

ОПЫТ ОРИГИНАЛЬНОГО ОБУЧЕНИЯ КОНТРАСТ-УСИЛЕННОМУ УЛЬТРАЗВУКОВОМУ ИССЛЕДОВАНИЮ НА ФАНТОМЕ

Борсуков А.В.¹, Шестакова Д.Ю.^{✉1}, Бузулуков Ю.П.², Марченкова Н.С.²

¹ Смоленский государственный медицинский университет Минздрава России; Россия, 214006, Смоленск, ул. Фрунзе, 40

² Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»; Россия, 123098, Москва, пл. Академика Курчатова, 1

✉ Дарья Юрьевна Шестакова, daria@venidiktova.ru, +79107850371

РЕФЕРАТ

Цель: Оценить работоспособность учебной программы по контраст-усиленному ультразвуковому исследованию с использованием обучения на фантоме.

Материалы и методы: 24 специалиста (13 врачей, 6 ординаторов, 5 студентов; 0–21 год стажа) прошли однодневный 10-часовой курс обучения контраст-усиленному ультразвуковому исследованию. Практика выполнялась с использованием отечественного двухконтурного фантома (патент RU 2611905 C2), имитирующем нормальный кровоток и три очага: аневризму, кавернозную гемангиому и гиперваскулярный метастаз с контрастными препаратами. Оценку эффективности проводили до и после обучения с применением теоретического теста, практического чек-листа, командного индекса.

Результаты: После курса все показатели достоверно улучшились: тест: $5,0 \pm 1,0 \rightarrow 8,0 \pm 1,0$ ($\Delta = +3,0$; $p < 0,001$; $d = 2,0$); чек-лист: $7,0 \pm 2,0 \rightarrow 17 \pm 1,0$ ($\Delta = +10,0$; $p < 0,001$; $d = 6,3$); командный индекс: $2,0 \pm 1,0 \rightarrow 4,0 \pm 1,0$ ($\Delta = +2,0$; $p < 0,001$; $d = 1,0$).

Проходной порог ($\geq 70\%$ тест, $\geq 80\%$ чек-лист) преодолели 22/24 (92 %) участников ($\chi^2 = 20,2$; $p < 0,001$). Внутренняя согласованность: $\alpha = 0,80$ (тест) и $0,86$ (чек-лист); межэкспертное согласие чек-листа $0,92$; 95 % ДИ $0,86–0,97$.

Связь стажа с практическими баллами уменьшилась: $p = 0,45$ до курса ($p = 0,03$) против $0,28$ после ($p = 0,18$); Различий между четырьмя группами опыта не обнаружено ($p > 0,10$). Суммарный индекс удовлетворенности обучения составил $9,1 \pm 0,7$, наивысшие оценки получили «практика на фантоме» (9,5) и «обратная связь наставников» (9,3).

Заключение: Однодневный образовательный 10-часовой модуль, основанный на первом отечественном фантоме, обеспечивает крупный прирост теоретических знаний и практических навыков в проведении контраст-усиленного ультразвукового исследования и позволяет быстро достигать требований подготовки уровня 1 европейских и мировых рекомендаций. Отечественный фантом дешевле импортных аналогов, не подпадает под ограничения Постановления Правительства РФ № 616 и может быть рекомендован как обязательный симуляционный этап сертификации врачей ультразвуковой диагностики при освоении контраст-усиленного ультразвука.

Ключевые слова: контраст-усиленный ультразвук, обучение на фантоме, симуляционное обучение, подготовка врачей

Для цитирования: Борсуков А.В., Шестакова Д.Ю., Бузулуков Ю.П., Марченкова Н.С. Опыт оригинального обучения контраст-усиленному ультразвуковому исследованию на фантоме. Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. 2025;8(3):64-77.

<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2025-8-3-64-77>

Journal of Oncology: Diagnostic Radiology and Radiotherapy

ISSN: 2587-7593 (Print) ISSN: 2713-167X (Online)

ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА | DIAGNOSTIC RADIOLOGY

<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2025-8-3-64-77>

EXPERIENCE OF THE ORIGINAL PHANTOM-BASED TRAINING IN CONTRAST-ENHANCED ULTRASOUND IMAGING

Alexey V. Borsukov¹, Daria Yu. Shestakova^{✉1}, Yuriy P. Buzulukov², Natalia S. Marchenkova²

¹ Smolensk State Medical University; Frunze 40, Smolensk, Russia, 214006.

² National Research Centre "Kurchatov Institute"; Academician Kurchatov Square 1, Moscow, Russia, 123098.

✉ Daria Yu. Shestakova, daria@venidiktova.ru, +79107850371

ABSTRACT

Purpose: To evaluate the effectiveness of a contrast-enhanced ultrasound (CEUS) training program that incorporates a phantom-based learning module.

Materials and methods: Twenty-four participants (13 practicing sonographers, 6 residents, 5 senior medical students; clinical experience 0–21 years) completed a one-day, 10-hour learning CEUS course. Hands-on practice was performed on a proprietary Russian dual-circuit phantom (patent RU 2611905 C2) that reproduces normal perfusion and three focal lesions—aneurysm, cavernous haemangioma and hyper-vascular metastasis—using standard microbubble contrast agents. Training efficacy was assessed pre- and post-course with a multiple-choice test, a 10-item practical checklist (0–20) and the Team Performance Observation Tool (team index 1–5).

Results: All metrics improved significantly: test $5,0 \pm 1,0 \rightarrow 8,0 \pm 1,0$ ($\Delta = +3,0$; $p < 0,001$; $d = 2,0$); checklist $7,0 \pm 2,0 \rightarrow 17 \pm 1,0$ ($\Delta = +10,0$; $p < 0,001$; $d = 6,3$); team index $2,0 \pm 1,0 \rightarrow 4,0 \pm 1,0$ ($\Delta = +2,0$; $p < 0,001$; $d = 1,0$). The pass threshold ($\geq 70\%$ test and $\geq 80\%$ checklist) was reached by 22/24 (92 %) participants (McNemar $\chi^2 = 20,2$; $p < 0,001$). Internal consistency was good (Cronbach's $\alpha = 0,80$ for the test, $0,86$ for the checklist); inter-rater reliability of the checklist was excellent (ICC = $0,92$; 95 % CI $0,86–0,97$). The correlation between years of experience and practical score decreased from $p = 0,45$ ($p = 0,03$) pre-course to $p = 0,28$ ($p = 0,18$) post-course; one-way ANOVA revealed no post-course differences across four experience groups ($p > 0,10$). Overall satisfaction (VAS) was $9,1 \pm 0,7$, with highest ratings for “phantom practice” (9.5) and “mentor feedback” (9.3).

Conclusion: A single-day, 10-hour module based on the first domestic CEUS phantom produces a large gain in theoretical knowledge and practical skills and enables rapid attainment of Level 1 competence specified by EFSUMB/WFUMB guidelines. The Russian-made

phantom is less expensive than imported analogues, is exempt from Government Decree No. 616 import restrictions, and can be recommended as a mandatory simulation stage in the certification of ultrasound physicians learning CEUS.

Key words: contrast-enhanced ultrasound, phantom-based training, simulation-based learning, physician training

For citation: Borsukov A.V., Shestakova D.Yu., Buzulukov Yu.P., Marchenkova N.S. Experience of the Original Phantom-Based Training in Contrast-Enhanced Ultrasound Imaging. Journal of Oncology: Diagnostic Radiology and Radiotherapy. 2025;8(3):64-77. (In Russ.). <https://doi.org/10.37174/2587-7593-2025-8-3-64-77>

Введение

Контраст-усиленное ультразвуковое исследование (КУУЗИ) на протяжении последних двух десятилетий превратилось из экспериментальной методики в неотъемлемую часть повседневной визуализации печени, почек, сосудистого русла и ряда других органов [1–5]. Его клиническая ценность подтверждена серией международных рекомендаций — от первых европейских рекомендаций EFSUMB (European Federation of Societies for Ultrasound in Medicine and Biology — Европейская федерация обществ ультразвука в медицине и биологии) 2004 г. до актуального глобального консенсуса WFUMB (World Federation for Ultrasound in Medicine and Biology — Всемирная федерация ультразвука в медицине и биологии), EFSUMB, AFSUMB (Asian Federation of Societies for Ultrasound in Medicine and Biology — Азиатская федерация обществ ультразвука в медицине и биологии), AIUM (American Institute of Ultrasound in Medicine — Американский институт ультразвука в медицине), FLAUS (Federation of Latin American Ultrasound Societies — Латиноамериканская федерация обществ ультразвука в медицине и биологии) 2020 г. Ключевыми вехами развития стали:

1. Рекомендации EFSUMB 2004 г. — первый фундаментальный документ, сфокусированный на оценке очаговых поражений печени. Введение стандартизированного трехфазного окна наблюдения, определение безопасного диапазона механического индекса $\leq 0,2$ и рекомендованные дозировки контрастных препаратов SonoVue®/Levovist®; подчеркивание крайне низкой частоты серьезных нежелательных явлений ($\approx 0,01\%$) и необходимость наличия письменного информированного согласия [6];
2. Рекомендации EFSUMB 2008 г. — расширение сферы применения за пределами печени (почки, селезенка, сосуды, урология, педиатрия); впервые была сформулирована классификация контрастных препаратов 2-го поколения; обозначены требования к обучению операторов, стандарт отчетности и архивации видеопетель; алгоритм управления нештатными ситуациями (аллергические реакции, кардиопатии) [7];
3. Рекомендации EFSUMB 2011 г. — первое крупное обновление внепеченочных показаний [8];

4. Рекомендации EFSUMB–WFUMB 2012 г. — расширение печеночных протоколов и введение унифицированной терминологии фаз контрастирования [9];
5. Рекомендации EFSUMB 2017 г. — систематизация внепеченочного применения, а также формализация требований к обучению операторов, подчеркивающая, что оператор КУУЗИ должен обладать подтвержденной компетенцией не менее 1-го уровня, то есть он должен уметь безопасно выполнять рутинные исследования ограниченной сложности под контролем наставника, уметь распознавать норму и типичные отклонения, знать показания, противопоказания к применению контрастирования, правила оказания первой помощи [10];
6. Рекомендации WFUMB-EFSUMB-AFSUMB-AIUM-FLAUS 2020 г. — глобальный консенсус по КУУЗИ печени объединил международный опыт, утвердил единые протоколы, расширил рекомендации на область педиатрии и внутрисосудистых применений, стандартизировал документацию и обучение, заложил основу для количественного динамического КУУЗИ и подходов использования искусственного интеллекта [11];
7. Технический обзор EFSUMB 2023 г. — фокус на динамическом КУУЗИ при онкологическом мониторинге, основа для стандартизации параметров кривой время—интенсивность и внедрения аналитики, основанной на искусственном интеллекте [12].

Во всех документах и обзорах к ним подчеркиваются преимущества КУУЗИ: отсутствие нефротоксичности, возможность многократных инъекций в одном сеансе, высокая временная разрешающая способность и безопасность (частота тяжелых реакций $\approx 0,01\%$) [13, 14]. Параллельно документы формируют повестку в сфере образования: от требования низкого режима использования механического индекса до описания типичных фазовых паттернов. Несмотря на признанные клинические преимущества КУУЗИ, во всех рекомендациях подчеркивается, что эффективное обучение операторов осложнено дефицитом стандартизированных симуляторов [15, 16]. На сегодняшний день на международном рынке доступны три принципиально разные модели:

1. Проточный фантом для КУУЗИ — две силиконовые трубки $\varnothing 2\text{--}5$ мм, перистальтический насос

- (16–256 мл/мин). Предназначен для калибровки кинетики болюса и расчета показателей кривой время—интенсивность. Моделируется только линейный ламинарный поток; отсутствует симуляция паренхиматозной микроциркуляции и патологических очагов; требуется настольный насос и постоянное обслуживание [17].
2. Простой пульсирующий фантом для обучения КУУЗИ — одна диагональная трубка \varnothing 0,5 мм в водяной ванне; шприцевой насос, механический модулятор для создания пульсации. Подходит для базовой визуализации в В-режиме и спектрального, цветового доплера; не предназначен для контрастных препаратов — микропузырьки быстро разрушаются; отсутствует симуляция паренхимы и очаговых образований [18].
 3. CAE Blue Phantom™ — литые силиконовые блоки для проведения пункций, создания сосудистого доступа; статические полости (\varnothing 4–6 мм) без активной циркуляции. Фокус на навигации при миниинвазивных вмешательствах, сканах в рамках протокола FAST (Focused Assessment with Sonography for Trauma — фокусированная ультразвуковая оценка при травме); не поддерживает режим для оценки КУУЗИ, т.к. силикон подавляет нелинейный отклик микропузырьков; высокая стоимость (от 600 долларов и выше).

Несмотря на наличие ряда зарубежных симуляторов, ни один из них не обеспечивает полного спектра фаз КУУЗИ, не моделирует одновременный нормальный и патологический кровоток и, что особенно важно для клинической практики, остается труднодоступным из-за валютных и логистических ограничений. Ожидается, что предлагаемый группой авторов фантом для КУУЗИ позволит не только отрабатывать технику сканирования, но и эмулировать микроциркуляторные изменения, характерные, например, для ранних стадий неалкогольного стеатогепатита. КУУЗИ особенно чувствительно к изменениям микрососудистой сети печени: на этапе перехода от стеатоза к стеатогепатиту возникает капилляризация синусоидов, усиление артериального компонента и раннее нарушение венозного оттока задолго до выраженного паренхиматозного повреждения.

Разработка, тестирование и серийное производство отечественных фантомов, адаптированных к требованиям современных международных рекомендаций, позволяют гарантировать устойчивое обучение врачей уровня 1 и снизить зависимость медицинских организаций от импортных фантомов. Следовательно, создание и использование отечественных фантомов симуляционного тренинга по КУУЗИ является не только научной, но и стратегической задачей, напрямую влияющей на качество

диагностики и доступность высокотехнологичной помощи пациентам в России [19].

Цель исследования — оценить работоспособность учебной программы по контраст-усиленному ультразвуковому исследованию с использованием обучения на отечественном фантоме.

Материалы и методы

На клинической базе Проблемной научно-исследовательской лаборатории «Диагностические исследования и малоинвазивные технологии» Смоленского государственного медицинского университета Минздрава России (Клиническая больница № 1 г. Смоленска) в период ноябрь 2024 — июль 2025 г. проведено исследование с участием 24 специалистов с высшим медицинским образованием в возрасте от 23 до 65 лет, среди них врачей ультразвуковой диагностики (УЗД) — 13 (54 %), ординаторов, обучающихся по специальности «Ультразвуковая диагностика» — 6 (25 %), студентов старших курсов высшего медицинского учебного заведения — 5 (21 %). Врачи УЗД были подобраны с разным опытом работы — 0–3 года — 3 специалиста (12,5 %), 4–10 лет — 4 специалиста (16,5 %), 11–20 лет — 3 специалиста (12,5 %), более 21 года — 3 специалиста (12,5 %)). Ни один из участников исследования ранее не имел опыта проведения КУУЗИ. Выборка специалистов была случайной, от каждого участника получено добровольное информированное согласие.

В качестве наставников в исследовании приняли участие 4 врача УЗД, имеющих опыт работы с КУУЗИ 3–15 лет, уровень подготовки 1 (2 наставника), уровень подготовки 2 (1 наставник), уровень подготовки 3 (1 наставник). Описание общепринятых уровней подготовки представлено в табл. 1 [20].

Фантом выполнен согласно патенту RU 2611905 C2 «Устройство для обучения диагностике патологии внутренних органов методом эхоконтрастирования» с соблюдением базовой структуры основных элементов (разработан в Смоленском государственном медицинском университете Минздрава России) [23]. Его назначение — выступить в качестве реалистичного симулятора, позволяющего врачу безопасно отрабатывать все фазы КУУЗИ и манипуляции под его контролем.

Контрастные препараты: микропузырьковый препарат на основе серосфлуорана (SonoVue®), 1,2 мл — для патологического контура (минимальный объем, разрешенный международными рекомендациями), 2,4 мл для сосудистого контура, физиологический раствор, 5 мл; экспериментальный образец — микропузырьковый препарат на основе тетрафторбутана с возможностью вариации разме-

Таблица 1. Уровни подготовки врачей ультразвуковой диагностики в сфере использования контраст-усиленного ультразвукового исследования

Table 1. Training levels of ultrasound physicians in the field of contrast-enhanced ultrasound

Уровень / Level	Цели и сфера компетенции / Goals and scope of competence	Минимальный объем обучения* / Minimum training volume*	Роль КУУЗИ / Role in CEUS
Уровень 1 — базовый / Level 1 — Basic	Безопасно выполнять рутинные исследования ограниченной сложности под контролем наставника; уметь распознавать норму и типичные отклонения, знать показания/противопоказания к контрасту и правила оказания первой помощи / Safely perform routine, low-complexity ultrasound examinations under direct supervision; recognize normal findings and common variants; understand indications, contraindications for contrast agents, and basic emergency management	Очно-дистанционный курс и практический журнал реальных сканов-эхограмм, выполненных на пациентах (≈ 300 стандартных протоколов УЗИ, из них ≥ 25 КУУЗИ под наблюдением наставника) / Combination of in-person and online coursework plus a logbook of real patient scans (≈ 300 standard ultrasound studies, including ≥ 25 supervised CEUS examinations)	EFSUMB и WFUMB подчеркивают, что для самостоятельной работы с контрастным препаратом нужно выйти выше уровня подготовки 1; на этом этапе КУУЗИ выполняется только под присмотром наставника с уровнем 2-3 / EFSUMB and WFUMB state that independent use of contrast agents requires attainment of Level 2; at Level 1, CEUS may only be performed under the supervision of a Level 2 or 3 mentor
Уровень 2 — продвинутый / Level 2 — Advanced	Работать с исследованиями средней и высокой сложности; вести документацию, участвовать в обсуждениях клинических решений, обучать врачей уровня подготовки 1 / Independently conduct moderate- to high-complexity CEUS studies; maintain documentation; participate in multidisciplinary case discussions; teach Level 1 practitioners	Дополнительные курсы/семинары, журнал реальных сканов-эхограмм, выполненных на пациентах ≥ 200 КУУЗИ (или ≥ 400 суммарно с первым уровнем), непрерывное повышение квалификации / Additional courses and workshops; a logbook documenting ≥ 200 unsupervised CEUS examinations (or ≥ 400 total including Level 1); ongoing continuing education	Допустим самостоятельный прием пациентов с использованием КУУЗИ; специалист обязан контролировать качество выполнения исследований в отделении / At this level, physicians may see CEUS patients independently and are responsible for quality control of departmental CEUS studies
Уровень 3 — эксперт / Level 3 — Expert	Региональный/ национальный референт, руководит сложными вмешательствами и научными проектами; разрабатывает протоколы, ведет курсы, проводит аудит качества / Serve as a regional or national reference; lead complex interventional and research projects; develop protocols; conduct courses; perform quality audits	Многолетний стаж (≥ 3 лет активной практики), ≥ 500 КУУЗИ в год или доказанный эквивалент, публикации/преподавание / ≥ 3 years of active CEUS practice; ≥ 500 CEUS examinations per year or equivalent experience; peer-reviewed publications and teaching roles	Проводит экспертное КУУЗИ, интервенционные процедуры, организует обучение и сертификацию специалистов уровней 1-2 / Perform expert-level CEUS and interventional procedures; organize the training and certification of Level 1 and Level 2 practitioners

*Примечание: конкретные цифры различаются между национальными обществами — приведены усредненные значения из «Minimum Training Recommendations 2006» и «Appendix 14 (CEUS) 2010», на которые ссылаются все современные рекомендации [21, 22]

ра пузырьков на этапе производства (разработан научной группой Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»), 1,2 мл — для патологического контура, 2,4 мл для сосудистого контура, физиологический раствор, 5 мл.

Протокол сканирования: ультразвуковое обследование с поддержкой блока КУУЗИ (Hitachi Preirus, Япония), линейный датчик 7,5–12 МГц для поверхностных структур и конвексный датчик 3,5–5 МГц для глубоко расположенных структур, механический индекс (МИ) 0,08–0,14, общее окно наблюдения и записи видеопетли не менее 4 мин.

Процесс обучения: в тренинге каждого участника ($n = 24$) принимали участие все наставники ($n = 4$) по количеству практических станций. Учебная программа, разработанная специально под это исследование, представлена в табл. 2, инструменты оценки усвоения этапов 1, 3, 4 использовались как до, так и после обучения.

Дополнительные организационные детали учебной программы:

- Материалы до старта курса: участники получали теоретические материалы — клинические рекомендации по КУУЗИ в формате pdf.

Таблица 2. Учебная программа 10-часового модуля по контраст-усиленному ультразвуковому исследованию
Table 2. Training program of the 10-hour contrast-enhanced ultrasound module

Этап / Stage	Длительность, формат, методика / Duration, format, methodology	Цели обучения (по Bloom)* / Learning objectives (Bloom's taxonomy)*	Краткое содержание / Brief content	Оценка усвоения / Assessment of learning
Этап 1. Онлайн вебинар «Базовая теория КУУЗИ» / Stage 1. Online Webinar "Fundamentals of CEUS"	4 ч (2 сессии по 120 минут, онлайн), онлайн лекция, опросы с использованием онлайн программ / 4 hours (2 x 120-min online sessions); lecture with live polls via online platforms	Запоминание → Понимание / Remember → Understand	Физика микропузырьков, механический индекс; контрастные препараты: классификация, дозировки; фазы контрастирования; показания/противопоказания, алгоритм оказания экстренной помощи; стандартизованная отчетность / Microbubble physics; mechanical index; contrast agents (classification, dosing); phases of enhancement; indications/contraindications and emergency management; standardized reporting	Тест из 10 вопросов (приложение 2) (проходной балл ≥ 70 %) / 10-question test (Appendix 2), pass ≥ 70 %
Этап 2. Очная мини-лекция «Ключевые нюансы КУУЗИ» / Stage 2. In-Person Mini-Lecture "Key CEUS Nuances"	30 минут, оф-лайн мини-лекция, интерактивный формат взаимодействия с участниками / 30 min, face-to-face interactive lecture	Применение / Apply	Подготовка пациента, особенности введения и видео-фиксации контрастного препарата; настройка режима низкого механического индекса на ультразвуковом оборудовании; типичные артефакты и пути их устранения / Patient preparation; contrast injection and video capture techniques; low-MI settings on ultrasound machines; common artifacts and troubleshooting	Нет / No
Этап 3. Практика на фантоме / Stage 3. Phantom Practice	3 ч, 4 станции с фантомами по 6 участников с выбором лидера и распределения ролей в каждой команде, ротация каждые 40 мин; 4 наставника / 3 hours, 4 phantom stations with 6 participants each, team leader rotation every 40 min; 4 mentors	Применение → Анализ / Apply → Analyze	Станция А. Постановка датчика, оптимизация окна интереса в В-режиме. Станция Б. Качественный захват артериальной и портальной фаз контрастирования, измерение количественных показателей (T_{max} — Time to peak — время до максимума, Peak intensity — пиковая интенсивность, Wash-in slope — наклон фазы накопления, Wash-out slope — наклон фазы вымывания, AUC — Area Under Curve — площадь под кривой, MTT — Mean Transit Time — среднее время транзита). Станция В. Освоение паттернов контрастирования очаговых образований. Станция Г. Пункция очагового образования под контролем КУУЗИ (игла 21G) / Station A: Probe positioning, optimization of B-mode window. Station B: Qualitative capture of arterial and portal phases; quantitative measurements (T_{max} , Peak Intensity, Wash-in slope, Wash-out slope, AUC, Mean Transit Time). Station C: Recognition of focal lesion enhancement patterns. Station D: CEUS-guided lesion puncture (21G needle).	Чек-лист из 10 пунктов (приложение 1), видеозапись петель / 10-item checklist (Appendix 1) and cine-loop recording

Таблица 2. Продолжение
Table 2. Continued

Этап / Stage	Длительность, формат, методика / Duration, format, methodology	Цели обучения (по Bloom)* / Learning objectives (Bloom's taxonomy)*	Краткое содержание / Brief content	Оценка усвоения / Assessment of learning
Этап 4. Разбор ошибок / Stage 4. Debriefing	1 ч 30 минут, групповой очный разбор / 1 hour 30 min, group review session	Оценка / Evaluate	Коллективный просмотр 4 сложных клинических случаев каждой команды; разбор допущенных артефактов, выбор альтернативных решений / Team review of 4 challenging cases; artifact critique and alternative solutions	Командный индекс — по шкале TPOT (Team Performance Observation Tool) — Инструмент наблюдения за эффективностью работы команды / Team Performance Observation Tool (TPOT) team index [23–25]
Этап 5. Сессия «Вопрос-ответ» / Q&A Session	1 ч, открытый микрофон / 1 hour, open-mic discussion	Создание / Create	Индивидуальные клинические сценарии; обсуждение дальнейших сценариев обучения на уровнях 2–3 / Individual clinical scenarios; planning advanced training (Levels 2–3)	Создание реестра вопросов и ответов для последующих курсов / Creation of a Q&A registry for future courses
Этап 6. Оценка удовлетворенности / Satisfaction Survey	Анкета удовлетворенности участников / Participant satisfaction questionnaire	Оценка / Evaluate	Определение общего индекса удовлетворенности (0–10) / Overall satisfaction index (0–10)	Шкала VAS (Visual Analogue Scale) — Визуальная аналоговая шкала (приложение 3) / Visual Analogue Scale (VAS) (Appendix 3) [26–28]

*Примечание: таксономия учебных целей В. Bloom — иерархическая модель, разбивающая когнитивное обучение на шесть уровней сложности: Remember (запоминание), Understand (понимание), Apply (применение), Analyze (анализ), Evaluate (оценка), Create (создание) [29,30].

- Итоговая теоретическая аттестация: суммарный результат теста с вопросами на этапе 1 (приложение 1, доступ к документу по ссылке <https://disk.yandex.ru/d/zn7V11t5SnYSMw>), имеющих несколько вариантов ответа, при достижении показателя правильных ответов $\geq 70\%$, участник исследования получает зачет 1; данные фиксируются в протоколе исследования.
- Итоговая практическая аттестация: каждая станция этапа 3 оснащена ноутбуком с DICOM просмотрщиком; наставники ведут чек-лист, ставят подпись при достижении минимума 8/10 пунктов, при достижении показателя $\geq 80\%$, участник исследования получает зачет 2 (приложение 2, доступ к документу по ссылке <https://disk.yandex.ru/d/zn7V11t5SnYSMw>).
- На этапе 4 наставниками последовательно были продемонстрированы по 4 видео-петли с каждой станции (А–Г), где были допущены характерные ошибки. Все наставники и сами участники одновременно выставляли баллы по каждому домену, основанных на официальной шкале TPOT, где 1 балл — очень плохо, 2 балла — плохо, 3 балла — приемлемо, 4 балла — хорошо, 5 баллов — отлично. Оценивались четкое распределение ролей в команде (Team Structure); лидерство (Leadership), коммуникация — использование общепринятой терминологии КУУЗИ (Communication); реакцию на изменение фаз контрастирования (Situation Monitoring), взаимная поддержка (Mutual Support). Для каждой видео-петли выводился средний балл по доменам (0–5); Суммарный командный индекс = (сумма всех пунктов)/(максимально возможный) $\times 100\%$. На основании этого наставники давали обратную связь — подчеркивали сильные и слабые стороны и формулировали, что можно улучшить на следующей практике.
- Шкала VAS позволила объективно оценить обратную связь от участников исследования (приложение 3, доступ к документу по ссылке <https://disk.yandex.ru/d/zn7V11t5SnYSMw>). Такой модуль при сдаче зачетов 1, 2 обеспечивает базовое завершение уровня подготовки 1 по требованиям EFSUMB/WFUMB за один день, после чего

участники могут быть допущены к клиническим сканам под контролем наставника ≥ 25 КУУЗИ.

Статистическая обработка [31–38]. Все расчеты выполнены в Microsoft Excel 365 (надстройка анализ данных и стандартные формулы).

- Описание данных. Для количественных показателей приведены среднее \pm SD; для баллов чек-листа и командного индекса также указана медиана и межквартильный размах.
- Сравнение «до/после». Изменения тестового балла (0–10), суммарной оценки чек-листа (0–20) и командного индекса (0–5) оценивали парным t-критерием Стьюдента.
- Сравнение групп опыта (< 3; 4–10; 11–20; > 21 год): применяли однофакторный дисперсионный анализ ANOVA через оценку дисперсии пост-хок Тьюки–Крамера (формулы для критерия достоверно значимой разницы Тьюки).
- Корреляции. Связь стажа работы с баллами теста, чек-листа и командным индексом оценивали ранговым коэффициентом Спирмена.
- Размер эффекта рассчитывали с помощью коэффициента d Коэна (разница средних, деленная на объединенное стандартное отклонение двух зависимых выборок — 0,2–0,49 малый эффект, 0,5–0,79 средний эффект, $\geq 0,8$ большой эффект).
- Надежность инструментов. Для оценки внутренней согласованности чек-листа и теста — Alpha Кронбаха, межэкспертная согласованность наставников — ICC — внутриклассовый коэффициент корреляции по Шрауту-Флейссу (двусторонняя модель абсолютного совпадения).
- Сравнение долей. Разницу долей успешно прошедших зачет 1 и зачет 2 проверяли критерием Мак-Немара.
- Множественные проверки. Для всех наборов r -значений применяли коррекцию Бенджамини–Хохберга (функция сортировки r -значений и расчет критических порогов).
- Статистически значимыми считались различия при $p < 0,05$ (двусторонний критерий).

Результаты исследования

Фантом (рис. 1) для проведения практической части учебного процесса был реализован по на основе опыта научной группы [39–43] и анатомических особенностей паренхиматозных органов по следующим правилам: устройство состоит из герметичного резервуара (рекомендуемый размер 30×20×15 см) с прозрачной эластичной крышкой-мембраной, обеспечивающей акустический контакт с датчиком. Внутри резервуара смонтирована система трубок с диаметром, постепенно уменьшающимся от 10 мм на периферии до 2 мм в центре, что имитирует ветвление сосудистого рус-

ла. Система образует два независимых замкнутых контура:

- Сосудистый контур А — ряд парно соединенных гексагональных элементов, воспроизводящих нормальное кровоснабжение паренхиматозных органов; он установлен на вращающихся муфтах, поэтому может поворачиваться вокруг оси, меняя угол и обучая оператора правильному позиционированию датчика.
- Патологический контур Б — пара гексагональных элементов, между которыми контраст движется в противоположных направлениях, имитируя артериальный и венозный потоки. На отводящей трубке контура Б размещены три специальные петли, имитирующие очаговые образования паренхиматозного органа: эллипсоидное расширение-аневризма, «клубок»-метастаз (вход артерии в центр, выход по периферии) и «клубок»-гемангиома (вход по периферии, выход из центра).

Подача микропузырькового контраста осуществляется через общий ручной дозатор; скорость и частота инъекций регулируются, что позволяет формировать ламинарный или турбулентный поток и более точно воспроизводить кривые для количественного анализа показателей. Конструкция изготовлена из доступных материалов (ПВХ-трубки), а резервуар заполняется раствором желатина с последующим охлаждением и застыванием, благодаря чему модель не требует дорогостоящих расходных материалов.

Общий вид проведения 3-го этапа обучения с фантомом представлен на рис. 2.

Пример качественной и количественной оценки эхограмм фантома представлен на рис. 3.

По завершении 10-часового модуля отмечено достоверное улучшение всех изученных учебных показателей. Средний тестовый балл теста вырос на 2 пункта. Практическая компетентность, оцененная суммарным чек-листом, увеличилась более чем вдвое — 10 пунктов, что эквивалентно большому эффекту Коэна $d = 6,3$, тогда как командное взаимодействие улучшилось на 1 пункт ($d = 1,0$). Все различия статистически значимы ($p < 0,001$), что свидетельствует о высокой эффективности фантомно-ориентированного обучения. Сводные численные данные представлены в табл. 3.

Доля слушателей, превысивших совместный порог зачетов 1 и 2 (≥ 70 % по итогам теста и ≥ 80 % чек-листа), возросла с 0 % до 22 из 24 (92 %); критерий Мак-Немара $\chi^2 = 20,2, p < 0,001$.

На рис. 4 приведены диаграммы, иллюстрирующие распределение индивидуальных баллов до и после прохождения модуля.

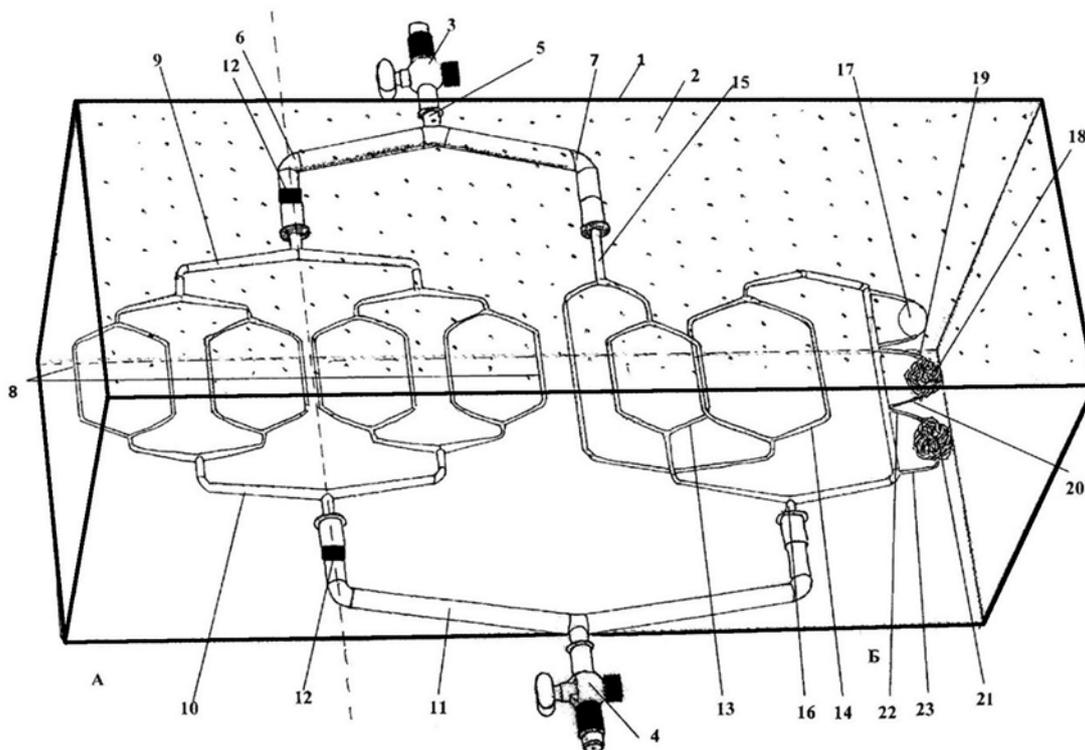


Рис. 1. Общий вид фантома для обучения контраст-усиленному ультразвуковому исследованию.

А — сосудистый контур; Б — патологический контур.

1 — резервуар; 2 — прозрачная эластичная крышка; 3 — вход для подачи эхоконтрастного препарата с краном; 4 — выпускной патрубком (слив) с краном; 5 — общая раздваивающаяся подающая трубка; 6 — ветвь подачи контура А; 7 — ветвь подачи контура Б; 8 — гексагональные трубчатые элементы контура А; 9 — подающая трубка контура А; 10 — отводящая трубка контура А; 11 — общая отводящая трубка; 12 — вращающиеся муфты контура А; 13, 14 — гексагональные элементы контура Б; 15 — подающая трубка контура Б; 16 — отводящая трубка контура Б с моделями очагов; 17 — петля-аневризма; 18 — «клубок»-метастаз; 19 — входящая трубка метастаза; 20 — выходящая трубка метастаза; 21 — «клубок»-гемангиома; 22 — входящая трубка гемангиомы; 23 — выходящая трубка гемангиомы

Fig. 1. General view of the phantom for training in contrast-enhanced ultrasound.

A — vascular circuit; B — pathological circuit. 1 — reservoir; 2 — transparent elastic lid; 3 — inlet for injecting the contrast agent with stop-cock; 4 — outlet (drain) with stop-cock; 5 — common bifurcated supply tube; 6 — supply branch of circuit A; 7 — supply branch of circuit B; 8 — hexagonal tubular elements of circuit A; 9 — supply tube of circuit A; 10 — return tube of circuit A; 11 — common return tube; 12 — rotating couplings of circuit A; 13, 14 — hexagonal elements of circuit B; 15 — supply tube of circuit B; 16 — return tube of circuit B bearing the lesion models; 17 — aneurysm loop; 18 — metastasis “coil”; 19 — afferent tube of the metastasis; 20 — efferent tube of the metastasis; 21 — hemangioma “coil”; 22 — afferent tube of the hemangioma; 23 — efferent tube of the hemangioma



Рис. 2. Общий вид проведения этапа обучения на фантоме

Fig. 2. General view of the phantom training session

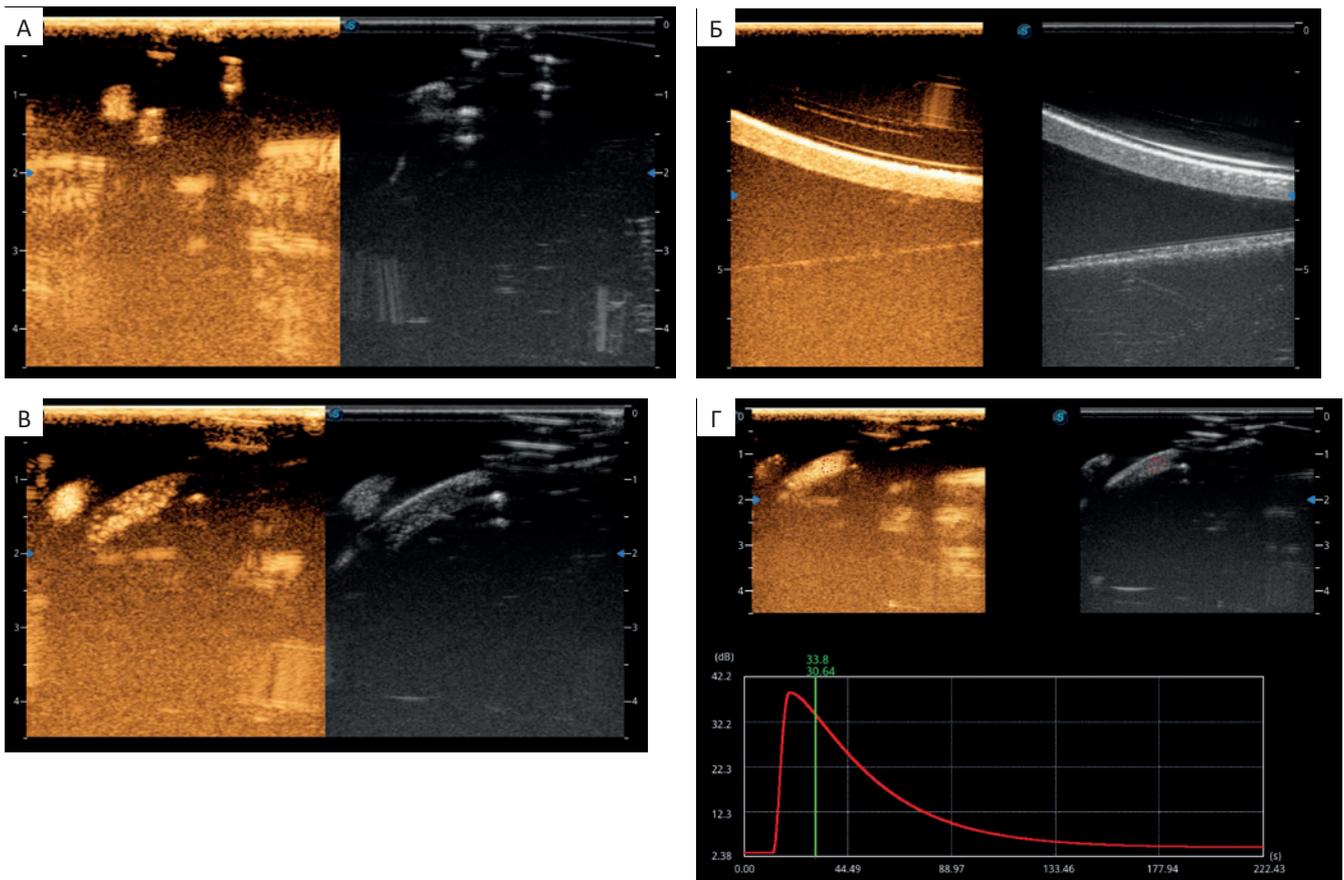


Рис. 3. Пример оценки качественных (А–В) и количественных (Г) параметров контраст-усиленного ультразвукового исследования на фантоме: А — поперечный срез трубчатых структур модели очагового образования гемангиомы, Б — продольный срез сосуда из сосудистого контура А, В — продольный срез приводящего сосуда к модели очагового образования метастаза; Г — с использованием кривой время—интенсивность

Fig. 3. Example of assessing qualitative (A–B) and quantitative (Г) parameters of contrast-enhanced ultrasound on the phantom: A — transverse section of the tubular structures representing a hemangioma model; Б — longitudinal section of a vessel from vascular circuit A; В — longitudinal section of the feeding vessel to the metastasis model; Г — time–intensity curve for quantitative analysis

Медиана теста сместилась с 6 до 8 баллов, а межквартильный размах сузился, отражая более однородный уровень теоретических знаний. Для чек-листа практических навыков середина распределения сдвинулась с 7 до 17 баллов, причем почти весь интерквартильный диапазон оказался выше проходного порога. Командный индекс также существенно вырос: медиана повысилась с 3 до 4 баллов, а верхний квартиль достиг максимальных значений шкалы. Таким образом, график наглядно подтверждает статистически значимое ($p < 0,001$)

и клинически важное улучшение всех трех метрик после однодневного фантомного обучения.

Результаты анализа ANOVA показали, что после завершения обучения различий между четырьмя категориями опыта не осталось, а ранговая корреляция Спирмена между годами стажа и практическим баллом уменьшилась с $\rho = 0,45$ ($p = 0,03$) до $\rho = 0,28$ ($p = 0,18$). Рис. 5 наглядно подтверждает эти выводы: синие маркеры и линия тренда демонстрируют малую зависимость стаж—балл до обучения с легким положительным восходящим наклоном ли-

Таблица 3. Динамика учебных показателей до и после обучения
Table 3. Dynamics of learning performance before and after training

Показатель / Metric	До обучения / Before training	После обучения / After training	Δ	p (t-тест) / p (t-test)	d Коэна / Cohen's d
Тест (0–10) / Test (0-10)	6,0 ± 1,0	8,0 ± 1,0	+2,0	< 0,001	2,0
Чек-лист (0–20) / Checklist (0-20)	7,0 ± 2,0	17,0 ± 1,0	+10,0	< 0,001	6,3
Командный индекс (1–5) / Team index (1-5)	3,0 ± 1,0	4,0 ± 1,0	+1,0	< 0,001	1,0

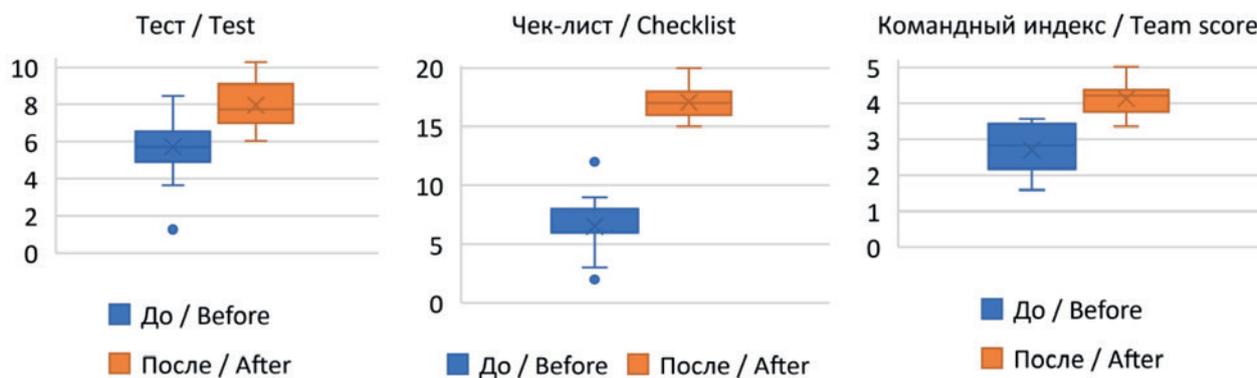


Рис. 4. Характеристика распределения участников исследования с учетом полученных баллов до и после обучения при использовании теста, чек-листа, командного индекса

Fig. 4. Distribution of study participants' scores before and after training according to the test, checklist, and team index

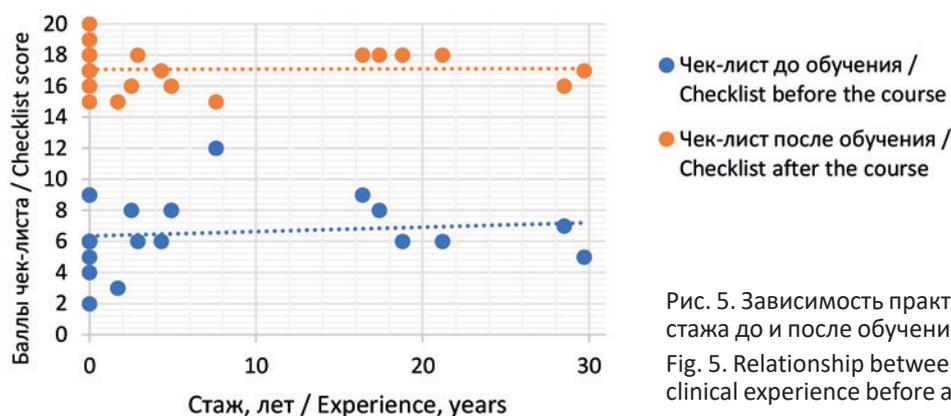


Рис. 5. Зависимость практических баллов от клинического стажа до и после обучения при использовании чек-листа
Fig. 5. Relationship between checklist practical scores and clinical experience before and after training

нии тренда в нижней зоне шкалы (2–12 баллов), тогда как после тренинга оранжевые маркеры и линия тренда демонстрируют распределение участников, сфокусированное в верхней зоне шкалы (15–20 баллов) без выраженного наклона.

Тем самым визуализация подчеркивает выравнивание практических навыков и отсутствие статистически значимого влияния клинического стажа после прохождения фантомного модуля.

Надежность инструментов — Alpha Кронбаха: тест = 0,8; чек-лист = 0,86, командный индекс = 0,81. ICC (2,1) — внутриклассовый коэффициент корреляции для чек-листа (где 2 — двухфакторная случайная модель, где и объекты, и эксперты считаются случайной выборкой из большей популяции, 1 — оценка строится для одного наблюдения каждого эксперта) = 0,92 (95 % ДИ — доверительный интервал 0,86–0,97) — отличная межэкспертная согласованность, наставники выставляли максимально близкие баллы чек-листа. Это подтверждает, что инструмент надежен и результаты участников не зависят от того, кто их оценивал.

Интегральный VAS-индекс — $9,1 \pm 0,7$; наивысшие оценки получили «Практика на фантоме» ($9,5 \pm 0,6$) и «Обратная связь наставников» ($9,3 \pm 0,7$).

Обсуждение

Для объективной оценки реалистичности разработанного фантома его внутренние элементы были сопоставлены с клинической морфологией и гемодинамическими характеристиками наиболее распространенных очаговых образований, выявляемых при КУУЗИ. Сводная критическая сверка анатомии, динамики накопления контраста и полученных ультразвуковых паттернов приведена в табл. 4, что позволяет наглядно показать сильные стороны и потенциальные зоны доработки модели перед переходом к анализу обучающего эффекта.

Преимущества модели. Критическая сверка (табл. 4) подтверждает, что геометрия сосудов, направление потоков и очаговые «петли», «клубки» имитируют типовые для КУУЗИ паттерны аневризмы, кавернозной гемангиомы и гиперваскулярного

метастаза. За счет встречного кровотока фантом позволяет одновременно демонстрировать нормальную и патологическую перфузию, что отсутствует у существующих зарубежных симуляторов. Кроме того, себестоимость прототипа составляет менее 20 % минимальной стоимости импортного аналога, а все комплектующие доступны на внутреннем рынке, что критично в условиях Постановления Правительства РФ № 616 от 30.04.2020 «Об установлении запрета на допуск промышленных товаров, происходящих из иностранных государств, для целей осуществления закупок для государственных и муниципальных

нужд, а также промышленных товаров, происходящих из иностранных государств, работ (услуг), выполняемых (оказываемых) иностранными лицами, для целей осуществления закупок для нужд обороны страны и безопасности государства».

Настоящее исследование впервые продемонстрировало, что однодневный 10-часовой модуль, основанный на отечественном двухконтурном фантоме для обучения КУУЗИ, обеспечивает существенный прирост как теоретической осведомленности, так и практических навыков у слушателей с нулевым опытом КУУЗИ. Большой эффект Коэна ($d > 2$ для теста, $d > 6$ для чек-листа, $d > 1$ для

Таблица 4. Критическая сверка анатомии и гемодинамики очаговых образований с их реализацией в модели фантома

Table 4. Critical comparison of the anatomy and hemodynamics of focal lesions with their implementation in the phantom model

Очаговое образование / Focal lesion	Реальная сосудистая архитектура и поведение при КУУЗИ / Actual vascular architecture and CEUS behavior	Модель в фантоме / Representation in the phantom	Соответствие / Correspondence
Аневризма (саккулярная/фузиформная) / Aneurysm (saccular/fusiform)	Локальное расширение стенки той же артерии; приток и отток идут по ее же просвету. При КУУЗИ заполняется сразу / Localized dilation of the arterial wall; inflow and outflow occur through the same lumen. On CEUS, the aneurysm sac fills immediately [44, 45]	Эллипсоидное расширение- «петля» на магистральной трубке / Ellipsoidal dilation “loop” on the main supply tube	Полное — хорошо имитирует дилатацию и непрерывный поток / Complete — accurately mimics the dilation and continuous flow
Гемангиома (кавернозная) / Cavernous hemangioma	Капиллярные лакуны питаются множеством мелких артерий по периферии; кровь продвигается к центру, отмечается периферическое узловое усиление, медленное центрипетальное заполнение / Capillary lacunae fed by numerous small peripheral arteries; blood advances centripetally, showing peripheral nodular enhancement with slow centripetal fill-in [46, 47]	«Клубок»: вход артериальной трубки по периферии, отток/выход в центре / “Coil” with arterial inlet at the periphery and outflow at the center	Полное — такая схема воспроизводит классический контрастный ультразвуковой паттерн rim → fill-in и позднюю изо/гиперэхогенность / Complete — reproduces the classic rim → fill-in CEUS pattern and late iso/hyperechogenicity
Метастаз (гиперваскулярный) / Hypervascular metastasis	При КУУЗИ — ранняя равномерная гиперэхогенность, постепенное вымывание контрастного препарата, возможное сохранение центральных сосудов / On CEUS: early homogeneous hyperenhancement, gradual wash-out of contrast agent, possible persistence of central vessels [48, 49]	«Клубок»: вход артериальной трубки в центр, отток/выход по периферии (возможна установка дополнительного шара «некроза» в виде гелевого цилиндра без циркуляции) / “Coil” with arterial inlet at the center and outflow around the periphery (optionally with an additional “necrotic” gel cylinder around it with no circulation)	Полное — центральный приток создаст внутренний гиперинтенсивный пик и задержку выведения контрастного препарата / Complete — central inflow creates an internal hyperintense peak and delayed wash-out consistent with hypervascular metastases on CEUS

командного индекса) сопоставим, а по практической части превосходит опубликованные данные Rominger M.B. et al. (2016), где прирост навыка определения начала наступления артериальной фазы и количественного показателя T_{max} не превышал 40 % [18].

Учебный эффект обучения. Уже после одной сессии 92 % слушателей выполнили базовые требования уровня подготовки 1 EFSUMB/WFUMB, тогда как традиционные программы [53] требуют 3–6 недель. Отсутствие достоверного влияния стажа на итоговые баллы подчеркивает, что фантом нивелирует стартовые различия и обеспечивает унифицированную базу для последующего клинического наставничества.

Надежность шкал. Значения $\text{Alpha} > 0,8$ и $\text{ICC} > 0,9$ свидетельствуют о высокой внутренней и межэкспертной согласованности; данный показатель превосходит отчеты Sawyer T. et al. (2013) для подобных модулей ($\text{ICC} \approx 0,85$) [26].

Ограничения.

1. Небольшой размер выборки специалистов ($n = 24$).
2. Использовались только две формулы контрастных препаратов; результаты могут отличаться при использовании других контрастных препаратов — например, Sonazoid®.
3. Не оценивалась длительная ретенция навыка. Планируется повторная проверка на описанной выборке через 3 и 6 мес.

Перспективы. Добавление быстросъемных моделей очаговых образований разного типа (LI-RADS 3–5), интеграция автоматике болюс-триггера и экспорт DICOM файлов в пакеты анализа кривой время—интенсивность расширят применение фантома до уровней подготовки 2–3. Внедрение фантомного модуля КУУЗИ в образовательный процесс может открыть новые перспективы для своевременного распознавания неалкогольного стеатогепатита: многократные симуляции позволяют операторам научиться выделять умеренные приросты синусоидального кровотока и повышения внутрипеченочного сопротивления, характерные для раннего воспаления. Регулярная практика на фантоме способствует стандартизации протоколов и уменьшению межнаблюдательной вариабельности, что критично для начала терапии на доклинической стадии заболевания и предупреждения прогрессирования к фиброзу и циррозу печени.

Вариант предлагаемого фантома сокращает время обучения и упрощает методику: оператор быстро осваивает определение трех классических фаз КУУЗИ, распознает характерные паттерны очаговых образований и отрабатывает пункцию под ультразвуковым контролем иглой 21G. В усло-

виях импортозамещения устройство имеет стратегическое значение: оно может быть полностью произведено в России, не подпадает под ограничения Постановления Правительства РФ № 616 от 30.04.2020 «Об установлении запрета на допуск промышленных товаров, происходящих из иностранных государств, для целей осуществления закупок для государственных и муниципальных нужд, а также промышленных товаров, происходящих из иностранных государств, работ (услуг), выполняемых (оказываемых) иностранными лицами, для целей осуществления закупок для нужд обороны страны и безопасности государства» и потенциально закрывает дефицит специализированных КУУЗИ-симуляторов, отсутствующих в серийной линейке отечественных производителей».

Заключение

Разработанный отечественный двухконтурный фантом достоверно воспроизводит ключевые гемодинамические паттерны контраст-усиленного ультразвукового исследования, что позволяет закрыть дефицит специализированных симуляторов, сократить обучение операторов первого уровня подготовки до одного 10-часового цикла, быстро, безопасно и экономично сформировать базовые компетенции, в связи с чем может быть рекомендован как обязательный этап сертификации врачей ультразвуковой диагностики при освоении контраст-усиленного ультразвукового исследования в российских симуляционных центрах.

Список литературы / References

1. Dietrich CF, Albrecht T, Becher H, et al. History of contrast-enhanced ultrasound (CEUS). *Med Ultrason*. 2024;26(4):405-16. <https://doi.org/10.11152/mu-4366>
2. Frinkin P, Segers T, Luan Y, et al. Three decades of ultrasound contrast agents: review of the past to inform the future. *Ultrasound Med Biol*. 2020;46(4):892-908. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2019.12.008>
3. Toshikazy I, Hironobu M, Michiyo K, et al. Current status and future perspectives of contrast-enhanced ultrasound diagnosis of breast lesions. *J Med Ultrason*. 2024;51(4):611-25. <https://doi.org/10.1007/s10396-024-01486-0>
4. Козубова КВ, Королева ТА, Белов ДВ. Сравнительный анализ эффективности ультразвукового исследования с контрастным усилением и компьютерной томографии в дифференциальной диагностике очагового поражения печени у пациентов с отягощенным онкологическим анамнезом. *Медицинская визуализация*. 2023;69(5):897-907. Kozubova KV, Koroleva TA, Belov DV. Comparative efficiency of contrast-enhanced ultrasound and CT in differentiating focal liver lesions in oncologic patients. *Medical Imaging*. 2023;69(5):897-907. (In Russ.). <https://doi.org/10.37469/0507-3758-2023-69-5-897-907>
5. Пеняева ЭИ, Камалов ЮР, Сенча ЮН. Ультразвуковое исследование с контрастным усилением в дифференциальной диагностике опухолевых образований печени.

- Медицинская визуализация. 2017;(2):36-52. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2017-2-36-52>
- Peniaeva EI, Kamalov YR, Sencha YN. Contrast-enhanced ultrasound in differential diagnosis of hepatic tumors. *Medical Imaging*. 2017;(2):36-52. (In Russ.). <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2017-2-36-52>
6. Albrecht T, Blomley M, Bolondi L, et al. Guidelines for the use of contrast agents in ultrasound. *Ultraschall Med*. 2004;25:249-256. <https://doi.org/10.1055/s-2004-813245>
 7. Claudon M, Cosgrove D, Albrecht T, et al. Guidelines and good clinical practice recommendations for contrast-enhanced ultrasound (CEUS) — update 2008. *Ultraschall Med*. 2008;29(1):28-44. <https://doi.org/10.1055/s-2007-963785>.
 8. Piscaglia F, Nolsoe C, Dietrich CF, et al. EFSUMB clinical practice guidelines for contrast-enhanced ultrasound (CEUS) in non-hepatic applications — update 2011. *Ultraschall Med*. 2012;33:33-59. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1281676>
 9. Claudon M, Dietrich CF, Choi BI, et al. Guidelines and Good Clinical Practice Recommendations for Contrast Enhanced Ultrasound (CEUS) in the Liver — Update 2012. A WFUMB-EFSUMB Initiative in Cooperation With Representatives of AFSUMB, AIUM, ASUM, FLAUS and ICUS. *Ultraschall in Med*. 2013;34:11-29. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1325499>
 10. Sidhu PS, Cantisani V, Dietrich CF, et al. EFSUMB guidelines on non-hepatic contrast-enhanced ultrasound: update 2017 (Long Version). *Ultraschall Med*. 2018;39(2):e2-e44. <https://doi.org/10.1055/a-0586-1107>
 11. Dietrich CF, Nolsøe C, Barr RG, et al. Guidelines and Good Clinical Practice Recommendations for Contrast Enhanced Ultrasound (CEUS) in the Liver — Update 2020. WFUMB in Cooperation with EFSUMB, AFSUMB, AIUM, and FLAUS. *Ultrasound in Med. & Biol*. 2020;46(10):2579-2604. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2020.04.030>. Epub 2020 Jul 24
 12. Dietrich CF, Correias JM, Cui XW, et al. EFSUMB technical review 2023: dynamic CEUS for perfusion quantification. *Ultraschall Med*. 2024;45(1):36-46. <https://doi.org/10.1055/a-2157-2587>
 13. Strom JB, Appis A, Barr RG, et al. Multi-societal expert consensus on the safe administration of ultrasound contrast agents. *Echo Res Pract*. 2025;12(1):4. <https://doi.org/10.1186/s44156-024-00068-7>
 14. Wilson SR, Greenbaum LD, Goldberg BB, et al. Contrast-enhanced ultrasound: what is the evidence and what are the obstacles? *AJR Am J Roentgenol*. 2009;193(1):55-60. <https://doi.org/10.2214/AJR.09.2553>.
 15. Bredahl KK, Taudorf M, Lönn L, et al. Contrast Enhanced Ultrasound can Replace Computed Tomography Angiography for Surveillance After Endovascular Aortic Aneurysm Repair. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2016;52(6):729-34. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2016.07.007>.
 16. Issenberg SB, McGaghie WC, Petrusa ER, et al. Features and uses of high-fidelity medical simulations that lead to effective learning: a BEME systematic review. *Med Teach*. 2005 Jan;27(1):10-28. <https://doi.org/10.1080/01421590500046924>.
 17. Rominger MB, Müller-Stuler EM, Pinto M, et al. Easy Pulsatile Phantom for Teaching and Validation of Flow Measurements in Ultrasound. *Ultrasound Int Open*. 2016;2(3):E93-7. <https://doi.org/10.1055/s-0042-106396>.
 18. Rudakovskaya PG, Barmin RA, Kuzmin PS, et al. Microbubbles Stabilized by Protein Shell: From Pioneering Ultrasound Contrast Agents to Advanced Theranostic Systems. *Pharmaceutics*. 2022;14: 12-36. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14061236>
 19. Ho LM, Ronald J, Wildman-Tobriner B. Increasing utilization of contrast-enhanced ultrasound during abdominal biopsies: impact of an educational training program. *J Ultrasound*. 2024;27(2):329-34. <https://doi.org/10.1007/s40477-023-00862-9>.
 20. Education and Practical Standards Committee, European Federation of Societies for Ultrasound in Medicine and Biology. Minimum training recommendations for the practice of medical ultrasound. *Ultraschall Med*. 2006;27(1):79-105. <https://doi.org/10.1055/s-2006-933605>.
 21. Minimum training requirements for the practice of Medical Ultrasound in Europe. *Ultraschall Med*. 2010;31(4):426-7. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1263214>.
 22. Вендиктова ДЮ, Борсуков АВ, Титов СВ. Устройство для обучения диагностике патологии внутренних органов методом эхоконтрастирования. Патент РФ №2611905; 2017. Venidiktova DY, Borsukov AV, Titov SV. Device for training in diagnosing internal organ pathology using echo-contrast. Patent RU 2611905; 2017. (In Russ.).
 23. Kheawwan P, Thanomlikhit C, Narajeeenron K. et al. Translation and psychometric validation of the Thai version of TeamSTEPS® team performance observation tool. *Journal of Interprofessional Care*, 2023;38(3):573-82. <https://doi.org/10.1080/13561820.2024.2307547>.
 24. Zhang C, Miller C, Volkman K, et al. Evaluation of the team performance observation tool with targeted behavioral markers in simulation-based interprofessional education. *J Interprof Care*. 2015;29(3):202-8. <https://doi.org/10.3109/13561820.2014.982789>.
 25. Sawyer T, Laubach VA, Hudak J, et al. Improvements in teamwork during neonatal resuscitation after interprofessional TeamSTEPS training. *Neonatal Netw*. 2013;32(1):26-33. <https://doi.org/10.1891/0730-0832.32.1.26>.
 26. McCormack HM, Horne DJ, Sheather S. Clinical applications of visual analogue scales: a critical review. *Psychol Med*. 1988;18(4):1007-19. <https://doi.org/10.1017/s0033291700009934>.
 27. Williamson A, Hoggart B. Pain: a review of three commonly used pain rating scales. *J Clin Nurs*. 2005;14(7):798-804. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2702.2005.01121.x>.
 28. Terkamp C, Kirchner G, Wedemeyer J, et al. Simulation of abdomen sonography. Evaluation of a new ultrasound simulator. *Ultraschall Med*. 2003;24(04):239-44. <https://doi.org/10.1055/s-2003-41713>
 29. Bloom BS, Engelhart MD, Furst EJ, et al. Taxonomy of educational objectives. Vol. 2. New York: Longmans, Green, 1964.
 30. Anderson LW, Krathwohl DR. A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives: complete edition. Addison Wesley Longman, Inc., 2001, 352 p.
 31. Altman DG. *Practical Statistics for Medical Research*. London: Chapman & Hall; 1990. 611 p.
 32. Bland JM, Altman DG. Statistics Notes: The use of transformation when comparing two means. *BMJ*. 1996;312:1153. <https://doi.org/10.1136/bmj.312.7039.1153>.
 33. Tukey JW. Comparing individual means in the analysis of variance. *Biometrics*. 1949;5(2):99-114.
 34. Benjamini Y, Hochberg Y. Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing. *J R Stat Soc B*. 1995;57(1):289-300. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1995.tb02031.x>.
 35. Spearman C. The proof and measurement of association between two things. *Am J Psychol*. 1904;15(1):72-101. <https://doi.org/10.2307/1412159>.
 36. Cronbach LJ. Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*. 1951;16(3):297-334. <https://doi.org/10.1007/BF02310555>.

37. Shrout PE, Fleiss JL. Intraclass correlations: uses in assessing rater reliability. *Psychol Bull.* 1979;86(2):420-8. <https://doi.org/10.1037//0033-2909.86.2.420>.
38. McNemar Q. Note on the sampling error of the difference between correlated proportions or percentages. *Psychometrika.* 1947;12(2):153-7. <https://doi.org/10.1007/BF02295996>.
39. Тиханкова АВ, Борсуков АВ, Буеверов АО и др. Усовершенствованная методика контрастно-усиленного ультразвукового исследования при хронических вирусных гепатитах. *Клиническая практика.* 2019;10(1):4-9. Tikhankova AV, Borsukov AV, Buyeverov AO, et al. Improved methods of the contrast-enhanced ultrasound in patient with chronic viral hepatitis. *Journal of Clinical Practice.* 2019;10(1):4-9. (In Russ.). <https://doi.org/10.17816/clinpract1014-9/>
40. Горбатенко ОА, Борсуков АВ. Способ определения длительности артериальной фазы контрастирования при контраст-усиленном ультразвуковом исследовании почек у пациентов с ангионепросклерозом. *Молодежь и медицинская наука.* 2022;11-12. Gorbatenko OA, Borsukov AV. Method for determining arterial-phase duration in renal contrast-enhanced ultrasonography in patients with angioneurosis. *Youth and Medical Science.* 2022;11-12. (In Russ.).
41. Тиханкова АВ, Борсуков АВ. Возможности контраст-усиленного ультразвукового исследования при диффузных заболеваниях печени (на примере хронических вирусных гепатитов). *Гепатология и гастроэнтерология.* 2022;6(1):25-31. Tikhankova AV, Borsukov AV. Capabilities of contrast-enhanced ultrasound in diffuse liver diseases: a chronic viral hepatitis model. *Hepatology and Gastroenterology.* 2022;6(1):25-31. (In Russ.). <https://doi.org/10.25298/2616-5546-2022-6-1-25-31>.
42. Борсуков АВ, Буеверов АО, Тиханкова АВ. Полуколичественная оценка контраст-усиленного ультразвукового исследования при хронических вирусных гепатитах. *Доктор.ру.* 2019;8(163):28-34. <https://doi.org/10.31550/1727-2378-2019-163-8-28-34>. Borsukov AV, Buyeverov AO, Tikhankova AV. Semiquantitative assessment of contrast-enhanced ultrasonography in chronic viral hepatitis. *Doctor.ru.* 2019;8(163):28-34. <https://doi.org/10.31550/1727-2378-2019-163-8-28-34>. (In Russ.).
43. Борсуков АВ, Горбатенко ОА. Изменения почечной гемодинамики по данным контраст-усиленного ультразвукового исследования у больных сахарным диабетом 2-го типа с различным клиническим течением. *Регионарное кровообращение и микроциркуляция.* 2023;22(1):24-33. <https://doi.org/10.24884/1682-6655-2023-22-1-24-33>. Borsukov AV, Gorbatenko OA. Renal hemodynamic changes assessed by contrast-enhanced ultrasound in type 2 diabetes patients with different clinical courses. *Regional Blood Circulation and Microcirculation.* 2023;22(1):24-33. <https://doi.org/10.24884/1682-6655-2023-22-1-24-33>. (In Russ.).
44. Schwarze V, Marschner C, de Figueiredo GN, et al. Contrast-enhanced ultrasound (CEUS) in the diagnostic evaluation of popliteal artery aneurysms, a single-center study. *Clin Hemorheol Microcirc.* 2020;76(2):191-7. <https://doi.org/10.3233/CH-209214>.
45. Bredahl KK, Taudorf M, Lönn L, et al. Contrast Enhanced Ultrasound can Replace Computed Tomography Angiography for Surveillance After Endovascular Aortic Aneurysm Repair. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2016;52(6):729-34. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2016.07.007>.
46. Sandulescu LD, Urhut CM, Sandulescu SM, et al. One stop shop approach for the diagnosis of liver hemangioma. *World J Hepatol.* 2021 Dec 27;13(12):1892-908. <https://doi.org/10.4254/wjh.v13.i12.1892>.
47. Kacala A, Dorochowicz M, Matus I, et al. Hepatic Hemangioma: Review of Imaging and Therapeutic Strategies. *Medicina (Kaunas).* 2024;60(3):449. <https://doi.org/10.3390/medicina60030449>.
48. Bhayana D, Kim TK, Jang HJ, et al. Hypervascular liver masses on contrast-enhanced ultrasound: the importance of wash-out. *AJR Am J Roentgenol.* 2010;194(4):977-83. <https://doi.org/10.2214/AJR.09.3375>.
49. Kong WT, Ji ZB, Wang WP, et al. Evaluation of Liver Metastases Using Contrast-Enhanced Ultrasound: Enhancement Patterns and Influencing Factors. *Gut Liver.* 2016;10(2):283-7. <https://doi.org/10.5009/gnl14324>.

Вклад авторов

А.В. Борсуков: обзор публикаций по теме статьи, разработка дизайна исследования, сбор данных.
Д.Ю. Шестакова: обзор публикаций по теме статьи, сбор данных, написание текста рукописи, статистическая обработка.
Ю.П. Бузулюков: создание экспериментальной версии отечественного эхоконтраста, сбор данных.
Н.С. Марченкова: создание экспериментальной версии отечественного эхоконтраста, сбор данных.

Authors' contributions

A.V. Borsukov: review of publications on the topic of the article, development of the study design, data collection.
D.Yu. Shestakova: review of publications on the topic of the article, data collection, writing the manuscript, statistical processing.
Yu.P. Buzulukov: creation of an experimental version of the domestic echocontrast, data collection.
N.S. Marchenkova: creation of an experimental version of the domestic echocontrast, data collection.
Conflict of interests. Authors declare the absence of conflict of interests.

Information about the authors

Alexey V. Borsukov, <https://orcid.org/0000-0003-4047-7252>
Daria Yu. Shestakova, <https://orcid.org/0000-0001-5497-1476>
Yuriy P. Buzulukov, <https://orcid.org/0000-0003-3833-0884>
Natalia S. Marchenkova, <https://orcid.org/0000-0003-0323-2731>

Финансирование. Работа выполнена с использованием личных средств авторов, а также частично за счет средств государственного задания НИЦ «Курчатовский институт»
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Соответствие принципам этики. Одобрение этического комитета не требовалось.
Информированное согласие. Пациенты подписали информированное согласие на публикацию данных.

Тип статьи: Оригинальная статья.
Поступила: 18.04.2025.
Принята к публикации: 10.06.2025.
Опубликована online: 26.09.2025.

Funding. This work was carried out using the authors' personal funds and was partially supported by the State Assignment of the National Research Center 'Kurchatov Institute'.
Conflict of interests. Not declared.
Ethical compliance. Ethical committee approval was not necessary.
Informed consent. The patients signed informed consent for the publication of the data.

Article type: Original article.
Received: 18.04.2025.
Accepted for publication: 10.06.2025.
Published online: 26.09.2025.