



О возможности способа анализа цвета для оценки риска предраковых изменений слизистой оболочки толстой кишки в скрининге колоректального рака*

Короткевич А.Г.^{1,2}

¹ Новокузнецкий государственный институт усовершенствования врачей – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования», (пр. Строителей, д. 5, Новокузнецк, 654005, Россия)

² Новокузнецкая городская клиническая больница им. А.А. Луцика, (пр. Советской Армии, д. 49, г. Новокузнецк, 654038, Россия)

Для цитирования: Короткевич А.Г. О возможности способа анализа цвета для оценки риска предраковых изменений слизистой оболочки толстой кишки в скрининге колоректального рака. Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2025;(5): 103–108 doi: 10.31146/1682-8658-ecg-237-5-103-108

✉ Для переписки:

Короткевич

Алексей

Григорьевич

alkorot@mail.ru

Короткевич Алексей Григорьевич, профессор, д.м.н.; профессор

Резюме

Цель исследования. Обосновать возможность использования способа анализа цвета цифровых эндоскопических изображений для формирования программ поддержки врачебных решений искусственным интеллектом в скрининге колоректального рака и выявлении предраковых изменений СО до появления новообразований.

* Иллюстрации

к статье –

на цветной

вклейке в журнал

(стр. X–XII).

Материалы и методы. Ретроспективный анализ серии эндофото видеокколоноскопии в белом свете 6 пациентов без злокачественных новообразований любых локализаций и без доброкачественных новообразований толстой кишки – условно нормальная или неизменная слизистая оболочка и серии эндофото 12 пациентов с раками ободочной кишки разных локализаций. Всего выполнен анализ 64 изображений, в том числе слизистой оболочки – 48, опухоли – 16. Анализ изображения проводился в программе Фотошоп и ACDS14pro. Определяли общую пиксельную площадь изображений, в том числе по каналам RGB (красный, зеленый, синий). Рассчитывали коэффициенты отношений площади каналов RGB к общей площади изображений, высчитывали сумму простых коэффициентов для неизменной слизистой оболочки, для слизистой оболочки индексного сегмента при колоректальном раке, при раке толстой кишки.

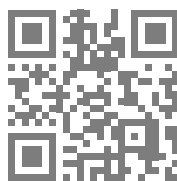
Результаты. Пиксельные площади изображений неизменной слизистой оболочки, слизистой оболочки индексного сегмента при колоректальном раке, и рака толстой кишки различаются между собой ($\chi^2 = 17,849$, $p = 0,00013$). Форма пиксельных изображений также различается между нормальной слизистой и слизистой оболочкой индексного сегмента.

Заключение. Полученные результаты позволяют считать этот способ перспективным для разработки программ поддержки врачебных решений искусственным интеллектом в оценке предраковых изменений слизистой оболочки толстой кишки в скрининге KPP.

Ключевые слова: скрининг колоректального рака; колоноскопия; искусственный интеллект

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

EDN: NPZAIK



<https://doi.org/10.31146/1682-8658-ecg-237-5-103-108>

The feasibility of color analysis method for assessing the risk of precancerous changes in colorectal mucosa in colorectal cancer screening*

A.G. Korotkevich^{1, 2}¹ Novokuznetsk State Institute for Advanced Training of Doctors – branch of “Russian Medical Academy of Continuing Professional Education”, (5, Stroiteley Ave, Novokuznetsk, 654005, Russia)² Novokuznetsk City Clinical Hospital No. 29 named after A.A. Lutsik, Russian Federation, (49, Sovetskaya Armiya Ave, Novokuznetsk, 654038, Russia)

For citation: Korotkevich A.G. The feasibility of color analysis method for assessing the risk of precancerous changes in colorectal mucosa in colorectal cancer screening. *Experimental and Clinical Gastroenterology*. 2025;(5): 103–108. (In Russ.) doi: 10.31146/1682-8658-ecg-237-5-103-108

✉ Corresponding author:

Alexey G. Korotkevich
alkorot@mail.ru

Alexey G. Korotkevich, Professor, Dr.M. Sc, Professor; ORCID: 0000–0002–6286–8193, Researcher ID: HMD-2719–2023, SPIN: 6347–7986

Summary

The aim of the research. To ground the possibility of using the method of color analysis of digital endoscopic images for the formation of medical decision support programs by artificial intelligence in the screening of colorectal cancer and detection of precancerous changes in the mucosa before the appearance of neoplasms.

* Illustrations to the article are on the colored inset of the Journal (p. X–XII).

Materials and methods. Retrospective analysis of endophoto series of videocolonoscopy in white light of 6 patients without malignant neoplasms of any localizations and without benign colorectal neoplasms – conditionally normal or unchanged mucosa and endophoto series of 12 patients with colorectal cancers of different localizations. A total of 64 images were analyzed, including mucosa – 48, tumor – 16. Image analysis was performed in Photoshop and ACDS14pro. The total pixel area of images was determined, including RGB channels (red, green, blue). We calculated the coefficients of RGB channel area ratios to the total image area, calculated the sum of simple coefficients for unchanged mucosa, for mucosa of the index segment in colorectal cancer, and for colorectal cancer.

Results. The pixel areas of images of unchanged mucosa, index segment mucosa in colorectal cancer, and colorectal cancer are different from each other ($\chi^2 = 17,849$, $p = 0,00013$). The shape of the pixel images also differs between normal mucosa and index segment mucosa.

Conclusion. The results obtained allow us to consider this method promising for the development of programs for supporting physician decisions by artificial intelligence in the assessment of precancerous changes in the colonic mucosa in CRC screening.

Keywords: Colorectal cancer screening, colonoscopy, artificial intelligence

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

Введение

Колоректальный рак (КРР) является социально значимым заболеванием, занимая в разных странах мираведущие позиции по причинам смерти от новообразований. Скрининг КРР остается действенной профилактической мерой при охвате не менее 45% населения и адекватной диагностике и удалении всех выявленных новообразований в толстой кишке (ТК) [1, 2]. За последние годы как авторские, так и коммерческие проекты с использованием искусственного интеллекта (ИИ) направлены на совершенствование выявления уже имеющихся новообразований ТК [3–7]. Несмотря на то, что колоноскопия остается «золотым стандартом» выявления и, важнее всего, удаления новообразований ТК, проблема пропущенных аденом остается актуальной [1, 6]. Именно пропущенные аденомы

считают причиной интервальных или постколоноскопических раков [8]. Использование ИИ прежде всего направлено на повышение результативности диагностики таких предраковых изменений [4, 9, 10]. В основе формирования программ ИИ лежит обучение нейросети в детекции факта и структуры опухолей, пиксельного анализа цвета [5, 11, 12, 13]. Однако, уже разработаны программы оценки глубины инвазии опухоли [14]. Вместе с тем, ни профилактические мероприятия в виде здорового образа жизни, средиземноморской диеты и т.п., как и регулярные колоноскопии не гарантируют от возникновения КРР. Возможно, следует использовать потенциал ИИ на шаг раньше появления новообразований – для оценки предракового или пренеопластического потенциала слизистой оболочки (СО) ТК.

Цель исследования: обосновать возможность использования способа анализа цвета цифровых эндоскопических изображений для формирования программ поддержки врачебных решений искусственным интеллектом в скрининге колоректального рака и выявлении предраковых изменений СО до появления новообразований.

Материал и методы

Ретроспективный анализ результатов видеоколоноскопии. Изучены серии эндофото видеокколоноскопии в белом свете 6 пациентов без злокачественных новообразований любых локализаций и без доброкачественных новообразований ТК – условно нормальная или неизменная СО ТК (мужчин – 2, женщин – 4). Изучены серии эндофото 12 пациентов с раками ободочной кишки разных локализаций (мужчин 7, женщин – 5). Для анализа изображений в белом свете выделяли на фотографии фрагмент СО и/или опухоли без посторонних примесей и артефактов. Всего выполнен анализ 64 изображений, в том числе СО – 48, опухоли – 16. Анализ изображения проводился в программе Фотошоп и ACDS14pro (приоритетная справка № 2025112989 от 16.05.2025). Суть анализа заключалась в формировании графика тоновых кривых, которые далее подвергались цветоделению

в режиме RGB – на красный, синий и зеленый спектры. Каждый спектр представляли в виде отдельного изображения с зеркальным отображением по горизонтали с прозрачностью 50%. Затем оценивали площадь каждого цветового сегмента в пикселях с помощью гистограммы. Для доказательства различий между цветовым пейзажем СО нормальной ТК, СО индексного сегмента ТК и самого рака ТК вычисляли простые коэффициенты для каждого изображения по отношению площади цветового сегмента к общей площади изображения. Итогом являлась сумма всех коэффициентов для конкретного изображения. Статистический анализ проведен с использованием пакета Statistica 10.1. Различия в независимых группах качественных признаков проанализированы с помощью критерия хи-квадрат (χ^2). Критический уровень значимости различия $p=0,05$.

Результаты

Выбор фрагмента изображения слизистой оболочки для анализа показан на рис. 1. Выбор участка осуществляется произвольно, но без посторонних примесей на слизистой оболочке (СО). Начало анализа обеспечивается построением тоновых кривых (рис. 2). Диаграмма копируется и вырезается, формируется ее зеркальное отражение в программе обработки изображений, а полученные изображения накладываются друг на друга (рис. 3). В режиме RGB выбирается красный канал и строится диаграмма для красного канала (рис. 4). Изображение красного канала формируется аналогично вышеописанному общему изображению (рис. 5). Аналогично готовятся изображения зеленого и синего каналов (рис. 6, 7). Как видно, для итогового анализа каждого канала изображение имеет яркую и темную области. Для неизменной СО и для злокачественной опухоли изображения получали аналогичным образом.

Пример итога обработки ряда изображений представлен на рис. 8. Как видно, имеют место различия в форме и площади перекрытия зеркальных изображений СО в норме и при раке. Для возможности цифрового анализа определяли площадь изображения в пикселях с помощью инструмента свободное лассо и гистограммы (рис. 9). Полученные результаты сводили в таблицы для возможности подсчета коэффициентов (табл. 1). Сегменты ТК различались между собой по площади изображений. При статистической оценке не получено достоверных различий по площади изображений между СО неизменной кишки, СО индексного сегмента и раке (ANOVA $\chi^2=5,333333$, $p=0,0694$). Рассчитывали отношение площади каждого канала к общей площади изображения (табл. 2) Полученная сумма коэффициентов для анализа представлена в табл. 3.

Таблица 1. Пример параметров площади изображений для подсчетов (в пикселях)

СО при раке	Общая площадь	Общее перекрытие	Красный канал общая площадь	Красный канал яркая область	Зеленый канал общая площадь	Зеленый канал яркая область	Синий канал общая площадь	Синий канал яркая область
купол	53589	23905	39024	62	32721	18906	49298	7262
восходящая	65937	1196	26855	0	50179	0	52453	2650
поперечная	49419	15877	33590	0	34462	8590	27312	20796
нисходящая	48465	0	16955	0	22071	0	25876	0
сигма	61186	34884	52178	0	32074	18937	44478	18943
прямая	69731	8341	32939	0	50114	2802	39286	15729

Таблица 2.
Пример расчета
коэффициентов
отношения площа-
дей изображений

Поперечная кишка	Общее изображение яркая область / общая площадь	Красный яркая область / общая площадь	Зеленый яркая область / общая площадь	Синий яркая область / общая площадь	Красная площадь / общая площадь	Зеленая площадь / общая площадь	Синяя площадь / общая площадь	сумма
рак	0,04	0	0,04	0,1	0,5	0,5	0,6	1,78
СО рак	0,3	0	0,3	0,8	0,7	0,7	0,6	3,4
СО норма	0,7	0,02	0,5	0,3	0,9	0,7	0,8	3,92

Таблица 3.
Пример итога
коэффициентов
для сравнения

Поперечная кишка	Красная площадь/ общая площадь	Зеленая площадь/ общая площадь	Синяя площадь/ общая площадь	сумма
рак	0,5	0,5	0,6	1,6
СО рак	0,7	0,7	0,6	2
СО норма	0,9	0,7	0,8	2,4

Ряды коэффициентов для неизменной СО, для СО индексных сегментов и рака имели значимые различия (ANOVA $\chi^2=17,84848$ $p=0,00013$).
Как видно, существуют различия в площади точек изображения для каждого канала RGB, которые доступны анализу. Площадь изображений, а также

форма изображений каждого канала различаются в зависимости от природы изменений в кишке и могут быть оценены визуально и математически. Отличия параметров СО индексного сегмента при раке позволяет говорить о возможности оценки предраковых изменений.

Обсуждение

Созданы разные программы анализа для системы поддержки принятия врачебного решения (СППВР) на основе ИИ [1, 4, 6]. Усовершенствование и развитие алгоритмов анализа изображений направлено на повышение качества диагностики уже возникших новообразований. Для повышения результативности нейросетей используют разные приемы для определения не только самого новообразования, но его границ и структуры [5, 13]. В основе анализа и улучшения визуализации новообразований лежит использование цветовых фильтров [15]. Учитывая особенности формирования изображений и видеоряда в эндоскопии – движение эндоскопа, перистальтика, дыхание и т.п. – нейросети учат анализировать изображения в режиме реального времени, в том числе с размытыми контурами [3, 16, 17]. Однако, все эти усилия направлены на поиск уже возникших опухолей. Вместе с тем, любой анализ изображения, любой алгоритм принятия решения базируется на первичном анализе цифрового изображения, которое состоит из отдельных элементов – пикселей. Каждый пиксель на экране монитора состоит из трёх субпикселей – красного, зелёного и синего. Формирование цвета на экране монитора обеспечивается наложением и интенсивностью свечения субпикселей. Это азбука фототехники [18]. Другими словами, каждое изображение можно представить в одном из трех цветовых спектров, но в зависимости от самого объекта съемки интенсивность (уровень) свечения каждого субпикселя будет разной. Именно это обеспечивает разные графики распределения цветных пикселей. Изменение состояния СО вследствие воспаления или предраковых изменений должно менять соотношение количества пикселей разного

цвета и интенсивность их окраски. Например, анализ красного спектра изображений уже используется в диагностике хронических воспалительных заболеваний кишечника (ХВЗК) [12, 19]. Однако, известно, что СО сегмента ТК подвержена диффузным изменениям, аналогичным для новообразований [20, 21]. То есть, можно выявить сегмент ТК с предраковыми изменениями, но локализацию появления самой опухоли предсказать не получится. Это подтверждают и наши данные. Это принципиальное положение о существовании обширных, не локальных или точечных фокусах изменений СО, подтверждается представленными данными и ранее опубликованными нами сведениями о свойствах СО индексных сегментов ТК [22, 23, 24]. Пиксели в стандартном изображении высокого разрешения глазом не различаются – они формируют общую картину, как и на видеофрагменте. Однако, внешне похожие для восприятия глазом изображения существенно отличаются по результатам анализа пикселей. Количество пикселей одного цвета и яркость пикселей лежат в основе возможности получить невидимые глазу характеристики СО, характерные для появления новообразований в ТК. Такой анализ СО ТК, выполненный при рутинной колоноскопии, вполне способен формировать группы риска по КРР и сократить временные периоды между колоноскопиями. Также понятно, что накопление базы данных для такой программы ИИ требует времени и когортных исследований. Предварительные результаты данной поисковой работы кажутся обнадеживающими, но далеко не исчерпывающими и окончательными. Отчасти, это связано с сегментарными различиями в состоянии СО сегментов ТК, о чем было сказано выше.

Заключение

Способ анализа цветовой карты цифрового изображения СО позволяет считать этот метод перспективным для разработки программ поддержки

врачебных решений искусственным интеллектом в оценке предраковых изменений СО ТК в скрининге КРР.

Литература | References

1. 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. doi: 10.33878/2073-7556-2023-22-2-92-102.
Мтвралашвили Д.А., Шахматов Д.Г., Ликутков А.А., и соавт. Алгоритм на основе искусственного интеллекта для системы поддержки принятия врачебного решения при колоноскопии. *Колопроктология*. 2023; 22 (2): 92–102. doi: 10.33878/2073-7556-2023-22-2-92-102.
2. Radygina L.V., Mochalova L.V. Challenges and prospects of colorectal cancer screening. *Russian Medical Inquiry*. 2023;7(6):359–365 (in Russ.) doi: 10.32364/2587-6821-2023-7-6-4.
Радыгина Л.В., Мочалова Л.В. Проблемы и перспективы скрининга колоректального рака. *РМЖ. Медицинское обозрение*. 2023;7(6):359–365. doi: 10.32364/2587-6821-2023-7-6-4.
3. Mori Y., Kudo S.E., Misawa M. et al. Artificial intelligence-assisted colonic endocytoscopy for cancer recognition: a multicenter study. *Endosc Int Open*. 2021; 9(7): E1004-E1011. doi: 10.1055/a-1475-3624.
4. Kim Ya., Sechin D.V., Boldyrev R.A. et al. Polyptron – a program for supporting medical decision-making for the diagnosis of lower gastrointestinal cancer based on artificial intelligence algorithms. Certificate of registration of the computer program RU 2022668717, 11.10.2022. Application No. 2022668379 dated 11.10.2022. (in Russ.)
Ким Я., Сечин Д.В., Болдырев Р.А. и соавт. Polyptron – программа для поддержки принятия врачебных решений для диагностики рака нижних отделов ЖКТ на базе алгоритмов искусственного интеллекта. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2022668717, 11.10.2022. Заявка № 2022668379 от 11.10.2022.
5. Kulaev K.I., Vazhenin A.V., Rostovtsev D.M. et al. 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.
Кулаев К.И., Важенин А.В., Ростовцев Д.М. и соавт. 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.
6. Artificial Intelligence-Assisted Colonoscopy for Detecting Polyps, Adenomas, Precancerous Lesions, and Colorectal Cancer: Health Technologies [Internet]. Ottawa (ON): Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health; *Canadian Journal of Health Technologies*. 2024; 4 (12): 1–56. doi: 10.51731/cjht.2024.1036.
7. Achkasov S.I., Shelygin Yu.A., Likutov A.A. et al. The effectiveness of endoscopic diagnostics of colon tumors using artificial intelligence: prospective tandem study. *Koloproktologia*. 2024;23(2):28–34. (in Russ.) doi: 10.33878/2073-7556-2024-23-2-28-34.
Ачкасов С.И., Шелыгин Ю.А., Ликутков А.А. и соавт. Эффективность эндоскопической диагностики новообразований толстой кишки с использованием искусственного интеллекта: результаты проспективного tandemного исследования. *Колопроктология*. 2024; 23 (2): 28–34. doi: 10.33878/2073-7556-2024-23-2-28-34.
8. Pilonis N.D., Spychalski P., Kalager M. et al. Adenoma detection rates by physicians and subsequent colorectal cancer risk. *JAMA*. 2025;222:400–407. doi: 10.1001/jama.2024.22975.
9. Likhmatov M.M., Korolev G.A., Tupylenko A.V. et al. First experience of using CADEYE technology. Artificial intelligence-assisted colonoscopy in children. (A series of clinical cases). *Russian Journal of Evidence-Based Gastroenterology*. 2024;13(1):94–100. (In Russ.) doi: 10.17116/dokgastro20241301194.
Лохматов М.М., Королев Г.А., Тупыленко А.В. и соавт. Первый опыт использования технологии искусственного интеллекта в системе CAD EYE при колоноскопии у детей. (Серия клинических случаев). *Доказательная гастроэнтерология*. 2024;13(1):94–100. doi: 10.17116/dokgastro20241301194.
10. Grechushkina N.A., Starshinin A.B., Turzin P.S., Derbenev D.P. [Effectiveness of colorectal cancer screening strategies: a review of current scientific evidence]. *Probl Sotsialnoi Gig Zdravookhraneniia Istor Med*. 2024 Oct;32(Special Issue 2):1100–1105. (Russ.) doi: 10.32687/0869-866X-2024-32-s2-1100-1105.
Гречушкина Н.А., Старшинин А.В., Турзин П.С., Дербенев Д.П. Эффективность стратегий скрининга на колоректальный рак: обзор актуальных научных данных. *Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины*. 2024;32(спецвыпуск 2):1100–1105. doi: 10.32687/0869-866X-2024-32-s2-1100-1105.
11. Lyalyukova E.A., Amanatidis L.A., Konovalova G.M., Ovsyannikova S. Yu. Colorectal cancer screening: how the problem is solved in Russia and the world. *Experimental and Clinical Gastroenterology*. 2022;(9): 183–189. (In Russ.) doi: 10.31146/1682-8658-ecg-205-9-183-189.
Лялюкова Е.А., Аманатидис Л.А., Коновалова Г.М., Овсянникова С.Ю. Скрининг колоректального рака: как решается проблема в России и мире. *Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология*. 2022;205(9): 183–189. doi: 10.31146/1682-8658-ecg-205-9-183-189.
12. Fil' T.S., Bakulin I.G. Artificial intelligence in the diagnostics and treatment of inflammatory bowel diseases (review). *Koloproktologia*. 2024;23(3):136–149. doi: 10.33878/2073-7556-2024-23-3-136-149.
Филь Т.С., Бакулин И.Г. Искусственный интеллект в диагностике и лечении воспалительных заболеваний кишечника (обзор литературы). *Колопроктология*. 2024; 23 (3): 136–149. doi: 10.33878/2073-7556-2024-23-3-136-149.

13. Khryashchev V.V., Priorov A.L., Kotov N.V., Malygin K.I. Using digital image processing algorithms in the task of pixel-by-pixel detection of pathologies in colonoscopy. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2024;(4):86–97. (In Russ.) doi: 10.21685/2227–8486–2024–4–7.
Хрящев В.В., Приоров А.Л., Котов Н.В., Малыгин К.И. Использование алгоритмов цифровой обработки изображений в задаче попиксельного детектирования патологий в колоноскопии. Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2024; 4: 86–97. doi: 10.21685/2227–8486–2024–4–7.
14. Lebedev A.A., Kazina E.M., Zhuravleva A.S., Zavyalov D.V. [Detection and classification of colon polyps based on the analysis of endoscopic images using deep machine learning methods]. Digital signal processing and its application (DSP-2021). Reports of the 23rd International Conference. Moscow, 2021. pp. 214–217. (in Russ.)
Лебедев А.А., Казина Е.М., Журавлева А.С., Завьялов Д.В. Детектирование и классификация полипов толстой кишки на основе анализа эндоскопических изображений методами глубокого машинного обучения. В сборнике: Цифровая обработка сигналов и её применение (ЦОС-2021). Доклады 23-ей Международной конференции. Москва, 2021. С. 214–217.
15. Suzuki S., Aniwan S., Chiu H.M. et al.; ATLAS Trial Group. Linked-Color Imaging Detects More Colorectal Adenoma and Serrated Lesions: An International Randomized Controlled Trial. *Clin Gastroenterol Hepatol*. 2023; 21(6):1493–1502.e4. doi: 10.1016/j.cgh.2022.10.021.
16. Zavyalov D.V., Kashin S.V., Guseinova S.R. CAD EYE for real-time detection and differentiation of colorectal lesions. *Russian Journal of Evidence-Based Gastroenterology*. 2024;13(2):50–54. (In Russ.) doi:10.17116/dokgastro20241302150.
Завьялов Д.В., Кашин С.В., Гусейнова С.Р. Система САД EYE для детекции и дифференцировки новообразований толстой кишки в режиме реального времени. Доказательная гастроэнтерология. 2024;13(2):50–54. doi:10.17116/dokgastro20241302150.
17. Sedov A.G., Khryashchev V.V. [Development and study of algorithms for assessing the quality of colonoscopic images]. The collection: Digital signal processing and its application DSPA – 2024. Reports of the XXVI International Conference. Moscow, 2024. pp. 244–247. (in Russ.)
Седов А.Г., Хрящев В.В. Разработка и исследование алгоритмов оценки качества колоноскопических изображений. В сборнике: Цифровая обработка сигналов и ее применение DSPA – 2024. Доклады XXVI Международной конференции. Москва, 2024. С. 244–247.
18. Evening M. [Adobe Photoshop for Photographers. Guide to Professional Image Processing]. Moscow. DMK-Press, 2022, 880 p. (in Russ.)
Ивнинг М. Adobe Photoshop для фотографов. Руководство по профессиональной обработке изображений. – М.: ДМК-Пресс, 2022, 880 с.
19. Bossuyt P., Nakase H., Vermeire S. et al. Automatic, computer-aided determination of endoscopic and histological inflammation in patients with mild to moderate ulcerative colitis based on red density. *Gut*. 2020;69(10):1778–1786. doi: 10.1136/gutjnl-2019–320056.
20. Lian J., Ma L., Yang J., Xu L. Aberrant Gene Expression Profile of Unaffected Colon Mucosa from Patients with Unifocal Colon Polyp. *Med Sci Monit*. 2015;21:3935–40. doi: 10.12659/msm.895576.
21. Rubio C.A., Schmidt P.T. Nondysplastic Crypts in Fission in Nonpolypoid Adenomas and in the Adjacent Mucosa Support Field Cancerization in the Colon. *Anticancer Res*. 2021;41(3):1515–1521. doi: 10.21873/anticancer.14910.
22. Korotkevich A.G., Zhilina N.M., Demenkov P.S., Veryaskina Yu.A., Titov S.E. Comparative molecular evaluation of unaltered mucosa of colon segments as a possible basis for adenomas. *Experimental and Clinical Gastroenterology*. 2024;(4):20–29. (In Russ.) doi: 10.31146/1682–8658-ecg-224–4–20–29.
Короткевич А.Г., Жилина Н.М., Деменков П.С., Веряскина Ю.А., Титов С.Е. Сравнительная молекулярная оценка неизменной слизистой оболочки сегментов толстой кишки как возможной основы аденом. Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2024;4(224):20–29. doi: 10.31146/1682–8658-ecg-224–4–20–29.
23. Korotkevich A.G., Titov S.E., Zhilina N.M., Demenkov P.S., Veryaskina Y.A., Bondarev O.I. Comparative segmental evaluation of molecular features of colonic mucosa in villous adenomas. *Surgical practice (Russia)*. 2024;(4):16–32. (In Russ.) doi: 10.5922/2223–2427–2024–9–4–2.
Короткевич А.Г., Титов С.Е., Жилина Н.М., Деменков П.С., Веряскина Ю.А., Бондарев О.И. Сравнительная посегментарная оценка молекулярных особенностей слизистой оболочки толстой кишки при ворсинчатых аденомах. Хирургическая практика. 2024;(4):16–32. doi: 10.5922/2223–2427–2024–9–4–2.
24. Korotkevich A.G., Zhilina N.M., Demenkov P.S., Veryaskina Yu.A., Titov S.E. Comparative segmental assessment of the colon mucosa in non-villous adenomas. *RMJ*. 2024;10:9–17. doi: 10.32364/2225–2282–2024–10–2.
Короткевич А.Г., Жилина Н.М., Деменков П.С., и соавт. Сравнительная посегментарная оценка слизистой оболочки толстой кишки при неворсинчатых аденомах. РМЖ. 2024;10:9–17. doi: 10.32364/2225–2282–2024–10–2.

К статье

О возможности способа анализа цвета для оценки риска предраковых изменений слизистой оболочки толстой кишки в скрининге колоректального рака (стр. 103–108)

To article

The feasibility of color analysis method for assessing the risk of precancerous changes in colorectal mucosa in colorectal cancer screening (p. 103–108)

Рисунок 1.
Выбор фрагмента изображения для анализа.
Figure 1.
Selection of image fragment for analysis.

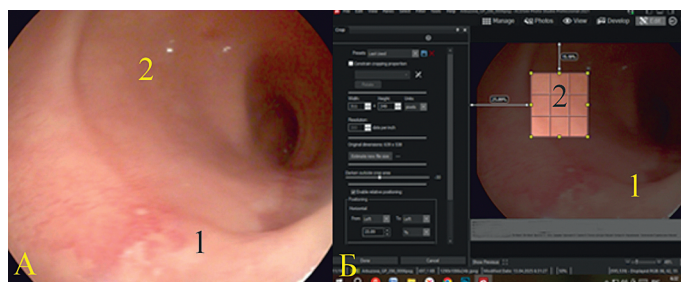
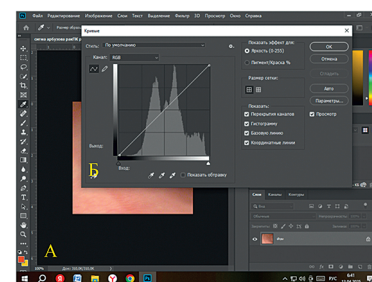


Рисунок 2.
Построение тоновых кривых
Figure 2.
Construction of tone curves

А – эндифото индексного сегмента кишки, Б – выбор фрагмента участка слизистой оболочки для анализа, 1 – рак, 2 – слизистая без признаков ракового поражения

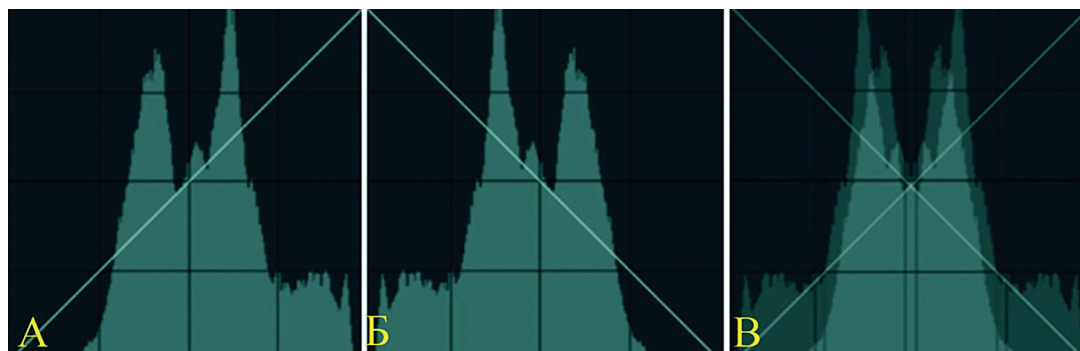
A – endophoto of the index segment of the colon, B – selection of a fragment of the mucosa section for analysis, 1 – cancer, 2 – mucosa without signs of cancerous lesion



А – фрагмент эндифото, Б – диаграмма тоновых кривых

A – fragment of endophoto, B – diagram of tone curves

Рисунок 3.
Подготовка общего изображения для анализа
Figure 3.
Preparation of the total image for analysis



А – первичная диаграмма тоновых кривых, Б – зеркальное отражение по горизонтали первичной диаграммы, В – итоговое изображение для анализа

A – primary diagram of tone curves, B – horizontal mirroring of the primary diagram, C – final image for analysis

Рисунок 4.
 Построение диаграммы красного канала
 Figure 4.
 Construction of the red channel diagram

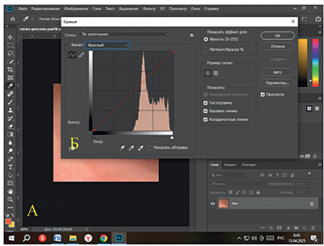
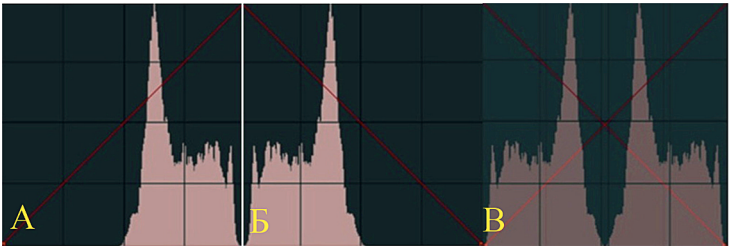


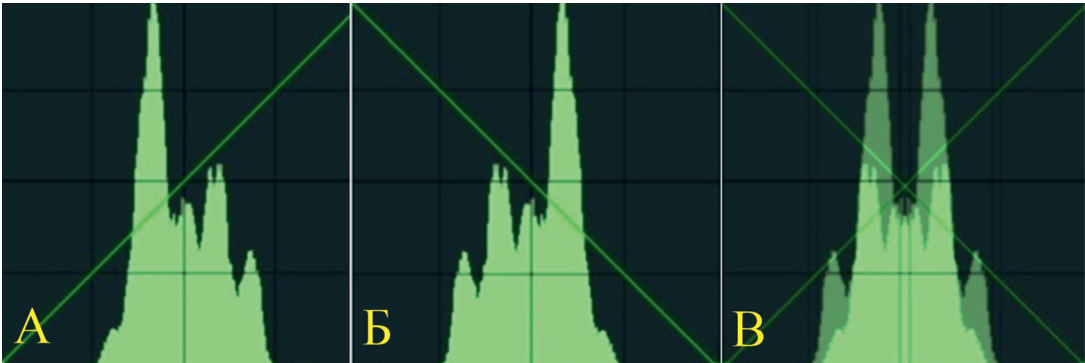
Рисунок 5.
 Подготовка изображения красного канала для анализа
 Figure 5.
 Preparation of red channel image for analysis

А – фрагмент эндофото, Б – диаграмма тоновых кривых красного канала
 A – fragment of endophoto, B – diagram of tone curves of the red channel



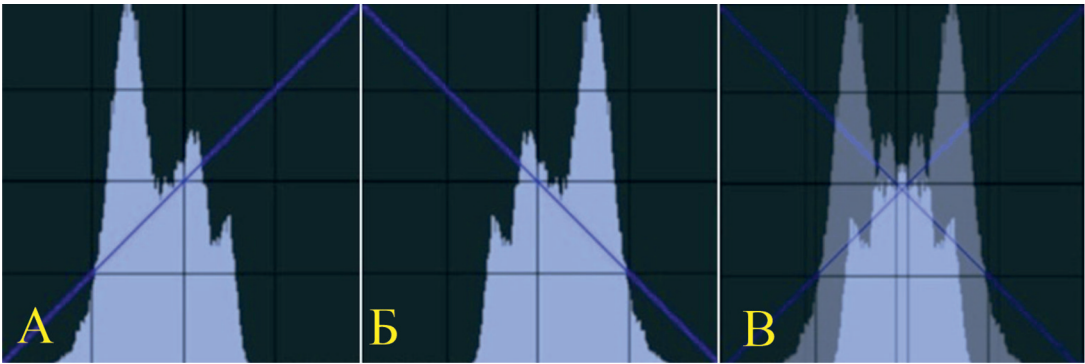
А – диаграмма тоновых кривых красного канала, Б – зеркальное отражение по горизонтали диаграммы, В – итоговое изображение для анализа
 A – diagram of tone curves of the red channel, B – mirror reflection along the horizontal of the diagram, C – final image for analysis

Рисунок 6.
 Подготовка изображения зеленого канала для анализа
 Figure 6.
 Preparation of the green channel image for analysis



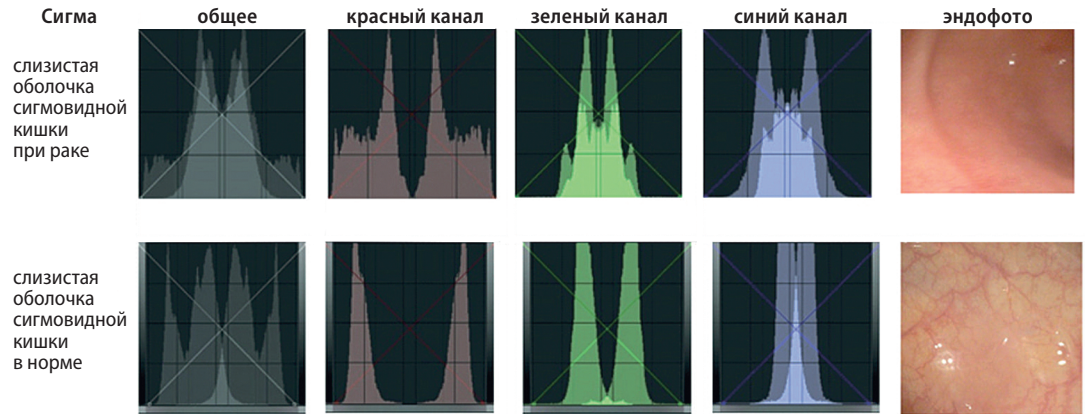
А – диаграмма тоновых кривых зеленого канала, Б – зеркальное отражение по горизонтали диаграммы, В – итоговое изображение для анализа
 A – diagram of tone curves of the green channel, B – horizontal mirror image of the diagram, C – final image for analysis

Рисунок 7.
 Подготовка изображения синего канала для анализа
 Figure 7.
 Preparation of the blue channel image for analysis



А – диаграмма тоновых кривых синего канала, Б – зеркальное отражение по горизонтали диаграммы, В – итоговое изображение для анализа
 A – diagram of tone curves of the blue channel, B – mirror reflection along the horizontal of the diagram, C – final image for analysis

Рисунок 8.
 Ряды итоговых изображений для обработки
 Figure 8.
 Rows of final images for processing



Верхний ряд – изображения слизистой оболочки при раке, нижний ряд – изображения нормальной слизистой оболочки
 Top row – images of mucosa in cancer, bottom row – images of normal mucosa

Рисунок 9.

Определение площади тоновых кривых
 А – выделение общей площади изображения, Б – гистограмма с автоматическим определением площади в пикселях, В – выделение яркой области (области наложения изображений), Г – гистограмма с автоматическим определением площади

Figure 9.

Determining the area of tone curves
 A – selection of the total image area,
 B – histogram with automatic area definition in pixels, C – selection of the bright area (image overlay area), D – histogram with automatic area definition

