



*К.И. Кулаев¹, А.В. Важенин², Д.М. Ростовцев¹, Я. Ким³,
 П.А. Зайцев³, А.В. Привалов¹, А.В. Валик³, К.С. Зуйков¹, И.М. Юсупов¹,
 И.А. Попова¹, Е.А. Пушкарев¹*

Искусственный интеллект в диагностике новообразований толстого кишечника — разработка, внедрение технологии и первые результаты

¹ГБУЗ «ЧОКЦО и ЯМ», г. Челябинск

²ФГБОУ ВО «ЮУГМУ» Минздрава России, г. Челябинск

³ООО «Эндоскопическая видеодиагностика Лаб», г. Челябинск

Введение. Проблема диагностики и лечения колоректального рака является крайне актуальной проблемой. По данным Всемирной организации здравоохранения и Международного агентства по изучению рака за 2020 г., в мире ежегодно регистрируется около 1,93 млн. случаев колоректального рака. Несмотря на постоянное совершенствование эндоскопического оборудования, число случаев пропущенного рака толстой кишки после выполнения диагностической колоноскопии колеблется от 2,1 % до 5,9 %. В диагностике предраковой патологии доля таких исследований достигает 32,8 %. Причин пропуска патологии множество, одна из которых «человеческий фактор»: частота выявленной патологии зависит от квалификации и опыта врача-эндоскописта.

Цель исследования. Оценить эффективность диагностической колоноскопии с применением системы искусственного интеллекта в детекции новообразований толстого кишечника.

Материалы и методы. С 2021 по 2022 гг. в ГБУЗ «Челябинский областной клинический центр онкологии и ядерной медицины» совместно с российской компанией EVA Lab (ООО «ЭВА Лаб») была разработана, апробирована и внедрена система поддержки принятия врачебных решений (СППВР) на основе алгоритмов искусственного интеллекта. Исследование включает в себя анализ материалов в отношении 944 пациентов с различной патологией толстого кишечника — 338 мужчин (41,1 %) и 556 женщин (58,9 %). Средний возраст мужчин составил $64 \pm 12,9$ лет, женщин $63 \pm 10,2$ лет. Все пациенты были разделены на две группы. Первая группа (контрольная) — ретроспективная, формировалась до внедрения в 2020 г. систем на основе искусственного интеллекта, в нее вошли 634 пациента. Вторая группа (группа исследования) — это проспективная когорта, которая начала формироваться с 2020 г. с

момента внедрения системы искусственного интеллекта) включила 310 пациентов. В обеих группах диагностические колоноскопии выполнялись одними и теми же врачами-эндоскопистами со стажем не менее 10 лет.

Результаты. В контрольной группе пациентов было обнаружено 358 (56,4 %) новообразований толстого кишечника, а в группе исследования — 204 (65,8 %). Наибольшая эффективность системы искусственного интеллекта достигалась при детекции новообразований до 1,0 см в диаметре. Если сравнивать частоту выявления новообразований в группе исследования и контрольной группе в категориях пациентов с размером новообразования до 0,5 см и с размерами от 0,5 до 1,0 см, то разница составит 15,7 %, т. е. в группе исследования новообразования регистрировались значительно чаще, чем в контрольной группе ($p < 0,001$). При размерах новообразования более 1,0 см в диаметре, существенных различий между группами контроля и исследования не обнаружено. Биопсия выполнялась на 13 % чаще в группе исследования по сравнению с контрольной группой.

Заключение. Система искусственного интеллекта наглядно продемонстрировала свою эффективность в детекции новообразований любых размеров; чувствительность составила 80,7 %. Вероятность обнаружения новообразований менее 1,0 см в диаметре при использовании была выше на 13,7 %, вероятность обнаружения тубулярных аденом всех размеров выше на 9,7 %.

Ключевые слова: искусственный интеллект в эндоскопии; новые технологии в эндоскопии; рак толстой кишки; сверточные нейронные сети; глубинное обучение; ранний колоректальный рак; диагностика КРР; СППВР в колоноскопии

Для цитирования: Кулаев К.И., Важенин А.В., Ростовцев Д.М., Ким Я., Зайцев П.А., Привалов А.В., Валик А.В.,

Зуйков К.С., Юсупов И.М., Попова И.А., Пушкарев Е.А. Искусственный интеллект в диагностике новообразований толстого кишечника — разработка, внедрение технологии и первые результаты. Вопросы онкологии. 2023;69(2):292–299. doi: 10.37469/0507-3758-2023-69-2-292-299

Актуальность

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) и Международного агентства по изучению рака (МАИР) за 2020 г., в мире ежегодно регистрируется около 1,93 млн. случаев колоректального рака (КРР). В структуре онкологической заболеваемости КРР находится на третьем месте, а в структуре смертности выходит на второе. В 2020 г. от рака толстого кишечника и прямой кишки умерло 935 000 чел. У мужчин в 2020 г. КРР занимал второе место после рака лёгких и предстательной железы, а у женщин — третье место после рака молочной железы и рака матки. В европейском регионе ежегодно регистрируется 519 тыс. новых случаев КРР, а смертность в 2020 г. составила 12,3 на 100 тыс. населения (МАИР, 2021).

КРР входит с перечень социально значимых заболеваний Министерства здравоохранения Российской Федерации. В 2020 г. в структуре онкологической патологии доля рака поперечно-ободочной кишки составила 6,9 %, прямой кишки, ректосигмоидного соединения и ануса — 5,7 % [1]. Последние 10 лет количество заболеваний КРР в России неуклонно растёт. Так, если в 2010 г. КРР диагностировали у 26148 чел., то в 2020 г. эта цифра увеличилась до 32234, а прирост составил 18,8 %. Наибольший рост в 2020 г. зарегистрирован для опухолей ободочной кишки — 30,6 %, а для рака прямой кишки этот показатель составил 17,7 % [1]. Ряд авторов отмечают «омоложение» контингента больных КРР — среди лиц 20-49 лет заболеваемость увеличилась с 8,3/100000 чел. в 1990-1994 гг. до 11,4/100000 чел. в 2010-2013 гг. [13].

Решение вопроса улучшения результатов лечения КРР во многом связано с ранней диагностикой и внедрением скрининга [2, 6, 11, 12]. Программы скрининга действуют и показали свою эффективность во многих странах: в США, Европе, Японии и других [6, 11, 12]. Неотъемлемой частью профилактики, диагностики и лечения КРР являются эндоскопические методики [8]. КРР имеет достоверно доказанную связь с предраковыми заболеваниями толстой кишки (полипы), т. е. относится к группе потенциально предотвратимых. Своевременное удаление полипов толстого кишечника снижает смертность от колоректального рака на 53 % [8]. Но, несмотря

на все современные эндоскопические методы диагностики, в данном направлении тоже есть ряд проблем. Так, по данным различных авторов, число случаев пропущенного рака толстой кишки после выполнения диагностической колоноскопии колеблется от 2,1 % до 5,9 % [15]. В случае ранней диагностики предраковой патологии данный процент значительно повышается и достигает, по данным различных авторов, 32,8 % [4, 5, 8, 9]. Причин пропуска патологии множество, но Haibin Dong, анализируя данный вопрос, разделил их на две группы. Первая — причины, связанные с визуализацией внутри полого органа с эндоскопической техникой (малый угол обзора, низкая разрешающая способность), с большим количеством очагов патологии, небольшим размером новообразований, плоской формой новообразований и расположением в правой половине толстой кишки. Вторая группа причин — связанные с пациентом: мужской пол, пожилой возраст, абдоминальные боли при процедуре, наличие в анамнезе хирургического вмешательства на брюшной полости, дивертикулы толстой кишки, колоноскопия без анестезии и некачественная подготовка кишечника. Niigoaki Ikematsu выделяет ещё одну причину — «человеческий фактор», когда частота выявленной предраковой или онкологической патологии зависит от квалификации и опыта врача эндоскописта [8].

Одним из вариантов «коррекции» человеческого фактора являются аппаратные средства помощи в обнаружении предраковой и онкологической патологии кишечника. В мировой литературе активно обсуждается вопрос применения систем на основе искусственного интеллекта в момент проведения диагностической колоноскопии с целью повышения качества диагностики предраковой и онкологической патологии толстого кишечника [2, 7, 9, 10]. Суть методики состоит в компьютерном анализе получаемого с эндоскопа изображения с применением различных алгоритмов компьютерной обработки данных. Одна из решаемых задач — это акцентирование внимания врача на патологическом очаге с целью верификации диагноза [2, 8, 9, 10]. В настоящее время появились работы, демонстрирующие эффективность систем искусственного интеллекта в предположении диагноза на основе анализа получаемой картины прямо во время диагностической колоноскопии [2, 14]. Цель применения данных систем — снизить вероятность пропуска предраковой и онкологической патологии и нивелировать «человеческий фактор».

Цель работы — оценить эффективность диагностической колоноскопии с применением системы искусственного интеллекта в детекции новообразований толстого кишечника.

Материалы и методы

С 2021 по 2022 гг. в ГБУЗ «ЧОКЦО и ЯМ» совместно с российской компанией EVA Lab (ООО «ЭВА Лаб») была разработана и проведена апробация системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР) на основе алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ). Апробация данной системы была разрешена этическим комитетом от 18.11.2020 заседание №10. Разработанная система основана на применении сверточных нейронных сетей, обученных детекции новообразований толстой кишки. В качестве обучающей базы были использованы публичные базы данных (CVC-Clinic, CVC-Colon, CVC-PolypHD, ETIS-Larib, Kvasir-SEG- всего порядка 3 тыс. кадров) и оригинальные данные (около 1 тыс. кадров), собранные на базе ГБУЗ «ЧОКЦО И ЯМ» в течение 6 мес. в одном из кабинетов клиники и размеченные с помощью врачей-экспертов высшей категории. Всего обучающая выборка состояла из 4 тыс. размеченных кадров. В результате обучения нейронной сети была получена модель, способная выявлять патологии на новых кадрах, которых не было в обучающем наборе. Таким образом, была разработана СППВР, которая в ходе проведения процедуры колоноскопии автоматически детектирует и проводит первичную классификацию найденных новообразований и отклонений по трем классам (полип, дивертикул, очаговое воспаление). Для поиска анализируются кадры, поступающие с устройства видеозахвата и постобработки (видеопроцессора) с использованием алгоритма семантической сегментации на базе архитектуры полносверточной нейронной сети Unet. Алгоритм принимает на вход предобработанные (предобработка включает в себя изменение размера изображения, согласно требованиям алгоритма и нормализацию значений пикселей) изображения, внутри изображений алгоритм выделяет патологические регионы и каждому пикселю изображения с определенной уверенностью назначается класс в зависимости от типа: новообразование, поражение, дивертикул, норма. Затем предсказанные маски проходят постобработку: по заранее определенному порогу отсекаются пиксели, в которых модель недостаточно уверена (из категории патологий он попадает в класс «норма»), и из маски выделяются целые объекты (объект — замкнутая форма, состоящая из пикселей, в которых обнаружена патология).

Все эндоскопические исследования проводились одними и теми же сотрудниками на технике экспертного класса Olympus EVIS EXERA III колоноскопом CF-HQ190L (Япония), имеющим высокое разрешение HD и оснащенный функцией узкоспектрального осмотра.

Система искусственного интеллекта применялась в диагностике патологии толстой кишки. Данные выводились параллельно на отдельный монитор рядом с монитором эндоскопической стойки, справа было представлено изображение с работающей системой ИИ, а слева — неизменённая эндоскопическая картина. Работа системы проиллюстрирована на рис. 1, 2.

Данное исследование включает в себя анализ материалов в отношении 944 пациентов с различной патологией толстого кишечника. Все пациенты были разделены на две группы. Первая группа (контрольная группа) формировалась ретроспективно из пациентов, проходивших обследование в 2021 г. до внедрения в работу СППВР. В данную группу вошли 634 пациента. Вторая группа (группа исследования) — это проспективная, которая начала формироваться в конце 2021 г. с момента внедрения в работу отделения системы искусственного интеллекта, и которая продолжает пополняться в настоящее время. В данную группу вошло 310 пациентов.

В обоснование сопоставимости групп следует подчеркнуть, что диагностические колоноскопии обеих групп выполнялись в одном и том же кабинете колоноскопии

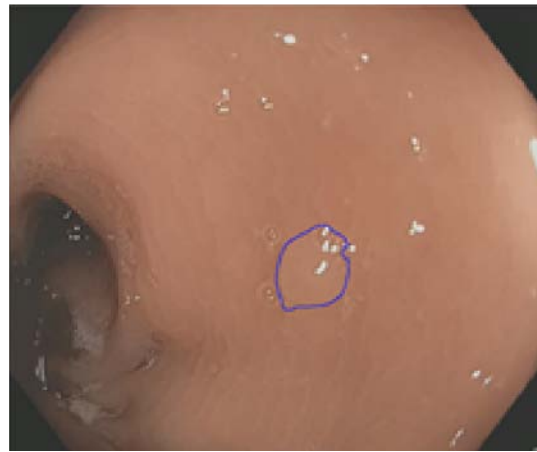
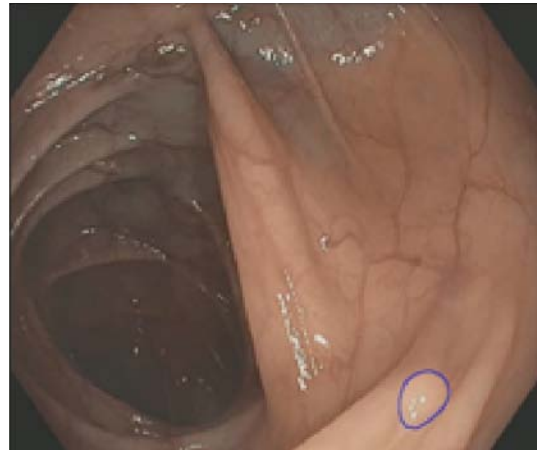


Рис. 1 и Рис. 2. Работа системы

поликлиники ГБУЗ «ЧОКЦО и ЯМ», на одном и том же оборудовании, одними и теми же врачами-эндоскопистами со стажем работы не менее 10 лет. Направление на колоноскопию производилось как при подозрении на онкопатологию толстого кишечника, так и при онкологических заболеваниях других локализаций, исходя из действующих клинических рекомендаций. Все пациенты готовились к колоноскопии по единому алгоритму, разработанному в отделении, оценка качества подготовки оценивалась по Бостонской шкале.

Выборка пациентов в группы для анализа осуществлялась по следующим критериям:

1. Пациент дал письменное согласие на проведение данного исследования.
2. Подготовка пациента соответствует уровню 8-9 баллов по Бостонской шкале.
3. Колоноскопия выполнена тотально.
4. Диагностическая колоноскопия выполнена на аппарате, поддерживающем HDTV (High Definition TeleVision) разрешение.
5. Выход из слепой кишки колоноскопом осуществлялся более 6 мин.
6. Пациент ранее не участвовал в скрининговых исследованиях.
7. Пациент не сдавал кал на скрытую кровь.
8. Показания для выполнения диагностической колоноскопии выставлены врачом онкологом на основании клинических данных.

Критериями исключения из исследования являлись:

1. Невозможность проведения диагностической колоноскопии вследствие наличия сопутствующей патологии или общего состояния человека.

2. Пациент не дал согласие на проведение данного исследования.
3. Подготовка пациента ниже 8 баллов по Бостонской шкале.
4. Колоноскопия выполнена не полностью (осмотрены не все отделы толстого кишечника).
5. Диагностическая колоноскопия выполнена на аппарате, не поддерживающем HDTV формат изображения.
6. У пациента ранее был диагностирован полипоз кишечника.
7. При проведении колоноскопии возникло осложнение.

Результаты

Всего в исследование вошло 944 пациента. Распределение по демографическим признакам (пол, возраст) участников исследования было следующим:

1. Контрольная группа (634 пациента): мужчины — 218 чел. (34,4 %), женщины — 416 чел. (65,6 %). Средний возраст составил в группе $65 \pm 14,2$ лет.
2. Группа исследования (310 пациентов): мужчины — 120 чел. (38,7 %), женщины — 190 чел. (61,3 %). Средний возраст — $64 \pm 9,4$ лет.

Распределение по полу и возрасту в контрольной группе и группе исследований было сопоставимо.

Данные по размерам новообразований и распределение по группам сведены в табл. 1

В результате в обеих группах было обнаружено 562 новообразования, у 57 (5,7 %) пациентов было выявлено новообразование с подозрением на малигнизацию. Следует отметить, что у некоторых пациентов были диагностированы мно-

жественные новообразования кишечника, у части из них — несколько очагов малигнизации в кишечнике. При анализе табл. 1 видно, что при этом количество биопсий в группе исследования составляет 169 (54,5 %), что больше по сравнению с контрольной группой, в которой биопсию выполняли лишь в 263 (41,4 %) случаев ($p < 0,001$).

При детальном анализе отмечается значимо большее количество новообразований небольших размеров (до 0,5 см в диаметре) в группе сравнения — 96 (30,9 %) по сравнению с контрольной группой, где их было 156 (24,6 %); $p < 0,05$. При обнаружении множественных новообразований небольшого размера осмотр продолжался в узком спектре с использованием режима NBI (narrow band imaging — узко спектральная визуализация), выполнялась биопсия новообразований с наиболее измененной слизистой, в т. ч. и подозрительных в отношении малигнизации, что объясняет меньшее количество проведенных биопсий в сравнении с общим количеством выявленных новообразований. Показанием к проведению биопсии была деформация сосудистого рисунка по типу 2a, 2b и 3 по классификации JNET (Japan NBI Expert Team). Новообразований 0,5–1,0 см в диаметре в группе исследования зарегистрировано 61 (19,7 %) штука, по сравнению с контрольной группой, где их было 78 (12,3 %) штук. При статистическом анализе отмечается значимое отличие в данных группах ($p < 0,05$). Новообразования от 1,0 до 2,0 см в диаметре в группе исследова-

Таблица 1. Распределение пациентов по размерам новообразования

	Контрольная группа n-634		Группа исследования n-310		P
	Абс.	%	Абс.	%	
Количество биопсий	263	41,4	169	54,5	$p < 0,001$
Новообразование до 0,5 см	156	24,6	96	30,9	$p < 0,05$
Новообразование 0,5–1,0 см	78	12,3	61	19,7	$p < 0,05$
Новообразование 1,0–2,0 см	57	8,9	38	12,2	$p > 0,05$
Новообразование более 2,0 см	29	4,5	17	5,4	$p > 0,05$
Подозрение на злокачественное новообразование	38	5,9	19	6,1	$p > 0,05$
Итого	358	56,5	204	65,8	

Таблица 2. Данные гистологической верификации, полученные в исследовании

Показатель	Контрольная группа		Группа исследования	
	Абс.	%	Абс.	%
Гиперпластические полипы	72	27,4	31	18,4
Тубулярная аденома	136	51,8	104	61,5
Тубулярно-ворсинчатая аденома	28	10,6	19	11,3
Злокачественное новообразование	27	10,2	15	8,8
Итого	263	100	169	100

ния были выявлены в количестве 38 (12,2 %) штук, а в контрольной — 57 (8,9 %), результаты оказались сопоставимы ($p > 0,05$). Такая же тенденция отмечается при размерах новообразования более 2,0 см в диаметре — их в группе исследования было выявлено 17 (4,8 %), а в контрольной — 29 (4,5 %), ($p > 0,05$). Анализ показал, что в группе исследования подозрения на злокачественное новообразование были в 19 (6,1 %) случаях, а в группе контроля — в 38 (5,9 %) ($p > 0,05$).

Дополнительно оценивалась возможность радикального эндоскопического удаления выявленных новообразований. Врачи эндоскописты оценивали и предполагали глубину их инвазии с использованием классификации JNET по изменениям сосудистого рисунка и подвижности новообразования, а также выполнялось эндоскопическое ультразвуковое исследование. Система искусственного интеллекта констатирует факт наличия новообразования в просвете полого органа с учетом вышеперечисленных факторов, не формулируя окончательный диагноз.

Анализ данных гистологического исследования (табл. 2) показал, что количество выявленных гиперпластических полипов в группе исследования было меньше, чем в контрольной группе — 31 (18,4 %) против 72 (27,4 %). Количество тубулярных аденом в группе исследования составило 104 (61,5 %) против 136 (51,8 %), тубулярно-ворсинчатых аденом — 19 (11,3 %) против 28 (10,6 %), а злокачественных новообразований — 15 (8,8 %), против 27 (10,2 %). Чувствительность системы в диагностике новообразований кишечника различного генеза составила 80,7 %, при специфичности 71,8 % и дискриминативности 52,5 %.

Обсуждение

В контрольной группе, состоящей из 634 пациентов, было обнаружено 358 (56,4 %) новообразований толстого кишечника, а в группе исследования, состоящей из 310 пациентов — 204 (65,8 %). В исследование были включены пациенты, у которых были обнаружены множественные новообразования в разных отделах кишечника. Так, у одного из пациентов при диагностической колоноскопии одновременно выявлено 19 новообразований.

Применение СППВР на базе алгоритмов искусственного интеллекта показало свою эффективность в детекции новообразований всех размеров. Однако, наибольшая эффективность данной системы была характерна при идентификации новообразований до 1,0 см в диаметре. Если сравнивать частоту выявления новообразований для категорий пациентов с размером

новообразования до 0,5 см и с размерами от 0,5 до 1,0 см, то в группе исследования новообразования регистрировались чаще на 13,7 %, чем в контрольной группе ($p < 0,001$). Это обусловлено тем, что система ИИ акцентировала внимание врача на патологических участках слизистой, которые зачастую пропускаются при колоноскопии, позволяя обнаруживать новообразования небольшого размера в существенно большем количестве случаев.

При размерах новообразования более 1,0 см в диаметре, значимых различий в контрольной группе и группе исследования не обнаружено. При размерах новообразования более 2,0 см в диаметре отмечается не всегда корректная работа системы, а именно неадекватное «контурирование» границ патологического новообразования и «фрагментация» очерчивания патологии, для устранения этого недостатка требуется дальнейшее обучение системы.

Не обнаружено статистически значимых различий между группами в частоте выявления злокачественных новообразований толстого кишечника больших размеров. При выявлении новообразования большого размера, охватывающего полуциркулярно или циркулярно просвет кишки, алгоритм срабатывал некорректно, частично контурируя патологический очаг или контурируя только экзофитные части опухоли, а «стелющаяся» часть опухоли воспринималась системой как неизменная стенка органа.

Биопсия выполнялась на 13,1 % чаще в группе исследования по сравнению с контрольной группой, что напрямую было связано с более значительным количеством выявленных новообразований. Тубулярные аденомы в группе исследования регистрировались на 9,7 % чаще, чем в контрольной группе. Это может быть связано с их размерами и формами роста, увеличивающими риск пропуска такой патологии при стандартной колоноскопии или врачами с недостаточным опытом.

Специфичность метода составила 71,8 %, но данный показатель требует критического осмысления, так как заключение о выявленном новообразовании формировалось, исходя из макроскопических характеристик новообразования, Парижской классификации и международной классификации JNET.

В предлагаемой статье мы делимся первыми результатами работы системы на основе искусственного интеллекта в диагностике новообразований кишечника. Мы осознаем, что группы сравнения вынужденно формировались не в полном соответствии с международными критериями рандомизации. Также не все выявленные новообразования в кишечнике одномоментно удалялись, что не позволит сформировать такой

значимый индекс, как adenoma detection rate (ADR). Вместе с тем, мы продолжаем обучать систему, заставляя ее реагировать на новообразования в кишечнике, прежде всего, качественным образом, успешно решая возникающие проблемы. В дальнейшем на основе данного «пилотного» анализа мы планируем провести многоцентровые исследования для всесторонней оценки эффективности, чувствительности и специфичности разработанной методики.

Ниша данной системы — скрининг или «первичный фильтр». В целом система ИИ показала себя эффективной методикой помощи врачу-эндоскописту, которая, с нашей точки зрения, позволяет нивелировать негативное влияние «человеческого фактора» и более эффективно обнаруживать патологические новообразования небольшого размера с последующим дообследованием для определения алгоритмов лечения и, при необходимости, резектабельности выявленных изменений. Предлагаемая система будет наиболее результативна и полезна в рамках работы центров амбулаторной онкологической помощи (ЦАОП).

Выводы

1. Система компьютерного анализа продемонстрировала свою эффективность в детекции новообразований любых размеров; чувствительность разработанного метода составляет 80,7 %.
2. Система высокоэффективна в детекции новообразований менее 1,0 см в диаметре, а доля обнаруженных новообразований при использовании ИИ оказалась выше на 13,7 % ($p < 0,001$).
3. Использование ИИ статистически значительно увеличивает эффективность обнаружения тубулярных аденом небольших размеров на 9,7 %.
4. Необходима оптимизация методики для дальнейшего повышения точности системы при диагностике новообразований более 2 см.
5. Целесообразно разработать систему аппаратной оценки размеров новообразования в просвете толстого кишечника.
6. Планируется разработать систему аппаратного формирования «карты» полого органа и автоматическую систему топирования патологии в просвете толстого кишечника.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каприн А.Д., Старинский В.В., Петрова Г.В. Злокачественные новообразования в России в 2020 году (заболеваемость и смертность). 2021 [Kaprin AD, Starinsky VV, Petrova GV. Malignant neoplasms in Russia in 2020 (morbidity and mortality). 2021 (in Russ.)].
2. Нестеров П.В., Ухарский А.В., Кислов Н.В. Региональная клиничко-экономическая модель скрининга колоректального рака. *Research'n Practical Medicine Journal*. 2020;7(3):146–159 [Nesterov PV, Ukharsky AV, Kislov

- NV. Regional clinical and economic model of colorectal cancer screening. *Research'n Practical Medicine Journal*. 2020;7(3):146-59 (in Russ.)].
3. Завьялов Д.В., Кашин Н.В., Нестеров П.В., и др. Алгоритм уточняющей диагностики и интратрипросветного эндоскопического удаления эпителиальных новообразований толстой кишки. *Колопроктология*. 2021;20(1):17–22 [Zavyalov DV, Kashin SV, Nesterov PV, et al. Algorithm for clarifying diagnostics and intraluminal endoscopic removal of colorectal epithelial neoplasms. *Koloproktologia*. 2021;20(1):17–22. (in Russ.)]. doi:10.33878/2073-7556-2021-20-1-17-22.
4. Antonelli G, Badalamenti M, Hassan C, et al. Impact of artificial intelligence on colorectal polyp detection. *Best Pract Res Clin Gastroenterol*. 2021;52-53:101713. doi:10.1016/j.bpg.2020.101713.
5. Dong H, Ren Y, Jiang B. Risk factors associated with missed colorectal lesions in colonoscopy and impact of colonoscopy with anesthesia on miss rate. *Scand J Gastroenterol*. 2021;56(4):484-491. doi:10.1080/00365521.2021.1879248.
6. Gini A, Jansen EEL, Zielonke N, et al. Impact of colorectal cancer screening on cancer-specific mortality in Europe: A systematic review. *Eur J Cancer*. 2020;127:224–235. doi:10.1016/j.ejca.2019.12.014.
7. Ishiyama M, Kudo SE, Misawa M, et al. Impact of the clinical use of artificial intelligence-assisted neoplasia detection for colonoscopy: a large-scale prospective, propensity score-matched study (with video). *Gastrointest Endosc*. 2022;95(1):155–163. doi:10.1016/j.gie.2021.07.022.
8. Ikematsu H, Murano T, Shinmura K. Detection of colorectal lesions during colonoscopy. *DEN Open*. 2021;2(1):e68. doi:10.1002/deo2.68.
9. Kamba S, Tamai N, Saitoh I, et al. Reducing adenoma miss rate of colonoscopy assisted by artificial intelligence: a multicenter randomized controlled trial. *J Gastroenterol*. 2021;56(8):746-757. doi:10.1007/s00535-021-01808-w.
10. Lee C, Lin TH, Lin CJ, et al. A noninvasive risk stratification tool build using an artificial intelligence approach for colorectal polyps based on annual checkup data. *Healthcare (Basel)*. 2022;10(1):169. doi:10.3390/healthcare10010169.
11. Ladabaum U, Dornitz JA, Kahi C, et al. strategies for colorectal cancer screening. *Gastroenterology*. 2020;158(2):418-432. doi:10.1053/j.gastro.2019.06.043.
12. Lauby-Secretan B, Vilahur N, Bianchini F, et al. The IARC perspective on colorectal cancer screening. *N Engl J Med*. 2018;378(18):1734–40. doi:10.1056/nejmsr1714643.
13. Murphy CC, Sandler RS, Sanoff HK, et al. Decrease in incidence of colorectal cancer among individuals 50 years or older after recommendations for population-based screening. *Clin Gastroenterol Hepatol*. 2017;15(6):903-909.e6. doi:10.1016/j.cgh.2016.08.037.
14. Nakamoto T, Koyama F, Kuge H, et al. In vitro analysis of exfoliated tumor cells in intraluminal lavage samples after colorectal endoscopic submucosal dissection. *Int J Colorectal Dis*. 2022;37(1):161–170. doi:10.1007/s00384-021-04037-y.
15. Bressler B, Paszat LF, Chen Z, et al. Rates of new or missed colorectal cancers after colonoscopy and their risk factors: a population-based analysis. *Gastroenterology*. 2007;132(1):96–102. doi:10.1053/j.gastro.2006.10.027.

Поступила в редакцию 16.06.2022
 Прошла рецензирование 13.02.2023
 Принята в печать 16.02.2023

*K.I. Kulaev¹, A.V. Vazhenin², D.M. Rostovtsev¹,
Ya. Kim³, A.P. Zaitsev³, A.V. Privalov¹, A.V. Valik³,
K.S. Zuykov¹, I.M. Yusupov¹, I.A. Popova¹,
E.A. Pushkarev¹*

Artificial intelligence in colon neoplasm diagnosis: development, implementation of technology, and initial results

¹Chelyabinsk Regional Clinical Center of Oncology and Nuclear Medicine, Chelyabinsk, the Russian Federation

²South Ural State Medical University, Chelyabinsk, the Russian Federation

³EVA Lab LLC, Chelyabinsk, the Russian Federation

Introduction. Colorectal cancer is a critical issue that requires prompt diagnosis and treatment. According to the WHO and IARC for 2020, about 1.93 million cases of CRC are registered annually in the world. Despite the advancement of endoscopic equipment, there is still a significant number of missed cases of colon cancer after diagnostic colonoscopy, with a range of 2.1 % to 5.9 %. The proportion of such missed cases for precancerous pathology has reached 32.8 %. Multiple factors contribute to missed pathology, one of which is the «human factor». The frequency of detected pathology highly depends on the qualifications and experience of the endoscopist.

Aim. To evaluate the effectiveness of diagnostic colonoscopy using an artificial intelligence system in detecting colon neoplasms.

Materials and methods. From 2021 to 2022, the Chelyabinsk Regional Clinical Center of Oncology and Nuclear Medicine together with the Russian company EVA Lab (EVA Lab LLC), developed, tested, and implemented a medical decision support system (DMSS) based on artificial intelligence algorithms. The study comprised an analysis of 944 patients with various pathologies of the large intestine, including 338

men (41.1 %) and 556 women (58.9 %). The mean age of men and women was 64 ± 12.9 years and 63 ± 10.2 years, respectively. All patients were categorized into two groups: a retrospective control group comprising 634 patients formed before the implementation of the AI-based system in 2020, and a prospective cohort comprising 310 patients formed from 2020 (the time of implementation of the AI-based system). In both groups, diagnostic colonoscopies were performed by the same endoscopists with a minimum of 10 years of experience.

Results. Among the control group, 358 (56.4 %) cases of colon neoplasms were detected, while in the study group, 204 (65.8 %) cases were detected. Notably, the highest efficiency of the AI system was observed in detecting neoplasms up to 1.0 cm in diameter. When comparing the frequency of neoplasm detection in patient categories with sizes up to 0.5 cm and 0.5 to 1.0 cm, a statistically significant difference of 15.7 % was observed, with neoplasms being detected more frequently in the study group than in the control group ($p < 0.001$). However, with neoplasm sizes over 1.0 cm in diameter, no significant differences were found between the two groups. Biopsy was performed 13 % more frequently in the study group.

Conclusion. The AI system effectively detected neoplasms of any size with 80.7% sensitivity. The system showed a 13.7 % higher probability of detecting neoplasms less than 1.0 cm in diameter and a 9.7 % higher probability of detecting tubular adenomas of all sizes.

Keywords: artificial intelligence in endoscopy, new technologies in endoscopy, colorectal cancer diagnostics, convolutional neural networks, deep learning, early colorectal cancer, CRC diagnosis, medical decision support system (DMSS) in colonoscopy.

For citation: Kulaev KI, Vazhenin AV, Rostovtsev DM, Kim Ya, Zaitsev AP, Privalov A.V., Valik AV, Zuykov KS, Yusupov IM, Popova IA, Pushkarev EA. Artificial intelligence in colon neoplasm diagnosis: development, implementation of technology, and initial results. *Voprosy Onkologii*. 2023;69(2):292–299. doi: 10.37469/0507-3758-2023-69-2-292-299

Сведения об авторах

**Кулаев Константин Иванович*, канд. мед. наук, заведующий эндоскопическим отделением ГБУЗ «ЧОКЦО и ЯМ», 484084, Россия, г. Челябинск, ул. Блюхера, д. 42; konstant01_chel@mail.ru.

Важенин Андрей Владимирович, акад. РАМ, проф., д-р мед. наук, и.о. ректора ФГБОУ ВО «ЮУГМУ» Минздрава России, 454092, Россия, г. Челябинск, ул. Воровского, д. 64.

Ростовцев Дмитрий Михайлович, д-р мед. наук, главный врач ГБУЗ «ЧОКЦО и ЯМ», 484084, Россия, г. Челябинск, ул. Блюхера, д. 42.

Яна Ким, генеральный директор ООО «Эндоскопическая видеоаналитика Лаб», 454080, Россия, г. Челябинск, ул. Тернопольская, д. 6, пом. 158, эт. 3; yana@evalab.ai.

Зайцев Павел Анатольевич, учредитель ООО «Эндоскопическая видеоаналитика Лаб», 454080, Россия, г. Челябинск, ул. Тернопольская, д. 6, пом. 158, эт. 3.

Валик Андрей Владимирович, научный руководитель ООО «Эндоскопическая видеоаналитика Лаб», 454080, Россия, г. Челябинск, ул. Тернопольская, д. 6, пом. 158, эт. 3.

Привалов Алексей Валерьевич, проф., д-р мед. наук, заместитель главного врача по инновационной работе ГБУЗ «ЧОКЦО и ЯМ», 484084, Россия, г. Челябинск, ул. Блюхера, д. 42.

Зуйков Константин Сергеевич, врач эндоскопического отделения ГБУЗ «ЧОКЦО и ЯМ», 484084, Россия, г. Челябинск, ул. Блюхера, д. 42; antrax81@rambler.ru.

Юсупов Ильядар Махматович, врач эндоскопического отделения ГБУЗ «ЧОКЦО и ЯМ», 484084, Россия, г. Челябинск, ул. Блюхера, д. 42; credo88@yandex.ru.

Попова Инна Александровна, врач эндоскопического отделения ГБУЗ «ЧОКЦО и ЯМ», 484084, Россия, г. Челябинск, ул. Блюхера, д. 42; Inna_33@mail.ru.

Пушкарев Евгений Александрович, врач эндоскопического отделения ГБУЗ «ЧОКЦО и ЯМ», 484084, Россия, г. Челябинск, ул. Блюхера, д. 42; eugenerpushkarev@yahoo.com.

**Kulaev Konstantin Ivanovich*, PhD (Med.), Head of Endoscopy Department, Chelyabinsk Regional Clinical Center of Oncology and Nuclear Medicine, 42 Bluchera St., Chelyabinsk, 484084, Russia, email: konstant01_chel@mail.ru.

Vazhenin Andrey Vladimirovich, DSc (Med.), Prof., Academician RAS, Acting Rector of South-Ural State Medical University, 42 Bluchera St., Chelyabinsk, 484084, Russia.

Rostovtsev Dmitry Mikhailovich, DSc (Med.), Head Physician, Chelyabinsk Regional Clinical Center of Oncology and Nuclear Medicine, 42 Bluchera St., Chelyabinsk, 484084, Russia.

Yana Kim, General manager, EVA Lab LLC, 6 Ternopil'skaya St., room 158, floor 3, Chelyabinsk, 484084, Russia, email: yana@evalab.ai.

Zaitsev Pavel Anatolievich, Founder, EVA Lab LLC, 6 Ternopil'skaya St., room 158, floor 3, Chelyabinsk, 484084.

Valik Andrey Vladimirovich, Scientific Director, EVA Lab LLC, 6 Ternopil'skaya St., room 158, floor 3, Chelyabinsk, 484084.

Privalov Alexey Valerievich, DSc (Med.), Prof., Deputy Chief Physician for Innovative Work, Chelyabinsk Regional Clinical Center of Oncology and Nuclear Medicine, 42 Bluchera St., Chelyabinsk, 484084, Russia.

Zuykov Konstantin Sergeevich, MD, Endoscopy Department, Chelyabinsk Regional Clinical Center of Oncology and Nuclear Medicine, 42 Bluchera St., Chelyabinsk, 484084, Russia, email: antrax81@rambler.ru.

Yusupov Ildar Makhmutovich, MD, Endoscopy Department, Chelyabinsk Regional Clinical Center of Oncology and Nuclear Medicine, 42 Bluchera St., Chelyabinsk, 484084, Russia, email: credo88@yandex.ru.

Popova Inna Alexandrovna, MD, Endoscopy Department, Chelyabinsk Regional Clinical Center of Oncology and Nuclear Medicine, 42 Bluchera St., Chelyabinsk, 484084, Russia, email: Inna_33@mail.ru.

Pushkarev Evgeny Alexandrovich, MD, Endoscopy Department, Chelyabinsk Regional Clinical Center of Oncology and Nuclear Medicine, 42 Bluchera St., Chelyabinsk, 484084, Russia, email: eugenepushkarev@yahoo.com.