

Роботизированная 5G-телехирургия – революционное направление медицины (обзор литературы)

Контакты:

Иньпэн Цян
a9268434951@163.com

И. Цян, Ф.П. Ветшев, С.В. Осминин, И.Р. Билялов, Е.В. Панина, Н.В. Петухова

ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова»
Минздрава России; Россия, 119991 Москва, ул. Трубецкая, 8, стр. 2

Введение. Проблема неравномерного распределения качественных медицинских ресурсов и ограниченного доступа пациентов из отдаленных регионов к высококвалифицированной хирургической помощи существует уже длительное время. Телехирургия на базе сетей 5G открывает перспективы для преодоления географических барьеров, однако ее клиническое применение в настоящее время находится на начальном этапе.

Цель исследования – анализ периоперационных исходов и профиля безопасности робот-ассистированных операций, проведенных дистанционно с использованием систем на базе сетей 5G.

Материалы и методы. Выполнен систематический поиск источников в базах данных PubMed, Embase, Web of Science и Cochrane Library. В анализ включены клинические исследования, добавленные в базы в период с момента их создания по 10 апреля 2026 г. Особое внимание уделено публикациям, касающимся радикальной гастрэктомии по поводу рака желудка, а также гепатопанкреатобилиарной и урологической хирургии. Выявлены ключевые ограничения данных вмешательств. Описания единичных клинических случаев исключены из анализа.

Результаты. Онкологическая гастроэнтерология: 2 китайских исследования: проспективное одноцентровое ($n = 27$) и ретроспективное ($n = 10$) продемонстрировали 100-процентную частоту R0-резекции. Периоперационные исходы оказались сопоставимыми с таковыми при недистанционной робот-ассистированной хирургии, задержка сигнала туда-обратно составила всего 31–91 мс. Гепатопанкреатобилиарная хирургия: 3 исследования ($n = 5$, $n = 6$, $n = 20$) подтвердили возможность дистанционного выполнения холецистэктомии и резекции печени при задержке сигнала 43–126 мс; отмечались эпизодические обрывы соединения с сетью, не повлиявшие на безопасность операции. Урология: 5 исследований (от 6 до 37 пациентов), в которых проведены радикальная простатэктомия, нефрэктомия, адреналэктомия и другие вмешательства с частотой успеха, приближающейся к 100 %, и периоперационными исходами, не отличающимися от таковых при недистанционных операциях (задержка сигнала варьировала от 29,1 до 129,6 мс). Общими ограничениями всех исследований являются малый размер выборки, отсутствие данных об отдаленных онкологических результатах, неоднородность сетевых показателей, отсутствие тактильной обратной связи в роботизированных системах, отсутствие этического-правовой базы и недоказанная экономическая эффективность.

Заключение. Предварительно продемонстрированы выполнимость и безопасность робот-ассистированных операций, проведенных дистанционно с использованием систем на базе сетей 5G, при условии тщательного отбора пациентов. Периоперационные исходы дистанционных и недистанционных робот-ассистированных операций сопоставимы. Однако телехирургия пока находится на ранней стадии валидации и характеризуется многочисленными неопределенностями и ограничениями; в настоящее время она не может заменить недистанционную робот-ассистированную хирургию.

Ключевые слова: 5G-телехирургия, роботизированная хирургия, периоперационные исходы, выполнимость, безопасность

Для цитирования: Цян И., Ветшев Ф.П., Осминин С.В. и др. Роботизированная 5G-телехирургия – революционное направление медицины (обзор литературы). Медицинская робототехника 2026;1(2):8–22.

DOI: <https://doi.org/10.63769/3033-6392-2026-1-2-8-22>

5G robotic telesurgery: Revolutionary medical approach (literature review)

Y. Qiang, F.P. Vetshev, S.V. Osminin, I.R. Bilyalov, E.V. Panina, N.V. Petukhova

I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Ministry of Health of Russia; 8–2 Trubetskaya St., Moscow 119991, Russia

Contacts: Yinpeng Qiang a9268434951@163.com

Background. The problem of uneven distribution of quality medical resources and limited access to highly qualified surgical help for patients from distant regions has existed for a long time. 5G-based telesurgery opens up the prospects for overcoming geographical barriers. However, its clinical use is still at the starting stage.

Aim. To analyze perioperative outcomes and safety profile of robot-assisted surgeries performed remotely using 5G-based systems.

Materials and methods. Systematic search of sources in the PubMed, Embase, Web of Science and Cochrane Library databases was performed. The analysis included clinical trials added to the databases since their creation and until April 10, 2026. Special attention was paid to the articles on radical gastrectomy due to stomach cancer, as well as hepatopancreatobiliary and urological surgery. The key limitations of these interventions were identified. Descriptions of single-patient clinical cases were excluded from the analysis.

Results. Oncological gastroenterology: 2 Chinese studies, prospective single-center ($n = 27$) and retrospective ($n = 10$), demonstrated that 100 % of resections were R0. Perioperative outcomes were similar to outcomes of non-remote robot-assisted surgery, delay of the roundtrip signal was only 31–91 ms. Hepatopancreatobiliary surgery: 3 studies ($n = 5$, $n = 6$, $n = 20$) confirmed the possibility of remote cholecystectomy and liver resection with delay of 43–126 ms; episodic network disruptions were observed but they did not affect safety of the surgery. Urology: 5 studies (between 6 and 37 patients) involving radical prostatectomy, nephrectomy, adrenalectomy, and other interventions with success rates up to 100 % and identical perioperative outcomes as in non-remote surgeries (delay varied between 29.1 and 129.6 ms). All studies share the same limitations of small sample sizes, absence of data on long-term oncological outcomes, variability of network characteristics, absence of tactile feedback in robotized systems, absence of ethical and legal base, and uncertain economic efficiency.

Conclusion. Feasibility and safety of robot-assisted surgeries performed remotely using 5G networks was demonstrated in cases of carefully selected patients. Perioperative outcomes of remote and non-remote robot-assisted surgeries are similar. However, telesurgery is still at the early stage of validation and carries many uncertainties and limitations; currently, it cannot replace non-remote robot-assisted surgery.

Keywords: 5G telesurgery, robotic surgery, perioperative outcomes, feasibility, safety

For citation: Qiang Y., Vetshev F.P., Osminin S.V. et al. 5G robotic telesurgery: Revolutionary medical approach (literature review). Meditsinskaya robototekhnika = Journal of Medical Robotics 2026;1(2):8–22. (In Russ.)

DOI: <https://doi.org/10.63769/3033-6392-2026-1-2-8-22>

ВВЕДЕНИЕ

Хирургическое вмешательство остается основой комбинированного лечения многих заболеваний. При этом по мере развития технологий подход к хирургическому лечению постепенно эволюционирует от открытых операций к минимально инвазивным: стандартным лапароскопическим и робот-ассистированным [1–4]. Например, в 1994 г. впервые проведена лапароскопическая гастрэктомия [5], а в 2003 г. — робот-ассистированная гастрэктомия [6]. Периоперационные преимущества роботизированной хирургии подтверждены рандомизированными контролируемые исследованиями (например, при раке желудка [7–10]).

Однако многие пациенты не имеют возможности получить робот-ассистированную операцию: распределение медицинских ресурсов характеризуется выраженной централизацией — они концентрируются в крупных городах. Проблема неравномерного распределения ресурсов стоит очень остро: пациенты из отдаленных регионов или первичных медицинских учреждений, желающие получить высококачественное хирургическое лечение, зачастую вынуждены обращаться в больницы более высокого уровня, что значительно увеличивает их расходы на медицинскую помощь. Этот технологический разрыв не только ограничивает распространение передовых методов диагностики и лечения, но и в целом снижает эффективность медицинской помощи [11, 12].

Для решения этой проблемы возникла концепция телероботической хирургии [13–15]. В 2001 г. хирургическая бригада из Нью-Йорка (США) впервые в мире выполнила трансатлантическую робот-ассистирован-

ную холецистэктомию пациенту, находившемуся в Страсбурге (Франция), подтвердив возможность выполнения операций на большом расстоянии [16]. Однако этот случай стал скорее исключением: в то время еще не существовало высокоскоростной связи 5G, и высокая задержка при спутниковой передаче данных не позволяла достаточно безопасно выполнять дистанционные вмешательства. Телехирургия того времени сталкивалась с разными техническими барьерами, такими как недостаточная сетевая инфраструктура, высокие затраты (в том числе на оборудование и связь), юридические и юрисдикционные проблемы, связанные с отсутствием прямого контакта между врачом и пациентом. Но главным ограничением была ненадежность связи и высокая задержка сигнала.

Приход эры 5G позволил преодолеть технические препятствия [17]. Благодаря высокой пропускной способности, сверхнизкой задержке и высокой надежности стандарт 5G создал идеальную техническую основу для телехирургии, и ее ускоренная валидация проходит сейчас по всему миру [18–21].

В настоящее время клинические данные о робот-ассистированных операциях, проведенных дистанционно с использованием хирургических систем на базе сетей 5G, получены в моноцентровых исследованиях на небольших выборках. Отсутствует исчерпывающая оценка периоперационных результатов и консенсус в отношении долгосрочных исходов и безопасности, а также не разработаны стандартизированные протоколы и не документировано определение ответственности.

Цель данной работы — анализ периоперационных исходов и профиля безопасности робот-

ассистированных операций, проведенных дистанционно с использованием систем на базе сетей 5G. Собранные в ходе анализа информация может лечь в основу научно обоснованной базы для стандартизированного внедрения данной технологии в клиническую практику.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Выполнен поиск научных источников в базах данных PubMed, Embase, Web of Science и Cochrane Library за период с момента создания баз по 10 апреля 2026 г. Стратегия поиска была основана на комбинации контролируемых тезаурусов (MeSH/Emtree) и свободных ключевых слов, включая 5G, robotic, gastric cancer и их синонимы, с адаптацией под каждую базу данных. Дополнительно проводили поиск по спискам литературы включенных публикаций.

5G-телехирургические роботизированные системы: устройство, ключевые технологии и стандарты задержки

Роботизированная хирургическая система, позволяющая выполнять операции дистанционно с применением сетей 5G, представляет собой сложный высокоинтегрированный комплекс из трех основных компонентов: хирургического блока на стороне пациента, сетевого транспортного уровня и центра управления на стороне хирурга.

Блок пациента является исполнительным термином операции. Для дистанционного управления роботизированная система должна быть специально адаптирована — оснащена модулем локального мониторинга безопасности и выделенным сетевым интерфейсом, а также оборудованием для получения и передачи видеоизображения высокого разрешения (не ниже 1080p с частотой кадров не менее 60 в секунду). Это необходимо для реалистичной и плавной визуальной обратной связи. Крайне важно, чтобы на стороне пациента присутствовала опытная бригада, включающая хирурга, анестезиолога и операционную медсестру. Эта бригада отвечает за укладку пациента, установку портов, смену инструментов и, при необходимости, экстренное взятие управления на себя — она является последним рубежом безопасности при проведении дистанционной операции.

Сетевой транспортный уровень выполняет роль «центральной нервной системы». Опираясь на три ключевые характеристики 5G: улучшенную мобильную широкополосную связь (обеспечивает передачу 3D-видео с разрешением 4K без потери качества), сверхнадежную связь с низкой задержкой (снижает сквозную задержку до миллисекундного уровня при надежности выше 99,999 %) и массовую машинную связь (поддерживает одновременное подключение множества устройств интернета вещей, таких

как интеллектуальные инструменты, датчики окружающей среды, мониторы пациента), — 5G создает основу для высокореалистичной, высокоточной и высококоординированной работы. Кроме того, система использует многоканальную резервную конфигурацию с приоритетом 5G и оптоволоконным резервированием, а также технологию периферийных вычислений, что дополнительно гарантирует непрерывность передачи команд и своевременность отклика.

Центр управления на стороне хирурга обеспечивает объемное восприятие за счет 3D-дисплея высокого разрешения. Однако отсутствие тактильной обратной связи вынуждает хирурга полагаться в основном на визуальные признаки для оценки силы нажатия, что повышает риск повреждения внутренних органов. Поэтому качественная аудиовизуальная система взаимодействия имеет критическое значение: основной хирург должен иметь возможность четко, в реальном времени и без искажений общаться с хирургической бригадой в операционной на стороне пациента, чтобы успешно выполнять такие совместные этапы, как доступ, гемостаз и тракция.

В 2005 г. Т. Kim и соавт. считали приемлемой при выполнении дистанционных эндоскопических операций задержку сигнала в 250 мс [22]. В 2014 г. исследование S. Xu и коллег показало, что по мере увеличения задержки сигнала качество хирургических операций ухудшается экспоненциально: задержка ≤ 200 мс является идеальной для телехирургии; 300 мс также пригодна; 400–500 мс может быть допустима, но повышает степень утомления; 600–700 мс подходит только для низкорисковых и простых вмешательств; при 800–1000 мс оперировать чрезвычайно трудно, и в таких случаях предпочтительнее использовать телементоринг [23].

5G-телероботическая радикальная гастрэктомия

Японские исследователи Y. Ebihara и соавт. впервые продемонстрировали возможность выполнения на расстоянии 250 км дистанционной дистальной гастрэктомии с лимфодиссекцией D2 (на трупе). Результаты оказались сопоставимыми с результатами недистанционной робот-ассистированной гастрэктомии [24].

У пациентов с раком желудка 5G-телероботическая гастрэктомия проведена двумя группами исследователей (табл. 1).

Группа под руководством Н. Guo организовала проспективное одноцентровое исследование (FUTURE-04), в которое было включено 27 пациентов. Всем им выполнена 5G-телероботическая радикальная гастрэктомия по поводу рака желудка. Это исследование подтвердило, что при строгих критериях отбора и резервировании сети 5G-телероботическая радикальная гастрэктомия

Таблица 1 | Table 1

Характеристики клинических исследований 5G-телероботической радикальной гастрэктомии по поводу рака желудка
Characteristics of clinical trials of 5G telerobotic radical gastrectomy due to stomach cancer

Характеристика Characteristics		H. Guo et al., 2025 [20]	C. Guo et al., 2025 [21]
Основная информация Main information			
Регистрационный номер Registration number		NCT06073483 (FUTURE-04)	2024–787
Период включения пациентов Patient recruitment period		С сентября по декабрь 2023 г. Between September and December 2023	С мая 2023 г. по ноябрь 2024 г. Between May 2023 and November 2024
Число пациентов Number of patients		27	10
Расстояние между хирургом и пациентом, км Distance between the surgeon and the patient, km		15	1758 (n = 5)
Тип исследования Type of study		Проспективное одноцентровое Prospective single-center	Ретроспективное Retrospective
Страна Country		Китай China	
Роботизированная хирургическая система Robotic surgical system		Toumai, MT1000	Toumai
Число пациентов в зависимости от стадии Number of patients per stage	pTNM1	13	4
	pTNM2	5	4
	pTNM3	9	2
Число пациентов в зависимости от объема резекции Number of patients per resection volume	Дистальная резекция + лимфодиссекция D2 Distal resection + D2 lymph node dissection	17	7
	Тотальная гастрэктомия + лимфодиссекция D2 Total gastrectomy + D2 lymph node dissection	10	3
Периоперационные характеристики Perioperative characteristics			
Продолжительность операции, мин Operative time, min		192,6 ± 34,8	Дистальная резекция: 230 (200–260), тотальная гастрэктомия: 285 (265–320) Distal resection: 230 (200–260), total gastrectomy: 285 (265–320)
Время работы за консолью, М ± м, мин Duration of console work, M ± m, min		177,7 ± 34,2	–
Время стыковки, Ме [25 %; 75 %], мин Docking time, Me [25 %; 75 %], min		15,0 (14,0; 16,0)	–
Объем кровопотери, М ± м, мл Blood loss volume, M ± m, mL		35,9 ± 15,9	35,00 ± 13,44
Число случаев гемотрансфузии Number of blood transfusion cases		0	1
Количество удаленных лимфатических узлов, М ± м Number of resected lymph nodes, M ± m		38,4 ± 13,2	32,8 ± 7,08
Число случаев положительного статуса края резекции Number of positive resection margin cases		0	0

Окончание табл. 1
End of table 1

Характеристика Characteristics		H. Guo et al., 2025 [20]	C. Guo et al., 2025 [21]
Периоперационные характеристики Perioperative characteristics			
Число случаев конверсии Number of conversions		0	0
Длительность послеоперационной госпитализации, сут Duration of postoperative hospitalization, days		7,0 (6,0, 8,0)	10,75 ± 2,21
Число случаев послеоперационных осложнений (по классификации Clavien-Dindo) Number of cases with postoperative complications (per the Clavien-Dindo classification)	I степени Grade I	2	0
	II степени Grade II	3	2
	≥III степени Grade ≥III	0	0
Интраоперационные сетевые задержки Intraoperative network delays			
Задержка сигнала туда-обратно, мс Delay of roundtrip signal, ms		15 км: 31,6 ± 3,8 15 км: 31,6 ± 3,8	1758 км: 91 (70–100), 63 км: 51 (46–71,5), все расстояния: 70 (50,3–93) 1758 км: 91 (70–100), 63 км: 51 (46–71,5), all distances: 70 (50,3–93)
Общая задержка, М ± м, мс Total delay, M ± m, ms		226,2 ± 4,4	–
Частота потери пакетов, % Packet loss rate, %		<0,1	0

(включая дистальную резекцию желудка) характеризуется выполнимостью и краткосрочной безопасностью. Частота R0-резекции достигла 100 %, не было ни одного случая прерывания операции или конверсии из-за проблем со связью. Количество послеоперационных койко-дней и частота осложнений оказались сопоставимы с таковыми при недистанционной роботизированной хирургии [20]. Эти результаты можно считать базой для клинического внедрения 5G-телероботической хирургии при раке желудка.

С. Guo и соавт. выполнили ретроспективное исследование, в котором с применением 5G-роботической хирургии у 3 пациентов проведена тотальная гастрэктомия, у 7 — дистальная резекция желудка. В 5 случаях расстояние между хирургом и пациентом составляло около 1758 км, медиана задержки сигнала — 91 мс; в других 5 случаях — соответственно 63 км и 51 мс. В исследовании не наблюдалось значимых сбоев или задержек сигнала. Все операции завершились успешно; длительность операции, объем кровопотери, количество удаленных лимфатических узлов, частота R0-резекции и количество послеоперационных койко-дней нахо-

дились в пределах нормы. При годичном наблюдении выживаемость составила 100 %. Дистанционные вмешательства не отличались от недистанционных по частоте осложнений и продолжительности [21].

Оба исследования подтверждают, что периоперационные характеристики дистанционных и недистанционных операций сопоставимы и что при задержке сигнала в пределах 31–91 мс не было конверсий или серьезных нежелательных событий.

5G-телероботическая гепатопанкреатобилиарная хирургия

В 2001 г. команда J. Marescaux успешно выполнила первую в мире телероботическую холецистэктомию (Нью-Йорк, США — Страсбург, Франция). Операция продолжалась 54 мин, не сопровождалась какими-либо техническими трудностями или интраоперационными осложнениями. Расстояние между городами составляло около 7000 км, а средняя задержка сигнала — 155 мс [16]. Впоследствии, с развитием технологий связи 5G, проблема задержки была постепенно устранена.

Таблица 2 | Table 2

Характеристики клинических исследований 5G-телероботических операций в гепатобилиарной и панкреатической области
Characteristics of clinical trials of 5G telerobotic surgeries on hepatobiliary and pancreatic areas

Характеристика Characteristics	Y. Fan et al., 2025 [25]	W. Liao et al., 2025 [26]	J. Yang et al., 2025 [27]
Основная информация Main information			
Регистрационный номер Registration number	–	ChiCTR2500097679	ChiCTR2300070074
Период включения пациентов Patient recruitment period	С февраля по сентябрь 2023 г. Between February and September 2023	С 1 марта по 18 апреля 2025 г. Between March 1 st and April 18 th 2025	С мая по август 2023 г. Between May and August 2023
Число пациентов Number of patients	5	6	20
Расстояние между хирургом и пациентом, км Distance between the surgeon and the patient, km	4670,2	1200	70
Тип операции Type of surgery	Холецистэктомия (n = 3), резекция гемангиомы печени (n = 1), дистальная резекция поджелудочной железы с сохранением селезенки (n = 1) Cholecystectomy (n = 3), liver hemangioma resection (n = 1), distal resection of the pancreas with spleen preservation (n = 1)	Резекция печени (n = 6) Liver resection (n = 6)	Холецистэктомия (n = 20) Cholecystectomy (n = 20)
Тип исследования Type of study	Ретроспективное Retrospective	Проспективное одноцентровое Prospective single-center	Проспективное контролируемое клиническое Prospective controlled clinical
Страна Country	Китай China		
Роботизированная хирургическая система Robotic surgical system	Toumai, MT1000		
Объем резекции Resection volume	–	Левосторонняя гемигепатэктомия (n = 2), левосторонняя латеральная лобэктомия (n = 2), левосторонняя гемигепатэктомия + частичная резекция VIII сегмента (n = 1), резекция IVb и V сегментов (n = 1) Left-sided hemihepatectomy (n = 2), left-sided lateral lobectomy (n = 2), left-sided hemihepatectomy + partial resection of segment VIII (n = 1), resection of segment IVb and V (n = 1)	–
Периоперационные характеристики Perioperative characteristics			
Продолжительность операции, мин Operative time, min	39 (31–128)	260 (155–400)	–
Время работы за консолью, мин Duration of console work, min	–	146,5 (69–247)	32,4 ± 12,7
Время стыковки, мин Docking time, min	–	19,5 (16–23)	7,6 ± 2,5

Окончание табл. 2
End of table 2

Характеристика Characteristics		Y. Fan et al., 2025 [25]	W. Liao et al., 2025 [26]	J. Yang et al., 2025 [27]
Объем кровопотери, мл Blood loss volume, mL		2 (2–30)	20 (5–200)	14,3 ± 3,5
Число случаев гемотрансфузии Number of blood transfusion cases		–	0	–
Количество удаленных лимфатических узлов Number of resected lymph nodes		–	–	–
Число случаев положительного статуса края резекции Number of positive resection margin cases		–	3	–
Число случаев конверсии Number of conversions		–	0	1
Длительность послеоперационной госпитализации, сут Duration of postoperative hospitalization, days		3 (3–13)	8 (5–10)	2,8 ± 0,9
Число случаев послеоперационных осложнений (по классификации Clavien–Dindo) Number of cases with postoperative complications (per the Clavien–Dindo classification)	I степени Grade I	1	0	1
	II степени Grade II	0	1	
	≥III степени Grade ≥III	0	0	0
Интраоперационные сетевые задержки Intraoperative network delays				
Задержка сигнала туда-обратно, мс Delay of roundtrip signal, ms		73,00 (70,25–126,10)	16,20–129,58	43,40 (29,10–51,60)
Общая задержка, мс Total delay, ms		–	–	–
Частота потери пакетов, % Packet loss rate, %		–	0	<1

В рамках нашей работы были найдены три соответствующих исследования (табл. 2).

В ретроспективном исследовании Y. Fan и соавт. проанализированы данные 5 пациентов, которым были выполнены 5G-телероботические операции: холецистэктомия ($n = 3$), резекция гемангиомы печени ($n = 1$) и дистальная резекция поджелудочной железы с сохранением селезенки ($n = 1$). Расстояние между хирургом и пациентом составило 4670,2 км. Медиана длительности операции – 39 (31–128) мин, медиана

объема кровопотери – 2 (2–30) мл, медиана задержки сигнала – 73 (70,25–126,1) мс. Частота послеоперационных осложнений достигла 20 % (1 случай соответствовал I степени по классификации Clavien–Dindo). Таким образом, исследование подтвердило безопасность сверхудаленных телероботических вмешательств в гепатопанкреатобилиарной хирургии [25].

В проспективном одноцентровом исследовании W. Liao и соавт. (Chinese Clinical Trial Registry, ChiCTR2500097679) представлены данные 6 пациентов,

которым выполнена 5G-телероботическая резекция печени: левосторонняя гемигепатэктомия ($n = 2$), левосторонняя латеральная резекция ($n = 2$), левосторонняя гемигепатэктомия с резекцией VIII сегмента ($n = 1$) и резекция IVb и V сегментов ($n = 1$). Расстояние между хирургической бригадой и пациентом составляло 1200 км. Медиана длительности операции составила 260 (155–400) мин, работы робота – 146,5 (69–247) мин, стыковки – 19,5 (16–23) мин, медиана объема кровопотери – 20 (5–200) мл; гемотрансфузия не потребовалась ни в одном случае. Положительный статус края резекции выявлен у 3 пациентов. Конверсий не было. Медиана количества послеоперационных койко-дней – 8 (5–10). У 1 пациента зафиксировано осложнение II степени по классификации Clavien–Dindo (бактериемия). Задержка сигнала колебалась от 16,20 до 129,58 мс, потери пакетов отсутствовали (0 %). Продemonстрировано благоприятное восстановление всех пациентов. Важно отметить, что хирургическая бригада столкнулась с рядом клинических вызовов: режус-отрицательная кровь, вариативность анатомии желчных протоков, опухолевый тромб в воротной вене. Авторы подчеркивают, что на ключевом этапе рассечения паренхимы печени, ввиду отсутствия тактильных ощущений при дистанционной работе, хирург должен крайне осторожно использовать ультразвуковой скальпель, поддерживая непрерывную аудиовизуальную связь с удаленной бригадой для достижения адекватного гемостаза и точной диссекции сосудов [26].

В 2025 г. J. Yang и соавт. представили проспективное контролируемое исследование, в котором 40 пациентам выполнена холецистэктомия. Из них 20 пациентов оперированы с применением 5G-телероботической хирургической системы (расстояние между хирургом и пациентом 70 км), а другие 20 пациентов перенесли недистанционное робот-ассистированное вмешательство. «Чистое» время работы робота, объем кровопотери, длительность послеоперационного пребывания в стационаре и частота осложнений в группе дистанционной холецистэктомии были сопоставимы с таковыми в группе сравнения ($p > 0,05$). При этом время стыковки в группе дистанционной холецистэктомии было значимо меньше (7,6 против 9,9 мин, $p = 0,02$). Авторы не проводят углубленного анализа этих различий, объясняя их более высокой мотивацией и тренированностью хирургической бригады на экспериментальном этапе. Задержка сигнала стабильно составляла 43,4 мс, частота потери пакетов < 1 % [27]. Исследование подтверждает, что 5G-телероботическая холецистэктомия сопоставима по безопасности и эффективности с недистанционными робот-ассистированными операциями, однако ввиду небольшого объема выборки полученные выводы следует интерпретировать с осторожностью.

5G-телероботическая хирургия в урологии

Согласно результатам библиометрического анализа базы данных Scopus, доля оригинальных исследований в области роботической хирургии в урологии достигает 79,2 %, причем они в основном относятся к онкоурологии [28]. Кроме того, среди всех хирургических специальностей урология занимает первое место по применению роботических систем – 43,1 % [29]. Эти данные позволяют предположить, что 5G-телехирургия имеет наиболее широкие перспективы для внедрения и наиболее динамично развивается именно в урологии. В последние годы благодаря интеграции технологий 5G и роботизированных хирургических систем достигнут значительный прогресс. Клинические исследования подтвердили безопасность и выполнимость широкого спектра 5G-телероботических вмешательств (табл. 3): радикальной простатэктомии, радикальной и частичной нефрэктомии, адrenaлэктомии и реконструкции мочеточника при его ретрокавальном расположении. Расстояние между хирургом и пациентом варьировало от нескольких десятков до нескольких тысяч километров.

S. Yu и соавт. провели ретроспективное многоцентровое исследование в условиях реальной клинической практики (с декабря 2023 г. по июнь 2024 г.). В исследование были включены 37 пациентов, которым выполнены: радикальная простатэктомия ($n = 12$), радикальная нефрэктомия ($n = 11$), резекция почки ($n = 3$) и другие урологические операции ($n = 11$). Расстояние между пациентом и хирургом варьировало от 25 до 5000 км. Средняя задержка сетевого сигнала составила $55,30 \pm 39,64$ мс, общая задержка сигнала «туда-обратно» – около 250 мс, а частота потери пакетов $< 0,01$ %. Конверсия не потребовалась и операции прошли успешно в 100 % случаев (95 % ДИ: 90,5–100, $p = 0,019$). Послеоперационные осложнения I степени по классификации Clavien–Dindo развились у 5 пациентов, II степени (острая почечная недостаточность) – у 1 пациента (конверсия не потребовалась). Осложнений III степени и выше не зарегистрировано. Средний уровень простатического специфического антигена (ПСА) после радикальной простатэктомии составил $0,06 \pm 0,07$ нг/мл, причем отрицательный результат анализа на уровень ПСА получен в 91,7 % случаев; время «теплой» ишемии при парциальной нефрэктомии составило $12,7 \pm 5,6$ мин [30]. Данное исследование продемонстрировало высокую безопасность и эффективность 5G-телероботических операций в условиях реальной практики нескольких медицинских центров.

Позднее S. Ye и соавт. провели проспективное когортное исследование (октябрь 2022 г. – апрель 2024 г.) с участием 13 пациентов, которым была выполнена 5G-телероботическая радикальная простатэктомия с использованием систем Toumai ($n = 6$, расстояние

Таблица 3 | Table 3

Характеристики клинических исследований и периоперационные результаты 5б-телероботических операций в урологии
Characteristics of clinical trials and perioperative results of 5b telerobotic surgeries in urology

Характеристика Characteristic	S. Ye et al., 2025 [31]	S. Yu et al., 2025 [30]	J. Li et al., 2023 [32]	J. Li et al., 2023 [33]	Y. Wang et al., 2024 [34]
Основная информация Main information					
Регистрационный номер Registration number	ChiCTR2400085386 ChiCTR2300077721	2023–0275	NCT04804163	NCT04570176	ChiCTR2300074761
Период включения Recruitment period	С октября 2022 г. по апрель 2024 г. Between October 2022 and April 2024	С декабря 2023 г. по июнь 2024 г. Between December 2023 and June 2024	С марта по октябрь 2021 г. Between March and October 2021	С февраля по апрель 2021 г. Between February and April 2021	-
Общее число пациентов Total number of patients	13	37	29	15	6
Частота успеха операции, % Success rate, %	100	100	-	100	-
Расстояние между хирургом и пациентом, км Distance between the surgeon and the patient, km	Больница 1: 800 км (n = 6), больница 2: 1300 км (n = 2), больница 3: 2300 км (n = 1), больница 4: 400 км (n = 4) Hospital 1: 800 km (n = 6), hospital 2: 1300 km (n = 2), hospital 3: 2300 km (n = 1), hospital 4: 400 km (n = 4)	Больница 1: 5000 км (n = 10), больница 2: 300 км (n = 7), больница 3: 70 км (n = 7), больница 4: 25 км (n = 13) Hospital 1: 5000 km (n = 10), hospital 2: 300 km (n = 7), hospital 3: 70 km (n = 7), hospital 4: 25 km (n = 13)	Медиана 187 км (IQR 57 км) Median 187 km (IQR 57 km)	Больница 1: 82,5 км (n = 4), больница 2: 199 км (n = 3), больница 3: 250 км (n = 8) Hospital 1: 82.5 km (n = 4), hospital 2: 199 km (n = 3), hospital 3: 250 km (n = 8)	3000 км 3000 km
Тип операции Type of surgery	Радикальная простатэктомия Radical prostatectomy	Радикальная простатэктомия (n = 12), радикальная нефрэктомия (n = 11), парциальная нефрэктомия (n = 3), другие урологические операции (n = 11) Radical prostatectomy (n = 12), radical nephrectomy (n = 11), partial nephrectomy (n = 3), other urological surgeries (n = 11)	Радикальная нефрэктомия Radical nephrectomy	Адреналэктомия Adrenalectomy	Операции по поводу ретрокавального мочеочечника, опухолей надпочечника, почки, предстательной железы Surgeries due to circumcaval ureter, adrenal, renal, prostate tumors
Тип исследования Type of study	Проспективное когортное Prospective cohort	Ретроспективное Retrospective	Ретроспективное Retrospective	Ретроспективное исследование серии случаев Retrospective case series study	Ретроспективное исследование серии случаев Retrospective case series study
Страна Country	Китай China				
Роботизированная хирургическая система Robotic surgical system	Toumai (n = 6), Edge (n = 7)	Toumai, MT1000	Micro Hand S	Micro Hand S	Toumai, MT1000

Продолжение табл. 3
Continuation of table 3

Характеристика Characteristic	S. Ye et al., 2025 [31]	S. Yu et al., 2025 [30]	J. Li et al., 2023 [32]	J. Li et al., 2023 [33]	Y. Wang et al., 2024 [34]
Число пациентов в зависимости от стадии Number of patients per stage	cT1–3N0M0, pTNM2 (n = 9), pTNM3 (n = 4)	-	T1aN0M0 (n = 13), T1bN0M0 (n = 13), T2aN0M0 (n = 1), T2bN0M0 (n = 2)	-	-
Периоперационные характеристики Perioperative characteristics					
Продолжительность операции Operative time	190,7 ± 40,2 мин 190.7 ± 40.2 min	Радикальная простатэктомия: 157,42 ± 121,03 мин, радикальная нефрэктомия: 137,00 ± 49,96 мин, парциальная нефрэктомия: 77,73 ± 27,90 мин, другие урологические операции: 127,91 ± 61,63 мин Radical prostatectomy: 157.42 ± 121.03 min, radical nephrectomy: 137.00 ± 49.96 min, partial nephrectomy: 77.73 ± 27.90 min, other urological surgeries: 127.91 ± 61.63 min	Me 67 мин (IQR 21 мин) Me 67 min (IQR 21 min)	Me 45 мин (IQR 22 мин) Me 45 min (IQR 22 min)	65,5 мин (IQR 51,5 мин) 65.5 min (IQR 51.5 min)
Время работы за консолью, M ± m, мин Duration of console work, M ± m, min	159,7 ± 38,2	-	-	-	-
Время стыковки, мин Docking time, min	18,3 ± 4,9	-	-	-	-
Объем кровопотери Blood loss volume	64,5 ± 24,1 мл 64.5 ± 24.1 mL	Радикальная простатэктомия: 167,50 ± 326,61 мл, радикальная нефрэктомия: 26,67 ± 20,82 мл, парциальная нефрэктомия: 31,82 ± 26,39 мл, другие урологические операции: 34,73 ± 57,35 мл Radical prostatectomy: 167.50 ± 326.61 mL, radical nephrectomy: 26.67 ± 20.82 mL, partial nephrectomy: 31.82 ± 26.39 mL, other urological surgeries: 34.73 ± 57.35 mL	-	25,69 ± 17,34 мл 25.69 ± 17.34 mL	62,5 ± 76,53 мл 62.5 ± 76.53 mL
Число случаев гемотранфузии Number of blood transfusion cases	0	-	1	-	-
Число случаев положительного статуса края резекции, абс. [%] Number of positive resection margin cases, abs. [%]	1	2 (8.33)	-	-	-
Число случаев конверсии Number of conversions	0	0	-	-	0

Продолжение табл. 3
Continuation of table 3

Характеристика Characteristic	S. Ye et al., 2025 [31]	S. Yu et al., 2025 [30]	J. Li et al., 2023 [32]	J. Li et al., 2023 [33]	Y. Wang et al., 2024 [34]
Длительность послеоперацион- ной госпитализации, сут Duration of postoperative hospitalization, days	9,7 ± 8,1	-	Me 8 (IQR 2)	-	5,5 (IQR 3)
Число случаев послеоперацион- ных осложнений (по классификации Clavien-Dindo) Number of cases with postoperative complications (per the Clavien-Dindo classification)	I степени Grade I	5	2	15	-
	II степени Grade II	0	1	0	-
	≥III степе- ни Grade ≥III	0	0	0	0
Уровень простатспецифического антигена через 1 мес, нг/мл Prostate-specific antigen level 1 month later, ng/mL	0,06 ± 0,07	0,06 ± 0,07	-	-	-
Частота удержания мочи, %: Continence rate, %: до операции prior to surgery через 3 мес. (≤1 прокладки в день) after 3 months (≤1 pad a day)	100 76,9	91,7 -	-	-	-
Интраоперационные сетевые параметры Intraoperative network parameters					
Задержка сигнала туда-обратно Delay of roundtrip signal	25,00 ± 13,20 мс 25,00 ± 13,20 ms	55,30 ± 39,64 мс 55,30 ± 39,64 ms	Me 26 мс (IQR 5 мс) Me 26 ms (IQR 5 ms)	На расстоянии 82,5 км: 28,75 ± 9,74 мс (22–43 мс), 199 км: 30,33 ± 1,52 мс (29–32 мс), 250 км: 35,25 ± 7,76 мс (30–54 мс) At 82.5 km: 28.75 ± 9.74 ms (22–43 ms), 199 km: 30.33 ± ± 1.52 ms (29–32 ms), 250 km: 35.25 ± 7.76 ms (30–54 ms)	-
Общая задержка Total delay	152,3 ± 19,8 мс 152,3 ± 19,8 ms	Локальный конец: 250,30 ± 39,64 мс, удаленный конец: 249,78 ± 40,00 мс Local end: 250.30 ± 39.64 ms, remote end: 249.78 ± 40.00 ms	Me 176 мс (IQR 5 мс) Me 176 ms (IQR 5 ms)	На расстоянии 82,5 км: 175 мс, 199 км: 180 мс, 250 км: 183 мс At 82.5 km: 175 ms, 199 km: 180 ms, 250 km: 183 ms	171,04 мс (IQR 4,23 мс), 48,37–52,20 мс 171.04 ms (IQR 4.23 ms), 48.37–52.20 ms

Окончание табл. 3
End of table 3

Характеристика Characteristic	S. Ye et al., 2025 [31]	S. Yu et al., 2025 [30]	J. Li et al., 2023 [32]	J. Li et al., 2023 [33]	Y. Wang et al., 2024 [34]
Интраоперационные сетевые параметры Intraoperative network parameters					
Частота потери пакетов Packet loss rate	-	<0,01 %	-	На расстоянии 82,5 км: 0 %, 199 км: 0 %, 250 км: <0,1 % At 82.5 km: 0 %, 199 km: 0 % 250 km: <0.1 %	0
Количество нежелательных явлений, связанных с сетью Number of network-related adverse events	0	0	-	6	-

Примечания: IQR – межквартильный размах.
Note: IQR – interquartile range.

800 км) и Edge ($n = 7$, расстояние 1300–2300 км). Средняя продолжительность операции составила $190,7 \pm 40,2$ мин, работы за консолью – $159,7 \pm 38,2$ мин, стыковки – $18,3 \pm 4,9$ мин, объем кровопотери – $64,5 \pm 24,1$ мл. Гемотранфузия и конверсия не потребовались. Послеоперационные осложнения I степени по классификации Clavien–Dindo наблюдались у 3 (23,1 %) пациентов; тяжелых осложнений не было. Средний уровень ПСА через 1 мес после операции составил $0,06 \pm 0,07$ нг/мл, положительный статус края резекции выявлен в 1 (7,7 %) случае. Дооперационный показатель континенции составлял 100 %, а через 3 мес после удаления катетера – 76,9 % (определялся как использование не более одной урологической прокладки в день). Задержка сетевого сигнала туда-обратно составила $25,0 \pm 13,2$ мс, общая задержка – $152,3 \pm 19,8$ мс. Нежелательных явлений, связанных с обрывом сетевого соединения, не зафиксировано. Уровень умственной и физической нагрузки при дистанционном выполнении операции был несколько выше, чем при недистанционном, по шкале NASA Task Load Index (опросник, разработанный Национальным управлением по исследованию космоса для субъективной оценки тяжести рабочей задачи), однако в целом показатели оставались в приемлемых пределах. Данное исследование предоставило надежные доказательства перспективности дистанционной радикальной простатэктомии [31].

В ретроспективном исследовании серии клинических случаев (февраль – апрель 2021 г.) J. Li и соавт. оценили выполнимость удаленной адреналэктомии. В исследование вошли 15 пациентов, расстояние составило 82–250 км. Медиана продолжительности операции – 45 мин (межквартильный размах (IQR) 22 мин), объем кровопотери $25,69 \pm 17,34$ мл. У всех пациентов зафиксированы осложнения I степени по классификации Clavien–Dindo. Задержка сетевого сигнала незначительно увеличивалась (с 28,75 до 35,25 мс) по мере увеличения расстояния, а общая задержка составила 175–183 мс [32]. Полученные результаты свидетельствуют о безопасности и выполнимости дистанционной адреналэктомии.

В дальнейшем J. Li и соавт. с использованием роботизированной хирургической системы Micro Hand S выполнили дистанционную радикальную нефрэктомия у 29 пациентов с опухолями почек (март–октябрь 2021 г.), находясь на расстоянии от 8 первичных больниц (медиана 187 км; IQR 57 км). Медиана общей задержки сигнала составила 176 мс (IQR 5 мс), задержки сигнала туда-обратно – 26 мс (IQR 5 мс), продолжительности операции – 67 мин (IQR 21 мс), количества послеоперационных койко-дней – 8 (IQR 2). Лишь одному пациенту потребовалась интраоперационная гемотранфузия из-за анемии, диагностированной

до операции. У 2 пациентов наблюдались легкие осложнения; серьезных нежелательных явлений не было. В этой работе впервые опубликованы данные многоцентровой клинической серии случаев 5G-телероботической нефрэктомии [33].

Y. Wang и соавт. представили данные 6 урологических операций, выполненных дистанционно с использованием хирургической системы Edge MP1000 на расстоянии 3000 км (Chinese Clinical Trial Registry, ChiCTR2300074761). Показаниями к операции были ретрокавальный мочеточник, рак почки, рак предстательной железы и опухоль надпочечника. Медиана продолжительности операции составила 65,5 мин (IQR 51,5 мин), объема кровопотери — $62,5 \pm 76,53$ мл, количества послеоперационных койко-дней — 5,5 (IQR 3). Конверсий и серьезных осложнений не было. Задержка сигнала туда-обратно оставалась в диапазоне 48,37–52,20 мс, медиана общей задержки составила 171,04 мс (IQR 4,23), потери пакетов отсутствовали. Данное исследование подтвердило выполнимость широкого спектра урологических вмешательств на сверхдальних расстояниях (3000 км) [34].

Таким образом, 5G-телероботическая урологическая хирургия прошла путь от единичных клинических наблюдений до многоцентровых исследований. Периоперационные результаты сопоставимы с таковыми при недистанционных робот-ассистированных операциях, а задержка сетевого сигнала остается контролируемой.

Современные ограничения 5G-телероботической хирургии

В настоящее время клинические исследования 5G-телероботической хирургии находятся на ранней стадии и имеют многочисленные ограничения [35].

Во-первых, имеющиеся доказательства в основном получены в одноцентровых исследованиях с небольшими выборками, отсутствуют крупные многоцентровые рандомизированные контролируемые исследования. Большинство работ сообщает только о периоперационных исходах и краткосрочном наблюдении (до 1 года); долгосрочные онкологические результаты (например, пятилетняя общая и безрецидивная выживаемость) пока не оценивались.

Во-вторых, наблюдается значительная гетерогенность на техническом уровне: варьируют расстояние, архитектура сети, параметры задержки сигнала (туда-обратно от 31 до 91 мс, общая задержка до 226 мс), отсутствуют стандартизированные пороговые значения безопасности сети [36]. Кроме того, в существующих

роботических системах повсеместно отсутствует тактильная обратная связь, что при дистанционной работе заставляет хирурга полагаться только на визуальные ориентиры, повышая риск повреждения тканей [37]. В дальнейшем необходимы исследования по прогнозированию рисков, связанных с отсутствием тактильной обратной связи.

В-третьих, до сих пор нет нормативной базы, регулирующей этические аспекты, такие как определение ответственности при межрегиональной помощи, информированное согласие пациента и обеспечение безопасности данных [38, 39].

Что касается экономических затрат пациента, то, хотя дистанционная операция избавляет от расходов на проезд и проживание, пациент может вносить вклад в траты клиники на развертывание выделенной сети 5G, многоканальное резервное оборудование и обслуживание роботической системы. Однако полноценный анализ затрат и эффективности отсутствует, поэтому экономические преимущества данной технологии нуждаются в дальнейшей оценке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

5G-телероботическая хирургия является перспективным направлением медицины и представляет собой инновационное решение проблемы неравномерного распределения медицинских ресурсов. Исследования показывают, что у тщательно отобранных пациентов дистанционные робот-ассистированные операции характеризуются безопасностью и эффективностью.

Однако технология все еще находится на стадии ранней валидации, и ее широкое внедрение сейчас невозможно из-за того, что сделанные в исследованиях выводы ограничены небольшим размером выборок и отсутствием данных об отдаленных онкологических исходах. Кроме того, развитие телехирургии сдерживается отсутствием тактильной обратной связи в роботизированных хирургических системах, стандартов оценки сетевых параметров, этической правовой базы. Не проводилась и всесторонняя оценка экономической эффективности.

Следовательно, для окончательного подтверждения эффективности и безопасности необходимы крупные многоцентровые проспективные рандомизированные исследования с оценкой отдаленных онкологических исходов и экономической эффективности. Для широкого внедрения в клиническую практику необходимо также разработать технические стандарты и правовые нормы.

Литература | Literature

- Kim W., Kim H.-H., Han S.-U. et al. Decreased morbidity of laparoscopic distal gastrectomy compared with open distal gastrectomy for stage I gastric cancer: short-term outcomes from a multicenter randomized controlled trial (KLASS-01). *Ann Surg* 2016;263(1):28–35. DOI: 10.1097/SLA.0000000000001346
- Lee H.-J., Hyung W.J., Yang H.-K. et al. Short-term outcomes of a multicenter randomized controlled trial comparing laparoscopic distal gastrectomy with D2 lymphadenectomy to open distal gastrectomy for locally advanced gastric cancer (KLASS-02-RCT). *Ann Surg* 2019;270(6):983–91. DOI: 10.1097/SLA.00000000000003217
- Katai H., Mizusawa J., Katayama H. et al. Short-term surgical outcomes from a phase III study of laparoscopy-assisted *versus* open distal gastrectomy with nodal dissection for clinical stage IA/IB gastric cancer: Japan Clinical Oncology Group Study JCOG0912. *Gastric Cancer* 2017;20(4):699–708. DOI: 10.1007/s10120-016-0646-9
- Hu Y., Huang C., Sun Y. et al. Morbidity and mortality of laparoscopic *versus* open D2 distal gastrectomy for advanced gastric cancer: a randomized controlled trial. *J Clin Oncol* 2016;34(12):1350–7. DOI: 10.1200/JCO.2015.63.7215
- Kitano S., Iso Y., Moriyama M., Sugimachi K. Laparoscopy-assisted Billroth I gastrectomy. *Surg Laparosc Endosc* 1994;4(2):146–8.
- Hashizume M., Sugimachi K. Robot-assisted gastric surgery. *Surg Clin North Am* 2003;83(6):1429–44. DOI: 10.1016/S0039-6109(03)00158-0
- Ojima T., Nakamura M., Hayata K. et al. Short-term outcomes of robotic gastrectomy vs laparoscopic gastrectomy for patients with gastric cancer: a randomized clinical trial. *JAMA Surg* 2021;156(10):954–63. DOI: 10.1001/jamasurg.2021.3182
- Lu J., Zheng C.-H., Xu B.-B. et al. Assessment of robotic *versus* laparoscopic distal gastrectomy for gastric cancer: a randomized controlled trial. *Ann Surg* 2021;273(5):858–67. DOI: 10.1097/SLA.0000000000004466
- Lu J., Xu B.-B., Zheng H.-L. et al. Robotic *versus* laparoscopic distal gastrectomy for resectable gastric cancer: a randomized phase 2 trial. *Nat Commun* 2024;15(1):4668. DOI: 10.1038/s41467-024-49013-6
- Pan H.-F., Wang G., Liu J. et al. Robotic *versus* laparoscopic gastrectomy for locally advanced gastric cancer. *Surg Laparosc Endosc Percutan Tech* 2017;27(6):428–33. DOI: 10.1097/SLE.0000000000000469
- Silvestre J., Seeger S., Reitman C.A. Geographic disparities in the supply and adequacy of the general surgeon workforce across the United States: Projections to 2037. *Am J Surg* 2026;253:116685. DOI: 10.1016/j.amjsurg.2025.116685
- Miller-Hammond K., Anderson D. Barriers to surgical health care access in rural communities. *Am Surg* 2025;91(5):681–4. DOI: 10.1177/00031348251323712
- Xia S.-B., Lu Q.-S. Development status of telesurgery robotic system. *Chin J Traumatol* 2021;24(3):144–7. DOI: 10.1016/j.cjtee.2021.03.001
- Xie X., Tian Y., Huang J. et al. Surgery without distance: will 5G-based robot-assisted telesurgery redefine modern surgery? *Transl Lung Cancer Res* 2025;14(5):1821–9. DOI: 10.21037/tlcr-2025-16
- Ding Y., Wang S., Lan R. et al. Telerobotic surgery: a comprehensive two-decade evolution and the integration of emerging technologies. *Int J Surg* 2026;112(1):1652–72. DOI: 10.1097/JS9.00000000000003484
- Marescaux J., Leroy J., Gagner M. et al. Transatlantic robot-assisted telesurgery. *Nature* 2001;413(6854):379–80. DOI: 10.1038/35096636
- Georgiou K.E., Georgiou E., Satava R.M. 5G Use in healthcare: the future is present. *JSLs* 2021;25(4):e2021.00064. DOI: 10.4293/JSLs.2021.00064
- Moustris G., Tzafestas C., Konstantinidis K. A long distance telesurgical demonstration on robotic surgery phantoms over 5G. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2023;18(9):1577–87. DOI: 10.1007/s11548-023-02913-2
- Zhang M., Hu M., Yang J. et al. A pilot study on the clinical feasibility of 5G remote robot-assisted gastrectomy. *World J Surg Oncol* 2025;23(1):117. DOI: 10.1186/s12957-025-03780-8
- Guo H., Tian Y., Ding P. et al. Safety and feasibility of robot-assisted remote radical gastrectomy for gastric cancer based on 5G communication technology (FUTURE-04): a prospective, single-arm clinical trial. *Gastric Cancer* 2026;29(1):238–49. DOI: 10.1007/s10120-025-01687-7
- Guo C., Zhou J., Hu M. et al. Clinical application and observation of 5G remote robotic radical gastrectomy for gastric cancer. *Surg Endosc* 2026;40(3):2127–35. DOI: 10.1007/s00464-025-12268-1
- Kim T., Zimmerman P.M., Wade M.J., Weiss C.A. 3rd. The effect of delayed visual feedback on telerobotic surgery. *Surg Endosc* 2005;19(5):683–6. DOI: 10.1007/s00464-004-8926-6
- Xu S., Perez M., Yang K. et al. Determination of the latency effects on surgical performance and the acceptable latency levels in telesurgery using the dV-Trainer simulator. *Surg Endosc* 2014;28(9):2569–76. DOI: 10.1007/s00464-014-3504-z
- Ebihara Y., Hirano S., Kurashima Y. et al. Tele-robotic distal gastrectomy with lymph node dissection on a cadaver. *Asian J Endosc Surg* 2024;17(1):e13246. DOI: 10.1111/ases.13246
- Fan Y., Ma C., Wu X. et al. 5G Remote robot-assisted hepatobiliary and pancreatic surgery: a report of five cases and a literature review. *Int J Med Robot* 2025;21(1):e70027. DOI: 10.1002/rcs.70027
- Liao W., Zhu H.-T., Guo Y.-T. et al. Feasibility and safety of remote robotic hepatectomy: a prospective single-arm study with MP1000 system in China. *EClinicalMedicine* 2025;89:103579. DOI: 10.1016/j.eclinm.2025.103579
- Yang J., Zhan W., Zhang Z. et al. The safety and feasibility of telerobotic cholecystectomy *via* a 5G network: a prospective controlled clinical trial. *Surg Endosc* 2025;39(11):7336–46. DOI: 10.1007/s00464-025-12005-8
- Cuevas C.A.G., Alvarado G.A.D., González C.J. et al. Scientific evolution of robotic surgery in urogenital diseases: bibliometric analysis. *J Robot Surg* 2025;19(1):219. DOI: 10.1007/s11701-025-02359-5
- Pan H.-M., Wu Y.-M., Lee W.-J. et al. The trends and evolution of robotic surgery in Taiwan: a 14-year nationwide analysis (2011–2024). *J Robot Surg* 2025;20(1):18. DOI: 10.1007/s11701-025-02987-x
- Yu S., Tao J., Guo B. et al. Application of 5G robotic telesurgery in urology: a multicenter study in the real world. *Surg Endosc* 2025;39(9):5613–22. DOI: 10.1007/s00464-025-11969-x
- Ye S., Peng D., Zhu L. et al. 5G-remote radical prostatectomy under novel robotic systems: a prospective comparative cohort study with local surgeries. *Prostate Cancer Prostatic Dis* 2025 Jul 28. DOI: 10.1038/s41391-025-01004-4. Epub ahead of print.
- Li J., Jiao W., Yuan H. et al. Telerobot-assisted laparoscopic adrenalectomy: feasibility study. *Br J Surg* 2022;110(1):6–9. DOI: 10.1093/bjs/znac279
- Li J., Yang X., Chu G. et al. Application of improved robot-assisted laparoscopic telesurgery with 5G technology in urology. *Eur Urol* 2023;83(1):41–4. DOI: 10.1016/j.eururo.2022.06.018

34. Wang Y., Ai Q., Zhao W. et al. Safety and reliability of a robot-assisted laparoscopic telesurgery system: expanding indications in urological surgery. *Eur Urol* 2024;85(5):506–7. DOI: 10.1016/j.eururo.2023.11.002
35. Elendu C., Amaechi D.C., Elendu T.C. et al. The legal and ethical considerations in cross-border telesurgical procedures. *Ann Med Surg (Lond)* 2025;87(6):3660–72. DOI: 10.1097/MS9.0000000000003344
36. Motiwala Z.Y., Desai A., Bisht R. et al. Telesurgery: current status and strategies for latency reduction. *J Robot Surg* 2025;19(1):153. DOI: 10.1007/s11701-025-02333-1
37. Takano H., Ebihara Y., Hirano S. et al. Effectiveness of haptic feedback during local and remote robotic surgery: single-blind cadaveric study. *J Robot Surg* 2025;19(1):662. DOI: 10.1007/s11701-025-02826-z
38. Xue J., Weng S. Navigating the legal complexities of telesurgery in China: an assessment of tort liability and the path forward. *Med Sci Law* 2025;65(1):15–22. DOI: 10.1177/00258024241229831
39. Patel V., Saikali S., Moschovas M.C. et al. Technical and ethical considerations in telesurgery. *J Robot Surg* 2024;18(1):40. DOI: 10.1007/s11701-023-01797-3

Вклад авторов | Authors' contributions

И. Цян: выбор темы и разработка структуры обзора, составление стратегии поиска литературы, проведение отбора и извлечения данных, синтез доказательств, написание первоначального и окончательного вариантов рукописи;
 Ф.П. Ветшев: определение объема и ключевых вопросов обзора, руководство отбором литературы, интерпретация основных результатов исследований, критический анализ и редактирование текста рукописи;
 С.В. Осминин: участие в разработке стратегии поиска и критериев включения источников, участие в отборе литературы, извлечении данных и оформлении таблиц, окончательная вычитка и стилистическая правка рукописи;
 И.Р. Билялов: помощь в поиске, отборе и извлечении данных, участие в составлении сводных таблиц;
 Е.В. Панина: помощь в систематизации данных, оформление списка литературы, проверка соответствия формальным требованиям;
 Н.В. Петухова: поиск литературы, оформление списка литературы, проверка соответствия формальным требованиям, помощь в подготовке таблиц.
 Y. Qiang: choosing a research topic and developing a review structure, developing a literature search strategy, selecting and extracting data, synthesizing evidence, writing the initial and final versions of the manuscript;
 F.P. Vetshev: definition of the scope and key issues of the review, guidance on the selection of literature, interpretation of the main research results, critical analysis and editing of the manuscript text;
 S.V. Osminin: participation in the development of a search strategy and criteria for including sources, participation in the selection of literature, data extraction and tabulation, final proofreading and stylistic revision of the manuscript;
 I.R. Bilyalov: assistance in the search, selection and extraction of data, participation in the compilation of summary tables;
 E.V. Panina: assistance in data systematization, preparation of a list of references, verification of compliance with formal requirements;
 N.V. Petukhova: literature search, registration of a list of references, verification of compliance with formal requirements, assistance in preparing tables.

ORCID авторов | ORCID of authors

И. Цян / Y. Qiang: <https://orcid.org/0009-0003-4180-7126>
 Ф.П. Ветшев / F.P. Vetshev: <https://orcid.org/0000-0001-6589-092X>
 С.В. Осминин / S.V. Osminin: <https://orcid.org/0000-0002-9950-6575>
 И.Р. Билялов / I.R. Bilyalov: <https://orcid.org/0000-0002-8956-1765>
 Е.В. Панина / E.V. Panina: <https://orcid.org/0000-0002-7902-1554>
 Н.В. Петухова / N.V. Petukhova: <https://orcid.org/0000-0001-6783-573X>

Конфликт интересов | Conflict of interest

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
 The authors declare no conflict of interest.

Финансирование | Funding

Работа выполнена без спонсорской поддержки.
 The study was performed without external funding.

Статья поступила Article submitted:	30.04.2026
Рецензия Peer reviewed:	01.06.2026
Принята к публикации Accepted for publication:	15.06.2026
Опубликована онлайн Published online:	15.07.2026