

<https://doi.org/10.33878/2073-7556-2025-24-2-33-41>



Искусственный интеллект в диагностике воспалительных заболеваний кишечника: фокус на клиничко-лабораторные показатели

Бакулин И.Г.¹, Расмагина И.А.¹, Машевский Г.А.^{1,2}, Шелякина Н.М.¹, Арутюнян Г.Ф.¹

¹ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Минздрава России (ул. Кирочная, д. 41, г. Санкт-Петербург, Россия, 191015)

²Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет СПбГЭТУ «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина) (ул. Профессора Попова, д. 5., г. Санкт-Петербург, 197022)

РЕЗЮМЕ

ЦЕЛЬ: разработка искусственных нейронных сетей (ИНС) для скрининга и дифференциальной диагностики воспалительных заболеваний кишечника (ВЗК) на основе анализа клиничко-лабораторных данных.

ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ: в исследовании ретроспективно оценены клинические проявления, данные анамнеза и лабораторные показатели пациентов с синдромом раздраженного кишечника (СРК), язвенным колитом (ЯК) и болезнью Крона с поражением толстой кишки (БК) в стадии обострения. У каждой группы пациентов (СРК-ВЗК, ЯК-БК) оценивались признаки, наиболее характерные для нозологии, которые использовались для построения моделей. С целью создания ИНС, предназначенных для принятия решения о наличии у пациента ВЗК и дифференциальной диагностики ЯК и БК, использовались простые нейронные сети — многослойные перцептроны и радиальные базисные функции (РБФ).

РЕЗУЛЬТАТЫ: многослойный перцептрон (МСП) 13:13-5-1:1 выявлял ВЗК на тестовой выборке с чувствительностью 89,3%, специфичностью — 100%. На всём массиве чувствительность модели составила 92,7%, специфичность — 99,0%. Наилучшие показатели для дифференциальной диагностики ЯК и БК были у МСП 9:9-8-1:1: модель выявила 76,81% случаев БК и 86,67% случаев ЯК на тестовой выборке, на всём массиве — 70,16% случаев БК и 86,40% случаев ЯК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: ИНС показала высокие результаты для выявления ВЗК и умеренные — для дифференциальной диагностики ЯК и БК. После апробации модель может быть использована в качестве удобного инструмента для скрининга воспалительных заболеваний кишечника в клинической практике.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: болезнь Крона, язвенный колит, воспалительные заболевания кишечника, клиничко-лабораторные маркеры, искусственный интеллект

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

ФИНАНСИРОВАНИЕ: исследование было выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 24-25-20127)

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Бакулин И.Г., Расмагина И.А., Машевский Г.А., Шелякина Н.М., Арутюнян Г.Ф. Искусственный интеллект в диагностике воспалительных заболеваний кишечника: фокус на клиничко-лабораторные показатели. *Колопроктология*. 2025; т. 24, № 2, с. 33–41. <https://doi.org/10.33878/2073-7556-2025-24-2-33-41>

Artificial intelligence in the diagnosis of inflammatory bowel diseases: focus on clinical and laboratory markers

Igor G. Bakulin¹, Irina A. Rasmagina¹, Gleb A. Mashevskiy^{1,2}, Natalya M. Shelyakina¹, Grant F. Arutyunyan¹

¹North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov (Kirochnaya st., 41, Saint-Petersburg, 191015, Russia)

²St. Petersburg State Electrotechnical University "LETI" (Professor Popov st., 5, Saint-Petersburg, 197022, Russia)

ABSTRACT

AIM: to work out artificial neural networks (ANNs) for the screening and differential diagnostics of inflammatory bowel diseases (IBD) based on the analysis of clinical and laboratory data.

PATIENTS AND METHODS: the study retrospectively evaluated the clinical manifestations, medical history and laboratory data of patients with irritable bowel syndrome (IBS), ulcerative colitis (UC), and Crohn's disease (CD) with colonic involvement during exacerbation. The most typical characteristics for each patient group (IBS-IBD, UC-CD) were estimated and were used to construct the models. In order to create ANNs that could make a decision on

the presence of IBD and provide a differential diagnosis of UC and CD, we used simple neural networks multilayer perceptrons (MLP) and radial basis functions.

RESULTS: the MLP 13:13-5-1:1 identified IBD in the test sample with a sensitivity of 89.3% and a specificity of 100%. Across the entire dataset, the model demonstrated a sensitivity of 92.7% and a specificity of 99.0%. The highest accuracy for the differential diagnosis of UC and Crohn's disease CD was observed with the MLP 9:9-8-1:1, which identified 76.81% of CD cases and 86.67% of UC cases in the test sample. Across the entire dataset, the model detected 70.16% of CD cases and 86.40% of UC cases.

CONCLUSION: the ANNs demonstrated high efficacy in identifying IBD and moderate performance — in the differential diagnosis of UC and CD. Following validation, the model may serve as a convenient tool for screening inflammatory bowel diseases in clinical practice.

KEYWORDS: Crohn's disease, ulcerative colitis, inflammatory bowel disease, clinical and laboratory markers, artificial intelligence

CONFLICT OF INTEREST: the authors declare no conflict of interest

SOURCE OF FUNDING: this work has been supported by the grants the Russian Science Foundation, RSF 24-25-20127

FOR CITATION: Bakulin I.G., Rasmagina I.A., Mashevskiy G.A., Shelyakina N.M., Arutyunyan G.F. Artificial intelligence in the diagnosis of inflammatory bowel diseases: focus on clinical and laboratory markers. *Koloproktologia*. 2025;24(2):33–41. (in Russ.). <https://doi.org/10.33878/2073-7556-2025-24-2-33-41>

АДРЕС ДЛЯ ПЕРЕПИСКИ: Расмагина Ирина Алексеевна, ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И.И. Мечникова Минздрава России, Пискаревский пр., д. 47, Санкт-Петербург, 195067, Россия; тел.: +7 (812) 303-50-00; e-mail: irenerasmagina@gmail.com

ADDRESS FOR CORRESPONDENCE: Irina A. Rasmagina, North-Western State Medical university n.a. I. Mechnikov, Piskarevskiy ave., 47, Saint-Petersburg, 195067, Russia; e-mail: irenerasmagina@gmail.com

Дата поступления — 03.02.2025

Received — 03.02.2025

После доработки — 28.02.2025

Revised — 28.02.2025

Принято к публикации — 29.04.2025

Accepted for publication — 29.04.2025

ВВЕДЕНИЕ

Воспалительные заболевания кишечника (ВЗК) — язвенный колит (ЯК) и болезнь Крона (БК) — это прогрессирующие хронические заболевания, характеризующиеся частым развитием осложнений при отсутствии своевременной диагностики [1,2]. Согласно современным представлениям, ВЗК — это иммуновоспалительное заболевание, верификация которого проводится с учетом всех имеющихся клинико-anamnestических данных и на основании анализа результатов всех методов обследования (лабораторных, эндоскопических, рентгенологических и гистологических). Однако в настоящее время, несмотря на современные технические возможности, средние сроки верификации ЯК составляют от 2 месяцев, по зарубежным данным, и 12,7 месяцев, по данным отечественных авторов, а БК — от 7,1 и 30,7 месяцев, соответственно [3,4]. Более того, до 10% пациентов с ВЗК первоначально расцениваются как функциональная патология — синдром раздраженного кишечника (например, СРК), и до 3% случаев диагноз может не меняться в течение 5 и более лет [5]. При поздней диагностике БК риск образования стриктур увеличивался в 1,88 раз (95% ДИ: 1,35–2,2), свищей — в 1,64 раз (95% ДИ: 1,21–2,20), а вероятность хирургического лечения повышалась в 2,2 раза (95% ДИ: 1,57–3,19). При несвоевременной диагностике ЯК вероятность колэктомии была выше в 4,1 раза (ДИ: 1,04–16,40) [6].

В последние годы появляется много способов оптимизации эндоскопической и морфологической диагностики ВЗК с использованием возможностей искусственных нейронных сетей (ИНС) [7,8]. Вместе с этим, в реальной практике многие пациенты не направляются на видеокOLONOSKOPIЮ с мультифокальной биопсией даже при наличии признаков ВЗК, что требует изменения подходов к анализу клинических и лабораторных данных на первичных консультациях.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Создание ИНС для проведения скрининга ВЗК и дифференциальной диагностики между ЯК и БК толстой кишки на основе анализа клинико-лабораторных данных.

ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

Создание массива данных

В работу были ретроспективно включены пациенты с СРК и обострением ВЗК, которые проходили амбулаторное и стационарное лечение в отделении гастроэнтерологии клиники Петра Великого и Северо-Западного центра лечения ВЗК Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова (СЗГМУ им. И.И. Мечникова) с 2014 по 2024 гг. Исследование является

продолжением проведенной ранее работы по поиску диагностических и дифференциальных маркеров для раннего выявления ВЗК [9].

К критериям включения в исследования относились:

1. Для группы ВЗК — наличие клинического обострения (индекс Беста для БК ≥ 150 баллов, парциальный индекс Мейо для ЯК ≥ 1 балла), у пациентов с СРК — соответствие Римским критериям III (для пациентов, проходивших обследование до 2016 г.) или IV пересмотров;
2. Локализация для БК — колит или илеоколит;
3. Для группы ВЗК — подтвержденная эндоскопическая активность заболевания (SES-CD ≥ 5 баллов (БК); индекс Schroeder ≥ 1 балла (ЯК)), у пациентов с СРК — эндоскопическая картина неизменной слизистой;
4. Возраст ≥ 18 лет.

К критериям невключения относились наличие сопутствующих заболеваний, которые могли бы повлиять на клинические и лабораторные показатели (например, дивертикулярная болезнь, полипы и другие образования в толстой кишке), и выявленные кишечные инфекции на момент включения в исследование. У всех пациентов были проанализированы клинические симптомы (нарушение стула и патологические примеси, боль в животе, ночные симптомы, снижение массы тела (преднамеренная и на фоне диетических ограничений), повышение температуры тела более 37°C в течение 3 месяцев до момента приема или госпитализации), анамнестические и лабораторные показатели. В данные анамнеза были включены такие показатели, как наличие свищей, стенозов, инфильтратов и абсцессов, внекишечных проявлений (ВКП), перианальных проявлений (ПАП) на момент консультации и ранее, наличие семейного анамнеза ВЗК, сопутствующие функциональные заболевания, хирургическое вмешательство на тонкой или толстой кишке (кроме аппендэктомии) и перианальной области. Также были оценены результаты лабораторных исследований, такие как значение гемоглобина, лейкоцитов, общего белка, С-реактивного белка (СРБ) и фекального кальпротектина (ФК) [9].

Статистическая обработка

На первом этапе исследования для определения наличия ВЗК массив разделялся на группы СРК-ВЗК, а на втором этапе для дифференциальной диагностики ВЗК — ЯК-БК. Далее производилась первичная обработка данных: исключались наблюдения, которые содержали недостающие или ошибочные значения переменных. Затем для количественных переменных была сделана проверка на наличие выбросов методом интерквартильного размаха (ИКР) — при их наличии наблюдение удалялось.

Для дальнейшего построения моделей был проведен анализ клиничко-лабораторных признаков, которые были бы характерны для каждой группы сравнения (СРК-ВЗК, ЯК-БК). Для категориальных переменных был использован χ^2 Пирсона. Для количественных переменных осуществлялась проверка совпадения законов их распределения с использованием непараметрических критериев Манна-Уитни, Вальда-Вольфовица и Колмогорова-Смирнова. Данный подход был вызван тем, что проверка по критериям Лиллиефорса и Шапиро-Уилка показала отсутствие подчинения распределения нормальному закону. Статистическая обработка проводилась в программе StatSoftStatistica 12.

Разработка искусственных нейронных сетей осуществлялась при помощи модуля StatisticaNeural Networks. Исходный массив был разделён в стандартном соотношении: 70% — обучающая выборка, 15% — контрольная выборка, 15% — тестовая выборка. Были обучены и протестированы сети, имевшие различную архитектуру, различный набор входных переменных, а также обучавшиеся по разным алгоритмам. При оценке полученного результата оценивалась точность заключения сети (отдельно для каждого класса) на тестовой выборке, а также — на всём имевшемся массиве. Последнее обстоятельство связано с относительно небольшим размером тестовой выборки и было призвано повысить объективность итоговой оценки. В дальнейшем архитектура наиболее удачных сетей была воспроизведена в среде программирования Python и проходила дополнительное обучение.

Исследование было одобрено локальным этическим комитетом СЗГМУ им. И.И. Мечникова и выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 24-25-20127).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Создание модели выявления воспалительного заболевания кишечника

Первоначально в исследование ретроспективно включено 1406 пациентов: 442 пациента с СРК и 964 — с ВЗК. В дальнейшем из неё была случайным образом удалена часть наблюдений, сократив их число до 919 для создания выборки с одинаковым количеством пациентов в каждой группе с целью получения более точных результатов обучения моделей. Характеристики пациентов представлены в таблицах 1 и 2.

Функциональные заболевания кишечника чаще выявлялись у женщин (71,5% по сравнению с 51,8%, $p < 0,001$), медиана возраста в обеих

Таблица 1. Клинико-лабораторные характеристики групп пациентов
Table 1. Clinical and laboratory characteristics of patient groups

Показатели	Заболевание		Р	ОШ; 95% ДИ	Заболевание		Р	ОШ; 95% ДИ
	СРК, n = 442	ВЗК, n = 477			БК, n = 486	ЯК, n = 478		
	Абс. (%)	Абс. (%)			Абс. (%)	Абс. (%)		
Женский пол	316 (71,5)	247 (51,8)	< 0,001	2,34; 1,78–3,07	261 (53,7)	256 (53,6)	0,963	
Запоры	147 (33,3)	25 (5,2)	< 0,001	9,00; 5,75–14,11	34 (7,0)	14 (2,9)	0,004	0,40; 0,21–0,76
Отсутствие жидкого стула	150 (33,9)	29 (6,1)	< 0,001	7,94; 5,19–12,13	45 (9,3)	27 (5,6)	0,033	0,59; 0,36–0,96
Жидкий стул 1–2 р/сут.	132 (29,9)	91 (19,1)	< 0,001	1,81; 1,33–2,45	99 (20,4)	56 (11,7)	< 0,001	0,52; 0,36–0,74
Жидкий стул 3–4 р/сут.	130 (29,4)	175 (36,7)	0,019	0,72; 0,55–0,95	180 (37,0)	144 (30,1)	0,023	0,73; 0,56–0,96
Жидкий стул 5 и более р/сут.	30 (6,8)	182 (38,2)	< 0,001	0,12; 0,08–0,72	162 (33,3)	251 (52,5)	< 0,001	2,21; 1,71–2,87
Кровь в стуле	26 (5,9)	304 (63,7)	< 0,001	0,04; 0,02–0,06	217 (44,7)	414 (86,6)	< 0,001	8,02; 5,83–11,02
Боль в животе	442 (100,0)	361 (75,7)	< 0,001		383 (78,8)	329 (68,8)	< 0,001	0,59; 0,44–0,80
Боль в суставах	40 (9,0)	141 (29,6)	< 0,001	0,24; 0,16–0,35	161 (33,1)	110 (23,0)	< 0,001	0,60; 0,45–0,80
Ночные симптомы	11 (2,5)	66 (13,8)	< 0,001	0,16; 0,08–0,31	71 (14,6)	72 (15,1)	0,843	
Снижение веса	80 (18,1)	220 (46,1)	< 0,001	0,26; 0,19–0,35	201 (41,4)	183 (38,3)	0,330	
Снижение веса на фоне диеты	56 (12,7)	9 (1,9)	< 0,001	7,54; 3,68–15,45	15 (3,1)	21 (4,4)	0,285	
Отсутствие ВКП	421 (95,2)	325 (68,1)	< 0,001	9,38; 5,81–15,13	278 (57,2)	350 (73,2)	< 0,001	2,05; 1,56–2,68
Лихорадка более 37 °С	25 (5,7)	105 (22,0)	< 0,001	0,21; 0,13–0,34	105 (21,6)	75 (15,7)	0,018	0,68; 0,49–0,94

Примечание: Продолжение таблицы 1

Показатели	Заболевание		Р	ОШ; 95% ДИ	Заболевание		Р	ОШ; 95% ДИ
	СРК, n = 442	ВЗК, n = 477			БК, n = 486	ЯК, n = 478		
	Абс. (%)	Абс. (%)			Абс. (%)	Абс. (%)		
Отсутствие ПАП	424 (95,9)	425 (89,1)	< 0,001	2,88; 1,67–5,01	387 (79,6)	465 (97,3)	< 0,001	9,15; 5,05–16,57
Стриктуры	0 (0,0)	60 (12,6)	< 0,001		111 (22,8)	0 (0,0)	< 0,001	
Межкишечные свищи	0 (0,0)	15 (3,1)	< 0,001		33 (6,8)	1 (0,2)	< 0,001	0,03; 0,004–0,21
Абсцессы/инфильтраты	0 (0,0)	10 (2,1)	0,02		27 (5,6)	0 (0,0)	< 0,001	
Хирургическое лечение	5 (1,1)	54 (11,3)	< 0,001	0,09; 0,04–0,23	101 (20,8)	9 (1,9)	< 0,001	0,07; 0,04–0,15
Сопутствующее функциональное заболевание	104 (23,5)	44 (9,2)	< 0,001	3,03; 2,07–4,43				
Семейный анамнез аутоиммунных заболеваний	6 (1,4)	21 (4,4)	0,006	0,30; 0,12–0,75	27 (5,6)	27 (5,6)	0,95	

Примечание: БК — болезнь Крона, ВКП — внекишечные проявления, ПАП — перианальные проявления, СРК — синдром раздраженного кишечника, ЯК — язвенный колит

Таблица 2. Сравнение лабораторных показателей в зависимости от наличия воспалительного заболевания кишечника и его формы
Table 2. Comparison of laboratory parameters depending on the presence of inflammatory bowel disease and its form

Показатели	Группы сравнения								p	
	СРК		ВЗК		p	БК		ЯК		
	Me (n)	ИКР	Me (n)	ИКР		Me (n)	ИКР	Me (n)		ИКР
Гемоглобин, г/л	133 (367)	125–142	127 (458)	112–138	< 0,001	125 (473)	112–135	128 (448)	111–140	0,06
Лейкоциты	5,5 (288)	4,7–6,8	7,0 (257)	5,5–9,5	< 0,001	7,1 (461)	5,5–9,5	7,3 (421)	5,6–9,9	0,241
Общий белок	73,0 (253)	69,0–77,2	72,0 (346)	67,0–76,0	< 0,001	70,0 (373)	67,0–76,0	71,8 (342)	67,0–77,0	0,129
С-реактивный белок	1,5 (260)	0,6–2,9	3,9 (416)	1,5–10,0	< 0,001	5,2 (435)	2,0–17,2	3,8 (399)	1,4–10,0	< 0,001
Фекальный кальпротектин	25,0 (257)	15,0–37,0	528,0 (211)	220,5–849,0	< 0,001	701,5 (330)	269,0–1200,0	760,0 (259)	354,5–1319,0	0,136

Примечание: БК — болезнь Крона, ИКР — интерквартильный размах, СРК — синдром раздраженного кишечника, ЯК — язвенный колит

группах составила 35 лет ($p = 0,582$). У пациентов с СРК преобладала склонность к более редкой дефекации (запоры, отсутствие жидкого стула или диарея до 2 р/сут. ($p < 0,001$)). Наличие крови при дефекации у данной группы (5,9%) было связано с наличием геморроидальных кровотечений и/или

анальных трещин, при эндоскопическом обследовании визуальных дефектов (язв, эрозий) выявлено не было. Абдоминальный болевой синдром встречался в 100% случаев СРК, т.к. данный критерий является облигатным для верификации диагноза. Ночные симптомы, что является маркером «тревоги»,

Таблица 3. Оценка точности модели многослойного перцептрона 13:13-5-1:1 на тестовой выборке**Table 3.** The accuracy of the multilayer perceptron model 13:13-5-1:1 on the test dataset

Название модели	Наблюдения	ВЗК	СРК	Всего наблюдений
МСП 13:13-5-1:1	Исходно в классе, n	28	30	58
	Правильно, n (%)	25 (89,29)	30 (100,00)	55 (94,83)
	Неправильно, n (%)	3 (10,71)	0 (0,00)	3 (5,17)

Таблица 4. Оценка точности модели многослойного перцептрона 13:13-5-1:1 на всём массиве**Table 4.** The accuracy of the multilayer perceptron model 13:13-5-1:1 on the general dataset

Название модели	Наблюдения	ВЗК	СРК	Всего наблюдений
МСП 13:13-5-1:1	Исходно в классе, n	192	198	390
	Правильно, n (%)	178 (92,71)	196 (98,99)	374 (95,9)
	Неправильно, n (%)	14 (7,29)	2 (1,01)	16 (4,1)

встречались статистически значимо чаще у пациентов с ВЗК (13,8% по сравнению с 2,5%, $p < 0,001$), как и лихорадка более 37 °C (22,0% по сравнению с 5,7%, $p < 0,001$). ВКП присутствовали у 31,9% пациентов ($p < 0,001$) с ВЗК. У 4,8% пациентов с функциональной патологией кишечника ВКП были представлены артропатией и афтозным стоматитом. Снижение веса в группе с ВЗК было, преимущественно, непреднамеренным — 46,1% по сравнению с 18,1% при СРК ($p < 0,001$), при этом потеря массы тела на диетических ограничениях была чаще в последней группе ($p < 0,001$).

Инфильтраты ($p = 0,002$), перианальные проявления, стриктуры, свищи, инфильтраты и сопутствующее хирургическое вмешательство на тонкой и толстой кишках было статистически значимо чаще при ВЗК ($p < 0,001$). Также данная группа пациентов чаще имелаотягощенный анамнез по аутоиммунным заболеваниям (4,4% по сравнению с 1,4%, $p = 0,006$). 23,5% пациентов с СРК имела сопутствующую функциональную патологию, что встречалось в 2,5 раза чаще, чем при ВЗК (9,2%, $p < 0,001$).

При анализе лабораторных данных было выявлено, что при СРК значения гемоглобина были статистически значимо выше (медианы 133 и 127 г/л, соответственно), а лейкоцитов (медианы 5,5 и 7,0 $\times 10^9$ /л), СРБ (медианы 1,5 и 3,9 мг/л) и ФК (медианы 25,0 и 528,0 мкг/г) — ниже, чем у пациентов с ВЗК ($p < 0,001$).

При построении ИНС для верификации диагноза ВЗК — СРК автоматически были удалены наблюдения, которые не имели входных параметров, что привело к сокращению исходного массива до 390 пациентов. Полученный массив был разделён на обучающую, контрольную и тестовую выборки в соотношении 70:15:15%. Всего было построено и проанализировано порядка 1500 моделей. Наибольшая точность диагноза была получена моделью многослойного перцептрона (МСП) 13:13-5-1:1, имевшей пять нейронов скрытого слоя.

При обучении модели использовался алгоритм BFGS 43; функция активации нейронов скрытого

слоя — гиперболическая, функция активации нейронов выходного слоя — софтмакс. В качестве входного элемента использовался набор переменных — значения СРБ и ФК, наличие запоров, частота жидкого стула (разделялась на три бинарные переменные с разным значением порога), отсутствие ВКП и перианальных проявлений, наличие сопутствующих функциональных патологий, наличие у родственников пациента аутоиммунных заболеваний и проведенное ранее хирургическое вмешательство на тонкой и толстой кишках.

На тестовой выборке чувствительность модели составила 89,3%, специфичность — 100%. На всём массиве чувствительность модели составила 92,7%, специфичность — 99,0 (Табл. 3,4).

ROC-кривая полученной модели для выявления ВЗК представлена на рисунке 1.

Создание модели дифференциальной диагностики воспалительных заболеваний кишечника

Для разработки ИНС для дифференциации ЯК и БК было включено 946 пациентов: 486 — БК толстой

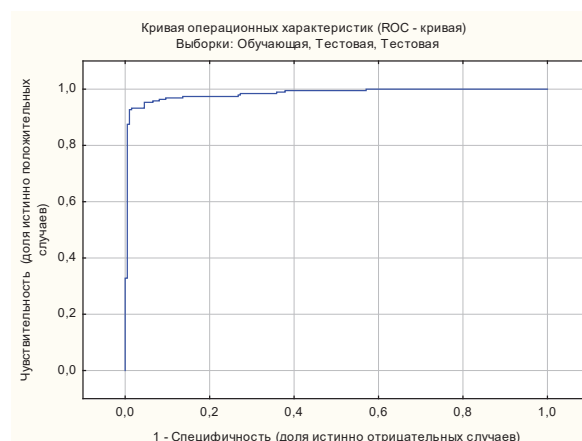
**Рисунок 1.** ROC-кривая модели многослойного перцептрона 13:13-5-1:1**Figure 1.** ROC-curve of the multilayer perceptron model 13:13-5-1:1

Таблица 5. Оценка точности модели многослойного перцептрона 9:9-8-1:1 на тестовой выборке
Table 5. The accuracy of the multilayer perceptron model 9:9-8-1:1 on the test dataset

Наименование модели	Наблюдения	БК	ЯК	Всего наблюдений
МСП 9:9-8-1:1	Исходно в классе, n	69	75	144
	Правильно, n (%)	53 (76,81)	65 (86,67)	118 (81,94)
	Неправильно, n (%)	16 (23,19)	10 (13,33)	26 (18,06)

Таблица 6. Оценка точности модели многослойного перцептрона 9:9-8-1:1 на всём массиве
Table 6. The accuracy of the multilayer perceptron model 9:9-8-1:1 on the general dataset

Наименование модели	Наблюдения	БК	ЯК	Всего наблюдений
МСП 9:9-8-1:1	Исходно в классе, n	486	478	964
	Правильно, n (%)	341 (70,16)	413 (86,40)	754 (78,22)
	Неправильно, n (%)	145 (29,84)	65 (13,60)	210 (21,78)

кишки и 478 — ЯК. Клиническая характеристика пациентов представлена в таблицах 1 и 2.

Статистически значимой разницы по полу в двух группах не было ($p = 0,963$), однако медиана возраста при ЯК была больше (37 и 34 года, соответственно, $p < 0,001$).

У пациентов с ЯК статистически значимо чаще был выраженный диарейный синдром (более 5 раз в сутки), примеси крови в стуле, отсутствовали ВКП и ПАП, также как и остальные осложнения, характерные для БК — стриктуры, свищи, инфильтраты, и реже проводилось оперативное лечение на тонкой и толстой кишках ($p < 0,001$).

При БК значение СРБ было статически значимо выше (5,2 мг/л по сравнению с 3,8 мг/л, соответственно, $p < 0,001$), остальные показатели — гемоглобин, лейкоциты, ФК различий не имели ($p < 0,05$).

С целью создания ИНС разделение на обучающую, контрольную и тестовую выборку проводилось аналогично предыдущему массиву. Наилучший результат показала модель многослойного перцептрона МСП 9:9-8-1:1 с 8 нейронами скрытого слоя. При обучении модели использовался алгоритм BFGS 17; функция активации нейронов скрытого слоя — экспоненциальная, функция активации нейронов выходного слоя — софтмакс. В качестве входного набора использовались следующие переменные: наличие у пациента запоров, частота жидкого стула, наличие крови в стуле, отсутствие ВКП, наличие лихорадки, отсутствие перианальных проявлений, наличие стриктур и проведенное ранее хирургическое вмешательство. В связи с наличием в каждом наблюдении всех необходимых для построения модели показателей, сокращения массива не производилось.

На тестовой выборке ИНС правильно распознала 76,81% случаев БК и 86,67% случаев ЯК (Табл. 5). На всём массиве модель правильно распознала 70,16% случаев БК и 86,40% случаев ЯК (Табл. 6).

ROC-кривая модели для дифференциальной диагностики ВЗК представлена на рис. 2.

ОБСУЖДЕНИЕ

Раннее выявление ВЗК сопряжено с более благоприятным течением заболевания и, соответственно, прогнозом пациента [6,10]. Более поздняя верификация ВЗК может происходить в связи с неспецифичностью симптомов, которые первоначально могут быть расценены как СРК или другие заболевания [11,12]. До 30% пациентов с ВЗК могут не иметь «классических» проявлений, таких как хроническая диарея с кровью, болевой абдоминальный синдром и снижение веса [13,14].

При сравнении времени выявления ВЗК, более ранние сроки диагностики были у ЯК, вероятно, из-за более «ярких» клинических симптомов [10]. БК долгое время может иметь стертые симптомы, имитируя СРК, что может привести к прогрессированию заболевания из-за отсутствия лечения и формированию стриктур, инфильтратов и других осложнений [10]. При ЯК ранняя диагностика и эффективное лечение могут снизить долгосрочный риск рака толстой

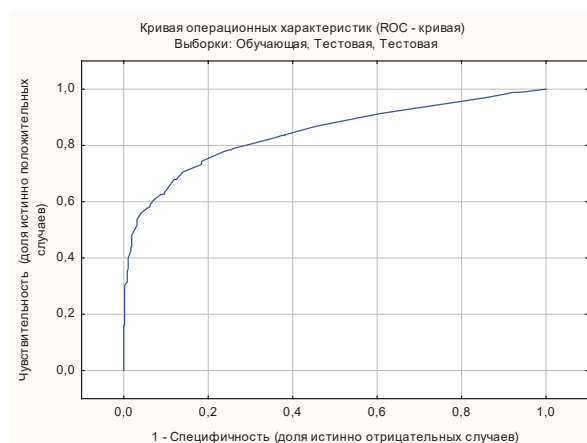


Рисунок 2. ROC-кривая модели многослойного перцептрона 9:9-8-1:1

Figure 1. ROC-curve of the multilayer perceptron model 9:9-8-1:1

прямой кишки и уменьшить потребность в колэктомии [6].

В связи с этим нашей целью было разработать инструмент для раннего выявления ВЗК и дифференциальной диагностики его формы на основе ИНС.

Для определения наличия у пациента ВЗК была разработана модель на основе многослойного персептрона 13:13-5-1:1. Наиболее важными показателями были комбинация из лабораторных показателей — СРБ и ФК, а также клинических данных: наличие запоров, частота жидкого стула, отсутствие ВКП и перианальных проявлений, наличие сопутствующей функциональной патологии, аутоиммунных заболеваний у родственников первой линии и проведенное ранее хирургическое вмешательство на тонкой и толстой кишках. При апробации модели на тестовой выборке чувствительность составила 89,3%, специфичность — 100%, а на всём массиве — 92,7% и 99,0%, соответственно.

Разработанная нами модель имела высокие показатели чувствительности и специфичности, что может быть в дальнейшем удобным инструментом для скрининга пациента на первичной консультации и направления его на дальнейшее обследование.

Вторая модель для диагностики формы ВЗК являлась тоже многослойным персептроном, но уже с 9 входными нейронами. Она анализировала наличие у пациента запоров, частоту жидкого стула, наличие крови в стуле и лихорадки более 37 °С, отсутствие ВКП и перианальных проявлений, наличие стриктур и проведенное ранее оперативное лечение. Результаты МСП 9:9-8-1:1 были значительно ниже: на тестовой выборке модель правильно распознала 76,81% случаев БК и 86,67% случаев ЯК, на всём массиве — 70,16% и 86,40%, соответственно. Полученные данные показывают, что при отсутствии дополнительного обследования пациента дифференцировать форму ВЗК может быть проблематично, что также подтверждается на практике. По мировым данным, до 11% пациентов с ВЗК имеют признаки как ЯК, так и БК, и ведутся с диагнозом неклассифицированного колита [15].

По обзорам литературы, точных данных о частоте своевременного выявления ВЗК на первичном приеме у специалиста нет, однако отмечается задержка сроков верификации данной патологии во всем мире. Медианы интервалов верификации пациентов с ВЗК колеблются от 2,0 до 6,0 месяцев при ЯК и 7,1 до 20,0 месяцев — при БК [3,6,16,17]. По данным Северо-Западного центра лечения ВЗК (г. Санкт-Петербург), средняя продолжительность от появления симптомов до установления диагноза составляет для БК 30,7 месяцев, для ЯК — 12,7 месяцев [4]. То же подтверждается и результатами Национального регистра в Российской Федерации — средняя

длительность ВЗК от начала симптомов до установления диагноза была 34,8 месяцев при БК и 13,2 месяца — при ЯК [18], что еще раз подчеркивает необходимость оптимизации диагностического поиска.

В исследованиях были произведены поиски признаков, которые могли бы заподозрить наличие ВЗК у пациента. Ford A. и соавт. выявили, что наличие у пациента отягощенного наследственного анамнеза по ВЗК имело отношение правдоподобности 1,80 (95% ДИ: 1,47–2,18), диарея 4 и более раз в сутки — 2,30 (95% ДИ: 1,84–2,85), кровь в стуле — 1,61 (95% ДИ: 1,41–1,82), снижение веса на 5 кг за последний год — 1,66 (1,32–2,06) [19]. Однако все признаки по отдельности имели низкую чувствительность (26,7–52,7%). При комбинации нескольких признаков чувствительность снижалась, однако специфичность была более 95% [19].

В работе Shao Y. и соавт. у пациентов с неклассифицированным колитом гипоальбуминемия на момент верификации диагноза (ОР 0,9; 95% ДИ: 0,79–0,99, $p = 0,023$) была связана с изменением диагноза на ЯК, в то время как ректальное кровотечение — с БК (ОР 4,2; 95% ДИ: 2,0–17,9, $p = 0,05$) [20]. Несмотря на более частую выявляемость свищей и эпизодов кишечной непроходимости у пациентов с БК, достоверной статистической значимости выявлено не было [20].

Разработки ИНС для решения вопросов диагностики и дифференциальной диагностики ВЗК, в первую очередь, касаются анализа цифровых изображений, преимущественно, эндоскопии и патоморфологии, а также имеется отдельное направление для прогнозирования течения ВЗК [8,7]. В исследованиях под руководством Бакулина И.Г. и соавт. создана ИНС для диагностики и дифференциальной диагностики ВЗК с помощью анализа эндоскопических и морфологических изображений искусственным интеллектом [21,22]. ИНС дифференцировали эндоскопические признаки ВЗК/неизменной слизистой с точностью 89,3% и ЯК/БК — с точностью 81,9% [21], морфологически неизменную слизистую оболочку с чувствительностью и специфичностью 93%, ЯК — с чувствительностью 89% и специфичностью 95% и БК — 92% и 84%, соответственно [22]. Однако до момента проведения эндоскопического и морфологического исследований пациент может длительно наблюдаться с функциональной патологией кишечника, что требует акцентирования внимания на более тщательном выявлении ВЗК на первичных консультациях.

Наше исследование имеет ряд ограничений, что необходимо учитывать при использовании результатов в практике. Во-первых, у включенных в работу пациентов не оценивалась тяжесть атаки, что может повлиять на клиническую характеристику заболевания. Во-вторых, не учитывались протяженность

воспаления (кроме БК) и фенотип заболевания, что тоже имеет свое влияние на проявления ВЗК. В-третьих, для анализа включались пациенты не только с первой атакой ВЗК, но и имеющие длительный стаж заболевания, в связи с чем симптомы у данной группы пациенты могут меняться под воздействием лекарственной терапии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявление ВЗК на начальных стадиях заболевания значительно снижает частоту осложнений и вероятность неблагоприятного течения. Однако существующие методы диагностики не позволяют в полной мере обеспечить своевременную верификацию заболевания, что требует поиска новых удобных инструментов для клиницистов.

Разработанная модель выявления ВЗК на основе анализа клинико-лабораторных данных ИНС может в дальнейшем быть перспективным помощником для скрининга пациентов, которым требуется дальнейшее углубленное обследование. Умеренные показатели чувствительности и специфичности ИНС для дифференциальной диагностики ВЗК требуют дальнейшей доработки модели и подтверждают сложность диагностического процесса в клинической практике.

УЧАСТИЕ АВТОРОВ

Концепция и дизайн исследования: *Бакулин И.Г.*

Сбор и обработка материалов: *Расмагина И.А., Арутюнян Г.Ф.*

Статистическая обработка, разработка нейронных сетей: *Расмагина И.А., Машевский Г.А., Шелякина Н.М.*

Написание текста: *Расмагина И.А.*

Редактирование: *Бакулин И.Г.*

AUTHORS CONTRIBUTION

Concept and design of the study: *Igor G. Bakulin*

Collection and processing of the material: *Irina A. Rasmagina, Grant F. Arutyunyan*

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Язвенный колит. Клинические рекомендации РФ, 2024 (Россия). Текст: электронный. MedElement. URL: <https://diseases.medelement.com/disease/%D1%8F%D0%B7%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9-%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D0%BA%D0%BF-%D1%80%D1%84-2024/18016>. Дата обращения: 22.01.2025. / Ulcerative colitis. Clinical Guidelines of the Russian Federation, 2024 (Russia) (Russia). Text: electronic. Med Element. URL: <https://diseases.medelement.com/disease/%D1%8F%D0%B7%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9-%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D0%BA%D0%BF-%D1%80%D1%84-2024/18016>. Date of assess: 22.01.2025. (In

Statistical processing: *Irina A. Rasmagina, Gleb A. Mashevskiy, Natalya M. Shelyakina*

Writing of the text: *Irina A. Rasmagina*

Editing: *Igor G. Bakulin*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Бакулин Игорь Геннадьевич — д.м.н., профессор, заведующий кафедрой пропедевтики внутренних болезней, гастроэнтерологии и диетологии им. С.М. Рысса ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И.И. Мечникова Минздрава России, Санкт-Петербург, ORCID 0000-0002-6151-2021

Расмагина Ирина Алексеевна — к.м.н., ассистент кафедры пропедевтики внутренних болезней, гастроэнтерологии и диетологии им. С.М. Рысса ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И.И. Мечникова Минздрава России, Санкт-Петербург, ORCID 0000-0003-3525-3289

Машевский Глеб Алексеевич — к.т.н., доцент кафедры биотехнических систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета СПбГЭТУ «ЛЭТИ», научный сотрудник центральной научно-исследовательской лаборатории ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И.И. Мечникова Минздрава России, Санкт-Петербург, ORCID 0000-0001-9380-9543

Шелякина Наталья Максимовна — м.н.с. центральной научно-исследовательской лаборатории ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И.И. Мечникова Минздрава России, Санкт-Петербург

Арутюнян Грант Феликсович — студент 4 курса лечебного факультета, заместитель председателя студенческого научного общества ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И.И. Мечникова Минздрава России, Санкт-Петербург, ORCID 0009-0004-0820-8006

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS (ORCID)

Igor G. Bakulin — 0000-0002-6151-2021

Irina A. Rasmagina — 0000-0003-3525-3289

Gleb A. Mashevskiy — 0000-0001-9380-9543

Natalya M. Shelyakina

Grant F. Arutyunyan — 0009-0004-0820-8006

Russ.).

2. Болезнь Крона. Клинические рекомендации РФ, 2024 (Россия). Текст: электронный. MedElement. URL: <https://diseases.medelement.com/disease/%D0%B1%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%B7%D0%BD%D1%8C-%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B0-%D0%BA%D1%80-%D1%80%D1%84-2024/18085>. Дата обращения: 22.01.2025. / Crohn's disease. Clinical Guidelines of the Russian Federation, 2024 (Russia). Text: electronic. MedElement. URL: <https://diseases.medelement.com/disease/%D0%B1%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%B7%D0%BD%D1%8C-%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B0-%D0%BA%D1%80-%D1%80%D1%84-2024/18085>. Date of assess: 22.01.2025. (In

- %D1%80%D1%84-2024/18085. Date of assess: 22.01.2025. (In Russ.)
3. Zhou R, Sun X, Guo M, et al. A Shortened Diagnostic Interval and Its Associated Clinical Factors and Related Outcomes in Inflammatory Bowel Disease Patients from a Cohort Study in China. *J Inflamm Res*. 2024;17:387–398. doi: [10.2147/JIR.S434673](https://doi.org/10.2147/JIR.S434673)
 4. Бакулин И.Г., Скалинская М.И., Сказываева Е.В. Северо-Западный регистр пациентов с воспалительными заболеваниями кишечника: достижения и уроки. *Колoproктologia*. 2022;21(1(79)):37–49. doi: [10.33878/2073-7556-2022-21-1-37-49](https://doi.org/10.33878/2073-7556-2022-21-1-37-49) / Bakulin I.G., Skalinskaya M.I., Skazyvaeva E.V. North-Western register of patients with inflammatory bowel diseases: achievements and lessons learned. *Koloproktologia*. 2022;21(1):37–49. (In Russ.). doi: [10.33878/2073-7556-2022-21-1-37-49](https://doi.org/10.33878/2073-7556-2022-21-1-37-49)
 5. Card TR, Siffledeen J, Fleming KM. Are IBD patients more likely to have a prior diagnosis of irritable bowel syndrome? Report of a case-control study in the General Practice Research Database. *United Eur Gastroenterol J*. 2014;2(6):505–512. doi: [10.1177/2050640614554217](https://doi.org/10.1177/2050640614554217)
 6. Jayasooriya N, Baillie S, Blackwell J, et al. Systematic review with meta-analysis: Time to diagnosis and the impact of delayed diagnosis on clinical outcomes in inflammatory bowel disease. *Aliment Pharmacol Ther*. 2023 Mar;57(6):635–652. doi: [10.1111/apt.17370](https://doi.org/10.1111/apt.17370)
 7. Chang Y, Wang Z, Sun HB, Li YQ, Tang TY. Artificial Intelligence in Inflammatory Bowel Disease Endoscopy: Advanced Development and New Horizons. *Gastroenterol Res Pract*. 2023;2023:3228832. doi: [10.1155/2023/3228832](https://doi.org/10.1155/2023/3228832)
 8. Nguyen NH, Picetti D, Dulai PS, et al. Machine Learning-based Prediction Models for Diagnosis and Prognosis in Inflammatory Bowel Diseases: A Systematic Review. *J Crohns Colitis*. 2021;16(3):398–413. doi: [10.1093/ecco-jcc/jjab155](https://doi.org/10.1093/ecco-jcc/jjab155)
 9. Расмагина И.А., Бакулин И.Г., Стамболцян В.Ш., и соавт. Клинико-лабораторные маркеры предтестовой вероятности воспалительных заболеваний кишечника. *Колoproktologia*. 2023;22(1(83)):91–98. doi: [10.33878/2073-7556-2023-22-1-91-98](https://doi.org/10.33878/2073-7556-2023-22-1-91-98) / Rasmagina I.A., Bakulin I.G., Stamboltsyan V.Sh., et al. Clinical and laboratory markers of the pre-test probability of inflammatory bowel diseases. *Koloproktologia*. 2023;22(1):91–98. (In Russ.). doi: [10.33878/2073-7556-2023-22-1-91-98](https://doi.org/10.33878/2073-7556-2023-22-1-91-98)
 10. Lv H, Li HY, Zhang HN, et al. Delayed diagnosis in inflammatory bowel disease: Time to consider solutions. *World J Gastroenterol*. 2024;30(35):3954–3958. doi: [10.3748/wjg.v30.i35.3954](https://doi.org/10.3748/wjg.v30.i35.3954)
 11. Бакулин И.Г., Расмагина И.А., Скалинская М.И. Дифференциальная диагностика и прогнозирование течения воспалительных заболеваний кишечника: современные подходы. *Вестник Северо-Западного Государственного Медицинского Университета им. И.И. Мечникова*. 2021;13(3):19–30. doi: [10.17816/mechnikov77646](https://doi.org/10.17816/mechnikov77646) / Bakulin I.G., Rasmagina I.A., Skalinskaya M.I. Diagnosis and prognosis of inflammatory bowel diseases: modern view. *HERALD of North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov*. 2021;13(3):19–30. (In Russ.). doi: [10.17816/mechnikov77646](https://doi.org/10.17816/mechnikov77646)
 12. Fiorino G, Danese S. Diagnostic Delay in Crohn's Disease: Time for Red Flags. *Dig Dis Sci*. 2016;61(11):3097–3098. doi: [10.1007/s10620-016-4298-8](https://doi.org/10.1007/s10620-016-4298-8)
 13. Barwise A, Leppin A, Dong Y, et al. What contributes to diagnostic error or delay? A qualitative exploration across diverse acute care settings in the US. *J Patient Saf*. 2021;17(4):239–248. doi: [10.1097/PTS.0000000000000817](https://doi.org/10.1097/PTS.0000000000000817)
 14. Huisman, Danielle, et al. Irritable bowel syndrome in inflammatory bowel disease: distinct, intertwined, or unhelpful? Views and experiences of patients. *Cogent Psychology*. 2022;9(1):2050063.
 15. Burisch J, Pedersen N, Čuković-Čavka S, et al. East-West gradient in the incidence of inflammatory bowel disease in Europe: the ECCO-EpiCom inception cohort. *Gut*. 2014;63(4):588–597. doi: [10.1136/gutjnl-2013-304636](https://doi.org/10.1136/gutjnl-2013-304636)
 16. Cantoro L, Di Sabatino A, Papi C, et al. The Time Course of Diagnostic Delay in Inflammatory Bowel Disease Over the Last Sixty Years: An Italian Multicentre Study. *J Crohns Colitis*. 2017;11(8):975–980. doi: [10.1093/ecco-jcc/jjx041](https://doi.org/10.1093/ecco-jcc/jjx041)
 17. Walker GJ, Lin S, Chanchlani N, et al. Quality improvement project identifies factors associated with delay in IBD diagnosis. *Aliment Pharmacol Ther*. 2020;52(3):471–480. doi: [10.1111/apt.15885](https://doi.org/10.1111/apt.15885)
 18. Белоусова Е.А., Шельгин Ю.А., Ачкасов С.И., и соавт. Клинико-демографические характеристики и лечебные подходы у пациентов с воспалительными заболеваниями кишечника (болезнь Крона, язвенный колит) в РФ. Первые результаты анализа Национального Регистра. *Колoproktologia*. 2023. 22, № 1(83): 65–82. doi: [10.33878/2073-7556-2023-22-1-65-82](https://doi.org/10.33878/2073-7556-2023-22-1-65-82) / Belousova E.A., Shelygin Y.A., Achkasov S.I., et al. Clinical and demographic characteristics and therapeutic approaches in patients with inflammatory bowel diseases (Crohn's disease, ulcerative colitis) in the Russian Federation. The first results of the analysis of the National Register. *Koloproktologia*. 2023. 22, 1(83): 65–82. (In Russ.). doi: [10.33878/2073-7556-2023-22-1-65-82](https://doi.org/10.33878/2073-7556-2023-22-1-65-82)
 19. Ford AC, Moayyedi P, Bercik P, et al. Lack of Utility of Symptoms and Signs at First Presentation as Predictors of Inflammatory Bowel Disease in Secondary Care. *Am J Gastroenterol*. 2015;110(5):716–724. doi: [10.1038/ajg.2015.117](https://doi.org/10.1038/ajg.2015.117)
 20. Shao Y, Zhao Y, Lv H, et al. Clinical features of inflammatory bowel disease unclassified: a case-control study. *BMC Gastroenterol*. 2024;24:105. doi: [10.1186/s12876-024-03171-5](https://doi.org/10.1186/s12876-024-03171-5)
 21. Бакулин И.Г., Расмагина И.А., Скалинская М.И., и соавт. Применение искусственного интеллекта для анализа эндоскопических изображений при воспалительных заболеваниях кишечника. *Терапия*. 2022; 8(7(59)):7–14. doi: [10.18565/therapy.2022.7.7-14](https://doi.org/10.18565/therapy.2022.7.7-14) / Bakulin I.G., Rasmagina I.A., Skalinskaya M.I., et al. Application of artificial intelligence for endoscopic image analysis in inflammatory bowel diseases. *Therapy*. 2022;8(7):7–14. (In Russ.). doi: [10.18565/therapy.2022.7.7-14](https://doi.org/10.18565/therapy.2022.7.7-14)
 22. Бакулин И.Г., Расмагина И.А., Деев Р.В., и соавт. Анализ гистологических изображений биоптатов слизистой толстой кишки у пациентов с воспалительными заболеваниями кишечника при помощи искусственной нейронной сети. *Медицинский Вестник Мвд*. 2023; 124(3(124)):21–24. doi: [10.52341/20738080_2023_124_3_21](https://doi.org/10.52341/20738080_2023_124_3_21) / Bakulin I.G., Rasmagina I.A., Deev R.V., et al. Analysis of histological images of biopsy samples of the colon mucosa in patients with inflammatory bowel diseases using an artificial neural network. *Medical Bulletin of the Ministry of Internal Affairs*. 2023;124(3):21–24. (In Russ.). doi: [10.52341/20738080_2023_124_3_21](https://doi.org/10.52341/20738080_2023_124_3_21)