 г.) умерли 173 (80,1 %) из 216 пациентов в сроки от 8 до 88 мес с момента проведения первой процедуры ЧКА (в среднем 32,0 мес, медиана 28,0 мес). Остальные 43 (19,9 %) пациента живы в сроки от 60 до 112 мес с момента проведения первой ЧКА (в среднем 78,9 мес, медиана 73,0 мес). При этом у 36 (16,7 %) пациентов в настоящее время в печени нет признаков локального рецидива и локального прогрессирования заболевания, а также внепеченочных метастазов. Остальные 7 (3,2 %) пациентов проходят в настоящее время лекарственную противоопухолевую терапию по поводу внепеченочных и/или внутрипеченочных метастазов. Таким образом, 1-, 2-, 3-, и 5-летняя выживаемость с момента проведения первой ЧКА составила соответственно 93,0; 69,1; 51,7 и 27,9 %, а медиана общей выживаемости — 37,0 мес.

Опухоли почки. За анализируемый период ангиографически-ассистированная ПДКТ-контролируемая ЧКА проведена 14 пациентам (7 мужчинам и 7 женщинам) в возрасте от 60 до 86 лет (в среднем 74,0 года, медиана 76,5 года) с гистологически верифицированным почечноклеточным раком стадии T1a (светлоклеточным — в 12 случаях, папиллярным — в 1, хромофобным — в 1). В общей сложности проведено 15 сеансов ЧКА. У всех пациентов имелась серьезная сопутствующая патология, в том числе у 3 — хроническая болезнь почек, у 2 — опухоль единственной почки, у 1 — рецидивная опухоль после хирургического удаления карциномы почки стадии T1a. Всем пациентам решением медицинского мультидисциплинарного консилиума было отказано в хирургическом лечении. Размер опухолевых узлов в наибольшем измерении составлял от 14 до 42 мм (в среднем 27,4 мм, медиана 29,0 мм).

Процедура ЧКА под ПДКТ-контролем в 13 (92,9 %) случаях была расценена как технически эффективная по критерию достижения минимальной ширины края абляции в 5 мм и более. У 1 пациента при оценке

непосредственного ответа на лечение хотя и не было выявлено остаточной неаблированной опухоли, минимальная ширина края абляции составила только 3 мм вместо необходимых 5 мм.

После удаления кризондов кровотечение по данным ЦСА наблюдали у 5 (35,7 %) пациентов. При этом в 1 случае оно было успешно остановлено путем компрессии места пункции в течение 10 мин, в 1 случае — путем временного «заклинивания» ангиографического катетера диаметром 5 F в сегментарной артерии, являвшейся источником кровотечения. В 3 (21,4 %) случаях вышеперечисленные мероприятия оказались малоэффективными, и для остановки кровотечения была выполнена суперселективная эмболизация кровоточащей артерии гемостатической губкой с применением микрокатетерной техники. В 2 (14,3 %) из 3 случаев образовались забрюшинные гематомы, которые удалось успешно устранить непосредственно в рентгенооперационной путем их чрескожной пункции и эвакуации содержимого. В послеоперационном периоде гемотрансфузия крови и ее компонентов потребовалась только в 1 (7,1 %) случае ввиду снижения уровня гемоглобина со 118 до 73 г/л. У остальных пациентов клинически значимого снижения уровня гемоглобина не наблюдалось. Кратковременная макрогематурия без тампонады мочевого пузыря отмечалась в 1-е сутки у 5 (35,7 %) пациентов и не требовала дополнительного лечения. В 1 (7,1 %) случае имело место клинически значимое повышение уровня миоглобина до 1546 нг/мл, по поводу чего назначена суточная непрерывная инфузия 5-процентного гидрокарбоната натрия в объеме 400 мл с целью профилактики острой болезни почек. Клинически незначимое повышение уровня миоглобина (<1000 нг/мл), не потребовавшее инфузии, отмечено в 5 (35,7 %) случаях. Снижение клиренса креатинина (на 11–57 % от исходного, в среднем на 30 %, медиана 33 %) в 1-е сутки после ЧКА наблюдали у 12 (85,7 %) из 14 пациентов. У всех пациентов к 5-м суткам после процедуры клиренс креатинина вернулся к дооперационным значениям. Реактивный плеврит, не потребовавший дренирования, развился в 3 (21,4 %) случаях. В 1 (7,1 %) случае на 5-е сутки после ЧКА был выявлен мочево́й затек в паранефральной клетчатке с признаками инфицирования (повышение температуры тела до 37,8 °C, лейкоцитоз). В связи с этим выполнено чрескожное дренирование затека и установлена контрольная чрескожная нефростомы. В дальнейшем оба дренажа были удалены без каких бы то ни было отдаленных последствий для здоровья. Других осложнений не было.

Таким образом, подавляющее большинство осложнений имели I или II степень тяжести по классификации CIRSE. Осложнения III степени, требовавшие лекарственного, интервенционно-радиологического

или хирургического лечения, но не имевшие отдаленных последствий для здоровья, наблюдались только в 3 (21,4 %) случаях. В первом случае это было кровотечение, потребовавшее гемотрансфузии, во втором — клинически значимое повышение уровня миоглобина, потребовавшее суточной инфузии лекарственных препаратов, в третьем — мочевого затек, потребовавший дренирования и наложения чрескожной нефростомы. Осложнений IV, V и VI степени не наблюдали.

В процессе динамического наблюдения у 1 пациента через 44 мес после ЧКА было выявлено локальное прогрессирование опухоли в виде гиперваскулярного образования в зоне абляции размерами $20 \times 17 \times 17$ мм. Именно у этого пациента во время ЧКА минимальная ширина края абляции не превышала 3 мм. В данном случае была выполнена повторная процедура ЧКА с хорошим техническим результатом. В настоящее время у пациента нет признаков остаточной неаблированной опухоли или локального прогрессирования заболевания.

К моменту обработки данных (февраль 2026 г.) умерли 3 (21,4 %) из 14 пациентов через 61, 62 и 100 мес с момента проведения ЧКА в возрасте 82, 87 и 91 года соответственно от причин, не связанных с опухолью почки. Остальные 11 (78,6 %) пациентов живы в сроки от 62 до 127 мес с момента проведения ЧКА (в среднем 83,5 мес, медиана 84,0 мес). При этом ни у одного пациента в настоящее время нет признаков локального рецидива и локального прогрессирования заболевания. Таким образом, 1-, 2-, 3- и 5-летняя выживаемость пациентов с момента проведения ЧКА составила 100 %, а медиана общей выживаемости — 73,5 мес.

Метастазы в легких. За анализируемый период ПДКТ-контролируемая ЧКА выполнена 7 пациентам (2 мужчинам и 5 женщинам) в возрасте от 52 до 73 лет (в среднем 61,7 года, медиана 59,0 года) с изолированными метастазами колоректального рака в легком. Всего выполнено 7 процедур ЧКА. В общей сложности абляции подвергнуто 9 метастазов диаметром от 7 до 28 мм (в среднем 15,9 мм, медиана 17,0 мм) с использованием от 1 до 3 криозондов (в среднем 2, медиана 3) IceRod диаметром 17 G (1,5 мм) или IceSphere диаметром 17 G (1,5 мм). Минимальная ширина края абляции для каждого метастаза составила от 7 до 12 мм (в среднем 8,7 мм, медиана 9,0 мм), в связи с чем все процедуры ЧКА были расценены как технически успешные.

Из осложнений наблюдался минимальный пневмоторакс, не потребовавший лечения, при проведении 2 процедур ЧКА и кратковременный эпизод кровотечения, купировавшийся самостоятельно в течение 5 мин, в 1 случае. Таким образом, хотя осложнения наблюдались после 3 (42,9 %) из 7 вмешательств, все они не требовали никакого лечения и поэтому были

отнесены к осложнениям I степени по классификации CIRSE. Осложнений II–VI степени не было.

Локального прогрессирования заболевания в зоне выполненной ЧКА не наблюдали ни в одном случае. К моменту обработки данных (февраль 2026 г.) умерли 5 пациентов от прогрессирования опухолевого процесса в сроки 6, 16, 25, 26 и 28 мес с момента проведения ЧКА. Два пациента живы в сроки 63 и 69 мес с момента проведения ЧКА. Таким образом, 1-, 2-, 3- и 5-летняя выживаемость пациентов от момента проведения ЧКА составила 85,7; 71,4; 28,6 и 28,6 % соответственно, а медиана общей выживаемости — 26,0 мес.

Метастазы в кости. За анализируемый период однократная процедура ПДКТ-контролируемой ЧКА выполнена 14 пациентам (6 мужчинам и 8 женщинам) в возрасте от 32 до 77 лет (в среднем 50,7 года, медиана 60,0 года) с выраженным болевым синдромом, обусловленным поражением костей метастазами опухолей различных первичных локализаций (колоректального рака — в 7 случаях, рака молочной железы — в 2, рака невыясненной первичной локализации — в 2, рака легкого — в 1, рака мочеочника — в 1, рака надпочечника — в 1). В общей сложности ЧКА было подвергнуто 14 метастатических очагов размером от 13 до 93 мм (в среднем 46,7 мм, медиана 33,5 мм) в наибольшем измерении с использованием от 1 до 5 криозондов (в среднем 3, медиана 3) IceRod диаметром 17 G (1,5 мм). Локализация метастазов: ребро — 5, подвздошная кость — 5, крестец — 3, седалищная кость — 1. Все вмешательства были расценены как технически успешные (зона абляции соответствовала запланированным параметрам). Выраженное снижение интенсивности болевого синдрома (в среднем с 7 до 3 баллов по визуально-аналоговой шкале) в течение первых 2 сут наблюдалось в 11 (78,6 %) случаях. У остальных 3 (21,4 %) пациентов снижение показателя с 8 до 3 баллов произошло в последующие несколько дней. Осложнений не было.

Болевой синдром. За анализируемый период однократная процедура ПДКТ-контролируемого чрескожного крионейролизиса была выполнена 5 пациентам (3 мужчинам и 2 женщинам) в возрасте от 43 до 74 лет (в среднем 63,4 года, медиана 70,0 года) с выраженным болевым синдромом, обусловленным местнораспространенным раком поджелудочной железы ($n = 2$), шейки матки ($n = 2$) и мочевого пузыря ($n = 1$). При раке поджелудочной железы проведен двусторонний крионейролизис чревного сплетения с использованием 2 криозондов IceSphere диаметром 17 G (1,5 мм), установленных через задний паравертебральный доступ. При опухолях тазовой локализации в 2 случаях выполнен крионейролизис левого запирательного нерва и в 1 случае крионейролизис правого седалищного нерва с использованием от 1 до 2 криозондов

IceSphere диаметром 17 G (1,5 мм). Все вмешательства были расценены как технически успешные, так как зона абляции соответствовала запланированным параметрам. Выраженное снижение интенсивности болевого синдрома (в среднем с 8 до 3 баллов) непосредственно в ходе вмешательства было отмечено у всех пациентов. У 1 пациентки после блокады седалищного нерва наблюдались нарушения моторной функции правой ноги, однако сама она оценила эффект процедуры как положительный в связи с полным исчезновением болей. Других осложнений не наблюдалось.

ОБСУЖДЕНИЕ

В нашем исследовании частота кровотечений в ходе ангиографически-ассистированной ПДКТ-контролируемой ЧКА метастазов в печени (15,1 %) была выше, чем в метаанализе J. Kolck и соавт. (1,4 %) [32]. С нашей точки зрения, это может быть вызвано тремя причинами. Во-первых, для криоабляции мы всегда использовали криозонды самого большого диаметра (для достижения максимальных размеров «ледяного шара» с меньшим числом аппликаторов), а именно IceEDGE диаметром 13 G (2,4 мм!), которые в настоящее время сняты с производства и заменены криозондами такой же производительности, но меньшего диаметра — IceForce 14 G (2,1 мм) (Boston Scientific, США). Большая ширина пункционного канала, безусловно, может повышать риск подтекания крови после удаления криозонда, а использование криозондов меньшего диаметра может снизить этот риск. Во-вторых, почти половина подвергнутых ЧКА метастатических узлов имела диаметр >3 см, что, соответственно, требовало использования 3 и более криозондов. Очевидно, что увеличение количества криозондов также повышает риск повреждения артерий печени. В-третьих, это первое исследование, в котором выполняли ангиограмму сразу после удаления криозондов, фиксируя таким образом реальное развитие событий. Можно предположить, что после проведения ЧКА под контролем МСКТ или УЗИ такие кровотечения тоже имеют место быть, но остаются незамеченными, так как большинство из них останавливается самостоятельно и не имеет серьезных клинических последствий. В нашем исследовании в половине (7,9 %) случаев кровотечение, по сути, прекратилось самостоятельно после компрессии передней брюшной стенки в течение 10 мин. В то же время необходимо отметить, что выполнение ЦСА позволило нам диагностировать все массивные кровотечения (22 (7,2 %) случая) и незамедлительно осуществить эндоваскулярный гемостаз для их остановки. Мы считаем, что использование артериального доступа принципиальным образом повысило безопасность ЧКА опухолей печени

и в будущем должно стать стандартом проведения этого вмешательства.

Аналогичная картина сложилась и при проведении ангиографически-ассистированной ПДКТ-контролируемой ЧКА опухолей почки: кровотечение после удаления криозондов наблюдали у 5 (35,7 %) пациентов, а эмболизация потребовалась в 3 (21,4 %) случаях. Это значительно превысило частоту кровотечений (3,5 %), о которой сообщается в самом крупном исследовании ($n = 261$) данного осложнения ЧКА опухолей почек (злокачественных и доброкачественных) [34]. Этому, на наш взгляд, может быть два объяснения. Во-первых, подгрупповой анализ в работе В. Kakarala и соавт. [34] показал, что риск развития кровотечения повышен при размере опухоли >20 мм, количестве криозондов >2, злокачественных опухолях (в отличие от доброкачественных) и возрасте пациентов старше 55 лет. В группе высокого риска клинически значимое кровотечение авторы наблюдали уже в 7,5 % процедур ЧКА. А в нашем исследовании практически все вышеперечисленные факторы риска развития кровотечения были у большинства пациентов. Во-вторых, как и при проведении ангиографически-ассистированной ПДКТ-контролируемой ЧКА метастазов в печени, высокую частоту кровотечений можно объяснить тем, что мы выполняли ЦСА сразу после удаления криозондов, что не было сделано в других исследованиях. Возможно, при ЧКА под МСКТ- или УЗИ-контролем после удаления криозондов такие кровотечения тоже возникают, но никак не проявляют себя клинически и остаются неучтенными. В нашем исследовании только 1 (7,1 %) случай кровотечения был клинически значимым, сопровождался резким снижением артериального давления и уровня гемоглобина, что потребовало гемотрансфузии. В любом случае наличие артериального доступа позволило не только своевременно выявить это осложнение, но и незамедлительно выполнить эндоваскулярный гемостаз, что снизило степень его тяжести с III до I по классификации CIRSE. Это сделало проведение ЧКА рака почки, в особенности у пациентов группы высокого риска, намного более безопасным.

Необходимо отметить, что криозонды нового поколения (недоступные в России во время проведения нашего исследования) позволяют выполнять коагуляцию пункционных каналов во время удаления путем электрического нагрева рабочей части шайфта до температуры в 100 °C. Это позволяет снизить риск кровотечения до уровня, который наблюдается при использовании гипертермических методов ЧЭА, таких как РЧА и МВА. Однако данные криозонды стоят дороже, и их, по всей видимости, целесообразно использовать только у пациентов с очень высоким риском кровотечения (коагулопатией,

циррозом печени, гиперваскулярными первичными и метастатическими опухолями, тромбоцитопенией III–IV степени и др.). Во всех остальных случаях можно ограничиться использованием криозондов без возможности нагрева при условии артериального доступа и постоянной ангиографической ассистенции, позволяющей диагностировать и лечить геморрагические осложнения.

К сожалению, в нашем исследовании мы не анализировали динамику уровня тромбоцитов после ЧКА опухолей печени. Как было показано в ряде работ, снижение этого показателя, возможно, связано с накоплением тромбоцитов в здоровой паренхиме печени, подвергнутой криоабляции [31]. Если это предположение подтвердится в будущем, данный феномен можно будет использовать как для диагностических (например, визуализация «призрака опухоли»), так и для лечебных (например, таргетная доставка противоопухолевых препаратов в область криоабляции) целей. Для подтверждения этих предположений необходимо проведение дополнительных исследований, направленных на изучение динамики уровня тромбоцитов, факторов, этому способствующих, и методов, позволяющих оценить характер их распределения в здоровой печени и зоне абляции. Как было продемонстрировано ранее, прогрессирующая тромбоцитопения может привести к отсроченному развитию кровотечений (на 2–3-и сутки после ЧКА), что чаще всего случается у пациентов с циррозом и тромбоцитопенией, имевшимися до вмешательства [31]. В любом случае мы таких отсроченных кровотечений не наблюдали, что, с одной стороны, можно объяснить небольшим числом пациентов с гепатоцеллюлярным раком и циррозом печени в нашем исследовании ($n = 4$). С другой стороны, это может быть связано с выполнением процедур под ангиографическим контролем, что дало нам возможность диагностировать все субклинические геморрагии и устранить их до развития массивного кровотечения. Вполне возможно, что при проведении вмешательств под МСКТ- или УЗИ-контролем такие кровотечения остаются незамеченными, временно прекращаются и возобновляются только при критическом снижении уровня тромбоцитов.

Очень важным показателем, на который хотелось бы также обратить внимание, является частота развития миоглобинемии после проведения ангиографически-ассистированной ПДКТ-контролируемой ЧКА, достигшая в нашем исследовании 30,9 и 42,8 % соответственно при лечении гиповаскулярных метастазов в печени и опухолей почки. Интересно, что повышение уровня миоглобина редко описывается при ЧКА опухолей почек, так как считается, что этот феномен возникает преимущественно после ЧКА опухолей печени. Однако, как показало наше исследование,

повышение уровня миоглобина после ЧКА опухолей почек наблюдается даже чаще, чем после ЧКА опухолей печени! Хотя в подавляющем большинстве случаев уровень миоглобина не повышался до критического (>1000 нг/мл), мы считаем обязательным забор крови для его анализа после проведения всех процедур ЧКА, вне зависимости от органа вмешательства, с целью нивелирования риска развития острой болезни почек, обусловленной миоглобинурией [30, 35].

Использование современных возможностей ПДКТ-визуализации и ПДКТ-навигации на всех этапах ангиографически-ассистированной ПДКТ-контролируемой ЧКА гиповаскулярных метастазов в печени и опухолей почки, а также на всех этапах ПДКТ-контролируемой ЧКА метастазов в легких, костях и ПДКТ-контролируемого крионейролизиса позволило принципиально улучшить возможности визуализации, планирования, навигации, мониторинга и оценки непосредственного ответа на лечение непосредственно в рентгенооперационной, превратив эти процедуры в прецизионный технологический процесс. Это способствовало не только улучшению диагностики оккультных метастазов в печени, но и надежному контролю эффективности выполнения каждой процедуры ЧКА. С нашей точки зрения, выявление и абляция оккультных метастазов (составивших 8,6 % ($n = 37$) всех пролеченных метастатических опухолей) снизили частоту локальных рецидивов, а соблюдение необходимой минимальной ширины края абляции снизило риск локального прогрессирования заболевания. Однако для подтверждения этих предположений необходимо проведение рандомизированных исследований. В любом случае предложенные нами технологии, основанные на комбинации эндоваскулярных и чрескожных вмешательств на основе ПДКТ (интегрированной в современные ангиографические комплексы), можно считать оптимальными для использования в реальной клинической практике. Это избавляет рентгенохирургов от необходимости использования МСКТ для чрескожной навигации, сохраняя при этом все преимущества работы непосредственно в рентгенооперационной с возможностью выполнения рентгенографии, ангиографии, ЦСА и рентгеноскопии с интеграцией изображений в стереотаксическое пространство ангиографической установки.

В нашем исследовании почти у половины (42,7 %) пациентов с метастазами в печени их диаметр превышал 3 см. Именно этим можно объяснить несколько худшие значения 3- и 5-летней выживаемости по сравнению с результатами исследований, в которых ЧЭА выполнялась только при наличии 3–5 метастазов до 3 см в диаметре. В то же время, учитывая тот факт, что мы проводили ЧКА даже при наличии 7 метастазов

диаметром до 3 см или 2 метастазов диаметром до 6 см, полученные нами результаты можно считать весьма обнадеживающими: 27,9 % пациентов прожили более 5 лет, а медиана общей выживаемости составила 37,0 мес. Хорошие результаты были получены также при лечении изолированных метастазов колоректального рака в легком: 5-летняя общая выживаемость составила 28,6 %, а медиана общей выживаемости 26,0 мес. При лечении рака почки 5-летняя общая выживаемость составила 100 %, а медиана общей выживаемости — 37,0 мес на момент анализа данных. Отметим однако, что в последних двух группах было мало пациентов, в связи с чем полученные результаты нельзя считать статистически значимыми.

В настоящее время остается не до конца понятным, какую ширину края абляции необходимо создавать при лечении метастатического поражения печени, в первую очередь метастазов колоректального рака. Ранее считалось, что минимальная ширина края абляции в 5 мм является достаточной, однако в последнее время накапливается все больше данных, свидетельствующих о том, что при наличии мутаций в различных генах (*KRAS*, *NRAS*, *BRAF* и др.) она должна составлять не менее 10 мм для исключения риска локального прогрессирования заболевания [3, 4, 14]. В нашем исследовании минимальная ширина края абляции в среднем составила 8 мм, что может быть

достаточным для «диких» типов опухолей и недостаточным для опухолей с мутационной нагрузкой, однако для подтверждения этого тезиса также необходимы дополнительные исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанные нами технологии выполнения аргон-гелиевой ЧКА под ПДКТ-контролем позволяют безопасно и эффективно лечить злокачественные опухоли печени, почки и легкого, а также проводить паллиативное лечение метастазов в кости и крионейролизис. Ввиду уникальных преимуществ ЧКА, таких как возможность проведения вмешательств под местной анестезией, возможность эффективного радикального лечения опухолей диаметром значительно более 3 см, а также возможность высокоточного мониторинга процесса абляции путем визуализации «ледяного шара», представляется очень перспективным внедрение вышеописанных технологий в практику отделения рентгенохирургических методов диагностики и лечения специализированных онкологических стационаров. Для подтверждения полученных результатов и дальнейшего развития ангиографически-ассистированных ПДКТ-контролируемых технологий выполнения ЧКА с возможным их включением в стандарты оказания медицинской помощи по профилю «онкология» необходимы дополнительные крупные проспективные многоцентровые исследования.

Литература | Literature

1. Долгушин Б.И., Авалиани М.В., Акинфеев В.В. и др. Интервенционная радиология в онкологии. Национальное руководство в 3 т. Москва, 2022. EDN: XOHKLE. [Dolgushin B.I., Avaliani M.V., Akinfeev V.V. et al. Interventional radiology in oncology. National guideline. In 3 vol. Moscow, 2022. EDN: XOHKLE (In Russ.)]
2. Балахнин П.В., Буровик И.А., Багненко С.С. Технологии визуализации, наведения и слежения в интервенционной онкологии: текущие возможности и перспективы дальнейшего развития. Медицина высоких технологий 2024;2(2):5–21. EDN: CHVTFU. [Balakhnin P.V., Burovik I.A., Bagnenko S.S. Technologies of visualization, guidance and tracking in interventional oncology: Current capabilities and prospects for further development. Meditsina vysokikh tekhnologiy = Medicine of High Technology 2024;2(2):5–21. EDN: CHVTFU (In Russ.)]
3. Lei S., Puijk R.S., Dijkstra M. et al. Thermal ablation *versus* surgical resection of small-size colorectal liver metastases (COLLISION): an international, randomised, controlled, phase 3 non-inferiority trial. *Lancet Oncol* 2025;26(2):187–99. DOI: 10.1016/S1470-2045(24)00660-0
4. Bregni G., Adams R., Bale R. et al. EORTC consensus recommendations on the optimal management of colorectal cancer liver metastases. *Cancer Treat Rev* 2025;136:102926. DOI: 10.1016/j.ctrv.2025.102926
5. Балахнин П.В., Шмелев А.С., Шашинов Е.Г. Чрескожная энергетическая абляция опухолей: Принципы, технологии, результаты. Практическая онкология 2016;17(3):129–53. EDN: XAMUTZ [Balakhnin P.V., Shmelev A.S., Shachinov E.G. Percutaneous energy-based tumor ablation: Principles, technologies, results. *Prakticheskaya onkologiya* = Practical Oncology 2016;17(3):129–53. EDN: XAMUTZ (In Russ.)]
6. Tang L., Liu H., Cheng J. et al. Cryoablation *versus* microwave ablation in the treatment of hepatocellular carcinoma: A systematic review and meta-analysis. *Asian J Surg* 2024 Dec 12;S1015-9584(24)02567-3. DOI: 10.1016/j.asjsur.2024.10.233
7. Huang X., Xu X., Du H. et al. Meta-analysis of cryoablation *versus* radiofrequency ablation in the treatment of malignant liver tumors. *Int J Hyperthermia* 2024;41(1):2300347. DOI: 10.1080/02656736.2023.2300347
8. Iguchi T., Matsui Y., Tomita K. et al. Complications of percutaneous cryoablation for renal tumors and methods for avoiding them. *Acta Med Okayama* 2023;77(2):121–9. DOI: 10.18926/AMO/65141
9. Bertolotti L., Bazzocchi M.V., Iemma E. et al. Radiofrequency ablation, cryoablation, and microwave ablation for the treatment of small renal masses: Efficacy and complications. *Diagnostics (Basel)* 2023;13(3):388. DOI: 10.3390/diagnostics13030388
10. Velez A., DeMaio A., Sterman D. Cryoablation and immunity in non-small cell lung cancer: A new era of cryo-immunotherapy. *Front Immunol* 2023;14:1203539. DOI: 10.3389/fimmu.2023.1203539
11. Huang M.L., Tomkovich K., Lane D.L. et al. Breast cancer cryoablation fundamentals past and present: Technique

- optimization and imaging pearls. *Acad Radiol* 2023;30(10):2383–95. DOI: 10.1016/j.acra.2023.05.019
12. Holmes D., Iyengar G. Breast cancer cryoablation in the multidisciplinary setting: Practical guidelines for patients and physicians. *Life (Basel)* 2023;13(8):1756. DOI: 10.3390/life13081756
13. Karwacki J., Kielbasa J., Szczepaniak Z. et al. Current status of cryoablation in prostate cancer management. *Clin Med Insights Oncol* 2025;19:11795549251350830. DOI: 10.1177/11795549251350830
14. Khanmohammadi S., Behnouth A.H., Akhlaghpour S. Survival outcomes and quality of life after percutaneous cryoablation for liver metastasis: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One* 2023;18(8):e0289975. DOI: 10.1371/journal.pone.0289975
15. Eiken P.W., Welch B.T. Cryoablation of lung metastases: Review of recent literature and ablation technique. *Semin Intervent Radiol* 2019;36(4):319–25. DOI: 10.1055/s-0039-1697002
16. Luo X.M., Niu L.Z., Chen J.B., Xu K.C. Advances in cryoablation for pancreatic cancer. *World J Gastroenterol* 2016;22(2):790–800. DOI: 10.3748/wjg.v22.i2.790
17. Xue K., Liu X., Xu X. et al. Perioperative outcomes and long-term survival of cryosurgery on unresectable pancreatic cancer: a systematic review and meta-analysis. *Int J Surg* 2024;110(7):4356–69. DOI: 10.1097/JS9.0000000000001407
18. Papalexis N., Savarese L.G., Peta G. et al. The new ice age of musculoskeletal intervention: Role of percutaneous cryoablation in bone and soft tissue tumors. *Curr Oncol* 2023;30(7):6744–70. DOI: 10.3390/curroncol30070495
19. Torabi S., Ahmadvade M., Ghorani H. et al. Image-guided cryoablation for palliation of painful bone metastases: A systematic review and meta-analysis. *Skeletal Radiol* 2025;54(8):1715–27. DOI: 10.1007/s00256-025-04877-7
20. Fallahi M.S., Maroufi S.F., Parmis Maroufi S. et al. Percutaneous cryoablation in the management of spinal metastases: A comprehensive systematic review and meta-analysis. *J Neurooncol* 2025;174(2):303–14. DOI: 10.1007/s11060-025-05064-3
21. Daemen J.H.T., de Loos E.R., Vissers Y.L.J. et al. Intercostal nerve cryoablation versus thoracic epidural for postoperative analgesia following pectus excavatum repair: A systematic review and meta-analysis. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2020;31(4):486–98. DOI: 10.1093/icvts/ivaa151
22. Yilmaz S., Özdoğan M., Cevener M. et al. Use of cryoablation beyond the prostate. *Insights Imaging* 2016;7(2):223–32. DOI: 10.1007/s13244-015-0460-7
23. Cazzato R.L., Garnon J., Ramamurthy N. et al. Percutaneous image-guided cryoablation: Current applications and results in the oncologic field. *Med Oncol* 2016;33(12):140. DOI: 10.1007/s12032-016-0848-3
24. Erinjeri J.P., Clark T.W. Cryoablation: Mechanism of action and devices. *J Vasc Interv Radiol* 2010;21(8 Suppl):S187–91. DOI: 10.1016/j.jvir.2009.12.403
25. Hinshaw J.L., Lubner M.G., Ziemlewicz T.J. et al. Percutaneous tumor ablation tools: Microwave, radiofrequency, or cryoablation – what should you use and why? *Radiographics* 2014;34(5):1344–62. DOI: 10.1148/rg.345140054
26. Балахнин П.В., Шмелев А.С., Шачинов Е.Г. и др. Использование блокирующего криозонда для исключения тепловозврата от крупного ($d = 10$ мм) сосуда при проведении чрескожной криоабляции метастаза в печени. *Практическая онкология* 2018;19(3):282–91. EDN: YOGRHN [Balakhnin P.V., Shmelev A.S., Shachinov E.G. et al. Use of blocking cryoprobe for exception of heat return from large ($d = 10$ mm) vessel during percutaneous cryoablation of liver metastasis. *Prakticheskaya onkologiya = Practical Oncology* 2018;19(3):282–91. EDN: YOGRHN (In Russ.)]
27. Aarts B.M., Klompenhouwer E.G., Rice S.L. et al. Cryoablation and immunotherapy: An overview of evidence on its synergy. *Insights Imaging* 2019;10(1):53. DOI: 10.1186/s13244-019-0727-5
28. Chen Z., Meng L., Zhang J., Zhang X. Progress in the cryoablation and cryoimmunotherapy for tumor. *Front Immunol* 2023;14:1094009. DOI: 10.3389/fimmu.2023.1094009
29. Liu Q., Zhang C., Chen X., Han Z. Modern cancer therapy: cryoablation meets immune checkpoint blockade. *Front Oncol* 2024;14:1323070. DOI: 10.3389/fonc.2024.1323070
30. Hamad G.G., Neifeld J.P. Biochemical, hematologic, and immunologic alterations following hepatic cryotherapy. *Semin Surg Oncol* 1998;14(2):122–8. DOI: 10.1002/(sici)1098-2388(199803)14:2<122::aid-ssu5>3.0.co;2-7
31. Pistorius G.A., Alexander C., Krisch C.M. et al. Local platelet trapping as the cause of thrombocytopenia after hepatic cryotherapy. *World J Surg* 2005;29(5):657–60. DOI: 10.1007/s00268-005-7543-4
32. Kolck J., Schulze D., Brönnimann M. et al. Percutaneous cryoablation in the liver: A meta-analysis and review of safety with a focus on incidence of cryoshock and major complications. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2024;47(11):1471–84. DOI: 10.1007/s00270-024-03869-9
33. Shi J., Niu L., Huang Z. et al. Diagnosis and treatment of coagulopathy following percutaneous cryoablation of liver tumors: experience in 372 patients. *Cryobiology* 2013;67(2):146–50. DOI: 10.1016/j.cryobiol.2013.06.004
34. Kakarala B., Frangakis C.E., Rodriguez R., Georgiades C.S. Hemorrhagic complications of percutaneous cryoablation for renal tumors: Results from a 7-year prospective study. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2016;39(11):1604–10. DOI: 10.1007/s00270-016-1419-x
35. Littrup P.J., Aoun H.D., Adam B. et al. Percutaneous cryoablation of hepatic tumors: long-term experience of a large U.S. series. *Abdom Radiol (NY)* 2016;1(4):767–80. DOI: 10.1007/s00261-016-0687-x
36. Балахнин П.В., Шмелев А.С., Шачинов Е.Г. и др. Чрескожная криоабляция опухолей печени: технические аспекты и непосредственные результаты. *Русский медицинский журнал* 2017;25(16):1206. EDN: YXOFPP [Balakhnin P.V., Shmelev A.S., Shachinov E.G. et al. Percutaneous cryoablation of liver tumors: technical aspects and immediate results. *Russky meditsinsky zhurnal = Russian Medical Journal* 2017;25(16):1206. EDN: YXOFPP (In Russ.)]
37. Балахнин П.В., Манихас Г.М., Ханевич М.Д. и др. Предварительные результаты применения плоскодетекторной компьютерной томографии на С-дуге на фоне капиллярной фазы артериогепатикографии (ПДКТ-АГ) для диагностики метастазов колоректального рака в печень. *Диагностическая и интервенционная радиология* 2010;4(4):19–29. EDN: NYBCDL [Balakhnin P.V., Manikhas G.M., Khanevich M.D. et al. Preliminary results of flat-detector computed tomography using C-arm systems during capillary phase of infusion hepatic arteriography (FD-CT-A) in the detection and assessment of colorectal liver metastases. *Diagnosticheskaya i interventsionnaya radiologiya = Diagnostic and Interventional Radiology* 2010;4(4):19–29. EDN: NYBCDL (In Russ.)]
38. Балахнин П.В., Шмелев А.С., Шачинов Е.Г. и др. Природа и перфузионная динамика перитуморального кольцевого контрастирования мелких (5–9 мм) и очень мелких (<5 мм) гиповаскулярных метастазов в печени: анализ данных динамической КТ-артериогепатикографии. *Практическая онкология* 2017;18(S1):58–78. EDN: YNDIIR [Balakhnin P.V., Shmelev A.S., Shachinov E.G. et al. 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.

- Prakticheskaya onkologiya = Practical Oncology 2017;18(S1): 58–78. EDN: YNDIJR (In Russ.)]
39. Балахнин П.В., Шачинов Е.Г., Шмелев А.С. и др. Внутриа-
териальное контрастирование для визуализации, навигации,
мониторинга и оценки ответа на лечение при проведении чрес-
кожной криоабляции гиповаскулярных метастазов в печени.
Практическая онкология 2018;19(1):69–92. EDN: YXODAL
[Balakhnin P.V., Shachinov E.G., Shmelev A.S. et al. Intra-arterial
contrast material injection for visualization, navigation, monitoring
and assessment of treatment response during percutaneous
cryoablation of hypovascular liver metastases. Prakticheskaya
onkologiya = Practical Oncology 2018;19(1):69–92. EDN:
YXODAL (In Russ.)]
 40. Балахнин П.В., Бажненко С.С., Беляев А.М. Плоскодетектор-
ная компьютерная томография в интервенционной радиоло-
гии: предпосылки появления и история создания. Медицина
высоких технологий 2024;2(1):12–34. EDN: GKYYDDI
[Balakhnin P.V., Bagnenko S.S., Belyaev A.M. Flat-detector
computed tomography in interventional radiology: Background
and history of creation. Meditsina vysokikh tekhnologiy =
Medicine of High Technology 2024;2(1):12–34.
EDN: GKYYDDI (In Russ.)]
 41. Балахнин П.В., Таразов П.Г., Тюрин И.Е. и др. Плоскодетек-
торная компьютерная томография в интервенционной радиоло-
гии: фундаментальные принципы, современные технологии
и перспективы дальнейшего развития. Медицина высоких
технологий 2025;3(2):5–37. EDN: RDLXUB
[Balakhnin P.V., Tarazov P.G., Tyurin I.E. Flat-detector computed
tomography in interventional radiology: Fundamental principles,
modern technologies and prospects for further development.
Meditsina vysokikh tekhnologiy = Medicine of High Technology
2025;3(2):5–37. EDN: RDLXUB (In Russ.)]
 42. Balakhnin P., Shachinov E., Shmelev A. C-arm CT
angiographically-assisted percutaneous cryoablation of liver
metastases: Bleeding control and other benefits. J Vasc Interv
Radiol 2021;32:e34. DOI: 10.1016/j.jvir. 2021.06.011
 43. Балахнин П.В., Шмелев А.С., Шачинов Е.Г. и др. Чрескожная
ангиографически-ассистированная криоабляция почечнокле-
точного рака под контролем плоскодетекторной компьютер-
ной томографии: возможности и потенциальные
преимущества технологии. Онкологический журнал: лучевая
диагностика, лучевая терапия 2021;4(4):56–77.
DOI: 10.37174/2587-7593-2021-4-4-56-77. EDN: PAKVPK
[Balakhnin P.V., Shmelev A.S., Shachinov E.G. et al. Percutaneous
angiographically assisted cryoablation of renal cell carcinoma under
the control of flat-detector computed tomography: Capabilities
and potential advantages of the technique. Onkologicheskyy zhurnal:
luchevaya diagnostika, luchevaya terapiya = Journal of Oncology:
Diagnostic Radiology and Radiotherapy 2021;4(4):56–77.
DOI: 10.37174/2587-7593-2021-4-4-56-77. EDN: PAKVPK
(In Russ.)]
 44. Балахнин П.В., Шмелев А.С., Шачинов Е.Г. и др. Первый
опыт использования грудной паравerteбральной блокады
в сочетании с внутриа-теральной анестезией при проведе-
нии ангиографически-ассистированной микроволновой абля-
ции опухолей печени. В книге: Материалы VII Петербургского
международного онкологического форума «Белые ночи 2021». Санкт-Петербург, 2021. С. 35. EDN: DCHQWY
[Balakhnin P.V., Shmelev A.S., Shachinov E.G. et al. The first
experience of using thoracic paravertebral blockade in combination
with intraarterial anesthesia during angiography-assisted microwave
ablation of liver tumors. In: Proceedings of the VII St. Petersburg
International Oncology Forum “White Nights 2021”. Saint
Petersburg, 2021. P. 35. EDN: DCHQWY (In Russ.)]
 45. Smits M.L.J., Bruijnen R.C.G., Tetteroo P. et al. Hepatic
arteriography and C-arm CT-guided ablation (HepACAGA)
to improve tumor visualization, navigation and margin confirmation
in percutaneous liver tumor ablation. Cardiovasc Intervent Radiol
2023;46(10):1365–74. DOI: 10.1007/s00270-023-03545-4
 46. Wijnen N., Bruijnen R.C.G., Vonken E.P.A. et al. Conventional
versus hepatic arteriography and C-arm CT-guided ablation of liver
tumors (HepACAGA): A comparative analysis. Cancers (Basel)
2024;16(10):1925. DOI: 10.3390/cancers16101925
 47. Wijnen N., Ramdhani K., Bruijnen R.C.G. et al. The added
benefits of performing liver tumor ablation in the angiography suite:
A pictorial essay of combining C-arm CT guidance with hepatic
arteriography for liver tumor ablation. Cancers (Basel)
2025;17(14):2330. DOI: 10.3390/cancers17142330
 48. Smits M.L.J., Wijnen N., Bruijnen R.C.G. et al. Renal
arteriography and C-arm CT-guided ablation (RenACAGA)
for thermal ablation of challenging renal tumors. Cardiovasc
Intervent Radiol 2025;48(6):836–45.
DOI: 10.1007/s00270-025-04039-1
 49. Балахнин П.В., Шмелев А.С., Шачинов Е.Г. и др. Чрескожная
криоабляция метастазов в кости под контролем плоскодетек-
торной компьютерной томографии с 3D-навигацией в режиме
реального времени. В книге: Материалы V Петербургского
международного онкологического форума «Белые ночи 2019». Санкт-Петербург, 2019. С. 130–131. EDN: WMYBSI
[Balakhnin P.V., Shmelev A.S., Shachinov E.G. et al. Percutaneous
cryoablation of bone metastases under the control of flat-detector
computed tomography with real-time 3D navigation.
In: Proceedings of the V St. Petersburg International Oncology
Forum “White Nights 2019”. Saint Petersburg, 2019. Pp. 130–131.
EDN: WMYBSI (In Russ.)]
 50. Балахнин П.В., Шачинов Е.Г., Шмелев А.С. и др. Плоскоде-
текторная компьютерная томография как метод визуализации
и навигации при проведении чрескожной криоабляции мета-
стазов в легкие. В книге: Материалы VII Петербургского меж-
дународного онкологического форума «Белые ночи 2021». Санкт-Петербург, 2021. С. 208. EDN: PYKQJL
[Balakhnin P.V., Shachinov E.G., Shmelev A.S. et al. Flat-detector
computed tomography as a method of visualization and navigation
during percutaneous cryoablation of lung metastases.
In: Proceedings of the VII St. Petersburg International Oncology
Forum “White Nights 2021”. Saint Petersburg, 2021. P. 208.
EDN: PYKQJL (In Russ.)]
 51. Filippiadis D.K., Binkert C., Pellerin O. et al. Cirse quality
assurance document and standards for classification
of complications: The Cirse Classification System. Cardiovasc
Intervent Radiol 2017;40(8):1141–6.
DOI: 10.1007/s00270-017-1703-4
 52. Балахнин П.В. Значение вариантов артериальной анатомии
печени для выполнения интервенционно-радиологических
вмешательств. Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Санкт-Петер-
бург, 2012. EDN: QIBZCR
[Balakhnin P.V. The importance of variants of arterial liver anatomy
for performing radiological interventions. Abstract of the
dissertation ... of Cand. of Med. Sci. Saint Petersburg, 2012.
EDN: QIBZCR (In Russ.)]
 53. Balakhnin P.V., Khanevich M.D., Manikhas G.M. et al.
Chemoembolization of colorectal liver metastases: Detection
and response evaluation with c-arm computed tomography. J Vasc
Intervent Radiol 2012;23(4):579. EDN: YTKHXL

Благодарности | Acknowledgements

Авторы выражают благодарность старшей сестре отделения рентгенохирургических методов диагностики и лечения ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Петрова» Минздрава России Альбине Габтеррахимовне Москвиной за всестороннюю помощь в работе с пациентами при сборе материалов для данного исследования.

The authors thank Albina Gabterakhimovna Moskvina, the head nurse of the X-ray Diagnostic and Treatment Methods Division of the N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology, Ministry of Health of Russia, for comprehensive assistance in working with the patients during data collection for this study.

Вклад авторов | Authors' contributions

П.В. Балахнин: выполнение вмешательств, общее руководство исследованием, сбор и анализ данных, поиск научной литературы по теме исследования, написание текста статьи, подготовка иллюстративного материала;

А.С. Шмелев: выполнение вмешательств;

В.И. Малькевич: выполнение вмешательств; сбор и анализ данных;

М.Д. Ханевич: поиск научной литературы по теме исследования, написание текста статьи;

И.А. Курносов: сбор и анализ данных, поиск научной литературы по теме исследования, написание текста статьи;

С.С. Багненко: общее руководство исследованием, поиск научной литературы по теме исследования, написание текста статьи;

А.М. Беляев: общее руководство исследованием, поиск научной литературы по теме исследования, написание текста статьи.

P.V. Balakhnin: performing interventions, general research management, data collection and analysis, searching for scientific literature on the research topic, writing the text of the article, preparing illustrative material;

A.S. Shmelev: performing interventions;

V.I. Malkevich: performing interventions; data collection and analysis;

M.D. Khanevich: search for scientific literature on the research topic, writing the text of the article;

I.A. Kurnosov: data collection and analysis, search for scientific literature on the research topic, writing the text of the article;

S.S. Bagnenko: general management of the research, search for scientific literature on the research topic, writing the text of the article;

A.M. Belyaev: general management of the research, search for scientific literature on the research topic, writing the text of the article.

ORCID авторов | ORCID of authors

П.В. Балахнин | P.V. Balakhnin: <https://orcid.org/0000-0002-3042-6729>

А.С. Шмелев | A.S. Shmelev: <https://orcid.org/0000-0002-1610-8820>

В.И. Малькевич | V.I. Malkevich: <https://orcid.org/0000-0002-1082-6071>

М.Д. Ханевич | M.D. Khanevich: <https://orcid.org/0000-0002-6946-9689>

И.А. Курносов | I.A. Kurnosov: <https://orcid.org/0000-0003-2857-8368>

С.С. Багненко | S.S. Bagnenko: <https://orcid.org/0000-0002-4131-6293>

А.М. Беляев | A.M. Belyaev: <https://orcid.org/0000-0001-5580-4821>

Конфликт интересов | Conflict of interest

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflict of interest.

Финансирование | Funding

Работа выполнена без спонсорской поддержки.

The study was performed without external funding.

Соблюдение прав пациентов | Compliance with patient rights

Пациенты дали письменное информированное согласие на публикацию своих данных.

The patients gave written informed consent to the publication of their data.

Статья поступила | Article submitted: 11.05.2026

Рецензия | Peer reviewed: 02.06.2026

Принята к публикации | Accepted for publication: 14.07.2026

Опубликована онлайн | Published online: 11.09.2026