

doi: 10.25005/2074-0581-2025-27-2-441-452

ЛУЧЕВЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ В ДИАГНОСТИКЕ БОЛЕЗНИ КРОНА

Г.М. ЖАРГАЛОВА^{1,2}, П.В. СЕЛИВЁРСТОВ¹

¹ Иркутский научный центр хирургии и травматологии, Иркутск, Российская Федерация

² Областной онкологический диспансер», Иркутск, Российская Федерация

Болезнь Крона (БК) относится к воспалительным заболеваниям кишечника неясной этиологии и, по мнению многих авторов, распространённость её во всём мире неуклонно растёт. Из инструментальных методов диагностики «золотым стандартом» в выявлении кишечных заболеваний остаётся илеоколоноскопия с биопсией. Однако, поскольку БК может поражать любую часть желудочно-кишечного тракта, данный метод имеет свои ограничения из-за невозможности осмотра проксимальных отделов тонкой кишки, а также оценки состояния всех слоёв кишечной стенки. Кроме того, этот инвазивный метод плохо переносится пациентами, что делает его нежелательным в многократном проведении. Лучевые методы диагностики, такие как ультразвуковое исследование (УЗИ) кишечника, компьютерная (КТ-энтерография) и магнитно-резонансная энтерография (МР-энтерография), хорошо зарекомендовали себя в диагностике БК, так как способны неинвазивным путём визуализировать не только толстую, но и тонкую кишку, оценить характер повреждения глубоких слоёв кишечника, выявить другие возможные осложнения, такие как стриктуры, абсцессы, свищи и т.д. Кроме того, КТ- и МР-энтерография позволяет оценить состояние других органов и систем в зоне сканирования, выявляя как связанные с БК, так и не связанные с ней патологические состояния. На основе лучевых методов исследования БК были предложены различные индексы активности заболевания, большинство из которых основаны на МР-энтерографии. Однако, на сегодняшний день ни один из них не получил всеобщего признания и не включён в стандартные протоколы диагностики БК.

Поиск информации проводился по базам данных PubMed, Medline, Scopus, eLibrary, Cyberleninka с использованием ключевых слов: «болезнь Крона», «ультразвуковое исследование кишечника», «КТ-энтерография», «МР-энтерография». В базе данных PubMed и Medline применялись два типа поисковых запросов: а) с использованием терминов библиотеки MeSH "Crohn Disease/diagnosis", "Crohn Disease/diagnostic imaging" б) с использованием ключевых слов "ultrasound examination of the intestine", "CT-enterography", "MR-enterography". В настоящем обзоре проанализировано 34 источника, из которых 25 содержали актуальные данные за последний десятилетний период (2014-2024 гг.). Критерии включения в обзор: обзоры, систематические обзоры, рандомизированные контролируемые исследования, метаанализы, посвящённые специфике лучевых методов визуализации кишечника у пациентов с БК. Критерии исключения: статьи, содержащие информацию о нелучевых методах инструментальной диагностики при БК, статьи с исследованиями пациентов с язвенным колитом, исследования с недоступным полным текстом.

Ключевые слова: болезнь Крона, ультразвуковое исследование кишечника, КТ-энтерография, МР-энтерография.

Для цитирования: Жаргалова ГМ, Селивёрстов ПВ. Лучевые методы исследования в диагностике болезни Крона. *Вестник Авиценны*. 2025;27(2):441-452. <https://doi.org/10.25005/2074-0581-2025-27-2-441-452>

DIAGNOSTIC IMAGING IN CROHN'S DISEASE

G.M. ZHARGALOVA^{1,2}, P.V. SELIVERSTOV¹

¹ Irkutsk Scientific Centre of Surgery and Traumatology, Irkutsk, Russian Federation

² Irkutsk City Regional Oncological Clinic, Irkutsk, Russian Federation

Crohn's disease (CD) is an inflammatory bowel disease with an unknown etiology, and many authors suggest that its prevalence is steadily increasing worldwide. Among the various diagnostic methods available, ileocolonoscopy with biopsy is considered the "gold standard" for detecting intestinal diseases. However, since CD can affect any part of the gastrointestinal tract, this method has limitations. It cannot examine the proximal parts of the small intestine or evaluate all layers of the intestinal wall. Furthermore, this invasive procedure is often poorly tolerated by patients, making it less applicable for repeated use. Non-invasive imaging techniques, such as ultrasound examination (US), computed tomography enterography (CT enterography), and magnetic resonance enterography (MR enterography), have proven effective in diagnosing CD. These methods can visualize not only the large intestine but also the small intestine, assess damage to the deeper layers of the bowel, and identify associated complications such as strictures, abscesses, and fistulas. Additionally, CT and MR enterography enable the assessment of other organs and systems within the scanned area, allowing for the identification of both CD-related and unrelated pathological conditions. Various CD activity indices have been proposed, most of which rely on MR enterography. However, none of these indices have achieved universal acceptance or are included in standard diagnostic protocols for CD. The search for information was conducted in databases such as PubMed, Medline, Scopus, eLibrary, and Cyberleninka, using keywords including "Crohn's disease", "ultrasound examination of the intestine", "CT enterography", and "MR enterography". Two types of search queries were performed in the PubMed and Medline databases: a) using MeSH library terms like "Crohn's Disease/diagnosis" and "Crohn's Disease/diagnostic imaging", and b) using keywords like "ultrasound examination of the intestine", "CT enterography", and "MR enterography". This review analyzed 34 sources, of which 25 contained relevant data from the last ten-year period (2014-2024). The inclusion criteria for the review consisted of reviews, systematic reviews, randomized controlled trials, and meta-analyses that focused on imaging studies of the intestine in patients with CD. Exclusion criteria included articles that discussed non-radiological-assisted methods for CD, studies involving patients with ulcerative colitis, and studies lacking full-text access.

Keywords: Crohn's disease, intestinal ultrasound, CT enterography, MR enterography.

For citation: Zhargalova GM, Seliverstov PV. Luchevye metody issledovaniya v diagnostike bolezni Krona [Diagnostic imaging in Crohn's disease]. *Vestnik Avitsennyy [Avicenna Bulletin]*. 2025;27(2):441-52. <https://doi.org/10.25005/2074-0581-2025-27-2-441-452>

ВВЕДЕНИЕ

Внедрение методов диагностики болезни Крона (БК), таких как УЗИ кишечника, КТ- и МР-энтерография, стало прорывом в визуализации кишечного тракта. Традиционные рентгенологические методы с использованием бария постепенно вытесняются из практики, поскольку они менее информативны, связаны с ионизирующим излучением и обладают недостаточной точностью интерпретации. УЗИ, КТ- и МР-энтерография значительно облегчили исследование кишечника при БК и всё чаще стали использоваться врачами на практике. Эти методы позволяют неинвазивно обнаружить воспаление как в толстой, так и в тонкой кишке, выявить фиброзные изменения, а также различные осложнения в виде стриктур, абсцессов, свищей, язв, перфораций и др. Кроме того, они дают возможность оценить состояние окружающих сосудов, периентерального жира, исключить или подтвердить венозные окклюзии, лимфаденопатию и пр. Некоторые исследования показали, что КТ и МР-энтерография могут быть использованы для измерения длины тонкой кишки с помощью специального программного обеспечения. Это может оказаться полезным для точного определения локализации патологического процесса и для более чёткого планирования объёма хирургического вмешательства. МР-энтерография также позволяет выявлять другие внекишечные проявления, такие как первичный склерозирующий холангит, панкреатит, аваскулярный некроз головок бедренных костей, сакроилиит и т.д. [1-3].

Поиск информации проводился по базам данных PubMed, Medline, Scopus, eLibrary, Cyberleninka с использованием ключевых слов: «болезнь Крона», «ультразвуковое исследование кишечника», «КТ-энтерография», «МР-энтерография». В базе данных PubMed и Medline применялись два типа поисковых запросов: а) с использованием терминов библиотеки MeSH "Crohn Disease/diagnosis", "Crohn Disease/diagnostic imaging" б) с использованием ключевых слов "ultrasound examination of the intestine", "CT-enterography", "MR-enterography". В настоящем обзоре проанализировано 34 источника, из которых 25 содержали актуальные данные за последний десятилетний период (2014-2024 гг.). Критерии включения в обзор: обзоры, систематические обзоры, рандомизированные контролируемые исследования, метаанализы, посвящённые специфике лучевых методов визуализации кишечника у пациентов с БК. Критерии исключения: статьи, содержащие информацию о нелучевых методах инструментальной диагностики при БК, статьи с исследованиями пациентов с язвенным колитом, исследования с недоступным полным текстом.

Ультразвуковое исследование кишечника

УЗИ кишечника является неинвазивным, неионизирующим методом диагностики и более доступным в сравнении с КТ и МРТ. Квалифицированный специалист с помощью этого метода сможет точно выявить патологию кишечника, оценить состояние сосудов, эластичность стенок, лимфатических узлов и кровотока в брыжейке. Кроме того, УЗИ позволяет определить такие осложнения, как свищи, абсцессы, стриктуры, гипертрофию брыжеечного жира и пр. Данный метод лучевой диагностики показал высокую точность в прогнозировании ответа на лечение, прогрессировании заболе-

INTRODUCTION

The introduction of diagnostic methods for Crohn's disease (CD), including intestinal ultrasound, CT, and MR enterography, has significantly enhanced the visualization of the intestinal tract. Traditional radiological techniques that use barium are being gradually phased out because they are less informative, involve exposure to ionizing radiation, and have limitations in interpretive accuracy. Ultrasound, CT, and MR enterography have greatly simplified the examination of the intestines in CD and are increasingly utilized by healthcare professionals. These methods enable non-invasive detection of inflammation in both the colon and small intestine, as well as fibrous changes and various complications, including strictures, abscesses, fistulas, ulcers, and perforations. Additionally, they allow for the assessment of the surrounding blood vessels and mesenteric fat, helping to confirm or exclude conditions such as venous occlusions and lymphadenopathy. Some studies indicate that CT and MR enterography can measure the length of the small intestine using specialized software. This capability can be valuable for accurately pinpointing the location of the pathological process and more effectively planning surgical interventions. Furthermore, MR enterography can identify extraintestinal manifestations of the disease, such as primary sclerosing cholangitis, pancreatitis, avascular necrosis of the femoral heads, and sacroiliitis [1-3].

The search for information was conducted using the following databases: PubMed, Medline, Scopus, eLibrary, and Cyberleninka. The keywords used were "Crohn's disease", "ultrasound examination of the intestine", "CT enterography", and "MR enterography". In the PubMed and Medline databases, two types of search queries were employed:

a) Using MeSH terms: "Crohn's Disease/diagnosis" and "Crohn's Disease/diagnostic imaging".

b) Using keywords: "ultrasound examination of the intestine", "CT enterography", and "MR enterography".

This review analyzed a total of 34 sources, 25 of which provided relevant data from the last ten years (2014-2024). The inclusion criteria for this review were as follows: reviews, systematic reviews, randomized controlled trials, and meta-analyses focusing on radiological imaging of the intestine in patients with Crohn's disease. The exclusion criteria included articles that discussed non-radiological-assisted methods in Crohn's disease, studies involving patients with ulcerative colitis, and studies for which the full text was unavailable.

Ultrasound examination of the intestine

Ultrasound is a non-invasive and non-ionizing diagnostic method that is more accessible than CT and MRI scans. A qualified specialist can use this technique to accurately identify intestinal pathologies, assess the state of blood vessels, including the elasticity of vessel walls, and examine lymph nodes and blood flow in the mesentery. Additionally, ultrasound can help detect complications such as fistulas, abscesses, strictures, and hypertrophy of mesenteric fat. This method of imaging study has demonstrated high accuracy in predicting treatment responses, disease progression, the risk of surgical intervention, postoperative com-

вания, риска хирургического вмешательства, послеоперационных осложнений, а также в прогнозировании долгосрочной ремиссии. Некоторые исследования показали хорошую корреляцию между УЗИ и маркерами воспаления (С-реактивный белок, фекальный кальпротектин), а также показателями тяжести БК [4-8].

УЗИ кишечника привлекательно благодаря своей неинвазивности, доступности и отсутствию лучевой нагрузки. Ко всему прочему, УЗИ с пероральным контрастированием тонкой кишки позволяет детально исследовать петли кишечника, более точно определить толщину стенок, перистальтику, перфузию, а также выявить такие осложнения, как стенозы, престенотические расширения, свищи и абсцессы. Дополнительное внутривенное введение контрастного вещества при УЗИ помогает определить усиление васкуляризации в поражённом участке кишечника, дифференцировать фиброзные изменения от воспаления [9, 10].

Разработан американский индекс по данным УЗИ, включающий толщину стенки кишечника и доплеровский сигнал в качестве параметров. Было обследовано 22 пациента, у которых оценивалась степень активности от 1 (отсутствует) до 4 (высокая) при помощи сонографии, а затем илеоколоноскопии. Это исследование показало высокую корреляцию результатов УЗИ и эндоскопии [10].

В дополнение к вышесказанному, следует отметить, что УЗ диагностика кишечника характеризуется высокой точностью в выявлении БК. Показатели чувствительности составляют 85%, а специфичности – 98% [11].

Несмотря на видимые достоинства УЗИ, всё же у него имеются слабые стороны. К недостаткам метода можно отнести сложности визуализации тощей, прямой, поперечно-ободочной кишки и физиологических изгибов из-за анатомических особенностей этих отделов. Также с помощью УЗ диагностики невозможно оценить перианальную область. Кроме того, исследование сильно зависит от опыта и квалификации врача УЗ диагностики. Наличие повышенного уровня газа в кишечнике и выраженная жировая клетчатка пациента может снизить качество обследования [12].

В настоящее время роль УЗИ в оценке активности и тяжести БК окончательно не определена из-за неоднозначных результатов некоторых исследований. Однако имеющиеся данные о применении УЗИ в мониторинге БК и оценке ответа на лечение многообещающие [12, 13].

КТ-энтерография

КТ-энтерография представляет собой неинвазивный радиологический метод, который за относительно короткий временной промежуток позволяет визуализировать весь кишечный тракт и локализовать патологические изменения. С помощью КТ-энтерографии можно обнаружить такие осложнения, как стриктуры, свищи, абсцессы. Помимо всего, этот вид диагностики может визуализировать внекишечные проявления БК со стороны брыжейки, лимфоузлов и других структур. Данный метод также показал свою эффективность в оценке процессов заживления слизистой оболочки кишечника и ответа на проводимое лечение при БК [14].

В одном из исследований был предложен новый инструмент для оценки активности БК – CTEIA (CT-enterography index of activity), демонстрирующий высокую корреляцию с эндоскопическим индексом тяжести БК – CDEIS (Crohn's disease endoscopic index of severity). В ретроспективном исследовании, включавшем 49 пациентов, которым ранее были проведены КТ-энтерография и илеоколоноскопия, было проанализировано 280 сегментов толстой кишки. Проводилась количественная оценка толщины стенок кишки и контрастного усиления, а также качественная оценка сло-

plications, and potential long-term remission. Some studies have shown a strong correlation between ultrasound findings and inflammatory markers, such as C-reactive protein and fecal calprotectin, as well as indicators of the severity of CD [4-8].

Intestinal ultrasound is a valuable diagnostic tool due to its non-invasiveness, widespread availability, and absence of radiation exposure. Furthermore, oral contrast-enhanced bowel ultrasound enables a detailed assessment of the small intestine, allowing for a thorough examination of intestinal loops. This method enhances the accuracy of measuring wall thickness, observing peristalsis, assessing blood flow, and identifying complications such as stenosis, prestenotic dilations, fistulas, and abscesses. Additionally, the intravenous administration of a contrast agent during the ultrasound can help identify increased vascularization in the affected area of the intestine, aiding in the differentiation between fibrous changes and inflammation [9, 10].

A new ultrasound activity index for CD consisting of bowel wall thickness and color Doppler has been validated. In this study, involving 22 patients, the degree of activity was scored from 1 (none) to 4 (high) using both ultrasound and ileocolonoscopy (based on the pattern and extent of typical lesions). The findings demonstrated a strong correlation between the results of ultrasound and endoscopy [10].

Additionally, ultrasound diagnostics of the intestine exhibit high accuracy in detecting CD, with sensitivity indicators at 85% and specificity at 98% [11].

Although ultrasound has several advantages, it also has its limitations. Some of the disadvantages include challenges in visualizing certain areas, such as the jejunum, rectum, transverse colon, flexures, and bends, which are the anatomical features of these sections. Additionally, ultrasound diagnostics are not effective in evaluating the perianal area. The quality of the examination is also highly dependent on the experience and qualifications of the doctor performing the ultrasound. Furthermore, an increased level of gas in the intestine and significant fatty tissue in the patient can diminish the quality of the imaging study results [12].

While the role of ultrasound in evaluating the activity and severity of CD has not been fully established due to conflicting results from various studies, the existing data on using ultrasound for monitoring CD and assessing treatment responses is promising [12, 13].

CT enterography

CT enterography is a non-invasive imaging technique that enables the visualization of the entire intestinal tract and the identification of pathological changes in a relatively short period of time. This method is effective in detecting complications such as strictures, fistulas, and abscesses. Additionally, CT enterography can visualize extraintestinal manifestations of CD in structures such as the mesentery and lymph nodes. It has also demonstrated its effectiveness in assessing the healing processes of the intestinal mucosa and evaluating the response to treatment for CD [14].

One study introduced a new tool for evaluating bowel activity called the CT Enterography Index of Activity (CTEIA), which shows a strong correlation with the Crohn's Disease Endoscopic Index of Severity (CDEIS). In a retrospective study involving 49 patients who had previously undergone both CT enterography and ileocolonoscopy, a total of 280 intestinal segments were evaluated. This analysis included a quantitative assessment of colonic wall thickness and contrast enhancement, in addition to

истости стенки, отложения подслизистого жира, симптома «расчёски» (расширение брыжеечных сосудов), гипертрофии пристеночного жира и фиброзно-жировой пролиферации брыжейки. Для оценки взаимосвязи между CDEIS и параметрами КТ-энтерографии использовалась модель регрессии Тобита. В результате исследования на основе логистического регрессионного анализа был разработан КТ-энтерографический индекс активности, представленный в виде следующей формулы:

STEIA (сегмент)=2,1 толщины стенок (мм)+9,7 слоистость стенок кишки+5,2 симптом «расчёски»

Глобальный STEIA рассчитывался путём суммирования значений для прямой, сигмовидной, нисходящей, поперечной и восходящей ободочной кишки, и подвздошной кишки. Авторы утверждают, что предложенный ими индекс является качественным инструментом для оценки активности при БК. Однако они признают необходимость дальнейшего подтверждения и дополнительных исследований [15].

Другие авторы продемонстрировали, что полученные результаты по данным КТ-энтерографии, такие как положительный симптом «расчёски» и увеличение брыжеечных лимфоузлов оказались важными предикторами изъязвления слизистой оболочки [16]. Согласно другому исследованию, чувствительность КТ-энтерографии при обнаружении активности БК составила 82%, а специфичность – 89% [17].

КТ-энтерография – это высокоинформативный метод визуализации кишечника при БК, позволяющий точно определить локализацию патологического процесса, его распространённость и степень активности. С помощью данного метода возможно выявление осложнений, таких как стриктуры, свищи, абсцессы, а также имеется возможность оценить брыжейку, лимфоузлы и пр. В отличие от МРТ, КТ более доступна, менее чувствительна к двигательным артефактам, требует меньших временных затрат, обладает большей пространственной разрешающей способностью. Это делает её предпочтительным методом в диагностировании острых и неотложных состояний. Однако, КТ-энтерография имеет более низкую контрастность полученных изображений, хуже выявляет язвенные дефекты, протяжённые свищевые ходы, а также не позволяет оценить периаанальную область. Несомненным недостатком КТ-энтерографии является ионизирующее излучение, что ограничивает её частое применение, особенно у детей и молодых лиц [18]. Тем не менее, КТ-энтерография оказалась полезным методом диагностики для оценки заживления слизистой и реакции на лечение при БК [19, 20].

МР-энтерография

МР-энтерография в настоящее время широко применяется у пациентов с БК, наряду с КТ-энтерографией. Благодаря этому методу, возможно оценить весь кишечный тракт, определить локализацию патологических изменений в кишечнике, выявить осложнения (стриктуры, свищи, абсцессы, флегмоны и пр.), оценить брыжейку, лимфатические узлы, выявить венозные окклюзии и др. Помимо этого, МР-энтерография позволяет оценить другие органы и системы, вошедшие в зону сканирования, на наличие внекишечных проявлений, таких как холангит, сакроилиит, асептический некроз головок бедренных костей и пр., что помогает своевременно внести коррекцию в лечение, тем самым сохранить качество жизни больных. Кроме того, этот метод превосходно визуализирует периаанальную область с точным указанием положения свищевых ходов, что полезно при планировании хирургического вмешательства. Также, благодаря «кинорежиму» возможно оценить перистальтику в реальном времени, что позво-

ляет качественную оценку wall layering pattern, субмукозального жира, симптома «расчёски», характеризованного переполнением мезентерических сосудов с вазодилатацией, гипертрофией мезентерического жира, и мезентерической фиброжировой пролиферацией (creeping fat). A Tobit regression model was applied to assess the association between CDEIS and CT enterography variables. To quantify disease activity based on CT enterography findings in each segment, a simplified CTEIA was derived from a logistic regression analysis. The formula was as follows:

CTEIA (сегмент)=2.1 mural thickness (mm)+9.7 mural stratification+5.2 comb sign

The global CTEIA was determined by combining the values from the rectum, sigmoid colon, descending colon, transverse colon, ascending colon, and ileum. The authors assert that their proposed index serves as an effective tool for evaluating CD activity. However, they also recognize the necessity for further validation and additional research studies [15].

Findings from enterography, including a positive comb sign and enlarged mesenteric lymph nodes, were significant predictors of mucosal ulceration [16]. In a different study, the sensitivity of CT enterography for detecting CD activity was found to be 82%, with a specificity of 89% [17].

CT enterography is an informative method for visualizing the intestines in CD. It allows for the accurate determination of the location, extent, and activity of the disease. This technique can identify complications such as strictures, fistulas, and abscesses. Additionally, it enables the evaluation of the mesentery and lymph nodes. Compared to MRI, CT enterography is more accessible, less sensitive to motion and breathing artifacts, requires less time, and offers higher spatial resolution. These advantages make it the preferred method for diagnosing acute and emergency conditions. However, CT enterography has some limitations, including lower image quality, less effectiveness in detecting ulcerative defects and long fistulous tracts, and it does not allow for evaluation of the perianal area. A significant disadvantage is the exposure to ionizing radiation, which limits its frequent use, particularly in children and young adults [18]. Nevertheless, CT enterography remains an effective diagnostic tool for evaluating mucosal healing and treatment response in CD [19, 20].

МР-энтерография

MR enterography is currently a widely used imaging technique for patients with CD, along with CT enterography. This method enables the evaluation of the entire intestinal tract, facilitating the determination of pathological changes in the intestine and identifying complications such as strictures, fistulas, abscesses, and phlegmon. Additionally, it enables the assessment of the mesentery and lymph nodes, as well as the detection of venous occlusions. MR enterography also provides valuable insights into other organs and systems within the scanning area, aiding in the detection of extraintestinal manifestations, such as cholangitis, sacroiliitis, and aseptic necrosis of the femoral heads. This capability supports timely adjustments to treatment, ultimately improving the quality of life for patients. Moreover, this imaging technique offers excellent visualization of the perianal area, accurately indicating the position of fistula tracts, which is beneficial for planning surgical interventions. The MR-cinema mode enables real-time evaluation of intestinal peristalsis, facilitating the diagnosis of reduced intestinal motility and differentiating between strictures and peristaltic waves. MR enterography is becoming increasingly considered an alternative to colonoscopy for

ляет не только диагностировать снижение моторки кишечника, но и чётко дифференцировать стриктуру от перистальтической волны. МР-энтерография стала предлагаться в качестве альтернативы колоноскопии для визуального контроля кишечника, поскольку поствоспалительные или постоперационные фиброзные стриктуры могут препятствовать продвижению эндоскопа [21].

Установлено, что чувствительность и специфичность МР-энтерографии для диагностики БК составляют 78% и 85% соответственно [22].

Для удобства интерпретации МР-энтерографии были предложены различные индексы оценки активного воспаления. В 2009 году был разработан первый индекс MaRIA [23]. В своём исследовании авторы оценивали 6 сегментов кишечника: дистальную подвздошную кишку, восходящую, поперечную, нисходящую, сигмовидную и прямую кишку. Далее по данным МР-энтерографии каждый сегмент оценивался по следующим характеристикам: степень утолщения стенки кишки в миллиметрах, наличие язвенных дефектов, выраженность отёка, интенсивность сигнала от стенки кишки (WSI – the wall signal intensity) до и после внутривенного контрастирования, относительное контрастное усиление стенки (RCE – the relative contrast enhancement). WSI определялась как среднее арифметическое трёх измерений усиления сигнала от стенки.

Расчёт RCE осуществляется по следующей формуле:

$$RCE = \frac{[WSI \text{ после введения гадолиния} - WSI \text{ до введения гадолиния}]}{[WSI \text{ до введения гадолиния}]} \times 100 \times \left[\frac{\text{стандартное отклонение (SD) шума до введения гадолиния}}{\text{SD шума после введения гадолиния}} \right],$$

где SD шум до и после введения гадолиния рассчитывается как среднее значение трёх SD интенсивности сигнала, измеренного до и после введения гадолиния соответственно.

Упрощённый (сегментарный) показатель MaRIA представлен следующей формулой:

$$1.5 \times \text{толщина стенки (мм)} + 0.02 \times RCE + 5 \times \text{отёк} + 10 \times \text{изъязвление}$$

Упрощённый балл MaRIA имел высокую ($r=0,81$) и значимую ($p<0,001$) корреляцию с CDEIS соответствующего сегмента.

Глобальный показатель MaRIA рассчитывается путём суммирования значений всех шести сегментов кишечника. Он показал значительную корреляцию с CDEIS ($r=0,78$, $p<0,001$), индексом Харви-Брадшоу ($r=0,56$, $p<0,001$) и С-реактивным белком (CRP) ($r=0,53$, $p<0,001$).

Авторы работы определили критерии тяжести заболевания, используя пороговые значения индекса. Значение индекса, равное или превышающее 7, указывает на активную фазу болезни, а значение 11 и выше свидетельствует о тяжёлом течении заболевания [23].

В этом же году другие авторы установили, что на диффузионно-взвешенных изображениях (ДВИ) воспалённые участки кишечника характеризуются высоким сигналом, в то время как коэффициент диффузии (ИКД) в этих зонах снижен [24].

В 2013 году, опираясь на вышеизложенные результаты, исследователи опубликовали результаты разработки нового индекса Clermont. Этот индекс представляет собой модификацию индекса MaRIA, дополненную данными коэффициента диффузии ИКД. Формула расчёта индекса Clermont приведена ниже:

$$(1,646 \times \text{утолщение стенки}) - (1,321 \times \text{ИКД (мм}^2/\text{с)}) + (5,613 \times \text{отёк}) + (8,306 \times \text{язвы}) + 5,039$$

Согласно результатам исследования, установлено, что значение индекса, равного или превышающего 8,4, свидетельствует об активности БК, а значение индекса, равного или превышающего 12,5, указывает на тяжесть течения болезни [25].

visualizing the intestine, particularly because post-inflammatory or postoperative fibrous strictures may hinder the advancement of an endoscope [21].

MR enterography has a sensitivity and specificity of 78% and 85% for diagnosing CD [22].

To improve the interpretation of MR enterography, several indices have been proposed to assess active inflammation in CD. In 2009, the Magnetic Resonance Index of Activity (MaRIA) was developed [23]. In their study, the authors examined six segments of the intestine: the distal ileum, the ascending colon, the transverse colon, the descending colon, the sigmoid colon, and the rectum. Using data from MR enterography, each segment was evaluated based on several characteristics: wall thickening, mucosal ulcerations, mural edema, and relative contrast enhancement (RCE). Specifically, WSI (Wall Signal Intensity) refers to the contrast enhancement of the bowel wall, measured both before and after the administration of intravenous contrast. RCE is a component of the MaRIA score, calculated based on the change in signal intensity within the bowel wall after the injection of contrast. These parameters are used to quantify disease activity and severity in CD. WSI corresponded to the average of three WSI measurements.

RCE is calculated using the following formula:

$$RCE = \frac{[WSI \text{ postgadolinium} - WSI \text{ pregadolinium}]}{[WSI \text{ pregadolinium}]} \times 100 \times \left[\frac{\text{standard deviation (SD) noise pregadolinium}}{\text{SD noise postgadolinium}} \right],$$

where SD noise pre and postgadolinium is calculated by the average of three SDs of the signal intensity measured outside of the body before and after gadolinium injection, respectively.

The simplified (=segmental) MaRIA score is represented by the following formula:

$$1.5 \times \text{wall thickness (mm)} + 0.02 \times RCE + 5 \times \text{edema} + 10 \times \text{ulceration}$$

The MaRIA score demonstrated a strong correlation ($r=0.81$) with the CDEIS for the corresponding segment, which was statistically significant ($p<0.001$).

The global MaRIA score, obtained by summing the values of all six intestinal segments, also showed a significant correlation with several indices: the CDEIS ($r=0.78$, $p<0.001$), the Harvey-Bradshaw Index ($r=0.56$, $p<0.001$), and C-reactive protein (CRP) ($r=0.53$, $p<0.001$).

The authors of the study established criteria for disease severity based on threshold values of the index. Specifically, a score of 7 or higher indicates an active disease, while a score of 11 or higher signifies a severe disease [23].

In the same year, other researchers found that on diffusion-weighted imaging (DWI), inflamed regions of the intestine display an increased signal intensity. In contrast, the apparent diffusion coefficient (ADC) in these regions was decreased [24].

In 2013, the Clermont score was developed using the MaRIA as the reference standard. Clermont score is a modification of the MaRIA score, incorporating the ADC value. The Clermont score is calculated using the following formula:

$$1.646 \times \text{bowel thickness} - 1.321 \times \text{ADC} + 5.613 \times \text{edema} + 8.306 \times \text{ulcers} + 5.039$$

The study's results revealed cutoff values of >8.4 for the Clermont score, predicting active ileal disease, and ≥ 12.5 , predicting severe ileal disease [25].

In 2011, a new tool was developed to measure the CD activity [26]. The study involved 16 patients undergoing small bowel resection. Various parameters were assessed, including mural thickness, T2 signal, contrast enhancement, and perimural edema, which were scored qualitatively (0-3). After the resection,

В 2011 году был разработан новый инструмент для измерения активности БК [26]. В исследовании приняли участие 16 пациентов, которым предстояла резекция терминального отдела подвздошной кишки. Толщину стенки кишечника (в мм), характер сигнала от стенок на T2-взвешенном изображении (T2-ВИ), характер контрастного усиления, наличие перитуморального отёка и состояние лимфатических узлов оценивали по балльной системе от 0 до 3. После резекции из терминальных отделов подвздошной кишки брали образцы для оценки острого воспаления при эндоскопической биопсии (AIS – the acute inflammation score). Анализ результатов показал, что только толщина стенок и сигнал T2-ВИ от стенок кишки коррелировали с показателями AIS. На основании этого был выведен соответствующий расчётный коэффициент.

CDMI=1,79+1,34×толщина стенок+0,94×показатель T2 стенок

В 2014 году учёные, опираясь на индекс CDMI, разработали индекс глобальной оценки MEGS. Они разделили кишечный тракт на 9 сегментов (тощая, подвздошная, терминальная подвздошная, слепая, восходящая, поперечно-ободочная, нисходящая, сигмовидная, прямая) с последующим суммированием полученных баллов. В ходе полученных результатов оказалось, что глобальная оценка MEGS коррелирует с показателями фекального кальпротектина и С-реактивным белком [27, 28]. В табл. 1 (адаптировано из работы [28]) представлены МРТ-показатели, которые используются для расчёта индексов активности воспаления CDMI и MEGS.

Особое внимание следует уделить индексу Lémann, разработанному в 2011 году [29]. В отличие от других индексов, он не оценивает активность заболевания, а фокусируется на степени повреждения кишечника. Методика основана на разделении желудочно-кишечного тракта на четыре участка, которые затем подразделяются на сегменты: верхний (пищевод, желудок, двенадцатиперстная кишка), тонкая кишка (сегмент по 20 см) и толстая кишка (слепая, восходящая, поперечная, нисходящая, сигмовидная, прямая). Каждый сегмент оценивается по трём параметрам: хирургическое вмешательство, стриктуры и проникающие поражения. Данные параметры подтверждаются эндоскопическими методами, КТ и МРТ и оцениваются по балльной системе от 0 до 3. Полученные результаты вводятся в специальный калькулятор на базе Microsoft Excel. Индекс Lémann рассчитывается по следующей формуле:

количество сегментов с каждым осложнением × коэффициент осложнения × органный коэффициент

Значение индекса Lémann не коррелирует с активностью заболевания. Исследователи полагают, что при дальнейшей успешной валидации и высокой чувствительности к динамике показателей, данный индекс может быть использован в оценке течения БК и эффективности лечения [29].

Каждый из рассмотренных индексов, используемых для оценки активности БК, обладает как преимуществами, так и недостатками. Существуют исследования, демонстрирующие неточности или несоответствия в результатах, полученных с их помощью [30].

На сегодня MaRIA считается наиболее изученным показателем, подтверждён патологоанатомическими исследованиями, и, хотя он оценивает не всю тонкую кишку, в настоящее время рассматривается в качестве эталонного показателя. Индекс Clermont, хотя и недостаточно изучен, показывает многообещающие результаты. Его особенность заключается в том, что он не требует обязательного внутривенного введения контрастного вещества. Clermont демонстрирует высокую корреляцию с MaRIA из-за сходства используемых параметров. Однако он не подтверждён патологоанатомическими исследованиями и также не оценивает всю

transmural histopathological scoring of acute inflammation (AIS) was performed at all locations (score 0-13). The analysis of the results indicated that mural thickness and the T2 signal were the best predictors of AIS. Based on these findings, a corresponding Crohn's disease MRI index (CDMI) was developed by correlating findings on MR enterography with transmural histopathology at the time of elective small bowel surgical resection in CD patients. CDMI is calculated using the following formula:

CDMI=1.79+1.34×mural thickness+0.94×mural T2 score

In 2014, the Magnetic Resonance Enterography Global Score (MEGS) was developed based on the CDMI. Calculating the global MEGS score is significantly more complicated than calculating the CDMI. It requires summing segmental MEGS scores for each of the nine gastrointestinal segments (jejunum, ileum, terminal ileum, cecum, ascending, transverse, descending, sigmoid, and rectum). The results indicated that the MEGS significantly correlates with levels of fecal calprotectin and C-reactive protein [27, 28]. Table 1 displays the MRI parameters used to calculate the CDMI and MEGS inflammation activity scores (adapted from Rozendorn et al, 2018 [28])

The Lemann index (LI), developed in 2011, is a unique tool for assessing cumulative bowel damage in CD. Unlike other indices that focus on disease activity and inflammation, the Lemann index explicitly evaluates the extent of structural damage to the intestines [29]. When applying the LI analysis, the digestive tract was divided into four organs and subsequently into segments: upper tract (esophagus, stomach, duodenum), small bowel – 20 segments, colon/rectum – 6 segments, anus – 1 segment. The LI is assessed based on the following three visible features: stricturing lesions, penetrating lesions, and the history of surgery. For each element, grading is performed on a scale of 0 (none) to 3 using endoscopic methods, CT scans, and MRI. Lemann's calculation is as follows:

number of segments with each complication×complication coefficient×organ coefficient

A Microsoft Excel-based calculator can be created to automate this calculation, allowing users to input the relevant data and obtain the LI score. The Lemann index value does not correlate with disease activity. With further validation and increased sensitivity to the dynamics of various indicators, this index could be used to assess the progression of CD and the effectiveness of treatment [29].

Table 2 shows the severity grades proposed for small bowel stricturing or penetrating lesions and surgery or other interventional procedures (adapted from Pariente et al, 2010 [29])

Each index used to assess CD activity has advantages and disadvantages. Studies show inaccuracies or discrepancies in the results obtained [30].

Currently, MaRIA is regarded as the most extensively studied index, supported by pathological studies. Although it does not assess the entire small intestine, it is considered a reference index. The Clermont index, while not as thoroughly researched, shows promising results. Its unique feature is that it does not require the mandatory intravenous administration of a contrast agent. The Clermont index demonstrates a strong correlation with MaRIA due to the similarity of the parameters used; however, it has not been validated through pathological studies, and also does not evaluate the entire small intestine. The CDMI index is the simplest of the indices, requiring only two indicators, and validated histologically. However, like the others, it does not evaluate the entire small intestine. In contrast, the MEGS scale assesses the

Таблица 1 Показатели МРТ для расчёта индексов CDMI и MEGS (адаптировано из [28])**Table 1** MRI indicators for calculating CDMI and MEGS indices (adapted from Rozendorn et al, 2018 [28])

Показатель Parameter	Степень выраженности Range	Балл Grade
Толщина стенки кишки Thickness of the intestinal wall	Менее 3 мм/<3 mm	0
	От 3 мм до 5 мм/3-5 mm	1
	От 5 до 7 мм/5-7 mm	2
	Более 7 мм/>7 mm	3
T2-сигнал от стенки кишки Mural T2 signal	Соответствует нормальной стенке кишки Equivalent to the normal bowel wall	0
	Стенка выглядит тёмно-серой на T2-ВИ FatSat The bowel wall appears dark grey on fat-saturated images	1
	Стенка выглядит светло-серой на T2-ВИ FatSat The bowel wall appears light grey on fat-saturated images	2
	Стенка с высоким сигналом, по характеру близко к содержимому просвета кишки The bowel wall contains areas of white high signal approaching that of luminal content	3
Сигнал от брыжейки Perimural T2 signal	Соответствует нормальной брыжейке Equivalent to normal mesentery	0
	Повышенный сигнал от брыжейки, но нет жидкостного скопления Increase in mesenteric signal but no fluid	1
	Минимальное скопление жидкости до 2 мм Small fluid rim (≤2 mm)	2
	Значительное скопление жидкости больше 2 мм Large fluid rim (>2 mm)	3
Интенсивность накопления контраста стенок кишки T1 enhancement	Соответствует нормальной стенке кишки Equivalent to the normal bowel wall	0
	Накопление больше, чем в стенке нормальной кишки, но значительно ниже, чем в близлежащих сосудах Bowel wall signal greater than normal small bowel but significantly less than nearby vascular structures	1
	Накопление контраста больше, чем в стенке нормальной кишки, но несколько меньше, чем в близлежащих сосудах Bowel wall signal increased but somewhat less than the nearby vascular structures	2
	Накопление контраста близко по сигналу близлежащих сосудов Bowel wall signal approaches that of nearby vascular structures	3
Тип накопления контраста стенок кишки Mural enhancement pattern	Накопления нет или однородное накопление N/A or homogeneous	0
	Накопление слизистым слоем кишки Mucosal	1
	Многослойное накопление контраста Layered	2
Имеется ли сглаженность гаустрации Haustral loss	Не имеется None	0
	Меньше трети сегмента <1/3 segment	1
	От 1/3 до 2/3 сегмента 1/3-2/3 segment	2

тонкую кишку. Индекс CDMI является наиболее простым, требуя всего двух показателей и подтверждённый гистологически. Тем не менее, он также не оценивает тонкую кишку на всём протяжении. Шкала MEGS, в отличие от предыдущих, оценивает весь желудочно-кишечный тракт, а также учитывает внекишечные поражения. Однако у неё отсутствует патологоанатомическая валидация, хотя она показала хорошую корреляцию с маркерами воспаления – фекальным кальпротектином и С-реактивным белком. Индекс

entire gastrointestinal tract and also considers extraintestinal lesions. Although it lacks pathological validation, it shows a good correlation with inflammation markers such as fecal calprotectin and C-reactive protein. Similar to the MEGS scale, the Lemann index evaluates the entire gastrointestinal tract and is confirmed by the correspondence of pathology detected through endoscopic methods, CT, and MRI. This index is not influenced by disease activity; however, its complexity arises from the requirement for

Таблица 2 Шкала оценки тяжести БК, основанная на осложнениях и хирургическом анамнезе (индекс Lémann) (адаптировано из [29])**Table 2** Scoring system of the LI, adapted from Pariente et al, 2010 [29]

Степень Grade	Тип поражения/Type of lesions		
	Структурирующие поражения Strictureing lesions	Свищи и абсцессы Penetrating lesions	Хирургические вмешательства Surgical interventions
0	Нет/Normal	Нет/Normal	Нет/Normal
1	Толщина стенки <3 мм и/или сегментарное утолщение без пристеночной дилатации Wall thickening <3 mm and/or segmental enhancement without prestenotic dilatation	-	-
2	Толщина стенки кишки ≥3 мм и/или нарушение стратификации мышечного слоя без пристеночной дилатации Wall thickening ≥3 mm and/or mural stratification without prestenotic dilatation	Глубокие трансмуральные изъязвления Deep transmural ulceration	Обходной анастомоз или стриктуропластика Bypass diversion or strictureplasty
3	Стриктура с пристенотической дилатацией Stricture with prestenotic dilatation	Абсцесс или любой тип свища Abscess or any type of fistula	Резекция Resection

Коэффициенты для расчёта индекса Lémann
Coefficients for calculating the LI

Орган Organ	Осложнение Complication	Степень Grade of complication	Коэффициент сложности Complication coefficient	Органный коэффициент Organ coefficient	Примечания Notes
Верхние отделы ЖКТ (пищевод, желудок, двенадцатиперстная кишка) Upper tract (esophagus, stomach, duodenum)	Стриктура Stricture	2	3.5	2.0	Стриктуры 1-й степени; свищи 1-й и 2-й степени не включаются в оценку Grade 1 strictures, and grade 1 and grade 2 penetrating are omitted in the evaluation
	Стриктура Stricture	3	3.5		
	Свищи Penetrating	3	2.0		
Тонкая кишка (20 сегментов по 20 см) Small bowel (20 segments of 20 cm)	Стриктура/Stricture	1	1.0	5.0	Свищи 1-й степени не включены в оценку Grade 1 penetrating complications are not included in the evaluation
	Стриктура/Stricture	2	2.5		
	Стриктура/Stricture	3	5.0		
	Свищи/Penetrating	2	1.5		
	Свищи/Penetrating	3	4.0		
Толстая и прямая кишка Colon and rectum	Стриктура/Stricture	2	2.0	3.5	Стриктуры 1-й степени не включены в оценку Grade 1 strictures are omitted in the evaluation
	Стриктура/Stricture	3	5.5		
	Свищи/Penetrating	1	1.0		
	Свищи/Penetrating	2	2.5		
	Свищи Penetrating	3	4.5		
Анальный канал Anus	Стриктура Stricture	2	1.5	3.5	Стриктуры 1-й степени, свищи 1-й и 2-й степени не включаются в оценку Grade 1 strictures, and grade 1 and grade 2 penetrating are omitted in the evaluation
	Стриктура Stricture	3	3.5		
	Свищи Penetrating	2	2.5		
	Свищи Penetrating	3	3.5		

Lémann, подобно MEGS, оценивает весь желудочно-кишечный тракт и подтверждён соответствием патологии, выявленной эндоскопическими методами, КТ и МРТ. Этот индекс не зависит от активности заболевания. Однако он относится к достаточно сложной методике из-за необходимости использования нескольких видов исследования (гастроскопия, колоноскопия, КТ, МРТ) [30].

МР-энтерография является дорогостоящим методом исследования, требующим более длительного времени сканирования. Тем не менее, этот вид диагностической визуализации выделяется среди других методов, благодаря своим неоспоримым преимуществам, прежде всего, за счёт отсутствия ионизирующего излучения, что делает его более предпочтительным для оценки динамики заболевания, а также у детей и лиц молодого возраста. Этот метод диагностики обеспечивает более чёткую контрастность полученных изображений, достовернее выявляет язвенные дефекты, свищевые ходы, в том числе протяжённые. Кроме того, только с помощью МРТ возможно определить перианальные осложнения и дать точную характеристику свищевых ходов, что помогает лечащим врачам в предоперационном планировании [31].

Следует подчеркнуть, что МР-энтерография представляет собой ценный инструмент для оценки эффективности терапии у пациентов с БК, поскольку демонстрирует высокую точность в определении заживления язв. Более того, результаты другие исследования подтверждают корреляционную связь между глобальными индексами MaRIA и MEGS и клиническими показателями активности БК [32-34].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лучевые методы исследования кишечника играют ключевую роль в диагностике БК. Нельзя однозначно заявить о безусловном преимуществе одного метода и полном отрицании другого. Все вышеперечисленные виды визуализации имеют как свои достоинства, так и недостатки. Однако, всё больше медицинское сообщество проявляет интерес к МРТ кишечника, ввиду отсутствия ионизирующего излучения, высокого уровня качества получаемых изображений. Отдельно стоит отметить о разработках различных индексов оценки активности по данным МР-энтерографии, которые показали, как сильные, так и слабые стороны, но пока ни один из индексов единогласно не принят в стандарты исследования при диагностике БК. В связи с вышеизложенным, представляется необходимость в продолжении исследований в области усовершенствования различных видов лучевой диагностики при БК и разработок общепринятых индексов оценки активности заболевания, основанных на этих методах.

several types of examinations, including gastroscopy, colonoscopy, CT scans, and MRI scans [30].

MR enterography is an expensive examination method that requires a longer scanning time. However, it stands out among other diagnostic imaging techniques due to its significant advantages, particularly the absence of ionizing radiation exposure to the patients. These features make it a preferable choice for assessing disease progression, especially in children and young adults. This diagnostic method yields higher-quality images and more reliably reveals ulcerative defects and fistulas, including those that are extensive and difficult to detect. Additionally, MRI is the only imaging technique that can accurately identify perianal complications and describe fistulas, which aids physicians in preoperative planning [31].

It is essential to note that MR enterography is a valuable tool for evaluating the success of therapy in patients with CD, as it accurately assesses ulcer healing. Additionally, findings from other studies support the correlation between the global MaRIA and MEGS indices and the clinical indicators of CD activity [32-34].

CONCLUSION

Radiological methods for examining the intestinal tract are crucial for diagnosing CD. It is challenging to definitively claim that one method is superior to another, as each imaging technique has its advantages and disadvantages. However, there is a growing interest in using MRI for intestinal imaging, primarily because it does not involve ionizing radiation exposure to the patients and provides high-quality images. It is also essential to highlight the development of various indices for assessing disease activity based on MR enterography data. While these indices have demonstrated both strengths and weaknesses, none have been universally accepted as standard research methods for diagnosing CD. Therefore, further research is needed to enhance the various radiation diagnostic techniques for CB and to establish widely accepted indices for evaluating disease activity based on these methods.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kim SH. Computed tomography enterography and magnetic resonance enterography in the diagnosis of Crohn's disease. *Intest Res.* 2015;13(1):27-38. <https://doi.org/10.5217/ir.2015.13.1.27>
2. Minordi LM, D'Angelo FB, Privitera G, Papa A, Larosa L, Laterza L, et al. Crohn's disease: Radiological answers to clinical questions and review of the literature. *J Clin Med.* 2024;13(14):4145. <https://doi.org/10.3390/jcm13144145>
3. Song KD. Imaging techniques and differential diagnosis for inflammatory bowel disease. *J Korean Soc Radiol.* 2023;84(3):536-49. <https://doi.org/10.3348/jksr.2023.0014>
4. Manzotti C, Colombo F, Zurleni T, Danelli P, Maconi G. Prognostic role of intestinal ultrasound in Crohn's disease. *World J Gastroenterol.* 2023;29(23):3595-605. <https://doi.org/10.3748/wjg.v29.i23.3595>

REFERENCES

1. Kim SH. Computed tomography enterography and magnetic resonance enterography in the diagnosis of Crohn's disease. *Intest Res.* 2015;13(1):27-38. <https://doi.org/10.5217/ir.2015.13.1.27>
2. Minordi LM, D'Angelo FB, Privitera G, Papa A, Larosa L, Laterza L, et al. Crohn's disease: Radiological answers to clinical questions and review of the literature. *J Clin Med.* 2024;13(14):4145. <https://doi.org/10.3390/jcm13144145>
3. Song KD. Imaging techniques and differential diagnosis for inflammatory bowel disease. *J Korean Soc Radiol.* 2023;84(3):536-49. <https://doi.org/10.3348/jksr.2023.0014>
4. Manzotti C, Colombo F, Zurleni T, Danelli P, Maconi G. Prognostic role of intestinal ultrasound in Crohn's disease. *World J Gastroenterol.* 2023;29(23):3595-605. <https://doi.org/10.3748/wjg.v29.i23.3595>

5. de Voogd F, Bots S, Gecse K, Gilja OH, D'Haens G, Nylund K. Intestinal ultrasound early on in treatment follow-up predicts endoscopic response to anti-TNF α treatment in Crohn's disease. *J Crohns Colitis*. 2022;16:1598-608. <https://doi.org/10.1093/ecco-jcc/jjac072>
6. Puca P, Del Vecchio LE, Ainora ME, Gasbarrini A, Scaldaferri F, Zocco MA. Role of multiparametric intestinal ultrasound in the evaluation of response to biologic therapy in adults with Crohn's disease. *Diagnostics (Basel)*. 2022;12(8):1991. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12081991>
7. Huang X, Li X. Predictive value of bowel ultrasound in Crohn's disease. *Clin Gastroenterol Hepatol*. 2022;20:e345-e346. <https://doi.org/10.1016/j.cgh.2021.04.040>
8. Losurdo G, De Bellis M, Rima R, Palmisano CM, Dell'Aquila P, Iannone A, et al. Small intestinal contrast ultrasonography (SICUS) in Crohn's disease: Systematic review and meta-analysis. *J Clin Med*. 2023;12(24):7714. <https://doi.org/10.3390/jcm12247714>
9. Пыков МИ, Врублевская АМ. Возможности эхографии в диагностике воспалительных заболеваний кишечника у детей. *Детская хирургия*. 2020;24(2):101-7. <https://doi.org/10.18821/1560-9510-2020-24-2-101-107>
10. Neye H, Voderholzer W, Rickes S, Weber J, Wermke W, Lochs H. Evaluation of criteria for the activity of Crohn's disease by power Doppler sonography. *Dig Dis*. 2004;22(1):67-72. <https://doi.org/10.1159/000078737>
11. Фомин ВВ, Терновой СК, Махов ВМ, Исаякина МА, Дженжера НА, Турко ТВ, и др. Ультразвуковое исследование с контрастированием в диагностике воспалительных заболеваний кишечника. Результаты пилотного исследования. *Терапевтический архив*. 2018;2:53-7. <https://doi.org/10.26442/terarkh201890253-58>
12. Stenczel ND, Purcarea MR, Tribus LC, Oniga GH. The role of the intestinal ultrasound in Crohn's disease diagnosis and monitoring. *J Med Life*. 2021;14(3):310-5. <https://doi.org/10.25122/jml-2021-0067>
13. Barchi A, D'Amico F, Zilli A, Furfaro F, Parigi TL, Fiorino G, et al. Recent advances in the use of ultrasound in Crohn's disease. *Expert Rev Med Devices*. 2023;20(12):1119-29. <https://doi.org/10.1080/17434440.2023.2283166>
14. Kedia S, Sharma R, Sreenivas V, Madhusudhan KS, Sharma V, Bopanna S, et al. Accuracy of computed tomographic features in differentiating intestinal tuberculosis from Crohn's disease: A systematic review with meta-analysis. *Intest Res*. 2017;15(2):149-59. <https://doi.org/10.5217/ir.2017.15.2.149>
15. Tong J, Feng Q, Zhang C, Xu X, Ran Z. CT enterography for evaluation of disease activity in patients with ileocolonic Crohn's disease. *BMC Gastroenterol*. 2022;22(1):324. <https://doi.org/10.1186/s12876-022-02389-5>
16. Sakurai T, Katsuno T, Saito K, Yoshihama S, Nakagawa T, Koseki H, et al. Mesenteric findings of CT enterography are well correlated with the endoscopic severity of Crohn's disease. *Eur J Radiol*. 2017;89:242-8. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2016.10.022>
17. Solem CA, Loftus EV, Fletcher JG, Baron TH, Gostout CJ, Petersen BT, et al. Small-bowel imaging in Crohn's disease: A prospective, blinded, 4-way comparison trial. *Gastrointest Endosc*. 2008;68(2):255-66. <https://doi.org/10.1016/j.gie.2008.02.017>
18. Семёнова ИИ, Зароднюк ИВ. Роль КТ-энтерографии в диагностике болезни Крона тонкой кишки (обзор литературы). *Колoproктология*. 2016;1:65-74. <https://doi.org/10.33878/2073-7556-2016-0-1-65-74>
19. Hashimoto S, Shimizu K, Shibata H, Kanayama S, Tanabe R, Onoda H, Matsunaga N, et al. Utility of computed tomographic enteroclysis/enterography for the assessment of mucosal healing in Crohn's disease. *Gastroenterol Res Pract*. 2013;2013:984916. <https://doi.org/10.1155/2013/984916>
20. Wu YW, Tang YH, Hao NX, Tang CY, Miao F. Crohn's disease: CT enterography manifestations before and after treatment. *Eur J Radiol*. 2012;81(1):52-9. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2010.11.010>
21. Biondi M, Bucci E, Danti G, Flammia F, Chiti G, Palumbo P, et al. The role of magnetic resonance enterography in Crohn's disease: A review of recent literature. *Diagnostics (Basel)*. 2022;12(5):1236. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12051236>
22. Taylor S, Mallett S, Bhatnagar G, Bloom S, Gupta A, Halligan S, et al. METRIC (MR enterography or ultrasound in Crohn's disease): A study protocol for a multicentre, nonrandomised, single-arm, prospective comparison study of magnetic resonance enterography and small bowel ultrasound compared to a reference standard in those. *BMC Gastroenterol*. 2014;14:142. <https://doi.org/10.1186/1471-230X-14-142>
23. Rimola J, Rodriguez S, García-Bosch O, Ordás I, Ayala E, Aceituno M, et al. Magnetic resonance for assessment of disease activity and severity in ileocolonic Crohn's disease. *Gut*. 2009;58(8):1113-20. <https://doi.org/10.1136/gut.2008.167957>
5. de Voogd F, Bots S, Gecse K, Gilja OH, D'Haens G, Nylund K. Intestinal ultrasound early on in treatment follow-up predicts endoscopic response to anti-TNF α treatment in Crohn's disease. *J Crohns Colitis*. 2022;16:1598-608. <https://doi.org/10.1093/ecco-jcc/jjac072>
6. Puca P, Del Vecchio LE, Ainora ME, Gasbarrini A, Scaldaferri F, Zocco MA. Role of multiparametric intestinal ultrasound in the evaluation of response to biologic therapy in adults with Crohn's disease. *Diagnostics (Basel)*. 2022;12(8):1991. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12081991>
7. Huang X, Li X. Predictive value of bowel ultrasound in Crohn's disease. *Clin Gastroenterol Hepatol*. 2022;20:e345-e346. <https://doi.org/10.1016/j.cgh.2021.04.040>
8. Losurdo G, De Bellis M, Rima R, Palmisano CM, Dell'Aquila P, Iannone A, et al. Small intestinal contrast ultrasonography (SICUS) in Crohn's disease: Systematic review and meta-analysis. *J Clin Med*. 2023;12(24):7714. <https://doi.org/10.3390/jcm12247714>
9. Pykov MI, Vrublevskaya AM. Vozmozhnosti ekhografiy v diagnostike vospalitel'nykh zabolevaniy kishchnika u detey [Echography in the diagnostics of inflammatory bowel diseases in children]. *Detskaya khirurgiya*. 2020;24(2):101-7. <https://doi.org/10.18821/1560-9510-2020-24-2-101-107>
10. Neye H, Voderholzer W, Rickes S, Weber J, Wermke W, Lochs H. Evaluation of criteria for the activity of Crohn's disease by power Doppler sonography. *Dig Dis*. 2004;22(1):67-72. <https://doi.org/10.1159/000078737>
11. Fomin VV, Ternovoy SK, Makhov VM, Isaykina MA, Dzhenzhera NA, Turko TV, i dr. Ul'trazvukovoe issledovanie s kontrastirovaniem v diagnostike vospalitel'nykh zabolevaniy kishchnika. Rezul'taty pilotnogo issledovaniya [Ultrasound examination with contrast in the diagnosis of inflammatory bowel disease. The results of the pilot study]. *Terapevticheskiy arkhiv*. 2018;2:53-7. <https://doi.org/10.26442/terarkh201890253-58>
12. Stenczel ND, Purcarea MR, Tribus LC, Oniga GH. The role of the intestinal ultrasound in Crohn's disease diagnosis and monitoring. *J Med Life*. 2021;14(3):310-5. <https://doi.org/10.25122/jml-2021-0067>
13. Barchi A, D'Amico F, Zilli A, Furfaro F, Parigi TL, Fiorino G, et al. Recent advances in the use of ultrasound in Crohn's disease. *Expert Rev Med Devices*. 2023;20(12):1119-29. <https://doi.org/10.1080/17434440.2023.2283166>
14. Kedia S, Sharma R, Sreenivas V, Madhusudhan KS, Sharma V, Bopanna S, et al. Accuracy of computed tomographic features in differentiating intestinal tuberculosis from Crohn's disease: A systematic review with meta-analysis. *Intest Res*. 2017;15(2):149-59. <https://doi.org/10.5217/ir.2017.15.2.149>
15. Tong J, Feng Q, Zhang C, Xu X, Ran Z. CT enterography for evaluation of disease activity in patients with ileocolonic Crohn's disease. *BMC Gastroenterol*. 2022;22(1):324. <https://doi.org/10.1186/s12876-022-02389-5>
16. Sakurai T, Katsuno T, Saito K, Yoshihama S, Nakagawa T, Koseki H, et al. Mesenteric findings of CT enterography are well correlated with the endoscopic severity of Crohn's disease. *Eur J Radiol*. 2017;89:242-8. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2016.10.022>
17. Solem CA, Loftus EV, Fletcher JG, Baron TH, Gostout CJ, Petersen BT, et al. Small-bowel imaging in Crohn's disease: A prospective, blinded, 4-way comparison trial. *Gastrointest Endosc*. 2008;68(2):255-66. <https://doi.org/10.1016/j.gie.2008.02.017>
18. Semyonova II, Zorodnyuk IV. Rol' KT-enterografii v diagnostike bolezni Krona tonkoy kishki (obzor literatury) [The role of CT enterography in diagnosis of Crohn's disease of the small intestine. Literature review]. *Koloproktologiya*. 2016;1:65-74. <https://doi.org/10.33878/2073-7556-2016-0-1-65-74>
19. Hashimoto S, Shimizu K, Shibata H, Kanayama S, Tanabe R, Onoda H, Matsunaga N, et al. Utility of computed tomographic enteroclysis/enterography for the assessment of mucosal healing in Crohn's disease. *Gastroenterol Res Pract*. 2013;2013:984916. <https://doi.org/10.1155/2013/984916>
20. Wu YW, Tang YH, Hao NX, Tang CY, Miao F. Crohn's disease: CT enterography manifestations before and after treatment. *Eur J Radiol*. 2012;81(1):52-9. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2010.11.010>
21. Biondi M, Bucci E, Danti G, Flammia F, Chiti G, Palumbo P, et al. The role of magnetic resonance enterography in Crohn's disease: A review of recent literature. *Diagnostics (Basel)*. 2022;12(5):1236. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12051236>
22. Taylor S, Mallett S, Bhatnagar G, Bloom S, Gupta A, Halligan S, et al. METRIC (MR enterography or ultrasound in Crohn's disease): A study protocol for a multicentre, nonrandomised, single-arm, prospective comparison study of magnetic resonance enterography and small bowel ultrasound compared to a reference standard in those. *BMC Gastroenterol*. 2014;14:142. <https://doi.org/10.1186/1471-230X-14-142>
23. Rimola J, Rodriguez S, García-Bosch O, Ordás I, Ayala E, Aceituno M, et al. Magnetic resonance for assessment of disease activity and severity in ileocolonic Crohn's disease. *Gut*. 2009;58(8):1113-20. <https://doi.org/10.1136/gut.2008.167957>

24. Oto A, Zhu F, Kulkarni K, Karczmar GS, Turner JR, Rubin D. Evaluation of diffusion-weighted MR imaging for detection of bowel inflammation in patients with Crohn's disease. *Acad Radiol.* 2009;16(5):597-603. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2008.11.009>
25. Buisson A, Joubert A, Montoriol PF, Da Ines D, Hordonneau C, Pereira B, Garcier JM, et al. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging for detecting and assessing ileal inflammation in Crohn's disease. *Aliment Pharmacol Ther.* 2013;37(5):537-45. <https://doi.org/10.1111/apt.12201>
26. Steward MJ, Punwani S, Proctor I, Adjei-Gyamfi Y, Chatterjee F, Bloom S, et al. Non-perforating small bowel Crohn's disease assessed by MRI enterography: Derivation and histopathological validation of an MR-based activity index. *Eur J Radiol.* 2012;81(9):2080-8. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2011.07.013>
27. Makanyanga JC, Pendsé D, Dikaos N, Bloom S, McCartney S, Helbren E, et al. Evaluation of Crohn's disease activity: Initial validation of a magnetic resonance enterography global score (MEGS) against faecal calprotectin. *Eur Radiol.* 2014;24(2):277-87. <https://doi.org/10.1007/s00330-013-3010-z>
28. Rozendorn N, Amitai MM, Eliakim RA, Kopylov U, Klang E. A review of magnetic resonance enterography-based indices for quantification of Crohn's disease inflammation. *Therap Adv Gastroenterol.* 2018;11:1756284818765956. <https://doi.org/10.1177/1756284818765956>
29. Pariente B, Cosnes J, Danese S, Sandborn WJ, Lewin M, Fletcher JG, et al. Development of the Crohn's disease digestive damage score, the Lémann score. *Inflamm Bowel Dis.* 2011;17(6):1415-22. <https://doi.org/10.1002/ibd.21506>
30. D'Amico F, Chateau T, Laurent V, Danese S, Peyrin-Biroulet L. Which MRI score and technique should be used for assessing Crohn's disease activity? *J Clin Med.* 2020;9(6):1691. <https://doi.org/10.3390/jcm9061691>
31. Yoon HM, Suh CH, Kim JR, Lee JS, Jung AY, Kim KM, et al. Diagnostic performance of magnetic resonance enterography for detection of active inflammation in children and adolescents with inflammatory bowel disease: A systematic review and diagnostic meta-analysis. *JAMA Pediatr.* 2017;171(12):1208-16. <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2017.3400>
32. Minordi LM, Larosa L, Belmonte G, Scaldaferrri F, Poscia A, Gasbarrini A, et al. Crohn's disease activity before and after medical therapy evaluated by MaRIA score and others parameters in MR enterography. *Clin Imaging.* 2020;62:1-9. <https://doi.org/10.1016/j.clinimag.2020.01.020>
33. Ordás I, Rimola J, Rodríguez S, Paredes JM, Martínez-Pérez MJ, Blanc E, et al. Accuracy of magnetic resonance enterography in assessing response to therapy and mucosal healing in patients with Crohn's disease. *Gastroenterology.* 2014;146(2):374-82.e1. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2013.10.055>
34. Pomerri F, Al Bunni F, Zuliani M, Guariso G, Gasparetto M, Giorgi B, et al. Assessing pediatric ileocolonic Crohn's disease activity based on global MR enterography scores. *Eur Radiol.* 2017;27(3):1044-51. <https://doi.org/10.1007/s00330-016-4443-y>
24. Oto A, Zhu F, Kulkarni K, Karczmar GS, Turner JR, Rubin D. Evaluation of diffusion-weighted MR imaging for detection of bowel inflammation in patients with Crohn's disease. *Acad Radiol.* 2009;16(5):597-603. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2008.11.009>
25. Buisson A, Joubert A, Montoriol PF, Da Ines D, Hordonneau C, Pereira B, Garcier JM, et al. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging for detecting and assessing ileal inflammation in Crohn's disease. *Aliment Pharmacol Ther.* 2013;37(5):537-45. <https://doi.org/10.1111/apt.12201>
26. Steward MJ, Punwani S, Proctor I, Adjei-Gyamfi Y, Chatterjee F, Bloom S, et al. Non-perforating small bowel Crohn's disease assessed by MRI enterography: Derivation and histopathological validation of an MR-based activity index. *Eur J Radiol.* 2012;81(9):2080-8. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2011.07.013>
27. Makanyanga JC, Pendsé D, Dikaos N, Bloom S, McCartney S, Helbren E, et al. Evaluation of Crohn's disease activity: Initial validation of a magnetic resonance enterography global score (MEGS) against faecal calprotectin. *Eur Radiol.* 2014;24(2):277-87. <https://doi.org/10.1007/s00330-013-3010-z>
28. Rozendorn N, Amitai MM, Eliakim RA, Kopylov U, Klang E. A review of magnetic resonance enterography-based indices for quantification of Crohn's disease inflammation. *Therap Adv Gastroenterol.* 2018;11:1756284818765956. <https://doi.org/10.1177/1756284818765956>
29. Pariente B, Cosnes J, Danese S, Sandborn WJ, Lewin M, Fletcher JG, et al. Development of the Crohn's disease digestive damage score, the Lémann score. *Inflamm Bowel Dis.* 2011;17(6):1415-22. <https://doi.org/10.1002/ibd.21506>
30. D'Amico F, Chateau T, Laurent V, Danese S, Peyrin-Biroulet L. Which MRI score and technique should be used for assessing Crohn's disease activity? *J Clin Med.* 2020;9(6):1691. <https://doi.org/10.3390/jcm9061691>
31. Yoon HM, Suh CH, Kim JR, Lee JS, Jung AY, Kim KM, et al. Diagnostic performance of magnetic resonance enterography for detection of active inflammation in children and adolescents with inflammatory bowel disease: A systematic review and diagnostic meta-analysis. *JAMA Pediatr.* 2017;171(12):1208-16. <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2017.3400>
32. Minordi LM, Larosa L, Belmonte G, Scaldaferrri F, Poscia A, Gasbarrini A, et al. Crohn's disease activity before and after medical therapy evaluated by MaRIA score and others parameters in MR enterography. *Clin Imaging.* 2020;62:1-9. <https://doi.org/10.1016/j.clinimag.2020.01.020>
33. Ordás I, Rimola J, Rodríguez S, Paredes JM, Martínez-Pérez MJ, Blanc E, et al. Accuracy of magnetic resonance enterography in assessing response to therapy and mucosal healing in patients with Crohn's disease. *Gastroenterology.* 2014;146(2):374-82.e1. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2013.10.055>
34. Pomerri F, Al Bunni F, Zuliani M, Guariso G, Gasparetto M, Giorgi B, et al. Assessing pediatric ileocolonic Crohn's disease activity based on global MR enterography scores. *Eur Radiol.* 2017;27(3):1044-51. <https://doi.org/10.1007/s00330-016-4443-y>

❶ СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Жаргалова Галина Мункоевна, аспирант, Иркутский научный центр хирургии и травматологии; специалист кабинета магнитно-резонансной томографии, Областной онкологический диспансер
ORCID ID: 0000-0003-4980-8986
E-mail: zhina.galina@yandex.ru

Селивёрстов Павел Владимирович, доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник, заведующий отделением лучевой диагностики научно-клинического отдела нейрохирургии, Иркутский научный центр хирургии и травматологии
ORCID ID: 0000-0002-4050-9157
E-mail: pavv2001@mail.ru

Информация об источнике поддержки в виде грантов, оборудования, лекарственных препаратов

Финансовой поддержки со стороны компаний-производителей лекарственных препаратов и медицинского оборудования авторы не получали

Конфликт интересов: отсутствует

❶ AUTHORS' INFORMATION

Zhargalova Galina Munkoevna, Postgraduate Student, Irkutsk Scientific Centre of Surgery and Traumatology; Radiologist at the MRI Department, Irkutsk City Regional Oncological Clinic
ORCID ID: 0000-0003-4980-8986
E-mail: zhina.galina@yandex.ru

Seliverstov Pavel Vladimirovich, Doctor of Medical Sciences, Leading Researcher, Head of the Department of Radiodiagnostics of the Clinical Research Department of Neurosurgery, Irkutsk Scientific Centre of Surgery and Traumatology
ORCID ID: 0000-0002-4050-9157
E-mail: pavv2001@mail.ru

Information about support in the form of grants, equipment, medications

The authors did not receive financial support from manufacturers of medicines and medical equipment

Conflicts of interest: The authors have no conflicts of interest

 АДРЕС ДЛЯ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ:**Жаргалова Галина Мункоевна**

аспирант, Иркутский научный центр хирургии и травматологии; специалист кабинета магнитно-резонансной томографии, Областной онкологический диспансер

664003, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Борцов Революции, 1

Тел.: +7 (924) 9948157

E-mail: zhin.galina@yandex.ru

 ADDRESS FOR CORRESPONDENCE:**Zhargalova Galina Munkoevna**

Postgraduate Student, Irkutsk Scientific Centre of Surgery and Traumatology; Radiologist at the MRI Department, Irkutsk City Regional Oncological Clinic

664003, Russian Federation, Irkutsk, Bortsov Revolyutsii str. 1

Tel.: +7 (924) 9948157

E-mail: zhin.galina@yandex.ru

ВКЛАД АВТОРОВ

Разработка концепции и дизайна исследования: СПВ

Сбор материала: ЖГМ

Анализ полученных данных: ЖГМ, СПВ

Подготовка текста: ЖГМ

Редактирование: СПВ

Общая ответственность: ЖГМ

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conception and design: SPV

Data collection: ZhGM

Analysis and interpretation: ZhGM, SPV

Writing the article: ZhGM

Critical revision of the article: SPV

Overall responsibility: ZhGM

Поступила

21.10.24

Принята в печать

29.05.25

Submitted

21.10.24

Accepted

29.05.25