

<https://doi.org/10.33878/2073-7556-2023-22-2-92-102>



Алгоритм на основе искусственного интеллекта для системы поддержки принятия врачебного решения при колоноскопии

Мтвралашвили Д.А.¹, Шахматов Д.Г.^{1,2}, Ликотов А.А.^{1,2}, Запольский А.Г.³,
Суслова Д.И.⁴, Бородин А.А.⁵, Сушков О.И.¹, Ачкасов С.И.^{1,2}

¹ФГБУ «НМИЦ колопроктологии имени А.Н. Рыжих» Минздрава России (ул. Саляма Адилы, д. 2, г. Москва, 123423, Россия)

²ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России (ул. Баррикадная, д. 2/1, стр. 1, г. Москва, 125993, Россия)

³ФГБОУ ВО «Российская Академия Народного Хозяйства и Государственной Службы При Президенте Российской Федерации» (пр-т Вернадского, д. 82, г. Москва, 119571, Россия)

⁴АО НЦСИ (ул. Усачёва, д. 33 стр. 2, г. Москва, 119048, Россия)

⁵ООО «Вейваксес Сервис» (пр-т Каменноостровский, д. 11, г. Санкт-Петербург, 197046, Россия)

РЕЗЮМЕ

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ: оценка возможности применения технологии машинного обучения для помощи врачу в выявлении новообразований толстой кишки при колоноскопии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: из архива видеозаписей колоноскопии отобрано 1070 исследований с новообразованиями 5 типов — гиперпластический полип, зубчатое образование, аденома с низкой степенью дисплазии, аденома с высокой степенью дисплазии, инвазивный рак. Отобрано 9838 информативных кадров, включая 6543 с новообразованиями. Новообразования были размечены в графическом редакторе. Проведено машинное обучение на полученном дата-сете с использованием нейросетевого алгоритма YOLOv5.

РЕЗУЛЬТАТЫ: обученный алгоритм позволил определять новообразования с точностью 83,2% и чувствительностью 77,2% на тестовой выборке собранного дата-сета. Проанализированы наиболее частые причины ошибок алгоритма.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: размеченный дата-сет позволил создать на основе технологии искусственного интеллекта алгоритм, определяющий новообразования толстой кишки в видеопотоке записи колоноскопии. Дальнейшая разработка позволит создать систему поддержки принятия врачебного решения при колоноскопии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: колоноскопия, искусственный интеллект, машинное зрение, машинное обучение, система поддержки принятия врачебного решения, аденома, рак, новообразование

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ: субсидия Минздрава России

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Мтвралашвили Д.А., Шахматов Д.Г., Ликотов А.А., Запольский А.Г., Суслова Д.И., Бородин А.А., Сушков О.И., Ачкасов С.И. Алгоритм на основе искусственного интеллекта для системы поддержки принятия врачебного решения при колоноскопии. *Колопроктология*. 2023; т. 22, № 2, с. 92–102. <https://doi.org/10.33878/2073-7556-2023-22-2-92-102>

AI-based algorithm for clinical decision support system in colonoscopy

Dmitry A. Mtvralashvili¹, Dmitry G. Shakhmatov^{1,2}, Aleksey A. Likutov^{1,2},
Alexander G. Zapolsky³, Darya I. Suslova⁴, Alexander A. Borodinov⁵,
Oleg I. Sushkov¹, Sergey I. Achkasov^{1,2}

¹Ryzhikh National Medical Research Center of Coloproctology (Salyama Adilya st., 2, Moscow, 123423, Russia)

²Russian Medical Academy of Continuous Professional Education (Barrikadnaya st., 2/1, Moscow, 125993, Russia)

³FGBOU VO "Russian Academy of National Economy and Public Administration Under the President of the Russian Federation" (82 Vernadsky Ave., Moscow, 119571, Russia)

⁴AO NCSI (Usacheva st., 33 p. 2, Moscow, 119048, Russia)

⁵ООО "Wayvaxess Service" (Kamennostrovsky Ave., 11, Saint Petersburg, 197046, Russia)

ABSTRACT AIM: to estimate the implementation of the original method that uses artificial intelligence (AI) to detect colorectal neoplasms.
 MATERIALS AND METHODS: we selected 1070 colonoscopy videos from our archive with 5 types of lesions: hyperplastic polyp, serrated adenoma, adenoma with low-grade dysplasia, adenoma with high-grade dysplasia and invasive cancer. Then 9838 informative frames were selected, including 6543 with neoplasms. Lesions were annotated to obtain data set that was finally used for training a convolutional neural network (YOLOv5).
 RESULTS: the trained algorithm is able to detect neoplasms with an accuracy of 83.2% and a sensitivity of 77.2% on a test sample of the dataset. The most common algorithm errors were revealed and analyzed.
 CONCLUSION: the obtained data set provided an AI-based algorithm that can detect colorectal neoplasms in the video stream of a colonoscopy recording. Further development of the technology probably will provide creation of a clinical decision support system in colonoscopy.

KEYWORDS: colonoscopy, endoscopy, artificial intelligence, computer vision, machine learning, adenoma, cancer, neoplasm

CONFLICT OF INTEREST: the authors declare no conflict of interest

SOURCES OF FUNDING: subsidy of the Ministry of Health of Russia

FOR CITATION: Mtvralashvili D.A., Shakhmatov D.G., Likutov A.A., Zapolsky A.G., Suslova D.I., Borodinov A.A., Sushkov O.I., Achkasov S.I. AI-based algorithm for clinical decision support system in colonoscopy. *Koloproktologia*. 2023;22(2):92–102. (in Russ.). <https://doi.org/10.33878/2073-7556-2023-22-2-92-102>

АДРЕС ДЛЯ ПЕРЕПИСКИ: Шахматов Д.Г., ФГБУ «НМИЦ колопроктологии имени А.Н. Рыжих» Минздрава России, ул. Салыма Адилы, д. 2, Москва, 123423, Россия; e-mail: mma02@yandex.ru

ADDRESS FOR CORRESPONDENCE: Shakhmatov D.G., Ryzhikh National Medical Research Center of Coloproctology, Salyama Adilya st., 2, Moscow, 123423, Russia; e-mail: mma02@yandex.ru

Дата поступления — 18.04.2023

Received — 18.04.2023

После доработки — 24.04.2023

Revised — 24.04.2023

Принято к публикации — 17.05.2023

Accepted for publication — 17.05.2023

ВВЕДЕНИЕ

Рак толстой кишки (РТК) является социально значимым онкологическим заболеванием, занимая ведущие позиции по частоте выявления и по причинам смерти от новообразований в разных странах мира. В Российской Федерации ежегодно регистрируется более 38 тысяч смертей от данной патологии, а число впервые выявленных случаев РТК превышает 71 тысячу [1].

Рак толстой кишки в подавляющем большинстве случаев проходит стадию доброкачественного новообразования — аденомы. Крупные эпидемиологические исследования показали, что своевременное эндоскопическое удаление аденом снижает риск развития колоректального рака на 90% [2]. В этой связи большое значение придается скрининговой колоноскопии, в ходе которой частота выявления аденом (в англоязычной литературе — adenoma detection rate, ADR) колеблется от 30 до 64% [3–6].

Вместе с тем, различные исследования демонстрируют относительно высокий процент просмотренных новообразований. Так, частота пропущенных во время колоноскопии аденом, по данным метаанализа Hassan С., составляет 37,5% [4]. Пропуск аденом при колоноскопии зависит от размера новообразования — в работе van Rijn J.C. частота пропущенных полипов составила 2,1%, 13% и 26% для аденом более 10 мм, 5–10 мм и менее 5 мм, соответственно [5].

Кроме того, возможными причинами пропуска считается плохая подготовка кишки, а также человеческий фактор [6,7].

Таким образом, повышение информативности колоноскопии ожидаемо позволит добиться снижения заболеваемости и смертности от РТК за счет своевременного выполнения эндоскопической полипэктомии.

Одним из инструментов решения этой задачи является технология искусственного интеллекта (ИИ) для обработки и предварительного анализа данных видеокколоноскопии [8–11]. По мнению авторов статей, использование автоматизации обработки видеокколоноскопических исследований при скрининговой колоноскопии позволит нивелировать субъективизм врача-эндоскописта и повысить диагностическую точность и чувствительность в отношении выявления аденом и аденокарцином толстой кишки, а также сократить время описания исследования [10]. Данная технология не является самостоятельной диагностической опцией, а рассматривается в качестве системы поддержки принятия врачебного решения (СППВР).

В мировой литературе с каждым годом все больше внимания уделяется применению ИИ при колоноскопии. Полученные данные внушают определенный оптимизм.

В исследовании Luo Y., с соавт. [11] на основании обследования 150 пациентов было показано, что

система ИИ увеличивает частоту обнаружения полипов в реальных клинических условиях (38,7% против 34,0%, $p < 0,001$). При этом колоноскопия с применением системы ИИ значительно повышает выявляемость полипов размером менее 6 мм (91% против 69%, $p < 0,001$), но не обнаруживает различий в отношении более крупных новообразований.

Wallace M.B., с соавт. [12] провели исследование с двумя последовательными колоноскопиями — стандартной и с применением ИИ. Частота просмотренных аденом составила 32,4% и 15,5%, соответственно. Среднее количество аденом при повторной колоноскопии определялось меньше в группе, в которой ИИ использовался при первом исследовании, по сравнению с группой, в которой ИИ при первом исследовании не применялся ($0,33 \pm 0,63$ против $0,70 \pm 0,97$, $P < 0,001$). Частота ложноотрицательных результатов составила 6,8% и 29,6% при первых колоноскопиях с применением и без применения ИИ, соответственно (ОШ 0,17; 95% ДИ 0,05–0,67). Таким образом, ИИ обеспечил примерно двукратное снижение частоты пропуска колоректальной неоплазии, уменьшая ошибки восприятия небольших и малоаметных новообразований.

В работе Ху Н., и соавт. [13], помимо ADR, оценивалось среднее количество аденом на колоноскопию, корреляция ADR с опытом эндоскописта и временем

выведения аппарата при колоноскопии. 3059 человек были рандомизированы в группу для проведения колоноскопии с использованием системы ИИ ($n = 1519$) и без нее ($n = 1540$). В процессе колоноскопии с применением ИИ использовалась система обнаружения полипов Eagle-Eye, с уведомлением в режиме реального времени на том же мониторе эндоскопической системы. Уровень общего ADR (39,9% против 32,4%; $p < 0,001$), ADR у экспертов (42,3% против 32,8%, $p < 0,001$) и неспециалистов-эндоскопистов (37,5% против 32,1%; $P = 0,023$) были значительно выше при колоноскопии с использованием системы ИИ. Среднее время выведения аппарата (8,3 минуты против 7,8 минуты; $P = 0,004$) было немного больше в группе ИИ. Был сделан вывод о том, что у бессимптомных пациентов колоноскопия с использованием ИИ увеличила общий уровень ADR, а также частоту выявления аденом как экспертами, так и менее опытными специалистами [13].

Увеличение выявляемости аденом при колоноскопии имеет существенный экономический эффект. Так, например, Areia M., с соавт. [14] на основе моделирования применения технологии машинного зрения при колоноскопии пришли к выводу, что данный инструмент позволит снизить число заболевших раком толстой кишки в США на 7194 случаев ежегодно, а число погибших от этой болезни — на 2089 человек.



Рисунок 1. Схема предварительной работы по созданию СППВР при колоноскопии

Figure 1. Flow-chart of preliminary work for the creation of CDSS in colonoscopy

При этом экономическая выгода от имплементации ИИ в колоноскопии предположительно составляет 290 миллионов долларов США в годовом исчислении за счет сокращения затрат на диагностику и лечение колоректального рака и других издержек, связанных с развитием опухоли толстой кишки.

В доступной отечественной литературе приводится единичный опыт использования технологии искусственного интеллекта в колоноскопии, при этом нет данных о широком применении описанных разработок в клинической практике [15,16].

Таким образом, разработка и внедрение отечественной СППВР при колоноскопии на основе ИИ представляется актуальной с научной и практической точек зрения. Такая работа начата в ФГБУ «НМИЦ колопроктологии имени А.Н. Рыжих» Минздрава России в 2022 году.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом работы послужил электронный архив видеозаписей колоноскопий, выполненных в ФГБУ «НМИЦ колопроктологии имени А.Н. Рыжих» Минздрава России. Вошедшие в работу исследования были выполнены на аппарате «Pentax 7010» (Япония) и Olympus Exera-III (Япония) с разрешением высокой четкости (HD — high definition) в период с января 2021 по октябрь 2022 гг.

Дизайн работы представлен на рисунке 1.

В работу были отобраны видеозаписи исследований, в ходе которых обнаружены новообразования толстой кишки, подвергшиеся в дальнейшем удалению и патоморфологическому исследованию в соответствии с действующим в Центре протоколом. Разметке подвергались новообразования, относящиеся к одному из пяти нижеперечисленных типов:

- 1) Гиперпластический полип
- 2) Зубчатое новообразование
- 3) Аденома с дисплазией низкой степени
- 4) Аденома с дисплазией высокой степени
- 5) Инвазивный рак.

Выделение данных классов обусловлено частотой встречаемости и их клинической значимостью, которая определяется различными подходами к лечению таких новообразований. При этом из дальнейшего анализа были исключены случаи, когда новообразование толстой кишки по гистологическому строению не соответствовало вышеуказанным классам или не подтверждалось. Также исключались видеозаписи колоноскопии пациентов, страдающих воспалительными заболеваниями кишечника.

Таким образом, для дальнейшей работы было отобрано 1070 видеозаписей эндоскопических

исследований толстой кишки, соответствующих выбранным критериям, общим объемом 46 гигабайт.

Записи видеокколоноскопии характеризовались частотой 29, 30 или 50 Гц. Высота кадра была не менее 1080 пикселей — исходные видеозаписи в подавляющем большинстве представлены в разрешении 1300 × 1080 (66,4%) или 1920 × 1080 (27,3%).

Из данных видеофрагментов отбирались кадры, соответствующие критериям качества:

- четкие;
- без затемнения;
- без сильного загрязнения образования;
- вне момента переключения между режимами (белый свет/NBI);
- вне момента орошения.

Для последующей разметки выявленного новообразования отбиралось не менее 5 кадров хорошего качества с разных ракурсов для каждого режима исследования (белый свет / NBI), при этом временной интервал между кадрами составлял не менее 1 секунды.

Также случайным образом отбирались кадры, не содержащие новообразования, в соотношении 1:2 в качестве контроля нормы. На этих кадрах ставились метки качества видео и балльной оценки подготовки толстой кишки по Бостонской шкале.

Всего в соответствии с вышеуказанным подходом было отобрано 9838 кадров, которые послужили материалом итогового дата-сета.

Все данные были подвергнуты анонимизации (обезличиванию) с целью обеспечения защиты персональных данных посредством удаления области кадра, содержащей сведения о пациенте.

Разметка отобранных и обезличенных данных выполнялась 12 врачами-эндоскопистами Центра с опытом самостоятельной практической работы 5–24 года. Три наиболее опытных специалиста со стажем более 15 лет валидировали разметку и привлекались для «второго мнения» в сложных случаях.

Каждое исследование размечалось одним врачом-эндоскопистом. Валидация разметки велась выборочно специалистом более высокой квалификации, а в 20% случаев производилась кросс-валидация вторым экспертом.

Разметка производилась в соответствии со следующей стратегией. Для каждого новообразования врач-эндоскопист на видеофрагменте выбирал не менее 5 диагностически наиболее информативных кадров, затем на каждом из отобранных кадров с помощью графического редактора выполнял оконтуривание новообразования полигональной линией и присваивал метку класса в соответствии с таблицей (Табл. 1). В качестве метода верификации и окончательно отнесения новообразования к тому или иному

Таблица 1. Основные характеристики разметки**Table 1.** Marking main characteristics

№	Класс	Название метки	Цвет разметки
Основные классы (срезы на кадре)			
1	Гиперпластический полип	hyperplastic	
2	Зубчатое образование	serrated	
3	Аденома с легкой дисплазией	low-grade_dysplasia	
4	Аденома с тяжелой дисплазией	high-grade_dysplasia/early_cancer	
5	Инвазивный рак	carcinoma_cancer	
Дополнительные классы			
6	Кадр без новообразований	clean_frame	

Таблица 2. Трактовка результатов работы алгоритма на тестовой выборке**Table 2.** Interpretation of the algorithm results on the test sample

Выдача алгоритма	Мнение 2х экспертов	Результат работы
Новообразование выделено	Новообразование присутствует на кадре	Истинно положительный
Выделение отсутствует	Нет новообразования	Истинно отрицательный
Новообразование выделено	Нет новообразования	Ложно положительный
Выделение отсутствует	Новообразование присутствует на кадре	Ложно отрицательный

классу во всех случаях использовали заключение патоморфологического исследования операционного препарата.

Разметка новообразований была выполнена полигонами с большим количеством точек, соответствующим контурам новообразований. Так как для обучения и тестирования алгоритма машинного обучения были необходимы прямоугольники, примыкающие к границам новообразований, было выполнено преобразование полигонов в прямоугольники.

Размеченный набор данных был разбит на обучающую, тестовую и валидационную выборки в пропорциях 70%, 15% и 15%, соответственно. Распределение кадров по выборкам производилось пропорционально распределению по классам.

Для оценки возможности машинного обучения с целью автоматизации выявления новообразований при колоноскопии в режиме реального времени был использован нейросетевой алгоритм YOLOv5, который является одним из самых распространенных алгоритмов обнаружения объектов, благодаря своей скорости и точности [17].

Было проведено машинное обучение нейросети путем загрузки обучающей выборки дата-сета (4668 размеченных кадров). Независимая валидационная выборка (957 размеченных кадров) была использована для оптимизации работы алгоритма, повышения его точности за счет тонкой настройки нейросети.

Наиболее показательными параметрами, характеризующими эффективность алгоритма в детекции новообразований толстой кишки, являются чувствительность и точность. Для вычисления этих параметров

использовали общепринятые формулы для диагностических тестов (Рис. 2) и нижеприведенные трактовки результатов работы алгоритма (Табл. 2).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Нами изучено распределение кадров с новообразованиями по классам (Рис. 3). Необходимо отметить выраженный дисбаланс классов, обусловленный естественным различием в частоте встречаемости новообразований указанных типов. Строение 4140 (58,3%) размеченных новообразований соответствовало аденоме без тяжелой дисплазии.

На распознавание новообразований алгоритмом влияло количество объектов в кадре. В 414 (6,4%)

$$\text{Чувствительность} = \frac{\text{ИП}}{\text{ИП} + \text{ЛО}} \times 100\%$$

$$\text{Точность} = \frac{\text{ИП} + \text{ИО}}{\text{ИП} + \text{ИО} + \text{ЛО} + \text{ЛП}} \times 100\%$$

Рисунок 2. Формулы для вычисления чувствительности и точности диагностического теста. ИП — истинно положительный; ИО — истинно отрицательный; ЛП — ложно положительный; ЛО — ложно отрицательный

Figure 2. Formulas for the sensitivity and accuracy of a diagnostic test. TP — true positive; TN — true negative; FP — false positive; FN — false negative

случаях на размеченных кадрах присутствовало 2 и более новообразований (Рис. 4).

Для того, чтобы оценить качество полученного набора данных, а также спрогнозировать возможность разработки на его основании СППВР, действие обученного алгоритма было опробовано на 828 размеченных кадрах, составивших тестовую выборку.

Чувствительность алгоритма составила 77,2%, точность выявления новообразований — 83,2%.

Нами были проанализированы ошибки работы модели и определены наиболее частые причины пропуска новообразования на кадре или ложноположительно-го срабатывания.

Так, модель имеет тенденцию к пропуску образования, которое находится на переднем плане кадра: это

может быть связано с недостаточным количеством размеченных образований близко к границам кадра (Рис. 5).

Аналогичная проблема возникала с множественными новообразованиями на одном кадре, когда модель распознавала только один из нескольких объектов (Рис. 6).

Другой ситуацией, когда фиксировались пропуски полипов, являлись образования небольшого размера (Рис. 7).

В процессе тестирования нами фиксировались ложноположительные срабатывания, когда модель выделяла участки на кадре, не содержащие новообразований — это складки, блики, загрязнения. Вместе с тем в ходе тестирования модели нами было

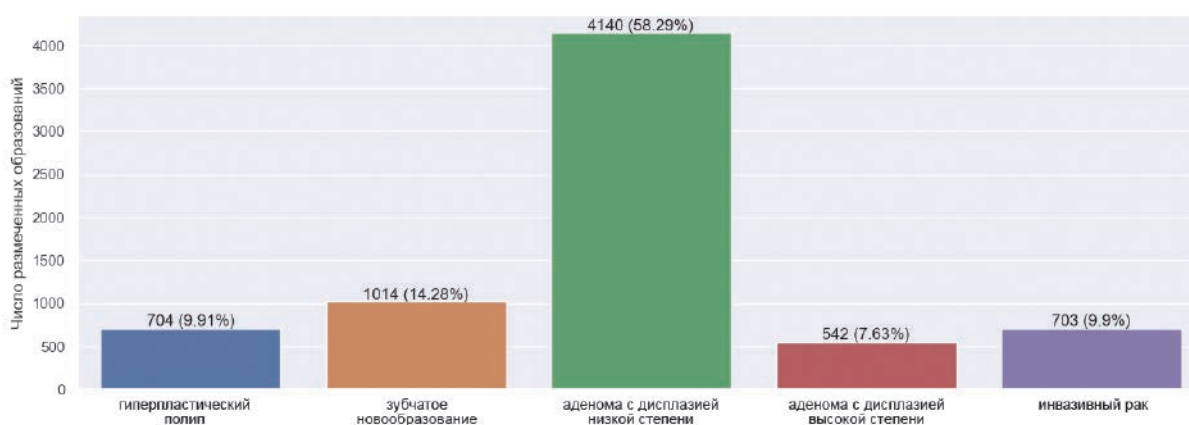


Рисунок 3. Распределение размеченных образований по 5 определяемым классам

Figure 3. Distribution of annotated lesions by classes

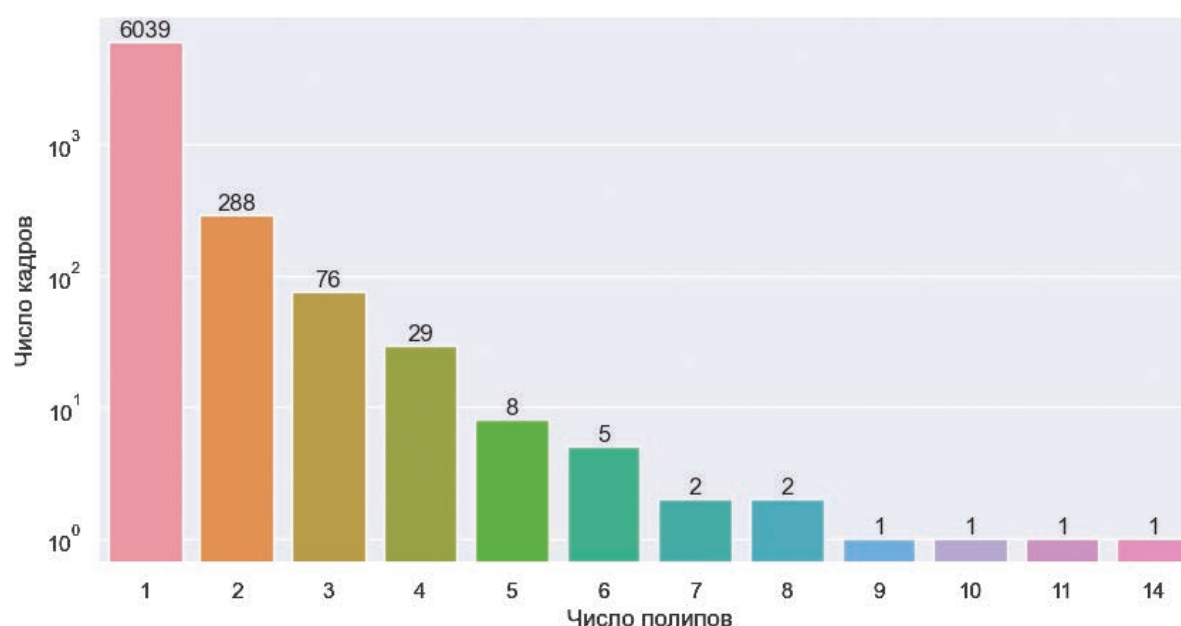


Рисунок 4. Распределение кадров по числу размеченных новообразований

Figure 4. Distribution of frames by amount of annotated lesions

отмечено 5 случаев, когда модель обнаружила новообразования, которые не были учтены при первичной разметке специалистом (Рис. 8). Наличие объектов интереса в таких случаях подтверждалось при рассмотрении кадра двумя экспертами, а также путем пересмотра исходного видеофрагмента записи колоноскопии.

Таким образом, ошибки работы алгоритма зарегистрированы в следующих случаях:

1. Новообразование на переднем плане;
2. Небольшой размер новообразования;
3. «Смазанное» новообразование;
4. Новообразование на гаустре;
5. Множественные новообразования;
6. Колоноскопия в режиме NBI;
7. Присутствие инородных предметов (биопсийная щипка, клипса) в кадре.

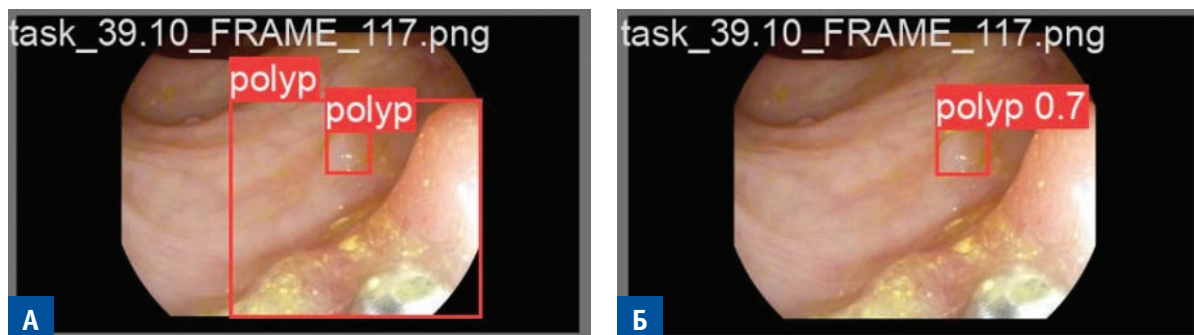


Рисунок 5. Пример ошибки работы алгоритма. Пропуск новообразования на переднем плане. А. Разметка, произведенная специалистом. Б. Выдача алгоритма.

Figure 5. An example of an algorithm error. Missing of the lesion in the foreground. А. Annotation by specialist. Б. Algorithm output

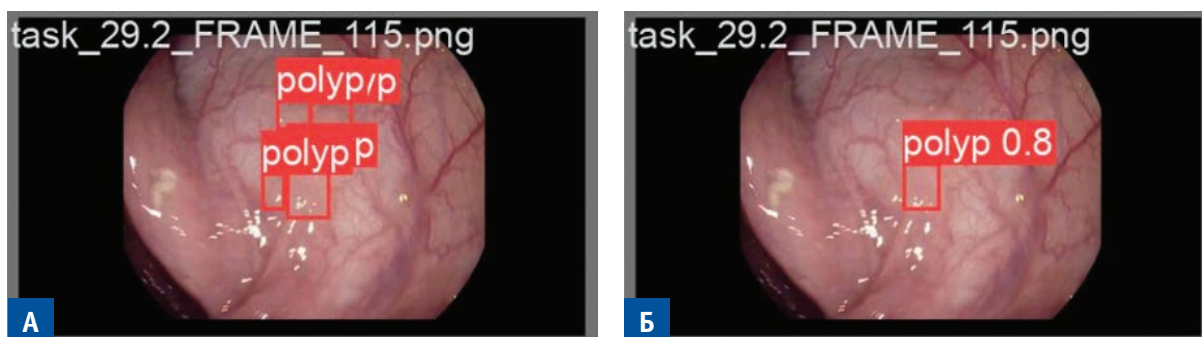


Рисунок 6. Пример ошибки работы алгоритма. Пропуск множественных новообразований. А. Разметка, произведенная специалистом. Б. Выдача алгоритма.

Figure 6. An example of an algorithm error. Missing of the multiple lesions. А. Annotation by specialist. Б. Algorithm output

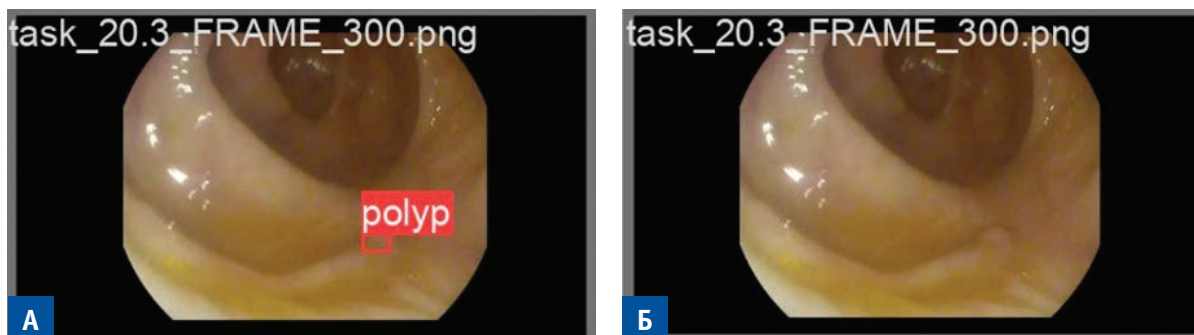


Рисунок 7. Пример ошибки работы алгоритма. Пропуск мелкого новообразования. А. Разметка, произведенная специалистом. Б. Выдача алгоритма.

Figure 7. An example of an algorithm error. Missing of the small lesion. А. Annotation by specialist. Б. Algorithm output

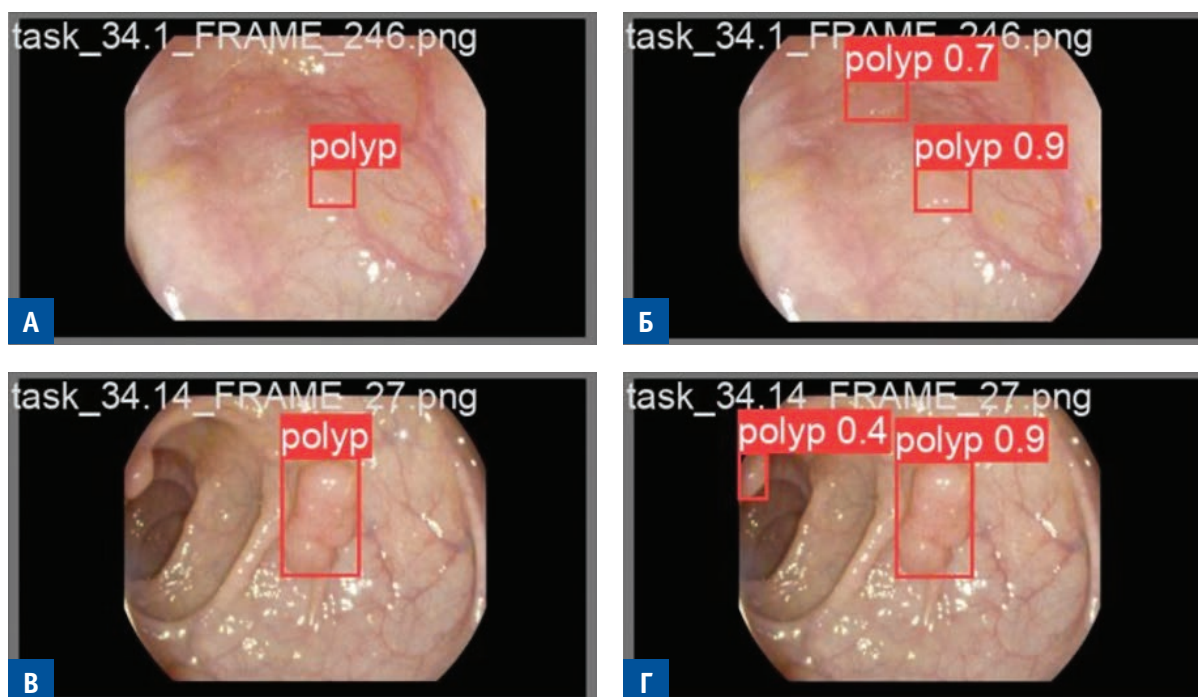


Рисунок 8. Пример обнаружения неразмеченных новообразований. А, В. Первичная разметка, произведенная специалистом. Б, Г. Выдача алгоритма.

Figure 8. An example of revealing by the algorithm not annotated lesions. А,В. Primary annotation by specialist. Б,Г. Algorithm output

ОБСУЖДЕНИЕ

Технология искусственного интеллекта — одна из наиболее активно развивающихся областей науки, широкое применение которой ожидаемо окажет существенное влияние на различные аспекты жизни. В здравоохранении данную технологию также стали активно применять в последние годы, при этом наибольшие успехи достигнуты в медицинской визуализации. Первые сообщения об использовании искусственного интеллекта для помощи врачу при выполнении толстокишечной эндоскопии носят обнадеживающий характер. Вместе с тем, технология требует дальнейшего развития, не решены технические вопросы унификации соответствующего программного обеспечения, недостаточно изучена эффективность системы поддержки принятия врачебного решения, основанной на искусственном интеллекте. Кроме того, не разработана нормативно-правовая база для применения этой методики в повседневной медицинской практике.

Наша работа направлена на создание на основе машинного обучения оригинального универсального алгоритма, который позволит оказывать поддержку врачу-эндоскописту в ходе выполнения колоноскопии в режиме реального времени, выделяя новообразования в видеопотоке. Предполагается, что алгоритм будет классифицировать обнаруженные

новообразования, а в перспективе также формировать предварительный протокол исследования, отмечая уровень осмотра кишки и качество ее подготовки, количество, размер и класс выявленных изменений.

На данном этапе нашей работы алгоритм перспективной СППВР продемонстрировал на тестовой выборке приемлемый уровень чувствительности и точности — 77,2% и 83,2%, соответственно. При этом интересным наблюдением являются случаи выделения алгоритмом новообразований, которые ошибочно не были размечены врачом-эндоскопистом. Также нами проанализированы различные ситуации, сложные для интерпретации машинным зрением, что обуславливает целесообразность дообучения программы за счет расширения дата-сета путем включения дополнительных размеченных кадров.

При сравнении с наборами данных, опубликованными в общем доступе, можно констатировать, что наш дата-сет собран из кадров более высокого разрешения, содержит большое число изображений новообразований, при этом дифференцировано 5 классов объектов (Табл. 3).

Потенциальную работоспособность перспективной СППВР на основе полученного алгоритма, обученного на этом наборе данных, иллюстрирует относительно высокая специфичность и точность теста. Вместе

Таблица 3. Сравнительные характеристики различных дата-сетов**Table 3.** Comparative characteristics of different data sets

Дата-сет	Описание	Формат	Разрешение	Объект детектирования
Kvasir-SEG / HyperKvasir	1000 изображений	Изображение	Различные	Маски, BBox
PICCOLO	3433 изображений (2 131 WL и 1 302 NBI) по 76 образованиям от 48 пациентов	Изображение	854 × 480, 1920 × 1080	Маски. Классификация: Paris и NICE, Adenocarcinoma, Adenoma, Hyperplastic
KUMC	Собран из нескольких дата-сетов; более 30000 изображений	Изображение	Различные	BBox. Классификация: Adenoma, Hyperplastic
SUN	49 136 изображений; 100 образований; 109 554 изображений без образований	Изображение	N/A	BBox polyp, non-polyp annotations
Colorectal Polyp Image Cohort (PIBAdb)	~31 400 изображений (~22 600 WL и ~8800 NBI); 1176 образований; ~17 300 изображений без образований	Видео и изображение	768 × 576	BBox Классификация: Adenoma, Hyperplastic, Sessile Serrated Adenoma, Traditional Serrated Adenoma, Non Epithelial Neoplastic, Invasive
Дата-сет НМИЦ колопроктологии имени А.Н. Рыжих	1070 видео, 6453 изображений с образованиями	Видео и изображение	Различные, не менее 1080 по высоте	Маски. Классификация: Hyperplastic, serrated, low-scale_dysplasia, high-scale_dysplasia/ early_cancer, carcinoma_cancer

Таблица 4. Сравнительная характеристика алгоритмов ИИ в выявлении новообразований при колоноскопии**Table 4.** Comparative characteristics of artificial intelligence algorithms in the detection of neoplasms during colonoscopy

Авторы	Год	Дата-сет	Чувствительность	Точность
Pacal et al.	2022	Обучение и тест: piccolo	79.9%	92.6%
Nogueira-Rodríguez et al.	2022	Обучение: private тест: piccolo	60.0%	76.0%
Li K. et al.	2021	Обучение и тест: kumc	86.2%	91.2%
НМИЦ колопроктологии имени А.Н. Рыжих	2022	Собранный дата-сет	77.2%	83.2%

с тем, по этим характеристикам разработанный алгоритм в текущей версии уступает ряду наиболее развитых аналогов (Табл. 4).

Представленные данные необходимо интерпретировать с осторожностью, поскольку определение чувствительности и точности работы алгоритма производилось на тестовых выборках, при этом заявленные параметры могут быть существенно улучшены за счет дообучения модели. Реальная эффективность алгоритма и созданной на его основе СППВР должны быть изучены путем сравнительных клинических испытаний. Разработка дизайна такого рода исследовательских работ является нетривиальной задачей, поскольку в отношении выявления аденом колоноскопия не имеет верификационного метода, а выполнение двух последовательных эндоскопических исследований у одного пациента не вполне этично. В этой связи нам представляется целесообразным отказаться от прямого сравнения в пользу крупных исследований на однородных группах пациентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Размеченный дата-сет позволил разработать на основе технологии искусственного интеллекта алгоритм, определяющий новообразования толстой кишки в видеопотоке записи колоноскопии с точностью 83,2%. Технология представляется перспективной, однако требует дальнейшей разработки, развития до СППВР и изучения эффективности с позиций доказательной медицины.

УЧАСТИЕ АВТОРОВ

Концепция и дизайн: Мтвралашвили Д.А., Ачкасов С.И., Запольский А.Г.

Сбор и обработка материала: Ликотов А.А., Мтвралашвили Д.А., Сулова Д.И., Бородинов А.А., Сушков О.И.

Написание текста: Мтвралашвили Д.Г., Шахматов Д.Г.

Редактирование текста: Шахматов Д.Г., Сулова Д.И., Ачкасов С.И.

AUTHORS CONTRIBUTION

Concept and design of the study: *Dmitri A. Mtvralashvili, Sergei I. Achkasov, Alexander G. Zapolskiy*

Collection and processing of the materials: *Aleksei A. Likutov, Dmitri A. Mtvralashvili, Darya I. Suslova, Aleksandr A. Borodinov, Oleg I. Sushkov*

Writing of the text: *Dmitri A. Mtvralashvili, Dmitry G. Shakhmatov*

Editing: *Dmitry G. Shakhmatov, Darya I. Suslova, Sergei I. Achkasov*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ (ORCID)

Ликут А.А. — 0000-0001-5848-4050

Ачкасов С.И. — 0000-0001-9294-5447

Мтвралашвили Д.А. — 0000-00003-3258-7881

Сушков О.И. — 0000-0001-9780-7916

Шахматов Д.Г. — 0000-0001-7964-2126

Бородин А.А. — 0000-0003-1281-8822

Сулова Д.И. — 0000-0003-1106-5486

Запольский А.Г. — 0000-0002-4964-0848

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS (ORCID)

Alexey A. Likutov — 0000-0001-5848-4050

Sergey I. Achkasov — 0000-0001-9294-5447

Dmitry A. Mtvralashvili — 0000-00003-3258-7881

Oleg I. Sushkov — 0000-0001-9780-7916

Dmitry G. Shakhmatov — 0000-0001-7964-2126

Aleksandr A. Borodinov — 0000-0003-1281-8822

Darya I. Suslova — 0000-0003-1106-5486

Alexander G. Zapolskiy — 0000-0002-4964-0848

ЛИТЕРАТУРА

- Каприн А.Д., Старинский В.В., Шахзадова А.О. Злокачественные новообразования в России в 2021 году (заболеваемость и смертность). М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России. 2022; 252 с.
- Winawer SJ, Zauber AG. Incidence reduction following colonoscopic polypectomy. *Am J Gastroenterol*. 2011;106:370. PMID: 21301465. doi: [10.1038/ajg.2010.387](https://doi.org/10.1038/ajg.2010.387)
- Tribonias G, Theodoropoulou A, Konstantinidis K, et al. Comparison of standard vs high-definition, wide-angle colonoscopy for polyp detection: a randomized controlled trial. *Colorectal Dis*. 2010;12:e260–e266.
- Hassan C, Piovani D, Spadaccini M, et al. Variability in adenoma detection rate in control groups of randomized colonoscopy trials: a systematic review and meta-analysis. *Gastrointest Endosc*. 2023;97(2):212–225.e7. doi: [10.1016/j.gie.2022.10.009](https://doi.org/10.1016/j.gie.2022.10.009)
- van Rijn JC, Reitsma JB, Stoker J, et al. Polyp miss rate determined by tandem colonoscopy: a systematic review. *Am J Gastroenterol*. 2006 Feb;101(2):343–50. PMID: 16454841. doi: [10.1111/j.1572-0241.2006.00390.x](https://doi.org/10.1111/j.1572-0241.2006.00390.x)
- Kashiwagi K, Inoue N, Yoshida T, et al. Polyp detection rate in transverse and sigmoid colon significantly increases with longer withdrawal time during screening colonoscopy. *PLoS One*. 2017 Mar 22;12(3):e0174155. PMID: 28328936; PMCID: PMC5362195. doi: [10.1371/journal.pone.0174155](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174155)
- Sui Y, Wang Q, Chen HH, et al. Comparison of adenoma detection in different colorectal segments between deep-sedated and unsedated colonoscopy. *Sci Rep*. 2022 Sep 12;12(1):15356. PMID: 36097050; PMCID: PMC9468171. doi: [10.1038/s41598-022-19468-y](https://doi.org/10.1038/s41598-022-19468-y)
- Wang Y, He X, Nie H, et al. Application of artificial intelligence to the diagnosis and therapy of colorectal cancer. *Am J Cancer Res*. 2020;10(11):3575–98.
- Perone CS, Cohen-Adad J. Promises and limitations of deep learning for medical image segmentation. *J Med Artif Intel*. 2019;2.
- Lui TKL, Leung WK. Is artificial intelligence the final answer

to missed polyps in colonoscopy? *World J Gastroenterol*. 2020 Sep 21;26(35):5248–5255. PMID: 32994685; PMCID: PMC7504252. doi: [10.3748/wjg.v26.i35.5248](https://doi.org/10.3748/wjg.v26.i35.5248)

11. Luo Y, Zhang Y, Liu M, et al. Artificial Intelligence-Assisted Colonoscopy for Detection of Colon Polyps: a Prospective, Randomized Cohort Study. *J Gastrointest Surg*. 2021 Aug;25(8):2011–2018. Epub 2020 Sep 23. PMID: 32968933; PMCID: PMC8321985. doi: [10.1007/s11605-020-04802-4](https://doi.org/10.1007/s11605-020-04802-4)

12. Wallace MB, Sharma P, Bhandari P, et al. Impact of Artificial Intelligence on Miss Rate of Colorectal Neoplasia. *Gastroenterology*. 2022 Jul;163(1):295–304.e5. Epub 2022 Mar 15. PMID: 35304117. doi: [10.1053/j.gastro.2022.03.007](https://doi.org/10.1053/j.gastro.2022.03.007)

13. Xu H, Tang RSY, Lam TYT, et al. Artificial Intelligence-Assisted Colonoscopy for Colorectal Cancer Screening: A Multicenter Randomized Controlled Trial. *Clin Gastroenterol Hepatol*. 2023 Feb;21(2):337–346.e3. Epub 2022 Jul 19. PMID: 35863686. doi: [10.1016/j.cgh.2022.07.006](https://doi.org/10.1016/j.cgh.2022.07.006)

14. Areia M, Mori Y, Correale L, et al. Cost-effectiveness of artificial intelligence for screening colonoscopy: a modelling study. *Lancet Digit Health*. 2022 Jun;4(6):e436–e444. Epub 2022 Apr 13. PMID: 35430151. doi: [10.1016/S2589-7500\(22\)00042-5](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(22)00042-5)

15. Завьялов Д.В., Кашин Н.В., Нестеров П.В., и соавт. Алгоритм уточняющей диагностики и внутрископического эндоскопического удаления эпителиальных новообразований толстой кишки. *Колоректология*. 2021;20(1):17–22. doi: [10.33878/2073-7556-2021-20-1-17-22](https://doi.org/10.33878/2073-7556-2021-20-1-17-22)

16. Бакулин И.Г., Расмагина И.А., Скалинская М.И., и соавт. Применение искусственного интеллекта для анализа эндоскопических изображений при воспалительных заболеваниях кишечника. *Терапия*. 2022;7:7–17. doi: [10.18565/therapy.2022.7.7-14](https://doi.org/10.18565/therapy.2022.7.7-14)

17. Wan J, Chen B, Yu Y. Polyp Detection from Colorectal Images by Using Attentive YOLOv5. *Diagnostics (Basel)*. 2021 Dec 3;11(12):2264. PMID: 34943501; PMCID: PMC8700704. doi: [10.3390/diagnostics11122264](https://doi.org/10.3390/diagnostics11122264)

REFERENCES

- Kaprin A.D., Starinsky V.V., Shakhzadova A.O. Malignant neoplasms in Russia in 2021 (morbidity and mortality). Moscow: P.A. Herzen Moscow State Medical Research Institute – Branch of the Federal State Budgetary Institution «NMIC of Radiology» of the Ministry of Health of Russia. 2022; 252 p. (in Russ.).

2. Winawer SJ, Zauber AG. Incidence reduction following colonoscopic polypectomy. *Am J Gastroenterol*. 2011;106:370. PMID: 21301465. doi: [10.1038/ajg.2010.387](https://doi.org/10.1038/ajg.2010.387)

3. Tribonias G, Theodoropoulou A, Konstantinidis K, et al. Comparison of standard vs high-definition, wide-angle colonoscopy

for polyp detection: a randomized controlled trial. *Colorectal Dis.* 2010;12:e260–e266.

4. Hassan C, Piovani D, Spadaccini M, et al. Variability in adenoma detection rate in control groups of randomized colonoscopy trials: a systematic review and meta-analysis. *Gastrointest Endosc.* 2023;97(2):212–225.e7. doi: [10.1016/j.gie.2022.10.009](https://doi.org/10.1016/j.gie.2022.10.009)

5. van Rijn JC, Reitsma JB, Stoker J, et al. Polyp miss rate determined by tandem colonoscopy: a systematic review. *Am J Gastroenterol.* 2006 Feb;101(2):343–50. PMID: 16454841. doi: [10.1111/j.1572-0241.2006.00390.x](https://doi.org/10.1111/j.1572-0241.2006.00390.x)

6. Kashiwagi K, Inoue N, Yoshida T, et al. Polyp detection rate in transverse and sigmoid colon significantly increases with longer withdrawal time during screening colonoscopy. *PLoS One.* 2017 Mar 22;12(3):e0174155. PMID: 28328936; PMCID: PMC5362195. doi: [10.1371/journal.pone.0174155](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174155)

7. Sui Y, Wang Q, Chen HH, et al. Comparison of adenoma detection in different colorectal segments between deep-sedated and unsedated colonoscopy. *Sci Rep.* 2022 Sep 12;12(1):15356. PMID: 36097050; PMCID: PMC9468171. doi: [10.1038/s41598-022-19468-y](https://doi.org/10.1038/s41598-022-19468-y)

8. Wang Y, He X, Nie H, et al. Application of artificial intelligence to the diagnosis and therapy of colorectal cancer. *Am J Cancer Res.* 2020;10(11):3575–98

9. Perone CS, Cohen-Adad J. Promises and limitations of deep learning for medical image segmentation. *J Med Artif Intel.* 2019;2.

10. Lui TKL, Leung WK. Is artificial intelligence the final answer to missed polyps in colonoscopy? *World J Gastroenterol.* 2020 Sep 21;26(35):5248–5255. PMID: 32994685; PMCID: PMC7504252. doi: [10.3748/wjg.v26.i35.5248](https://doi.org/10.3748/wjg.v26.i35.5248)

11. Luo Y, Zhang Y, Liu M, et al. Artificial Intelligence-Assisted

Colonoscopy for Detection of Colon Polyps: a Prospective, Randomized Cohort Study. *J Gastrointest Surg.* 2021 Aug;25(8):2011–2018. Epub 2020 Sep 23. PMID: 32968933; PMCID: PMC8321985. doi: [10.1007/s11605-020-04802-4](https://doi.org/10.1007/s11605-020-04802-4)

12. Wallace MB, Sharma P, Bhandari P, et al. Impact of Artificial Intelligence on Miss Rate of Colorectal Neoplasia. *Gastroenterology.* 2022 Jul;163(1):295–304.e5. Epub 2022 Mar 15. PMID: 35304117. doi: [10.1053/j.gastro.2022.03.007](https://doi.org/10.1053/j.gastro.2022.03.007)

13. Xu H, Tang RSY, Lam TYT, et al. Artificial Intelligence-Assisted Colonoscopy for Colorectal Cancer Screening: A Multicenter Randomized Controlled Trial. *Clin Gastroenterol Hepatol.* 2023 Feb;21(2):337–346.e3. Epub 2022 Jul 19. PMID: 35863686. doi: [10.1016/j.cgh.2022.07.006](https://doi.org/10.1016/j.cgh.2022.07.006)

14. Areia M, Mori Y, Correale L, et al. Cost-effectiveness of artificial intelligence for screening colonoscopy: a modelling study. *Lancet Digit Health.* 2022 Jun;4(6):e436–e444. Epub 2022 Apr 13. PMID: 35430151. doi: [10.1016/S2589-7500\(22\)00042-5](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(22)00042-5)

15. Zavyalov D.V., Kashin N.V., Nesterov P.V., et al. Algorithm of clarifying diagnostics and intraluminal endoscopic removal of epithelial neoplasms of the colon. *Koloproktologia.* 2021;20(1):17–22. (in Russ.). doi: [10.33878/2073-7556-2021-20-1-17-22](https://doi.org/10.33878/2073-7556-2021-20-1-17-22)

16. Bakulin I.G., Rasmagina I.A., Skalinskaya M.I., et al. The use of artificial intelligence for the analysis of endoscopic images in inflammatory bowel diseases. *Therapy.* 2022;7:7–17. (in Russ.). doi: [10.18565/therapy.2022.7.7-14](https://doi.org/10.18565/therapy.2022.7.7-14)

17. Wan J, Chen B, Yu Y. Polyp Detection from Colorectum Images by Using Attentive YOLOv5. *Diagnostics (Basel).* 2021 Dec 3;11(12):2264. PMID: 34943501; PMCID: PMC8700704. doi: [10.3390/diagnostics11122264](https://doi.org/10.3390/diagnostics11122264)