

ТРАНСЭЗОФАГЕАЛЬНАЯ ЭХОКАРДИОГРАФИЯ В СОВРЕМЕННОЙ АНЕСТЕЗИОЛОГИИ

В.Х. ШАРИПОВА, Н.Ф. БЕРДИЕВ, Р.А. РАХИМОВА, З.П. МУСУРМОНОВ

Республиканский научный центр экстренной медицинской помощи, Ташкент, Узбекистан

TRANSESOPHAGEAL ECHOCARDIOGRAPHY IN MODERN ANESTHESIOLOGY

V.KH. SHARIPOVA, N.F. BERDIEV, R.A. RAKHIMOVA, Z.P. MUSURMONOV

Republican Research Center for Emergency Medicine, Tashkent, Uzbekistan

Трансэзофагеальная эхокардиография (ТЭЭ) за последние десятилетия эволюционировала от узкоспециализированного метода до стандартного компонента интраоперационного и периоперационного мониторинга в современной анестезиологии. В данном обзорном исследовании проанализирована литература, посвящённая клиническому применению ТЭЭ, техническим инновациям, оценке гемодинамики и функции левого желудочка, роли ТЭЭ при специфических хирургических вмешательствах (кардиохирургия, сосудистая хирургия, трансплантология), образовательным аспектам и профилю безопасности метода. Показано, что при кардиохирургических вмешательствах ТЭЭ является стандартом ведения и приводит к изменению хирургической тактики более чем в 10% случаев, особенно при операциях на клапанах сердца и в рамках комбинированных вмешательств. Интеграция трёхмерной и четырёхмерной визуализации, миниатюризированных зондов и алгоритмов искусственного интеллекта расширяет возможности ТЭЭ, способствуя более точной оценке клапанной патологии и автоматизации интерпретации изображений. При транскатетерных структурных интервенциях ТЭЭ сохраняет статус золотого стандарта навигации, хотя интракардиальная эхокардиография рассматривается как альтернатива в отдельных клинических ситуациях. Анализ крупных проспективных исследований свидетельствует, что серьёзные осложнения ТЭЭ встречаются редко (порядка 0,08%), но могут привести к летальному исходу, а частота клинически значимых осложнений возрастает до 3–6% при длительных структурных вмешательствах. Симуляционное обучение оказалось эффективным для освоения навыков ТЭЭ, тогда как влияние рутинного использования ТЭЭ при некардиальной хирургии на клинические исходы остаётся недостаточно изученным. На основании критической оценки доказательной базы сформулированы практические рекомендации для анестезиологов и обозначены приоритетные направления будущих исследований, включая проведение крупных рандомизированных исследований в некардиальной хирургии, стандартизацию определений осложнений и клиническую валидацию алгоритмов искусственного интеллекта.

Ключевые слова: трансэзофагеальная эхокардиография, интраоперационный мониторинг, анестезиология, кардиохирургия, структурные сердечные интервенции, реанимационная эхокардиография, правый желудочек, спекл-трекинг, искусственный интеллект, осложнения, симуляционное обучение.

Transesophageal echocardiography (TEE) has transformed from a specialized diagnostic tool into a fundamental part of perioperative monitoring in modern anesthesiology. This comprehensive review synthesizes current evidence on the clinical applications of TEE, technological advances, assessment of hemodynamics and ventricular function, the role of TEE in specific surgical settings (including cardiac surgery, vascular surgery, and transplantation), educational approaches, and the safety profile of the technique. A thorough literature search was performed using PubMed/MEDLINE, Scopus, and Web of Science databases. In cardiac surgery, TEE has become the standard of care, with large prospective studies showing that intraoperative TEE results in changes to surgical plans in over 10% of

cases, especially during valvular and combined procedures. The use of three-dimensional and four-dimensional imaging, miniaturized probes, and artificial intelligence algorithms has broadened TEE's capabilities, allowing for more accurate assessment of valvular disease and enabling automated interpretation. In transcatheter structural interventions, TEE remains the gold standard for guiding procedures, although intracardiac echocardiography is increasingly considered as an alternative in select situations. Analysis of large-scale prospective studies shows that serious TEE-related complications are uncommon, happening in about 0.08% of examinations; however, these complications can be fatal, with a case fatality rate nearing 40%. Clinically significant complication rates rise to 3–6% during extended structural interventions. Simulation-based training has proven highly effective in developing TEE skills, as confirmed by the largest multicenter randomized controlled trial to date. The effects of routine TEE use in noncardiac surgery on clinical outcomes are still under-studied and represent an important knowledge gap that requires large-scale randomized trials. Based on a critical appraisal of the current evidence base, practical recommendations for anesthesiologists are formulated, and priority directions for future research are outlined, including large randomized trials in noncardiac surgery, standardization of complication definitions, and clinical validation of AI-driven algorithms.

Keywords: *transesophageal echocardiography, intraoperative monitoring, anesthesiology, cardiac surgery, structural heart interventions, resuscitative echocardiography, right ventricle, speckle-tracking, artificial intelligence, complications, simulation-based training.*

https://doi.org/10.54185/TBEM/vol19_iss2/a6

Введение

Трансэзофагеальная эхокардиография (ТЭЭ) – полунвазивный ультразвуковой метод, при котором датчик вводится в пищевод для получения высококачественных изображений сердечных структур без интерференции со стороны грудной клетки, лёгочной ткани или подкожной жировой клетчатки. С начала 1980-х годов метод прошёл путь от сугубо диагностического инструмента кардиологии до одного из ключевых компонентов периоперационного мониторинга, который сегодня входит в стандартный набор инструментов анестезиолога.

В повседневной клинической практике ТЭЭ решает три основные задачи. Мониторинговая функция обеспечивает непрерывную оценку гемодинамики и сократительной функции сердца в реальном времени. Диагностическая функция позволяет обнаружить патологию, недоступную другим методам визуализации. Навигационная функция имеет решающее значение при структурных кардиальных интервенциях и имплантации устройств механической поддержки кровообращения. Thaden и соавт. в комплексном обзоре опыта Mayo Clinic охарактеризовали интраоперационную ТЭЭ как зрелую технологию и обязательный элемент современной кардиохирургии, без которого невозможны ни адекватное

планирование операции, ни оценка наполнения камер сердца, ни своевременная коррекция субоптимальных хирургических результатов [1].

Эволюция ТЭЭ прошла через несколько знаковых этапов: одноплоскостные датчики 1980-х годов уступили место мультиплановым зондам в 1990-х годах, что значительно расширило возможности визуализации. В 2000-х годах была внедрена трёхмерная ТЭЭ в реальном времени, что существенно расширило возможности объёмной визуализации клапанного аппарата и полостей сердца. Современный этап (2019–2025 гг.) характеризуется рядом трансформационных тенденций: миниатюризированные 3D- зонды позволяют выполнять исследование под седацией без общей анестезии [2], алгоритмы искусственного интеллекта способны автоматически классифицировать проекции и оценивать функцию левого желудочка [3, 4], а область клинического применения ТЭЭ продолжает расширяться, охватывая некардиальную хирургию, трансплантологию, реаниматологию и ургентную медицину [5–7].

Особого внимания заслуживает опыт внедрения ТЭЭ в российскую кардиоанестезиологию. По данным Кричевского и Дзыбинской, чреспищеводная эхокардиография была впервые включена в состав анестезиологического мониторинга в России в 2003 году, однако на про-

тяжении последующих полутора десятилетий интраоперационная ТЭЭ была внедрена менее чем в 10% российских кардиохирургических клиник [52]. Авторы связывают этот разрыв с отсутствием системы сертификации анестезиологов в области ТЭЭ, ограниченной доступностью оборудования и недостаточным пониманием роли анестезиолога как координатора периоперационных терапевтических решений [52]. Тем не менее в последние пять лет наблюдается отчётливая тенденция к расширению применения ТЭЭ в российских федеральных центрах, что подтверждается увеличением числа отечественных публикаций по данной тематике.

Показательной является тенденция последних лет: парадигма использования ТЭЭ смещается. Если ранее метод применялся почти исключительно в кардиохирургической операционной, то сегодня область его применения значительно шире. В 2022 году Американское общество эхокардиографии (ASE) опубликовало обновлённые стандарты ТЭЭ-скрининга для структурных интервенций с описанием стандартизированного 28-проекционного протокола [8]. Nahn и соавт. в том же году сформулировали рекомендации по проведению предынтервенционного ТЭЭ-скрининга, ориентированные на идентификацию механизма дисфункции, определение анатомической и гемодинамической тяжести заболевания, а также выявление специфических анатомических особенностей, имеющих решающее значение при выборе устройств [8].

Настоящий обзор преследует несколько взаимосвязанных целей: определить современный уровень доказательности применения ТЭЭ в различных анестезиологических сценариях; выявить технологические инновации, наиболее существенно изменившие клиническую практику за последние пять лет; оценить профиль безопасности периоперационной ТЭЭ по данным современных проспективных исследований; наконец, обозначить пробелы в доказательной базе и проанализировать эффективность современных образовательных подходов.

Клиническое применение ТЭЭ в интраоперационном мониторинровании

Интраоперационная ТЭЭ является общепринятым стандартом в кардиохирургии. Крупное проспективное исследование Lomarat и соавт., проведённое на когорте из 624 пациентов в Таиланде, показало, что применение ТЭЭ привело к пересмотру хирургической тактики в 10,58% случаев (66/624), причём наиболее часто – при клапанных операциях (13,30%) и комбинированных вмеша-

тельствах (до 14,94%) [9]. Из этих случаев 68,18% пришлось на добавление незапланированных процедур, а 31,82% – на отмену ранее намеченных вмешательств [9]. Эти результаты хорошо согласуются с данными Thaden и соавт., которые подчёркивали уникальную способность ТЭЭ корректировать субоптимальные хирургические результаты до закрытия операционного поля [1].

В Российской Федерации важным шагом к стандартизации периоперационного обследования кардиохирургических пациентов стали клинические рекомендации Федерации анестезиологов и реаниматологов (ФАР). Заболотских И.Б., Баутин А.Е., Лебединский К.М. и соавт. в рекомендациях по периоперационному ведению пациентов с ишемической болезнью сердца (2020) подчеркнули роль эхокардиографии в стратификации риска и определении тактики анестезиологического обеспечения при кардиальной коморбидности [53]. Параллельно группой Козлова И.А. были систематизированы подходы к снижению периоперационных кардиальных осложнений, в которых эхокардиографическая оценка функции миокарда признана обязательным компонентом предоперационного обследования пациентов, направляемых на несердечные операции высокого риска [54].

Cutrone и соавт. в обзоре, опубликованном в журнале *Current Cardiology Reports*, отметили, что ASE и ACC/AHA выпустили обновлённые комплексные руководства по применению ТЭЭ для оценки кардиальных структур и имплантированных устройств. Это особенно актуально в условиях увеличения распространённости клапанной патологии и широкого применения устройств механической поддержки кровообращения [10].

Рост числа транскатетерных процедур (TAVR, MitraClip, LAAO) существенно расширил роль ТЭЭ в интервенционной кардиологии. Nahn и соавт. стандартизировали предынтервенционный ТЭЭ-скрининг, определив его как основу планирования процедур при структурных заболеваниях сердца [8]. По данным Schemberg и соавт., трёхмерная ТЭЭ применялась более чем в 67% случаев хирургии митрального клапана и более чем в 54% случаев клипирования [11].

Российский опыт применения трёхмерной и четырёхмерной чреспищеводной эхокардиографии в кардиохирургии клапанных пороков наиболее полно представлен в работах НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева. Голухова Е.З., Машина Т.В., Джанкетова В.С. и соавт. продемонстрировали, что интраоперационная 3D-ТЭЭ позволяет моделировать структуру клапана в режиме реального времени, превосходя двухмерную визуа-

лизацию по точности определения механизма митральной регургитации и планирования объёма клапаносохраняющей операции [55]. Сливнева И.В., Сокольская М.А., Скопин И.И. и соавт. с помощью методики Mitral Valve Quantification провели количественный анализ морфологии митрального клапана при функциональной регургитации, ассоциированной с фибрилляцией предсердий, и показали, что четырёхмерная эхокардиография существенно превосходит двухмерные методы в оценке геометрии клапанного кольца и створок [56].

Вместе с тем усиливается конкуренция со стороны интракардиальной эхокардиографии (ICE). English и соавт. провели сравнительный анализ обоих методов и заключили, что, несмотря на прогресс трёхмерных ICE-катетеров, ТЭЭ по-прежнему остаётся золотым стандартом прецизионной количественной оценки и перипроцедурной навигации [12]. При этом ICE может рассматриваться как оправданная альтернатива при анатомических ограничениях или невозможности проведения ТЭЭ. Curio и Körber подтвердили, что интервенционная эхокардиография стала обязательным компонентом современных структурных интервенций [13]. Важным преимуществом ICE является возможность выполнения вмешательств без общей анестезии, что сокращает затраты и упрощает организацию процедуры.

Применение ТЭЭ при некардиальных операциях эволюционировало от инструмента экстренной диагностики рефрактерной гипотензии до потенциального рутинного метода мониторинга у пациентов высокого риска. Swerdlow и соавт. разработали двухдневную программу обучения фокусированной ТЭЭ для некардиальных операций, указав на значительный объём данных наблюдательных исследований, подтверждающих способность ТЭЭ выявлять причину гемодинамического компромисса и направлять терапию [14]. Тем не менее вопрос о влиянии рутинного применения ТЭЭ в этом контексте на хирургические исходы авторы оставили открытым [14].

Bradley и соавт. в нарративном обзоре акцентировали внимание на растущей доказательной базе в пользу POCUS для анестезиологов, характеризуя его как быстрый неинвазивный метод оценки гемодинамически нестабильных пациентов, определения типа шока и оценки объёмного статуса [6].

Одно из наиболее динамично развивающихся направлений – использование ТЭЭ при остановке сердца. Обзор 2024 года показал, что интраарестная ТЭЭ позволяет визуализировать сердце без прерывания компрессий грудной

клетки, в отличие от трансторакальной эхокардиографии [15]. Kreamer и соавт. в ретроспективном исследовании показали, что паузы при проверке пульса были значительно короче при использовании ТЭЭ по сравнению с трансторакальной эхокардиографией [16].

Singh и соавт. описали серию из 25 пациентов, которым выполнялась реанимационная ТЭЭ в отделении неотложной помощи: адекватные проекции были получены в 100% случаев, тактика реанимации изменилась у 76% пациентов, рабочий диагноз был скорректирован также у 76%, а 8 из 25 (32%) пациентов были выписаны живыми [17]. Perez d'Empaire и соавт. в обзоре ASRA охарактеризовали реанимационную ТЭЭ как оптимальную ультразвуковую методику в руках анестезиолога, оказывающего помощь пациенту в критическом состоянии [7].

Практическую ценность метода демонстрирует наблюдение Amador и соавт.: ТЭЭ в реальном времени выявила, что первоначально компрессии грудной клетки ошибочно приходились на область выводного тракта левого желудочка, а не на его верхушку; после коррекции их положения артериальное давление и EtCO₂ увеличились [18]. Кроме того, ТЭЭ демонстрирует высокую диагностическую ценность при остром аортальном синдроме: по данным Абдурахманова и соавт., чувствительность и специфичность метода превышают 95% при визуализации восходящего отдела и дуги аорты, что делает его незаменимым в случаях, когда компьютерная томография недоступна или противопоказана [51].

ТЭЭ обеспечивает комплексную оценку систолической и диастолической функции левого желудочка в режиме реального времени. Фракция выброса (ФВ) по-прежнему остаётся наиболее распространённым показателем, однако её хорошо известные ограничения – зависимость от условий нагрузки и геометрических допущений – послужили стимулом для внедрения более чувствительных параметров. Глобальный продольный стрейн (GLS), определяемый методом спекл-трекинг-эхокардиографии, превосходит ФВ в раннем выявлении субклинической миокардиальной дисфункции и в меньшей степени зависит от угла визуализации и условий нагрузки [19, 20].

Российские исследователи внесли значимый вклад в изучение клинического применения спекл-трекинг-эхокардиографии. Олейников В.Э. и соавт. в проспективном исследовании, опубликованном в Российском кардиологическом журнале (2021), продемонстрировали, что глобальные параметры деформации, определяемые методом 2D-спекл-трекинга, обладают про-

гностической ценностью в отношении развития хронической сердечной недостаточности у пациентов после инфаркта миокарда с подъёмом сегмента ST по результатам 6-месячного наблюдения [57]. Эти данные расширяют доказательную базу применения деформационного анализа в периоперационном контексте, поскольку пациенты с субклинической дисфункцией левого желудочка представляют группу повышенного риска при хирургических вмешательствах.

Голухова Е.З. и соавт. в систематическом обзоре и метаанализе, опубликованных в Российском кардиологическом журнале (2023), установили, что продольная деформация свободной стенки правого желудочка, определяемая методом спекл-трекинг-эхокардиографии, является независимым прогностическим критерием неблагоприятных исходов у пациентов с лёгочной гипертензией [58]. Тот же коллектив авторов показал, что оценка деформации левого предсердия с помощью спекл-трекинг-эхокардиографии является надёжным предиктором послеоперационной фибрилляции предсердий после коронарного шунтирования [59]. Эти данные имеют непосредственное значение для анестезиологической практики, поскольку предоперационная идентификация пациентов с высоким риском послеоперационной аритмии позволяет модифицировать стратегию анестезиологического обеспечения и интенсивной терапии.

При этом Freeman и соавт. справедливо указали, что интраоперационное использование спекл-трекинга сопряжено с рядом практических ограничений: зависимостью от временного разрешения, чувствительностью к качеству изображения, межвендорной вариабельностью и дефицитом данных о валидации метода непосредственно в условиях интраоперационной ТЭЭ [19].

Правый желудочек долгое время оставался «забытой камерой» периоперационной эхокардиографии. Консенсусный документ POQI 2023 года предложил комплексный инструмент для его оценки, включая балльную шкалу PIR RAT для стратификации риска: при значении PIR RAT > 20 рекомендуется определение уровня BNP и эхокардиографическая оценка функции правого желудочка [21].

Проблема правожелудочковой дисфункции в кардиохирургии находит всё большее отражение в российской литературе. Голухова Е.З., Сливнева И.В., Скопин И.И. и соавт. в одноцентровом проспективном исследовании (2023) провели анализ функционального состояния правого желудочка у пациентов с вальвулопатиями левых камер сердца и установили, что при-

знаки дисфункции правого желудочка, выявляемые методом спекл-трекинг-эхокардиографии, являются достоверными предикторами осложнённого послеоперационного периода [60]. Результаты данной работы согласуются с международными консенсусными документами POQI и подчёркивают необходимость систематической оценки функции правого желудочка при предоперационном ТЭЭ-исследовании у кардиохирургических пациентов.

Баутин А.Е. в обзоре, опубликованном в Вестнике анестезиологии и реаниматологии, систематизировал данные о нормальной анатомии и физиологии правого желудочка, морфологических и функциональных изменениях при острой правожелудочковой недостаточности и подробно рассмотрел эхокардиографические критерии диагностики двух типов острой правожелудочковой недостаточности – снижения сократимости и перегрузки постнагрузкой [61]. Данная классификация имеет практическое значение для кардиоанестезиолога, определяя дифференцированный подход к интраоперационной инотропной и вазоактивной терапии.

Ibekwe и соавт. систематизировали параметры эхокардиографической оценки правого желудочка – TAPSE, площадь фракционного изменения, скорость систолической волны трикуспидального кольца, объёмные показатели при 3D-визуализации – и подчеркнули применимость ТЭЭ в ситуациях, когда трансторакальная эхокардиография невозможна или малоинформативна [22]. Ноу и соавт. и Revelly и соавт. особо выделили роль ТЭЭ при трансплантации лёгких, где правый желудочек особенно уязвим к периоперационным стрессовым воздействиям, включая ишемию-реперфузию и резкие колебания постнагрузки [23, 24].

Целенаправленная гемодинамическая терапия (GDHT) на основе данных ТЭЭ остаётся предметом активной дискуссии. Консенсусный документ POQI 2025 года рекомендовал GDHT в ряде специфических клинических ситуаций – при искусственном кровообращении, после кардиохирургических операций, при хирургическом лечении переломов шейки бедра, – хотя уровень доказательности этих рекомендаций был оценён как низкий [25]. Рутинное применение GDHT при больших абдоминальных вмешательствах, напротив, не рекомендовано [25]. Авторы подчеркнули необходимость индивидуализации гемодинамической терапии и обозначили перспективность технологически ассистированных подходов и предиктивных моделей искусственного интеллекта [25].

Zamper и соавт. в обзоре 30 исследований установили, что ТЭЭ после реконструкции митрального клапана позволяет оценить остаточную регургитацию, состояние створок и трансмитральный градиент, на основании чего принимается решение о повторной ревизии клапана [26]. Такой подход оптимизирует хирургическую тактику и снижает частоту повторных вмешательств в раннем послеоперационном периоде [26].

Castro-Verdes и соавт. подробно описали роль перипроцедурного ТЭЭ-навигационного сопровождения при эндоваскулярных вмешательствах на аорте, включая точное позиционирование стент-графтов и мониторинг осложнений в режиме реального времени [27]. При TEVAR ТЭЭ обеспечивает визуализацию проксимальной зоны посадки, оценку проходимости ветвей аорты и контроль функции сердца при манипуляциях крупнокалиберными катетерными системами [27].

Arcas-Bellas и соавт. представили обзор применения ТЭЭ при трансплантации печени, отметив упрощение процедурного подхода и возможность гемодинамической оценки в режиме реального времени [28]. Stoker и соавт. внедрили специализированный протокол ТЭЭ для трансплантации печени с акцентом на фазу реперфузии и оценку функции правого желудочка [29]. Christensen и соавт. разработали симуляционный курс ТЭЭ для трансплантологических анестезиологов, что отражает тенденцию к стандартизации обучения в данной области [30].

Revelly и соавт. в специализированном обзоре по трансплантации лёгких подчеркнули, что ТЭЭ предоставляет критически важную информацию о функции правого желудочка на всех этапах лечения – предоперационном, интраоперационном и послеоперационном, – что особенно важно при оценке ишемии-реперфузии и резких изменений постнагрузки [23].

ТЭЭ является неотъемлемым компонентом транскатетерных процедур (TAVR, TEER, LAO). Bartel в редакционной статье JACC Asia отметил, что, несмотря на тенденцию к минималистскому подходу без постоянного эхокардиографического сопровождения, ТЭЭ-навигация позволяет сократить использование контрастных веществ, облегчить проведение катетера через нативный аортальный клапан и оптимизировать позиционирование протеза [31]. Hasnie и соавт. в ретроспективном анализе 12 043 пациентов, подвергшихся ТЭЭ-ассистированному структурным интервенциям, зарегистрировали 3,6% серьёзных осложнений, среди которых наиболее часто встречались желудочно-кишечные кровотечения [32].

В контексте технологических инноваций необходимо отметить активное развитие применения искусственного интеллекта в российской кардиологической практике. Абукеримова С.К. и соавт. в обзоре, опубликованном в Российском кардиологическом журнале (2024), систематизировали пять приоритетных направлений применения искусственного интеллекта в кардиологии: автоматический анализ электрокардиограмм, интерпретация эхокардиографических изображений, обработка данных КТ и МРТ, оценка сердечно-сосудистых рисков и персонализированный подход к лечению [62]. Авторы подчеркнули, что нейросетевые алгоритмы демонстрируют точность, сопоставимую с экспертной оценкой, однако ключевыми нерешёнными проблемами остаются интерпретируемость моделей и необходимость их внешней валидации [62]. Примечательно, что, начиная с 2023 года, государственные медицинские организации России обязаны использовать медицинские изделия с элементами искусственного интеллекта, что создаёт институциональные предпосылки для интеграции алгоритмов искусственного интеллекта в эхокардиографическую практику, включая интраоперационную ТЭЭ.

Крупнейшим на сегодняшний день рандомизированным клиническим исследованием по симуляционному обучению ТЭЭ является многоцентровое исследование SIMULATOR (Pezel и соавт.), включившее 324 ординатора-кардиолога из 42 университетских центров Франции [33]. Участники были рандомизированы в группу симуляционного (2 сессии по 2 часа) или традиционного обучения. Через 3 месяца группа симуляционного обучения продемонстрировала более высокие теоретические и практические результаты, значительно меньшее время выполнения полного ТЭЭ-исследования ($8,3 \pm 1,4$ мин против $9,4 \pm 1,2$ мин; $p < 0,001$) и более высокую субъективную готовность; наибольший эффект наблюдался у ординаторов первых двух лет обучения [33, 34].

Jujo и соавт. в метаанализе 9 РКИ (суммарно 268 участников) подтвердили преимущества симуляционного обучения: стандартизированная разница средних составила 0,81 для практических навыков и 1,61 для теоретических знаний [35]. Su и Yuan в обновлённом метаанализе пришли к аналогичным выводам, указав на эффективность симуляционного обучения как для теоретической подготовки, так и для формирования практических и нетехнических навыков [36].

В Российской Федерации симуляционное обучение в области ультразвуковой диагностики

ки активно развивается под эгидой РОСОМЕД (Российского общества симуляционного обучения в медицине). Медицинский симуляционный центр Боткинской больницы реализует курсы по отработке навыков трансторакальной и чреспищеводной эхокардиографии для врачей – анестезиологов-реаниматологов [63]. Программы РУДН включают специализированный курс по чреспищеводной эхокардиографии в рамках программ профессиональной переподготовки [64]. Тем не менее, в отличие от международных программ с формализованной сертификацией (IAC, NBE), российская система подготовки пока не предусматривает единого стандарта аккредитации анестезиологов-реаниматологов в области ТЭЭ, что было отмечено ещё Кричевским и Дзыбинской как одно из ключевых препятствий к широкому внедрению метода [52].

В 2023 году Intersocietal Accreditation Commission (IAC) обновила стандарты аккредитации периоперационной ТЭЭ [37]. Swerdlow и соавт. указали на необходимость адаптации обучающих программ для различных категорий специалистов, в том числе медсестёр-анестезистов, и подчеркнули, что использование ТЭЭ при некардиальных операциях остаётся редким и требует разработки целенаправленного фокусированного протокола [14]. Ключевая дилемма заключается в следующем: полный курс ТЭЭ охватывает более 300 проекций и манипуляций [38], тогда как фокусированная (rescue) ТЭЭ может быть освоена в рамках двухдневного интенсивного курса [14].

Наиболее масштабным проспективным многоцентровым исследованием безопасности ТЭЭ остаётся работа Ramalingam и соавт., выполненная под эгидой АСТАСС [39]. В анализ были включены данные 22 314 ТЭЭ-исследований из 28 центров Великобритании и Ирландии. Серьёзные осложнения (повреждение нёба или гастроэзофагеальные повреждения) развились у 17 пациентов – 0,08% (95% ДИ 0,05–0,13%), что соответствует примерно одному случаю на 1300 исследований [39]. Семь случаев смерти (0,03%; 95% ДИ 0,01–0,07%) были непосредственно связаны с осложнениями ТЭЭ, что соответствует примерно одному летальному исходу на 3000 исследований [39, 40]. Ключевой вывод исследования заключается в том, что летальность после развития серьёзных осложнений достигала около 40% [39, 40].

Zhang и Xie в комплексном обзоре систематизировали данные, указав, что общая частота осложнений при рутинных исследованиях составляет 0,4–1,4%, а частота перфорации пищевода – 0,01–0,38%; авторы также предложили класси-

фикацию осложнений по тяжести и локализации [41].

Профиль безопасности ТЭЭ при длительных структурных интервенциях принципиально отличается от такового при рутинной кардиохирургии. Freitas-Ferraz и соавт. в проспективном анализе 50 пациентов, подвергшихся ТЭЭ-ассистированным перкутанным интервенциям, обнаружили новые повреждения пищевода (гематомы, разрывы, абразии) у 43 пациентов (86%) после процедуры; общая частота клинически значимых осложнений составила 6,1% [42]. Hasnie и соавт. зарегистрировали 3,6% серьёзных осложнений при анализе 12 043 структурных интервенций [32]. Afzal и соавт. в одноцентровом исследовании определили частоту осложнений ТЭЭ при структурных интервенциях, выполняемых под процедурной седацией, на уровне 5,3% [43].

Plowman и соавт. провели стандартизованную оценку глотания у 182 пациентов после кардиохирургических операций и установили, что получение более 100 ТЭЭ-изображений являлось независимым фактором риска дисфагии, а более 110 изображений – независимым фактором риска аспирации [44]. Bolton и соавт. впервые применили мультимодальную визуализацию для оценки послеоперационной функции глотания и продемонстрировали, что продолжительное давление ТЭЭ-зонда на стенку глотки вызывает временный парез нерва с развитием выраженной подострой дисфагии [45].

Ramalingam и соавт. обратили внимание на то, что большинство серьёзных осложнений возникло у пациентов без известных предрасполагающих факторов, что подчёркивает необходимость соблюдения универсальных мер предосторожности при каждом исследовании [39]. Zhang и Xie сформулировали систему абсолютных и относительных противопоказаний: к абсолютным отнесены перфорация полого органа, стриктуры или опухоли пищевода, активное кровотечение из верхних отделов желудочно-кишечного тракта; к относительным – лучевая терапия области шеи и средостения в анамнезе, пищевод Барретта, варикозное расширение вен пищевода и коагулопатия [41]. Kumamoto и соавт. в исследовании на манекенах показали, что использование видеоларингоскопа McGrath Mac при введении ТЭЭ-зонда позволяет снизить число попыток и связанные с ними риски [46].

Проведённый анализ литературы за 2019–2024 гг. позволяет систематизировать современное состояние ТЭЭ в анестезиологии. По ряду позиций наблюдается высокая согласованность данных: все крупные руководства (ASE 2022, ACC/

АНА, SCA) и обзорные публикации (Thaden, 2020; Cutrone, 2024) подтверждают критическую роль ТЭЭ при операциях на клапанах сердца, аорте и при коронарном шунтировании [1, 8, 10]. Многочисленные исследования свидетельствуют о более высокой точности трёхмерной визуализации при планировании клапанных операций и структурных интервенций [11, 48]. Проспективное исследование Ramalingam и соавт. показало, что смертность, непосредственно связанная с ТЭЭ, составляет около 0,03%, а летальность после развития серьёзных осложнений достигает около 40% [39]. Результаты исследования SIMULATOR и метаанализа Jujo и соавт. свидетельствуют о преимуществах симуляционного обучения [33, 35].

Анализ российских публикаций за 2020–2025 гг. позволяет выявить ряд специфических аспектов. Во-первых, российские данные подтверждают общемировую тенденцию к расширению использования спекл-трекинг-эхокардиографии как инструмента периоперационной стратификации риска: работы Голуховой и соавт. [58–60] и Олейникова и соавт. [57] демонстрируют прогностическую ценность деформационного анализа в различных кардиохирургических и кардиологических сценариях. Во-вторых, отечественный опыт интраоперационной 3D-ТЭЭ [55, 56] хорошо согласуется с международными данными о преимуществах объёмной визуализации при клапанной хирургии [11, 48]. В-третьих, активное развитие направления искусственного интеллекта в российской кардиологии [62] создаёт предпосылки для будущей интеграции алгоритмов искусственного интеллекта в отечественную практику интраоперационной ТЭЭ, хотя клинические исследования по их валидации пока остаются единичными.

Вместе с тем российский опыт выявляет и существенные расхождения с мировой практикой. Ключевое из них – крайне ограниченное распространение интраоперационной ТЭЭ за пределами ведущих федеральных центров [52]. Отсутствие формализованной системы сертификации и аккредитации анестезиологов в области ТЭЭ контрастирует с развитой системой подготовки в США (NBE, RTEEХАМ), Европе и Великобритании [37, 52]. Это несоответствие определяет одно из приоритетных направлений развития – создание национальной программы обучения и сертификации по интраоперационной ТЭЭ с использованием современных симуляционных технологий [63, 64].

Тем не менее по ряду ключевых вопросов сохраняются разногласия. Нет консенсуса в отношении рутинного применения ТЭЭ при некар-

диальной хирургии: одни авторы выступают за более широкое внедрение [6, 7], другие указывают на отсутствие доказанного влияния метода на клинические исходы [14]. Хотя ТЭЭ остаётся золотым стандартом при структурных интервенциях, ICE постепенно становится альтернативой, не требующей общей анестезии [12, 13]. Разброс частоты осложнений – от 3,6% [32] до 6,1% [42] – отражает неоднородность используемых определений, методологии исследований и характеристик изучаемых популяций.

Среди ключевых тенденций выделяются: расширение показаний к применению ТЭЭ – от кардиохирургии к некардиальным операциям, реанимации, критической медицине и отделениям неотложной помощи [5–7, 14]; миниатюризация оборудования (мини-3D-зонды, инвеллинг-системы ClariTEE, портативные устройства), расширяющая возможности применения метода за пределами операционной [2, 5, 49]; интеграция алгоритмов искусственного интеллекта – автоматическая классификация проекций с АУС до 0,971 [4], непрерывный мониторинг функции левого желудочка посредством autoMAPSE [3], спекл-трекинг [19, 20]; формирование минимальных протоколов фокусированной ТЭЭ для некардиоанестезиологов [14]; наконец, повышение внимания к безопасности на основании данных проспективных национальных аудитов, выявивших более высокую, чем предполагалось ранее, летальность при развитии осложнений [39, 40].

Сильные рекомендации (уровень доказательности В): применение ТЭЭ при всех значимых кардиохирургических операциях [1, 9, 10]; использование 3D-ТЭЭ при оценке митрального и аортального клапанов при наличии соответствующего оборудования и необходимой экспертной подготовки [11, 48]; интеграция симуляционного обучения в программы подготовки специалистов [33, 35]; систематический опрос пациента о заболеваниях пищевода перед проведением исследования [39, 41].

Условные рекомендации (уровень доказательности С): освоение фокусированной ТЭЭ всеми анестезиологами для применения при необъяснимой гемодинамической нестабильности [6, 14]; использование ТЭЭ при трансплантации печени и лёгких [23, 28, 29]; применение ТЭЭ при остановке сердца для проведения СЛР без прерывания компрессий грудной клетки [15, 18]; ограничение количества ТЭЭ-изображений (менее 100–110) для снижения риска дисфагии [44].

Области, требующие дальнейших исследований (уровень доказательности D): влияние рутинного применения ТЭЭ на клинические исходы

при некардиальной хирургии высокого риска; клиническая валидация алгоритмов искусственного интеллекта [3, 4]; сравнительная эффективность ТЭЭ и ICE при различных типах структурных интервенций [12, 13]; разработка оптимальных протоколов фокусированной ТЭЭ; оценка долгосрочных результатов применения миниатюризированных зондов в интенсивной терапии [2, 5].

Выявленные пробелы определяют приоритеты будущих исследований. В первую очередь необходимо проведение крупного многоцентрового рандомизированного клинического исследования, сравнивающего интраоперационное применение ТЭЭ с её отсутствием при некардиальных операциях высокого риска (первичная конечная точка – 30-дневная смертность и комбинированная частота серьёзных осложнений). Не менее актуальны проспективные исследования по клинической валидации алгоритмов искусственного интеллекта в реальных клинических условиях с оценкой их влияния на скорость принятия решений и клинические исходы [3, 4]. Стандартизация определений осложнений является обязательным условием сопоставимости данных между центрами и создания международного реестра [32, 39, 41, 42]. Наконец, представляют интерес исследования, посвящённые кривой обучения фокусированной ТЭЭ у специалистов различного профиля, а также фармакоэкономический анализ внедрения рутинной ТЭЭ при некардиальных операциях с учётом изменения хирургической тактики, предотвращённых осложнений и стоимости оборудования.

Для российской анестезиологии дополнительными приоритетами являются: разработка и внедрение национальной программы обучения и сертификации по интраоперационной ТЭЭ с учётом международного опыта IAC и NBE [37, 52]; проведение многоцентровых отечественных исследований по оценке частоты изменения хирургической тактики на основании данных интраоперационной ТЭЭ в российских кардиохирургических центрах; клиническая валидация отечественных алгоритмов искусственного интеллекта для автоматической интерпретации эхокардиографических изображений [62]; расширение доступности оборудования для 3D-ТЭЭ за пределами федеральных центров.

Заключение

За последние годы область применения ТЭЭ значительно расширилась: от кардиохирургии и структурных кардиальных интервенций до некардиальных операций высокого риска, реанимационных мероприятий и отделений неотлож-

ной помощи. Интраоперационная ТЭЭ способна изменять хирургическую тактику более чем у 10% пациентов, перенёвших кардиохирургические вмешательства. Трёхмерная и четырёхмерная визуализация, миниатюрные зонды и алгоритмы искусственного интеллекта существенно повышают диагностическую точность метода и расширяют его доступность. Профиль безопасности ТЭЭ в целом благоприятный: частота серьёзных осложнений составляет около 0,08%, однако они могут представлять непосредственную угрозу для жизни. Это обуславливает необходимость соблюдения универсальных мер предосторожности и тщательного отбора пациентов с учётом имеющихся противопоказаний.

Симуляционное обучение подтвердило свою эффективность и должно стать обязательным компонентом подготовки анестезиологов, обеспечивая стандартизацию практических навыков и повышение качества проводимых исследований. Следует отметить, что ТЭЭ находит применение и в смежных областях экстренной медицины, в частности при диагностике острого аортального синдрома, где метод характеризуется высокой чувствительностью и специфичностью при визуализации восходящего отдела и дуги аорты.

Анализ российских данных за 2020–2025 гг. свидетельствует о значительном прогрессе в изучении диагностических возможностей эхокардиографии, особенно в области спекл-трекинг-технологий и 3D/4D-визуализации. Вместе с тем внедрение интраоперационной ТЭЭ в повседневную анестезиологическую практику в России существенно отстаёт от международного уровня, что обусловлено прежде всего отсутствием системы сертификации специалистов и ограниченной доступностью соответствующего оборудования. Создание национальной программы обучения и аккредитации, расширение материально-технической базы, а также проведение собственных многоцентровых клинических исследований представляются ключевыми направлениями развития данной области отечественной анестезиологии.

Вместе с тем влияние рутинного интраоперационного применения ТЭЭ на клинические исходы при некардиальных хирургических вмешательствах остаётся недостаточно изученным и требует проведения крупных многоцентровых рандомизированных исследований. Дальнейшее развитие метода будет определяться совершенствованием образовательных программ, внедрением технологий искусственного интеллекта и расширением доказательной базы в отношении новых клинических показаний.

Литература

1. Thaden J.J., Malouf J.F., Rehfeldt K.H., Ashikhmina E., Bagameri G., Enriquez-Sarano M. et al. Adult intraoperative echocardiography: a comprehensive review of current practice. *J Am Soc Echocardiogr.* 2020; 33(6):735–755.e11. doi:10.1016/j.echo.2020.01.012.
2. Barki M., Hahn R.T. Mini 3D transesophageal probe: technical advances and clinical applications. *Cardiovasc Ultrasound.* 2025; 23(1):17. doi:10.1186/s12947-025-00354-2.
3. Berg E.A.R., Taskén A.A., Nordal T., Grenne B., Espeland T., Kirkeby-Garstad I. et al. Fully automatic estimation of global left ventricular systolic function using deep learning in transoesophageal echocardiography. *Eur Heart J Imaging Methods Pract.* 2023; 1(1):qyad007. doi:10.1093/ehjimp/qyad007.
4. Steffner K.R., Christensen M., Gill G., Bowdish M., Rhee J., Kumaresan A. et al. Deep learning for transesophageal echocardiography view classification. *Sci Rep.* 2024; 14(1):11. doi:10.1038/s41598-023-50735-8.
5. Torre D.E., Pirri C. Point-of-care transesophageal echocardiography in emergency and intensive care: an evolving imaging modality. *Biomedicine.* 2025; 13(11):2680. doi:10.3390/biomedicine13112680.
6. Bradley C.A., Ma C., Hollon M.M. Perioperative point-of-care ultrasound for hemodynamic assessment: a narrative review. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth.* 2023; 27(3):208–223. doi: 10.1177/10892532231165088.
7. Perez d'Empaire P., Neethling E., Giron-Arango L., Moreno Garijo J. POCUS spotlight: resuscitative perioperative transesophageal echocardiography. *ASRA Pain Med News.* 2024; 49(1). doi:10.52211/asra020124.014.
8. Hahn R.T., Saric M., Faletra F.F., Garg R., Gillam L.D., Horton K. et al. Recommended standards for the performance of transesophageal echocardiographic screening for structural heart intervention: from the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.* 2022; 35(1):1–76. doi:10.1016/j.echo.2021.07.006.
9. Lomarat N., Suppasilp C., Khumchoei Sidfeldt C. Impact of intraoperative transesophageal echocardiogram on changes in surgical management among patients undergoing cardiovascular surgery in Thailand. *PLoS One.* 2026; 21(1):e0341156. doi:10.1371/journal.pone.0341156.
10. Cutrone M., Cotter S., Swaminathan M., McCartney S. Intraoperative echocardiography: guide to decision-making. *Curr Cardiol Rep.* 2024; 26(6):581–591. doi:10.1007/s11886-024-02054-1.
11. Schemberg M., Ender J., Bence J., van der Maaten J., Kunstd G., Mukherjee C. et al. Intraoperative and intraprocedural use of 3-dimensional transesophageal echocardiography: an international European Association of Cardiothoracic Anesthesia and Intensive Care survey of cardiac surgical centers. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2024; 38(7):1467–1476. doi:10.1053/j.jvca.2024.02.042.
12. English C.W., Rogers J.H., Smith T.W. Intracardiac echocardiographic guidance for structural heart procedures: current utility as compared to transesophageal echocardiography. *Interv Cardiol Clin.* 2024; 13(1):39–49. doi:10.1016/j.iccl.2023.08.008.
13. Curio J., Körber M.I. Intracardiac echocardiography: the front-row view to structural heart interventions. *JACC Case Rep.* 2024; 29(24):102724. doi:10.1016/j.jaccas.2024.102724.
14. Swerdlow B., Osborne-Smith L., Soelberg J. Design of a workshop for focused transesophageal echocardiography during noncardiac surgery in nurse anesthesia education. *J Med Educ Curric Dev.* 2024; 11:23821205241229001. doi: 10.1177/23821205241229001.
15. Ho Y.J., Sung C.W., Chen Y.C., Lien W.C., Chang W.T., Huang C.H. Performance of intra-arrest echocardiography: a systematic review. *West J Emerg Med.* 2024; 25(2):166–174. doi:10.5811/westjem.18440.
16. Fair J. 3rd, Mallin M.P., Adler A., Ockerse P., Steenblik J., Tonna J. et al. Transesophageal echocardiography during cardiopulmonary resuscitation is associated with shorter compression pauses compared with transthoracic echocardiography. *Ann Emerg Med.* 2019; 73(6):610–616. doi:10.1016/j.annemergmed.2019.01.018.
17. Kegel F., Chenkin J. Resuscitative transesophageal echocardiography in the emergency department: a single-centre case series. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* 2023; 31(1):24. doi:10.1186/s13049-023-01077-x.
18. Amador Y. Point-of-care transesophageal echocardiogram-guided CPR: area of maximal compression. *POCUS J.* 2025; 10(1):61–63. doi:10.24908/pocusj.v10i01.18111.
19. Benson M.J., Silvertown N., Morrissey C., Zimmerman J. Strain imaging: an everyday tool for the perioperative echocardiographer. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2020; 34(10):2707–2717. doi: 10.1053/j.jvca.2019.11.035.
20. Vander Zwaag S., Labus J., Winata J., Alexiou K., Ryłski B., Fassl J. Feasibility of intraoperative 3-dimensional speckle-tracking echocardiography in patients undergoing surgical aortic valve replacement: a prospective observational pilot study. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2025; 39(1):61–68. doi:10.1053/j.jvca.2024.09.146.
21. Ibekwe S.O., Deschamps J., Grocott M.P.W., Liang Y., Shaw A., Perry T.E. et al. Perioperative Quality Initiative (POQI) consensus statement on perioperative assessment of right ventricular function. *Perioper Med (Lond).* 2023; 12(1):66. doi:10.1186/s13741-023-00351-x.
22. Vandenheuvel M., Bouchez S., Labus J., Wouters P.F., Mauermann E. Assessing right ventri-

- cular function in the perioperative setting, Part I: echo-based measurements. *Anesthesiol Clin*. 2025; 43(2):283–304. doi:10.1016/j.anclin.2025.02.007.
23. Arora R.C., Brown J.K., Chatterjee S., Gan T.J., Singh G., Tong M.Z. et al. Perioperative management of the vulnerable and failing right ventricle. *Perioper Med (Lond)*. 2024; 13:40. doi:10.1186/s13741-024-00397-5.
 24. Revelly E., Denault A., Moore A. Right ventricular function assessment by transesophageal echocardiography in lung transplantation: preoperative, intraoperative, and postoperative considerations. *JHLT Open*. 2026; 11:100412. doi:10.1016/j.jhlto.2025.100412.
 25. Edwards M.R., Kunst G., Forni L.G., Chappell D., Miller T.E. et al. Perioperative Quality Initiative consensus statement on goal-directed haemodynamic therapy. *Br J Anaesth*. 2025; 135(3):547–560. doi:10.1016/j.bja.2025.05.033.
 26. Zamper R.P.C., Prempeh A., Iglesias I., Fayad A. Intraoperative transesophageal echocardiography following mitral valve repair: a systematic review. *Braz J Anesthesiol*. 2022; 72(3):379–397. doi:10.1016/j.bjane.2022.03.002.
 27. Castro-Verdes M., Yuan X., Mitsis A., Barone-Rochette G., Huttin O., Reant P. et al. Transesophageal ultrasound guidance for endovascular interventions on the aorta. *J Clin Med*. 2022; 11(11):3205. doi:10.3390/jcm11113205.
 28. Arcas-Bellas J.J., Siljeström R., Sánchez C., González A., García-Fernández J. Use of transesophageal echocardiography during orthotopic liver transplantation: simplifying the procedure. *Transplant Direct*. 2024; 10(2):e1564. doi:10.1097/TXD.0000000000001564.
 29. Stoker A.D., Khurmi N., Girardo M.E., Frasco P.E. Implementation of a liver transplant-specific TEE guide to reinforce concepts learned in hands-on workshops. *J Med Educ Curric Dev*. 2024; 11:23821205241228992. doi: 10.1177/ 23821205241228992.
 30. Christensen J.M., Nelson J.A., Klompas A.M., Hofer R.E., Findlay J.Y. The success of a simulation-based transesophageal echocardiography course for liver transplant anesthesiologists. *J Educ Perioper Med*. 2021; 23(4):E672. doi:10.46374/volxxiii_issue4_christensen.
 31. Bartel T. Intracardiac echocardiography: guiding tool in transcatheter aortic valve implantation. *JACC Asia*. 2023; 3(5):677–689. doi:10.1016/j.jaccasi.2023.08.002.
 32. Hasnie A.A., Parcha V., Hawi R., Trump M., Shetty N.S., Ahmed M.I. et al. Complications associated with transesophageal echocardiography in transcatheter structural cardiac interventions. *J Am Soc Echocardiogr*. 2023; 36(4):381–390. doi:10.1016/j.echo.2022.12.023.
 33. Pezel T., Dreyfus J., Mouhat B., Thébaud C., Audureau E., Bernard A. et al. Effectiveness of simulation-based training on transesophageal echocardiography learning: the SIMULATOR randomized clinical trial. *JAMA Cardiol*. 2023; 8(3):248–256. doi:10.1001/jamacardio.2022.5016.
 34. Spooner M., Berlacher K. Jump-starting the journey to transesophageal echocardiogram mastery. *JAMA Cardiol*. 2023; 8(3):256–257. doi:10.1001/jamacardio.2022.5030.
 35. Jujo S., Nakahira A., Kataoka Y., Banno M., Tsujimoto Y., Tsujimoto H. et al. Transesophageal echocardiography simulator training: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Simul Healthc*. 2021; 16(5):341–352. doi:10.1097/SIH.0000000000000537.
 36. Su Y., Yuan D. A review regarding the article “Impact of simulation-based training on transesophageal echocardiography learning: a systemic review and meta-analysis of randomized controlled trials”. *Curr Probl Cardiol*. 2024; 49(9):102717. doi:10.1016/j.cpcardiol.2024.102717.
 37. Intersocietal Accreditation Commission. IAC Standards & Guidelines for Perioperative Transesophageal Echocardiography Accreditation. Ellicott City, MD: Intersocietal Accreditation Commission; 2023.
 38. Hahn R.T., Abraham T., Adams M.S., Bruce C.J., Glas K.E., Lang R.M. et al. Guidelines for performing a comprehensive transesophageal echocardiographic examination: recommendations from the American Society of Echocardiography and the Society of Cardiovascular Anesthesiologists. *J Am Soc Echocardiogr*. 2013; 26(9):921–964. doi:10.1016/j.echo.2013.07.009.
 39. Ramalingam G., Choi S.W., Agarwal S., Kunst G., Gill R., Fletcher S.N. et al. Complications related to peri-operative transoesophageal echocardiography: a one-year prospective national audit by the Association of Cardiothoracic Anaesthesia and Critical Care. *Anaesthesia*. 2020; 75(1):21–26. doi:10.1111/anae.14734.
 40. Ashworth A.D., Greenhalgh D.L. Strategies for the prevention of peri-operative transoesophageal echocardiography-related complications. *Anaesthesia*. 2020; 75(1):3–6. doi:10.1111/anae.14772.
 41. Zhang L., Xie Y., Ren Z., Xie M. Transesophageal echocardiography related complications. *Front Cardiovasc Med*. 2024; 11:1410594. doi:10.3389/fcvm.2024.1410594.
 42. Freitas-Ferraz A.B., Bernier M., Vaillancourt R., Ugalde P.A., Nicodème F., Paradis J.M. et al. Safety of transesophageal echocardiography to guide structural cardiac interventions. *J Am Coll Cardiol*. 2020; 75(25):3164–3173. doi: 10.1016/j.jacc.2020.04.069.
 43. Afzal S., Zeus T., Hofsähs T., Hellhammer K., Pötter C., Ibing W. et al. Safety of transoesophageal echocardiography during structural heart disease interventions under procedural sedation: a single-centre study. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2022; 23(4):e133–e141. doi:10.1093/ehjci/jeab280.
 44. Plowman E.K., Anderson A., York J.D., DiBiase L., Vasilopoulos T., Arnaoutakis G. et al. Dysphagia

- after cardiac surgery: prevalence, risk factors, and associated outcomes. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2023; 165(2):737–746.e3. doi:10.1016/j.jtcvs.2021.02.087.
45. Bolton L., Skeoch C., Bhudia S.K., Sutt A.L. Pharyngeal dysphagia after transesophageal echocardiography. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2023; 37(9):1751–1756. doi:10.1053/j.jvca.2023.05.017.
 46. Kumamoto T., Tashima K., Hiraoka C., Ikuta Y., Yamamoto T. McGrath MAC video laryngoscope assistance during transesophageal echocardiography may reduce the risk of complications: a manikin study. *BMC Anesthesiol.* 2021; 21(1):14. doi:10.1186/s12871-020-01231-3.
 47. Das K., Sen J., Borode A.S. Application of echocardiography in anaesthesia: from preoperative risk assessment to postoperative care. *Cureus.* 2024; 16(9):e69559. doi:10.7759/cureus.69559.
 48. Italiano G., Belli M., Lassandro Pepe F. 3D echocardiography to plan aortic valve surgery and evaluate the results. *Vessel Plus.* 2025; 9:61. doi:10.20517/2574-1209.2024.61.
 49. Sarosiek K., Kang C.Y., Johnson C.M., Pitcher H., Hirose H., Cavarocchi N.C. Perioperative use of the ImaCor hemodynamic transesophageal echocardiography probe in cardiac surgery patients: initial experience. *ASAIO J.* 2014; 60(5):553–558. doi:10.1097/MAT.0000000000000113.
 50. Kegel F., Chenkin J. Resuscitative transesophageal echocardiography in the emergency department: a single-centre case series. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* 2023; 31(1):24. doi:10.1186/s13049-023-01077-x.
 51. Абдурахманов А.А., Обейд М.А., Рахимова Р.А., Султанов О.С. Диагностика острого аортального синдрома в экстренной медицине: современные алгоритмы и международный опыт. *Вестник экстренной медицины.* 2025; 18(4):73–82 [Abdurakhmanov A.A., Obeid M.A., Rakhimova R.A., Sultanov O.S. Diagnosis of acute aortic syndrome in emergency medicine: modern algorithms and international experience. *The Bulletin of Emergency Medicine.* 2025; 18(4):73–82. In Russian]. doi:10.54185/TBEM/vol18_iss4/a9.
 52. Krichevskiy L.A., Dzybinskaya E.V. Fifteen years of transesophageal echocardiography in cardiac anesthesia in Russia. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2019; 33(12):3375–3382. doi:10.1053/j.jvca.2019.06.001.
 53. Заболотских И.Б., Потиевская В.И., Баутин А.Е., Григорьев Е.В., Григорьев С.В., Грицан А.И. и др. Периоперационное ведение пациентов с ишемической болезнью сердца. *Анестезиология и реаниматология.* 2020; (3):5–18 [Zabolotskikh I.B., Potievskaya V.I., Bautin A.E., Grigoryev E.V., Grigoryev S.V., Gritsan A.I. et al. Perioperative management of patients with coronary artery disease. *Anesteziol Reanimatol.* 2020; (3):5–18. In Russian]. doi:10.17116/anaesthesiol20200315.
 54. Козлов И.А., Овезов А.М., Пивоварова А.А. Снижение риска периоперационных осложнений при кардиальной коморбидности. *Вестник анестезиологии и реаниматологии.* 2020; 17(2):38–48 [Kozlov I.A., Ovezov A.M., Pivovarova A.A. Reducing the risk of perioperative complications in cardiac comorbidity. *Vestnik Anesteziologii i Reanimatologii.* 2020; 17(2):38–48. In Russian]. doi:10.21292/2078-5658-2020-17-2-38-48.
 55. Голухова Е.З., Машина Т.В., Джанкетова В.С., Мрикаев Д.В. Трехмерная чреспищеводная эхокардиография в топической диагностике поражений митрального клапана у больных с гемодинамически значимой митральной недостаточностью. *Креативная кардиология.* 2020; 14(4):339–348 [Golukhova E.Z., Mashina T.V., Dzhancketova V.S., Mrikaev D.V. Three-dimensional transesophageal echocardiography in the topical diagnosis of mitral valve lesions in patients with hemodynamically significant mitral insufficiency. *Kreativnaya Kardiologiya.* 2020; 14(4):339–348. In Russian]. doi:10.24022/1997-3187-2020-14-4-339-348.
 56. Сливнева И.В., Сокольская Н.О., Скопин И.И. и др. Количественный анализ морфологии митрального клапана при функциональной митральной регургитации, вторичной к фибрилляции предсердий, с помощью четырехмерной эхокардиографии. *Материалы XXIII ежегодной сессии НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева.* Москва; 2019 [Slivneva I.V., Sokolskaya N.O., Skopin I.I. et al. Quantitative analysis of mitral valve morphology in functional mitral regurgitation secondary to atrial fibrillation using four-dimensional echocardiography. *Proceedings of the XXIII Annual Session of the A.N. Bakulev National Medical Research Center of Cardiovascular Surgery.* Moscow; 2019. In Russian].
 57. Олейников В.Э., Голубева А.В., Галимская В.А., Барменкова Ю.А., Шиготарова Е.А., Бабина А.В. Спекл-трекинг-эхокардиография в ранней диагностике хронической сердечной недостаточности после инфаркта миокарда с подъемом сегмента ST. *Российский кардиологический журнал.* 2021; 26(1):4088 [Oleynikov V.E., Golubeva A.V., Galimskaya V.A., Barmenkova Yu.A., Shigotarova E.A., Babina A.V. Speckle-tracking-echocardiography in the early diagnosis of chronic heart failure after ST-segment elevation myocardial infarction. *Russian Journal of Cardiology.* 2021; 26(1):4088. In Russian]. doi:10.15829/1560-4071-2021-4088.
 58. Голухова Е.З., Сливнева И.В., Мамалыга М.Л., Марапов Д.И., Алехин М.Н., Скопин И.И. и др. Продольная деформация свободной стенки правого желудочка по данным спекл-трекинг-эхокардиографии как прогностический критерий неблагоприятных исходов у пациентов с лёгочной гипертензией: систематический обзор и метаанализ. *Российский кардиологический журнал.* 2021; 26(1):4088. In Russian]. doi:10.15829/1560-4071-2021-4088.

- ский журнал. 2021; 26(4):4417 [Golukhova E.Z., Slivneva I.V., Mamalyga M.L., Marapov D.I., Alekhin M.N., Skopin I.I. et al. Right ventricular free wall longitudinal strain assessed by speckle-tracking- echocardiography as a prognostic criterion for adverse outcomes in patients with pulmonary hypertension: a systematic review and meta-analysis. Russian Journal of Cardiology. 2021; 26(4):4417. In Russian]. doi:10.15829/1560-4071-2021-4417.
59. Голухова Е.З., Булаева Н.И., Мрикаев Д.В., Александрова С.А., Кудряшова Е.Н. и др. Оценка деформации левого предсердия методом спекл-трекинг-эхокардиографии для прогнозирования послеоперационной фибрилляции предсердий после коронарного шунтирования: систематический обзор и метаанализ. Российский кардиологический журнал. 2023; 28(7): 5349 [Golukhova E.Z., Bulaeva N.I., Mrikaev D.V., Aleksandrova S.A., Kudryashova E.N. et al. Assessment of left atrial strain using speckle-tracking echocardiography for predicting postoperative atrial fibrillation after coronary artery bypass grafting: a systematic review and meta-analysis. Russian Journal of Cardiology. 2023; 28(7):5349. In Russian]. doi:10.15829/1560-4071-2023-5349.
 60. Голухова Е.З., Сливнева И.В., Скопин И.И., Фарулова И.Ю., Пирушкина Ю.Д., Мурысова Д.В. и др. Правожелудочковая дисфункция в качестве предиктора осложнений в кардиохирургии левых пороков сердца. Российский кардиологический журнал. 2023; 28(6):5264 [Golukhova E.Z., Slivneva I.V., Skopin I.I., Farulova I.Yu., Pirushkina Yu.D., Murysova D.V. et al. Right ventricular dysfunction as a predictor of complications in cardiac surgery for left-sided valvular heart disease. Russian Journal of Cardiology. 2023; 28(6):5264. In Russian]. doi:10.15829/1560-4071-2023-5264.
 61. Баутин А.Е., Осовских В.В. Острая правожелудочковая недостаточность. Вестник анестезиологии и реаниматологии. 2018; 15(5): 74–86 [Bautin A.E., Osovskikh V.V. Acute right ventricular failure. Vestnik Anesteziologii i Reanimatologii. 2018; 15(5):74–86. In Russian]. doi:10.21292/2078-5658-2018-15-5-74-86.
 62. Абукеримова С.К. Применение методов искусственного интеллекта в медицине: современное состояние и перспективы развития в кардиологии: обзор. Российский кардиологический журнал. 2026; 31(2S):6893 [Abukerimova S.K. Application of artificial intelligence methods in medicine: current state and prospects for development in cardiology: a review. Russian Journal of Cardiology. 2026; 31(2S):6893. In Russian]. doi:10.15829/1560-4071-2026-6893.
 63. РОСОМЕД. Симуляционное обучение слушателей цикла профессиональной переподготовки по ультразвуковой диагностике. Медицинский симуляционный центр Боткинской больницы. Москва. Доступно по: <https://rosomed.ru/theses/205> [ROSOMED. Simulation training of students of the professional retraining course in ultrasound diagnostics. Medical Simulation Center of Botkin Hospital, Moscow. Available at: <https://rosomed.ru/theses/205>. In Russian].
 64. Российский университет дружбы народов. Программа профессиональной переподготовки «Чреспищеводная эхокардиография». Москва: РУДН. Доступно по: <https://www.rudn.ru/sveden/education/programs/chrespischevodnaya-ehokardiografiya.html> [RUDN University. Professional retraining program “Transesophageal echocardiography”. Moscow: RUDN University. Available at: <https://www.rudn.ru/sveden/education/programs/chrespischevodnaya-ehokardiografiya.html>. In Russian].

ZAMONAVIY ANESTEZIOLOGIYADA QIZILO'NGACH ORQALI EXOKARDIOGRAFIYA V.KH. SHARIPOVA, N.F. BERDIEV, R.A. RAXIMOVA, Z.P. MUSURMONOV

O'zbekiston Respublikasi Shoshilinch tibbiy yordam ilmiy markazi, Toshkent, O'zbekiston

Qizilo'ngach orqali exokardiografiya (TEE) maxsus diagnostik usuldan zamonaviy anesteziologiyada perioperatsion monitoringning ajralmas qismiga aylangan. Ushbu keng qamrovli sharh TEEning klinik qo'llanilishi, texnologik yangiliklar, gemodinamik va qorincha funksiyasini baholash, TEEning ayrim jarrohlik aralashuvlarida (yurak jarrohligi, qon tomir jarrohligi, transplantatsiya) tutgan o'rni, o'qitish strategiyalari hamda usulning xavfsizlik profili bo'yicha dalillarni jamlaydi. Adabiyotlarni izlash *PubMed/MEDLINE*, *Scopus* va *Web of Science* ma'lumotlar bazalarida amalga oshirildi. Yurak jarrohligida TEE parvarishning standartiga aylandi, yirik prospektiv tadqiqotlar intraoperatsion TEE, ayniqsa klapan va kombinirlangan muolajalar vaqtida, jarrohlik rejalarining 10 foizdan ortiq holatlarda o'zgarishiga olib kelishini ko'rsatadi. Uchinchi va to'rt o'lchamli tasvirlash, miniaturizatsiyalangan zondlar hamda sun'iy intellekt algoritmlaridan foydalanish TEE imkoniyatlarini kengaytirdi, klapan kasalliklarini aniqroq baholash, shuningdek avtomatlashtirilgan talqin qilishni ta'minlashga yordam

bermoqda. Transkateter struktur yurak aralashuvlarida TEE muolajalarni boshqarishda «oltin standart» bo'lib qolmoqda, biroq ayrim tanlangan holatlarda intrakardial exokardiografiya alternativ usul sifatida tobora ko'proq ko'rib chiqilmoqda. Katta ko'lamli prospektiv tadqiqotlar tahlili TEE bilan bog'liq jiddiy asoratlar kam uchrashini, taxminan tekshiruvlarning 0,08 foizida kuzatilishini ko'rsatadi, biroq bunday asoratlar o'limga olib kelishi mumkin bo'lib, letallik darajasi 40 foizga yaqinlashadi. Uzoq davom etadigan struktur aralashuvlar vaqtida klinik jihatdan ahamiyatli asoratlar chastotasi 3–6 foizgacha oshadi. Simulyatsiyaga asoslangan o'qitish TEE ko'nikmalarini shakllantirishda juda samarali ekanligi, hozirgacha o'tkazilgan eng yirik ko'pmarkazli randomizatsiyalangan tadqiqot bilan tasdiqlangan. Nonyurak jarrohligida TEE ni muntazam qo'llashning klinik natijalarga ta'siri hali yetarli darajada o'rganilmagan bo'lib, bu yo'nalish katta ko'lamli randomizatsiyalangan tadqiqotlarni talab qiladigan muhim bilimlar bo'shlig'i hisoblanadi. Mavjud dalillar bazasining tanqidiy tahliliga asoslanib, anesteziologlar uchun amaliy tavsiyalar ishlab chiqilgan hamda kelgusidagi tadqiqotlar uchun ustuvor yo'nalishlar ko'rsatib o'tilgan, jumladan nonyurak jarrohligida yirik randomizatsiyalangan tadqiqotlar o'tkazish, asoratlar ta'riflarini standartlashtirish va sun'iy intellektga asoslangan algoritmlarning klinik verifikatsiyasini ta'minlash.

Kalit so'zlar: qizilo'ngach orqali exokardiografiya, intraoperatsion monitoring, anesteziologiya, yurak jarrohligi, struktur yurak aralashuvlari, reanimatsion exokardiografiya, o'ng qorincha, speckle-tracking, sun'iy intellekt, asoratlar, simulyatsiyaga asoslangan o'qitish.

Сведения об авторах:

Шарипова Висолат Хамзаевна – доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой анестезиологии и реаниматологии Центра развития профессиональной квалификации медицинских работников; руководитель отдела анестезиологии и реаниматологии Республиканского научного центра экстренной медицинской помощи.
E-mail: visolat_78@mail.ru
ORCID: 0000-0003-2517-1183

Бердиев Нодирбек Файзиевич – PhD, руководитель научной лаборатории телемедицины Республиканского научного центра экстренной медицинской помощи
E-mail: nodiranes52@gmail.com
ORCID: 0009-0002-3266-0911

Рахимова Раъно Абдухакимовна – доктор медицинских наук, старший научный сотрудник, заведующая отделением ультразвуковой диагностики Республиканского научного центра экстренной медицинской помощи (г. Ташкент, Республика Узбекистан).
E-mail: ranorakhimova55@gmail.com
ORCID: 0009-0007-7410-8929.

Мусурмонов Зоиржон Пардавой угли – врач – анестезиолог-реаниматолог отделения нейрокардио-трансплантологической реанимации и анестезиологии Республиканского научного центра экстренной медицинской помощи.
E-mail: musurmonovzair405@gmail.com
ORCID: 0009-0009-3554-2006.

Поступила в редакцию: 07.04.2026

Information about the authors:

Sharipova Visolat Khamzaevna – DSc, Professor, Head of the Department of Anesthesiology and Intensive Care, Center for Professional Development of Medical Workers; Head of the Department of Anesthesiology and Intensive Care, Republican Research Center for Emergency Medicine (Tashkent, Uzbekistan).
E-mail: visolat_78@mail.ru
ORCID: 0000-0003-2517-1183

Berdiev Nodirbek Fayzievich – PhD, Head of the Telemedicine Research Laboratory, Republican Research Center for Emergency Medicine.
E-mail: nodiranes52@gmail.com
ORCID: 0009-0002-3266-0911

Rakhimova Ra'no Abdukhakimovna – DSc, Senior Researcher, Head of the Ultrasound Diagnostics Department, Republican Research Center for Emergency Medicine (Tashkent, Uzbekistan).
E-mail: ranorakhimova55@gmail.com
ORCID: 0009-0007-7410-8929

Musurmonov Zoirjon Pardavoy Ugli – Anesthesiologist-Intensivist, Neuro-Cardio-Transplant Intensive Care and Anesthesiology Unit, Republican Research Center for Emergency Medicine.
E-mail: musurmonovzair405@gmail.com
ORCID: 0009-0009-3554-2006

Received: 07.04.2026