

- Makarova Yu. V. Pain and gastrointestinal manifestations during ten-year observation of patients with cholelithiasis: specialty 3.1.18. (Internal Medicine) dissertation for the degree of candidate of medical sciences / Yulia Viktorovna Makarova; Novosibirsk State Medical University, Novosibirsk, 2022. 149 p. Place of defense: Novosibirsk State Medical University.– Text: direct. (In Russ.).
50. Sezer S., Demirci S., Kara Ö., Kara M. Strong association between sarcopenia and visceral fat in the long term after cholecystectomy: A cross-sectional study using the ISARCOPRM algorithm. *Medicine (Baltimore)*. 2024 Nov 1; 103 (44): e40355. DOI: 10.1097/MD.00000000000040355
 51. Gan D., Wang X., Xu X., Kang Q. et al. Sarcopenia and sarcopenic obesity after cholecystectomy: A population-based study. *Obesity (Silver Spring)*. 2022 Feb; 30 (2): 482–490. DOI: 10.1002/oby.23334
 52. Ruhl C.E., Everhart J.E. Relationship of non-alcoholic fatty liver disease with cholecystectomy in the US population. *Am J Gastroenterol*. 2013 Jun; 108 (6): 952–8. DOI: 10.1038/ajg.2013.70
 53. Lu Y., Hu L., Song J., Wan J. et al. Gallstone disease and nonalcoholic fatty liver disease in patients with type 2 diabetes: a cross-sectional study. *BMC Endocr Disord*. 2021 Nov 19; 21 (1): 231. DOI: 10.1186/s12902-021-00899-z
 54. Буверов А. О. Клинико-патогенетические параллели неалкогольной жировой болезни печени и желчнокаменной болезни. *Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии*. 2019; 29 (1): 17–23.
Bueverov A. O. Clinical and Pathogenetic Parallels of Nonalcoholic Fatty Liver Disease and Gallstone Disease. *Russian Journal of Gastroenterology, Hepatology, Coloproctology*. 2019; 29 (1): 17–23. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22416/1382-4376-2019-29-1-17-23>
 55. Хохлачева Н. А., Косарева Т. С., Лукашевич А. П. Новые подходы в изучении распространенности желчнокаменной болезни. *Архив внутренней медицины*. 2020; 10 (4): 281–287.
Khokhlacheva N. A., Kosareva T. S., Lukashevich A. P. New Approaches to Studying Prevalence Gallstone. Disease. *The Russian Archives of Internal Medicine*. 2020; 10 (4): 281–287. (In Russ.). DOI: 10.20514/2226-6704-2020-10-4-281-287
 56. Yun S., Choi D., Lee K. G., Kim H. J. et al. Cholecystectomy Causes Ultrasound Evidence of Increased Hepatic Steatosis. *World J Surg*. 2016 Jun; 40 (6): 1412–21. DOI: 10.1007/s00268-015-3396-7
 57. Буверов А. О. Неалкогольная жировая болезнь печени: новый взгляд на аспекты коморбидности / А. О. Буверов, К. М. Рошина, П. О. Богомолов. *Эффективная фармакотерапия*. 2022; 18 (6): 32–38.
Bueverov A. O. Non-alcoholic fatty liver disease: a new look at comorbidity aspects / A. O. Bueverov, K. M. Roshchina, P. O. Bogomolov. *Effective Pharmacotherapy*. 2022; 18 (6): 32–38. (In Russ.). DOI: 10.33978/2307-3586-2022-18-6-32-38
 58. Jung H. N., Heo J. H., Roh E., Han K. D. et al. Mortality and cardiovascular disease after cholecystectomy in type 2 diabetes: A nationwide longitudinal cohort study. *J Hepatobiliary Pancreat Sci*. 2025 Mar 3. DOI: 10.1002/jhbp.12109
 59. Song Y., Wang H., Xu Y. Cholecystectomy and risk of cardiovascular disease, all-cause and cause-specific mortality: a systematic review and updated meta-analysis. *PeerJ*. 2024 Sep 30; 12: e18174. DOI: 10.7717/peerj.18174

Статья поступила / Received 09.09.2025
Получена после рецензирования / Revised 16.09.2025
Принята в печать / Accepted 16.09.2025

Сведения об авторах

Мakarova Yulia Viktorovna, к. м. н., ассистент кафедры пропедевтики внутренних болезней. E-mail: yusil@yandex.ru. ORCID: 0009-0001-9291-9414
Osipenko Marina Fedorovna, д. м. н., проф., зав. кафедрой пропедевтики внутренних болезней. E-mail: ngma@bk.ru. ORCID: 0000-0002-5156-2842
Bikbulatova Elena Aleksandrovna, к. м. н., доцент кафедры пропедевтики внутренних болезней. E-mail: elenabik63@yandex.ru. ORCID: 0000-0001-7912-0758
Litvinova Natalya Vladimirovna, к. м. н., доцент кафедры пропедевтики внутренних болезней. E-mail: lina-2007@list.ru. ORCID: 0000-0002-9143-6330

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Новосибирск, Россия

Автор для переписки: Makarova Yulia Viktorovna. E-mail: yusil@yandex.ru

About authors

Makarova Yulia V., PhD Med, assistant professor at Dept of Propaedeutics of Internal Diseases. E-mail: yusil@yandex.ru. ORCID: 0009-0001-9291-9414
Osipenko Marina F., DM Sci (habil.), professor, head of Dept of Propaedeutics of Internal Diseases. E-mail: ngma@bk.ru. ORCID: 0000-0002-5156-2842
Bikbulatova Elena A., PhD Med, associate professor, at Dept of Propaedeutics of Internal Diseases. E-mail: elenabik63@yandex.ru. ORCID: 0000-0001-7912-0758
Litvinova Natalya V., PhD Med, associate professor, at Dept of Propaedeutics of Internal Diseases. E-mail: lina-2007@list.ru. ORCID: 0000-0002-9143-6330

Novosibirsk State Medical University, Novosibirsk, Russia

Corresponding author: Makarova Yulia V. E-mail: yusil@yandex.ru

Для цитирования: Макарова Ю. В., Осипенко М. Ф., Бикбулатова Е. А., Литвинова Н. В. Холелитиаз по поводу желчнокаменной болезни – современное понимание последствий (обзор литературы). *Медицинский алфавит*. 2025; (25): 54–59. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2025-25-54-59>

For citation: Makarova Yu. V., Osipenko M. F., Bikbulatova E. A., Litvinova N. V. Cholecystectomy for cholelithiasis – current understanding of its consequences (literature review). *Medical alphabet*. 2025; (25): 54–59. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2025-25-54-59>



DOI: 10.33667/2078-5631-2025-25-59-66

Возможности магнитно-резонансной спектроскопии в выявлении метаболических нарушений кишечника у пациентов в критическом состоянии: пилотные результаты

А. Г. Ореховская¹, Т. Г. Морозова^{1,2}

¹ ФГБОУ ВО «Смоленский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Смоленск, Россия

² ОГБУЗ «Клиническая больница № 1», г. Смоленск, Россия

РЕЗЮМЕ

При развитии критических состояний у пациентов, находящихся в отделении реанимации и интенсивной терапии, контроль «органа-мишени» – кишечника приобретает особое значение, поскольку нарушения его функции могут усугублять течение основного заболевания и способствовать развитию полиорганной недостаточности.

Цель исследования – определить возможности магнитно-резонансной спектроскопии (МРС) в выявлении метаболических нарушений кишечника у пациентов в критическом состоянии.

Материалы и методы. 32 пациентам в критическом состоянии, находящимся на стационарном лечении в реанимационном отделении ОГБУЗ «Клиническая больница № 1» г. Смоленска, проведена магнитно-резонансная томография кишечника по стандартному протоколу магнитно-резонансного исследования органов брюшной полости с обязательным включением в протокол протонной магнитно-резонансной спектроскопии по основным метаболитам стенки кишечника. Группа сравнения включала (n=21) здоровых добровольцев без каких-либо заболеваний со стороны желудочно-кишечного тракта.

Результаты. Выявляемое при МРС стенки кишечника снижение концентрации холина, креатина, липидов в течение 24–48 ч приводило к нарушению окислительно-восстановительного баланса макроорганизма, находящегося в критическом состоянии, что, в свою очередь, провоцировало развитие или прогрессирование печеночно-клеточной недостаточности. При прогнозировании развития паралитической

кишечной непроходимости или висцеральной гиперчувствительности кишечника в группе пациентов в раннем послеоперационном периоде выявлен дифференциальный паттерн изменения уровней цитрата и лактата, условно названный нами «эффект ножниц»: уровень цитрата возрастает, уровень лактата отрицательный – паралитическая кишечная непроходимость; при обратном варианте – висцеральная гиперчувствительность кишечника.

Заключение. Пилотное исследование подтвердило, что МРС является высокоинформативным методом ранней диагностики метаболических нарушений кишечника у критических больных. Снижение уровня холина, креатина и липидов в стенке кишечника выявлялось в первые часы после поступления в отделение реанимации. Выявлен дифференциальный «эффект ножниц» (соотношение цитрат/лактат), позволяющий различать паралитическую непроходимость и висцеральную гиперчувствительность (AUC=0,94). Динамика N-ацетиласпартата служила маркером нарушения окислительного гомеостаза. Методика на основе стандартного протокола МРТ позволяет перейти к целевой коррекции выявленных метаболических дефицитов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: магнитно-резонансная томография, протонная магнитно-резонансная спектроскопия кишечника, метаболиты стенки кишечника, метаболический спектр стенки кишечника, критические состояния.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Capabilities of magnetic resonance spectroscopy in detecting bowel metabolic disorders in critically ill patients: pilot results

A. G. Orekhovskaia¹, T. G. Morozova^{1,2}

¹ Smolensk State Medical University, Smolensk, Russia

² Clinical Hospital No 1, Smolensk, Russia

SUMMARY

In critically ill patients admitted to intensive care units (ICUs), monitoring the «target organ» – the intestines – becomes particularly important, as impaired intestinal function can exacerbate the underlying disease and contribute to the development of multiple organ failure.

Objective. To determine the capabilities of magnetic resonance spectroscopy (MRS) in detecting bowel metabolic disorders in critically ill patients.

Materials and methods. Thirty-two (32) critically ill patients hospitalized in the ICU of the «Clinical Hospital No. 1» in Smolensk underwent magnetic resonance imaging (MRI) of the bowel. The examination followed a standard protocol for magnetic resonance imaging of the abdomen, with the mandatory inclusion of proton magnetic resonance spectroscopy (¹H-MRS) for the major metabolites of the intestinal wall. The comparison group included twenty-one (n=21) healthy volunteers without any gastrointestinal diseases. The following major metabolites of the intestinal wall were assessed using MRS: choline, creatine, lipids, glutamine/glutamate, citrate, lactate, aspartate, and N-acetylaspartate (NAA).

Results. The MRS-detected decrease in the concentration of choline, creatine, and lipids in the intestinal wall within 24–48 hours leads to an imbalance in the redox balance of the critically ill macroorganism, which triggers the development or progression of hepatocellular failure. For predicting the development of paralytic ileus or visceral hypersensitivity in patients during the early postoperative period, a «scissors effect» was evaluated: an increase in citrate levels with negative lactate levels indicates paralytic ileus; the opposite pattern indicates visceral hypersensitivity.

Conclusion. Pilot study confirmed that magnetic resonance spectroscopy (MRS) is a highly informative method for the early diagnosis of bowel metabolic disorders in critically ill patients. A decrease in the levels of choline, creatine, and lipids in the intestinal wall is detected within the first hours of admission to the ICU. A differential «scissors effect» (citrate/lactate ratio) was identified, enabling differentiation between paralytic ileus and visceral hypersensitivity (AUC=0.94). The dynamics of N-acetylaspartate serve as a marker of impaired oxidative homeostasis. The methodology, based on a standard MRI protocol, allows for a transition to the targeted correction of the identified metabolic deficiencies.

KEYWORDS: magnetic resonance imaging, proton magnetic resonance spectroscopy of the bowel, intestinal wall metabolites, metabolic spectrum of the intestinal wall, critical conditions.

CONFLICT OF INTEREST. The authors declare no conflict of interest.

Введение

Критические состояния остаются одной из ведущих причин летальности в отделениях реанимации и интенсивной терапии [1, 2]. Одним из наиболее уязвимых органов-мишеней при нарушениях перфузии и явлениях гипоксии является кишечник. Ранняя диагностика ишемии и других патологических изменений в кишечнике у пациентов, находящихся в критическом состоянии, существенно повышает шансы на благоприятный исход лечения [3]. В современных условиях диагностика патологии кишечника у критических больных представляет значительные трудности. Классические методы визуализации, такие как ультразвуковое исследование (УЗИ), компьютерная томография (КТ) и традиционная магнитно-резонансная томография (МРТ), позволяют выявить морфологические изменения, однако зачастую не дают информации о метаболических нарушениях на ранних стадиях ишемии или воспаления кишечника [4]. Кроме того, применение контрастных веществ для КТ и МРТ может быть ограничено у пациентов с нарушением функции почек [5].

Магнитно-резонансная спектроскопия (МРС) – неинвазивный метод, позволяющий оценивать метаболический спектр тканей *in vivo*, – в последние годы привлекает все большее внимание исследователей как перспективный инструмент диагностики патологических процессов в различных органах и системах [6]. Применение МРС для исследования кишечника открывает новые возможности для раннего выявления биохимических маркеров воспаления и некроза, что особенно актуально у пациентов в критическом состоянии в условиях отделений реанимации и интенсивной терапии [7]. Исследования последних лет показали, что МРС способна обнаруживать изменения концентрации холина, лактата, аминокислот, липидов, глутамина/глутамата и других метаболитов, отражающих степень ишемического повреждения тканей стенки кишечника [8, 9].

Быстрое и точное определение метаболических изменений в кишечнике позволяет своевременно принять решение о тактике лечения – от консервативной терапии

до экстренного хирургического вмешательства. Кроме того, неинвазивность метода делает возможным его повторное использование для динамического наблюдения за состоянием кишечника в ходе интенсивной терапии [10].

Таким образом, несмотря на возрастающий интерес к МРС в клинической практике, ее применение в диагностике заболеваний кишечника у критических больных пока недостаточно изучено. Большинство опубликованных работ носят экспериментальный характер или выполнены на ограниченных выборках пациентов. Необходимы дальнейшие исследования для стандартизации протоколов МРС исследования кишечника, определения диагностической ценности отдельных метаболитов и внедрения метода в рутинную клиническую практику реанимационных отделений и отделений интенсивной терапии. Наше исследование впервые продемонстрировало, что МРС позволяет выявить специфические метаболические паттерны в стенке кишечника у критических больных.

Цель исследования – определить возможности магнитно-резонансной спектроскопии в выявлении метаболических нарушений кишечника у пациентов в критическом состоянии.

Материалы и методы

В ходе одноцентрового проспективного наблюдательного исследования на базе ОГБУЗ «Клиническая больница № 1» г. Смоленска обследовано 32 пациента в критическом состоянии (основная группа), находящихся на стационарном лечении в реанимационном отделении: 19 (59,4%) мужчин и 13 (40,6%) женщин.

Этиология критических состояний была следующей: 9 (28,1%) – хроническая болезнь почек, 2 (6,3%) – острая почечная недостаточность, 4 (12,5%) – обширный ишемический инсульт, 3 (9,4%) – геморрагический инсульт, 7 (21,8%) – хроническая сердечная недостаточность, 3 (9,4%) – острая печеночная недостаточность, 4 (12,5%) – пациенты в раннем послеоперационном периоде. Критерием включения в основную группу являлось наличие критического состояния, определяемого как необходимость в инотропной/вазопрессорной поддержке для поддержания системного артериального давления и/или искусственной вентиляции легких по поводу острой дыхательной недостаточности. Пациенты основной группы ($n=32$) обследованы согласно клиническим рекомендациям [11–16]. Критерии исключения: возраст до 18 лет, наличие абсолютных противопоказаний к проведению МРТ, подтвержденная беременность, а также агональное состояние. Группу сравнения составили 21 здоровый доброволец ($n=21$), сопоставимые по полу и возрасту, без известных заболеваний желудочно-ки-



Рисунок 1. Интерфейс планирования стандартного протокола магнитно-резонансного исследования органов брюшной полости с обязательным включением в протокол протонной МРС по основным внутриклеточным метаболитам стенки кишечника

шечного тракта в анамнезе и не предъявлявшие жалоб на функции ЖКТ на момент включения в исследование. От всех пациентов основной группы и группы здоровых добровольцев или их законных представителей было получено информированное письменное согласие на участие в исследовании.

Исследование проводилось в три этапа: первый этап – разработка протокола МРС стенки кишечника («зона интереса») и поясничной мышцы (референсная зона), основанного на стандартном протоколе магнитно-резонансного исследования органов брюшной полости с обязательным включением протонной МРС по основным внутриклеточным метаболитам стенки кишечника и поясничной мышцы; второй этап – применение разработанного протокола МРС, по результатам которого оценке подлежали основные метаболиты кишечной стенки и поясничной мышцы; на третьем этапе – получение данных в группе здоровых добровольцев.

Всем больным проведена МРТ кишечника с включением в протокол исследования протонной МРС по основным метаболитам стенки кишечника. МРТ проведено на 1,5 Тл аппарате (Toshiba, Vantage Titan) при использовании 16-канальной абдоминальной катушки (рис. 1). Использовалась методика одновоксельной спектроскопии Point-Resolved Spectroscopy (PRESS) с подавлением сигнала от воды и жира. Ключевые параметры: время эха (TE) = 35 мс, время повторения (TR) = 2000 мс, число усреднений (NSA) = 128, размер вокселя = 15×15×15 мм.

Статистический анализ проводили с использованием программного пакета Statistica 8.0 (StatSoft, США), порог значимости составил $p<0,05$. Статистическую значимость различий между группами оценивали с помощью t-критерия Стьюдента, а для определения диагностической эффективности метаболических паттернов применяли ROC-анализ с расчетом площади под кривой (AUC).

Настоящее исследование носило пилотный характер.

Таблица 1

Метаболический спектр, выраженный в числовых показателях в прямоугольной системе координат (X, Y), оцениваемый при проведении методики МРС стенки кишечника у пациентов в критическом состоянии (основная группа)

Metabolites	ppm	Height	Area	Area (fit)	Height (fit)
Cho	3,37	-6,0±0,03	11,7±0,03	0,34	0,09
Cr	2,91	-6,2±0,04	13,6±0,04	1,41	0,38
Glutamine	2,37	-4,0±0,03	110,8±0,03	52,96	14,20
Glutamate	2,35	-4,3±0,05	101,5±0,05	31,53	8,45
Citrate	2,73	-7,9±0,03	25,2±0,03	66,5	17,85
Aspartate	2,83	-6,3±0,04	28,3±0,04	40,90	10,97
Lactate	1,39	138,6±0,03	1589,9±0,03	0,01	0,00
MI	3,62	-5,2±0,05	19,7±0,05	0,00	0,00

Примечание. ppm – числовое выражение по оси X (ширина пика метаболита) в отн. ед.; Height – числовое выражение по оси Y (высота пика метаболита) в отн. ед.; Area – числовое выражение площади под пиком метаболита в отн. ед.; fit – числовые выражения показателей без помехи воды в отн. ед.

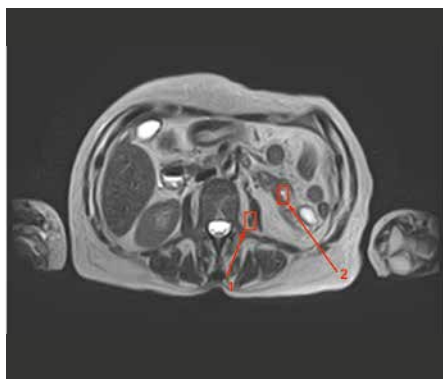


Рисунок 2. Зоны исследования при проведении разработанной методики мультисканной МРС у пациентов в критическом состоянии: 1 – референсная анатомическая зона – поясничная мышца (аксиальный срез, T2 Heavy); 2 – «зона интереса» – петля кишки, заполненная жидкостным содержимым и/или воздухом, с четкой визуализацией стенки (аксиальный срез, T2 Heavy)

Результаты исследования и их обсуждение

На первом этапе нашего исследования была разработана методика МРС стенки кишечника, основанная на стандартном протоколе магнитно-резонансного исследования органов брюшной полости с обязательным включением в протокол протонной МРС по основным внутриклеточным метаболитам стенки кишечника. В ходе проведения МРС определена референсная анатомическая зона – поясничная мышца, «зона интереса» – петля кишки, заполненная жидкостным содержимым и/или воздухом, с четкой визуализацией стенки, воксель размещался в стенке тощей кишки на расстоянии 5 см от дуоденоюнального перехода (рис. 2).

На втором этапе по результатам МРС оценке подлежали основные метаболиты поясничной мышцы и кишечной стенки: холин (Chol), креатин (Cr), липиды (Lipid), глутамин (Glutamine)/глутамат (Glutamate), цитрат (Citrate),

лактат (Lactate), аспартат (Asp), N-ацетиласпартат (NAA). В результате обработки результатов были получены: количественное отображение концентрации основных метаболитов стенки кишечника (табл. 1), а также графическое отображение основных внутриклеточных метаболитов (метаболический спектр) стенки кишечника в прямоугольной системе координат (X, Y) (рис. 3). Для количественной оценки использовались относительные единицы интенсивности сигнала (отн. ед.), а также рассчитывались безразмерные отношения концентраций основных метаболитов к референсной зоне (поясничной мышце).

Важно отметить, что концентрация метаболита напрямую пропорциональна площади под его пиком.

На третьем этапе в группе здоровых добровольцев (n=21) с целью стандартизации методики проведения МРС стенки кишечника были получены значения показателей по референсной зоне и «зоне интереса» (табл. 2).

При применении разработанной методики в основной группе пациентов было установлено, что при критических состояниях вне зависимости от этиологии у пациентов снижался уровень холина, креатина и липидов в первые часы пребывания в отделении реанимации и интенсивной терапии. В последующем при отрицательных показателях вышеуказанных метаболитов (n=9) отмечалось прогрессивное снижение N-ацетиласпартата (в течение 24–48 ч), что отражалось в виде нарушений K/Na-соотношения. Данные колебания концентрации метаболитов стенки кишечника приводили к развитию дефектов окислительно-восстановительного гомеостаза, что дестабилизи-

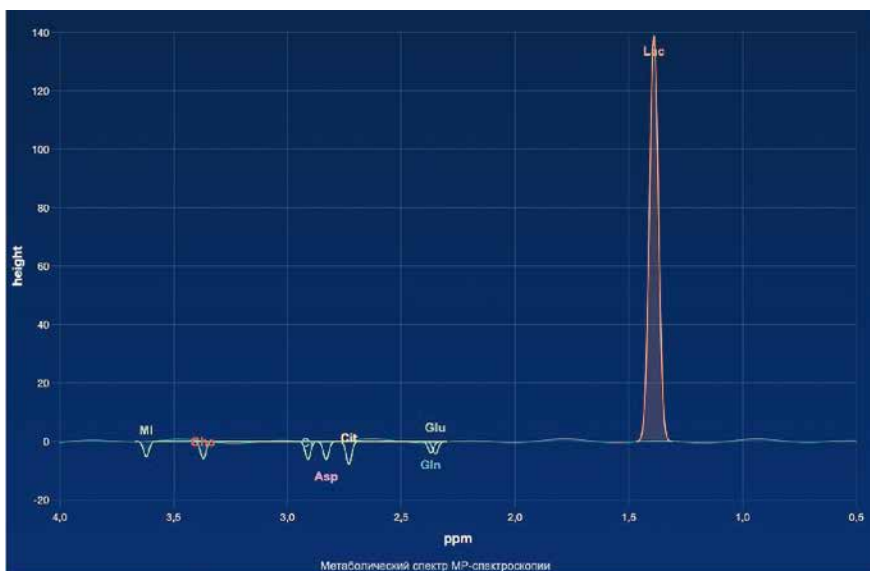


Рисунок 3. Графическое отображение концентрации основных метаболитов (метаболический спектр) в системе прямоугольных координат (X, Y) Примечание. Ось X – ppm; ось Y – height. Числовые значения концентрации основных метаболитов представлены в отн. ед.

Таблица 2

Концентрации основных внутриклеточных метаболитов в системе прямоугольных координат (X, Y) при проведении МРС кишечника и поясничной мышцы и их роль в группе добровольцев (n=21)

Метаболит кишечника	Роль метаболита	Зона исследования (Height) – метаболит стенки кишечника	Референсная зона (Height) – метаболит мышцы
Холин (Chol)	Поддержание структурной стабильности и эластичности мембран	6,8±1,4	5,0±1,3
Креатин (Cr)	Синтезируется из аминокислот: глицин + аргенин + метионин, это компоненты белка (содержится в мышечной ткани). Блокирует цитотоксичность, обладает противовоспалительной активностью	5,3±1,2	4,1±1,1
Липиды (Lipid)	Нарушение процессов переваривания и всасывания	0,5±1,5	- 3,6±1,4
Глютамин (Glutamine)/ Глютамат (Glutamate)	Предотвращает или уменьшает выраженность кишечной проницаемости, восстановление барьерной функции кишечной стенки	-2,7±0,4	- 2,2±0,4
		-2,4±0,3	- 2,2±0,3
Цитрат (Citrate)	Блокирует висцеральную гиперчувствительность кишечника, абдоминальную боль	-4,4±1,3	- 3,8±1,4
Лактат (Lactate)	Ишемия кишечной стенки = ОКН	4,4±3,9	70,7±5,9
Аспартат (Asp)	Синтез аминокислот	-4,6±1,2	-3,7±1,1
N – ацетил аспартат (NAA)	Поддержание окислительно-восстановительного гомеостаза	-0,3±3,8	6,4±2,3
Вода (H2O)	Поддержание КОС	-0,6±1,1	-0,5±1,2

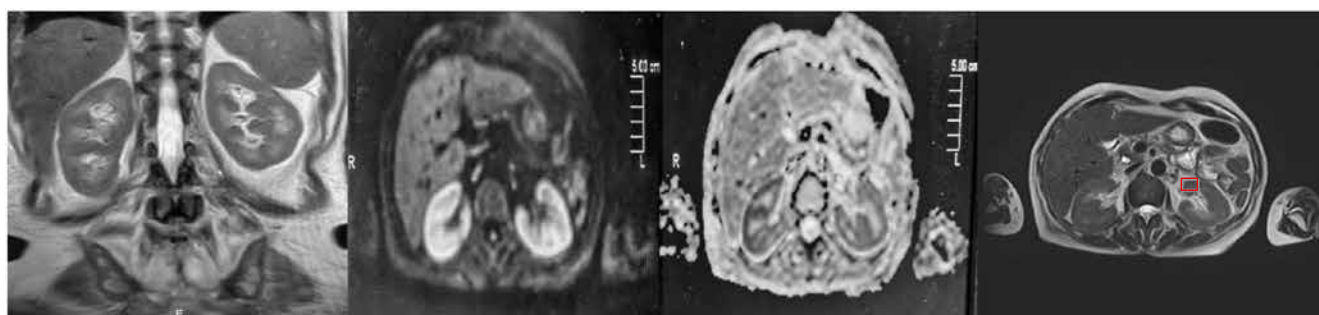
Примечание. Height – числовое выражение концентрации метаболитов по оси Y (высота пика метаболита) в системе прямоугольных координат, выраженное в отн. ед.

зировало клеточные мембраны, приводя к нарушению проницаемости клеточной стенки, гипоперфузии, в конечном итоге развивался синдром ишемии ткани.

Представленное заключение позволило врачу-анестезиологу-реаниматологу динамически корректировать уровень холина, креатина и липидов, назначая индивидуализированную (± 30 мл/кг/сут) инфузионную терапию сбалансированными кристаллоидами: раствор для инфузий натрия хлорид + калия хлорид + магния хлорид + натрия ацетат + яблочная кислота (Стерофундин® изотонический, производство компании «Б. Браун Мельзунген АГ», Германия); раствор для инфузий натрия хлорид + калия хлорид + кальция хлорид + натрия лактат (Рингера лактат, производство компании «Б. Браун Мельзунген АГ», Германия) в комплексе с активными метаболитами (холина альфосцерат 25%-й – 1000 мг/сут: раствор для внутримышечного/внутривенного введения холина альфосцерат [Глиатилин®], производство компании «Италфармако С.п.А.», Италия) для коррекция уровня холина; креатинфосфат лиофилизат 1000 мг/сут, лиофилизат для приготовления раствора для инфузий креатинфосфат, (Неокардин®, АО «Фармасинтез», Россия) для коррекции уровня креатина, в виде нутритивной поддержки были использованы энтеральные смеси высокосодержащие липиды (лечебно-профилактическое питание [Нутридринк®], состав: белки, углеводы, жиры, витамины, минеральные вещества, производство компании «Фрезениус Каби Хелскер Лтд.», Германия; лечебно-профилактическое питание [Нутрикомп®], состав: белки, углеводы, жиры, витамины, минеральные вещества, производство компании «Б. Браун Мельзунген АГ», Германия, – 9,4 г жиров на 100 мл) с целью сохранения адекватной перфузии органов а также восстановления дефицитов. В последующем в этой группе уровень N-ацетиласпартата сохранялся в пределах нормы (n=7).

У 2 (22,2 %) пациентов из 9 нарушение окислительно-восстановительного баланса провоцировало колебание концентрации аспартата, его показатели возрастали до 4, что приводило к развитию (n=2) или прогрессированию печеночно-клеточной недостаточности (n=3). Таким образом, отрицательный показатель аспартата свидетельствовал о сохраненной печеночной функции. На основе этого при измененном уровне аспартата, но при отсутствии печеночно-клеточной недостаточности с целью ее предупреждения пациенту назначалась профилактическая гепатопротекторная, антиоксидантная терапия: раствор для инфузий 1,5%-й инозин + меглюмин + метионин + никотинамид + янтарная кислота (Ремаксол®, производство компании «ПОЛИСАН», Российская Федерация) в дозе 400 мл/сут с целью улучшения белково-синтетической функции печени.

Повышение уровня цитрата в кишечной стенке отмечалось всегда в группе больных в раннем послеоперационном периоде, однако встал вопрос о поиске дифференциального критерия между висцеральной гиперчувствительностью кишечника и развитием паралитической кишечной непроходимости. В нашем исследовании установлено, что в случае так называемого эффекта ножниц, когда уровень цитрата возрастает, а уровень лактата отрицательный, развивается паралитическая кишечная непроходимость. Обратный вариант «эффекта ножниц» (снижение уровня цитрата и повышение уровня лактата) вызывает висцеральную гиперчувствительность кишечника. Установленный «эффект» позволял разрабатывать индивидуальную тактику алгоритма интенсивной терапии в условиях отделения реанимации и интенсивной терапии в случае развития паралитической кишечной непроходимости: спазмолитики – раствор для внутривенного и внутримышечного введения метоклопрамид (Церукал®,



а

б

в

Рисунок 4. Клинический пример. Пациент, 51 год, хроническая болезнь почек 5-я стадия: а – гиперинтенсивная структура коркового слоя обеих почек в режиме Т2ВИ, деформация чашечно-лоханочной системы с обеих сторон (корональный срез); б – магнитно-резонансные признаки истинного ограничения диффузии коркового слоя обеих почек в режиме диффузионно-взвешенного изображения (аксиальные срезы, слева – карта диффузии, справа – измеряемая карта диффузии); в – зона интереса при проведении магнитно-резонансной спектроскопии (корковый слой почек)

Таблица 3
Результаты оценки метаболического спектра при проведении МРС коркового слоя почек у пациента 51 года с хронической болезнью почек 5-й стадии (числовые показатели в прямоугольной системе координат)

Metabolites	ppm	Height	Area	Area (fit)	Height (fit)
Cho	3,21	-9,8	21,3	0,03	0,01
Cr	2,89	-10,3	18,4	9,21	4,28
Glutamine	2,26	-6,5	58,0	0,03	0,01
Glutamate	2,26	-6,5	89,6	0,01	0,01
Citrate	2,76	-10,5	35,5	25,23	11,71
Aspartate	2,80	-9,6	45,3	0,01	0,01
Lactate	1,33	163,3	936,0	0,00	0,00
NAA	2,14	-11,5	27,9	18,49	8,58

Примечание. ppm – числовое выражение по оси X (ширина пика метаболита); height – числовое выражение по оси Y (высота пика метаболита); area – числовое выражение площади под пиком метаболита; fit – числовые выражения без помехи воды.

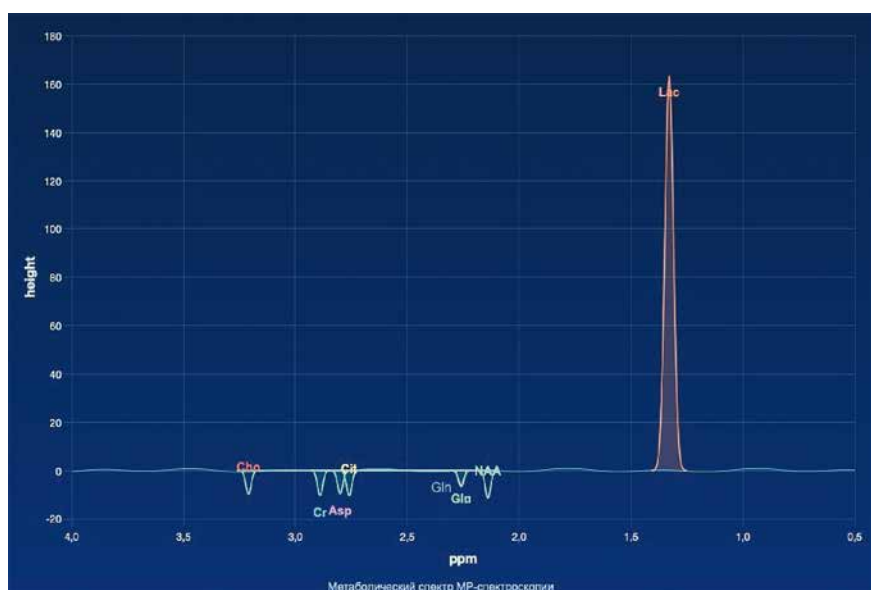


Рисунок 5. Графическое отображение метаболического спектра в системе прямоугольных координат (X, Y) при проведении МРС коркового слоя почек у пациента 51 года с хронической болезнью почек 5-й стадии
 Примечание. Ось X – ppm; ось Y – height. Числовые значения концентрации основных метаболитов представлены в отн. ед.

производство компании «АЭГРИС-СЕР», Российская Федерация) в дозе 60 мг/сут; раствор для подкожного введения неостигмин (Прозерин®, производство компании «ОЗОН Фарма», Российская Федерация) в дозе 50 мг/сут; очистительная/гиперосмолярная клизма с целью восстановления моторной функции кишечника. В качестве комплексной интенсивной терапии пациентов в критических состояниях с установленной висцеральной гиперчувствительностью кишечника было назначено: блокаторы кальциевых каналов – пропранолол таблетки (Анаприлин®, производство АО «Фармастандарт», Российская Федерация) в дозе 80 мг/сут; блокаторы натриевых каналов – верапамил таблетки (Изоптин®, производство компании «Эбботт ГмбХ энд Ко. КГ», Германия) в дозе 320 мг/сут, влияющие на передачу нервного импульса и снижающие стимуляцию ноцицептивных рецепторов стенки кишечника.

На рисунке 4 представлен клинический пример: пациент с хронической болезнью почек 5-й стадии, переведенный в отделение реанимации и интенсивной терапии в связи с тяжестью состояния, а также развитием абдоминального болевого синдрома высокой интенсивности. Пациенту проведены МРТ в режиме Т2ВИ с включением в протокол МРС, а также МРТ в режиме диффузионно-взвешенных изображений.

По результатам исследования: у пациента имеются признаки нарушения процессов окислительно-восстановительного гомеостаза в стенке кишечника (табл. 3, рис. 5) – сниже-

ние уровня NAA (Height) = -11,5; Chol (Height) = -9,8; Cr (Height) = -10,3, а также развитие обратного варианта «эффекта ножниц» (отрицательный показатель цитрата Citrate (Height) = -10,5; высокий уровень лактата Lactate (Height) = 163,3), что свидетельствовало о возникновении висцеральной гиперчувствительности кишечника.

В условиях отделения реанимации и интенсивной терапии проведено лечение: препараты группы блокаторов натриевых каналов, кальциевых каналов, ингибиторов фосфодиэстеразы. В состоянии средней степени тяжести пациент переведен на долечивание в отделение гемодиализа.

В представленном исследовании впервые в отечественной литературе проанализирована диагностическая значимость МРС стенки кишечника у пациентов в критическом состоянии, что позволило выявить ряд патогенетических и прогностических закономерностей, имеющих существенное значение для практической медицины и интенсивной терапии. Полученные нами данные расширяют современные представления о метаболических изменениях в стенке кишечника при критических состояниях и подчеркивают роль МРС как высокоинформативного неинвазивного метода диагностики пациентов в отделениях реанимации и интенсивной терапии.

Прежде всего, обязательная оценка основных метаболитов кишечной стенки (холин, креатин, липиды, глутамин/глутамат, цитрат, лактат, аспаргат, N-ацетиласпаргат) с помощью МРС позволяет объективизировать степень выраженности клеточных и тканевых нарушений на ранних этапах критических состояний. Как показали наши результаты, снижение концентраций холина, креатина и липидов в стенке кишечника в течение первых 24–48 ч с момента поступления в отделение реанимации и интенсивной терапии является ранним маркером нарушения окислительно-восстановительного гомеостаза не только на уровне кишечника, но и всего макроорганизма. Это подтверждает мультиорганный характер метаболических сдвигов при критических состояниях и позволяет рассматривать МРС как инструмент ранней диагностики системных осложнений.

Особое значение имеет выявленная нами связь между ростом концентрации аспартата (метаболита синтеза аминокислот) и развитием или прогрессированием печеночно-клеточной недостаточности. Данный факт согласуется с современными патофизиологическими представлениями о роли кишечника как «органа-мишени» при системном воспалительном ответе. В ряде зарубежных работ отмечается, что нарушение барьерной функции кишечника способствует поступлению бактериальных токсинов и медиаторов воспаления в воротную вену, что негативно влияет на функцию печени [17]. Наше исследование дополняет эти данные объективными биохимическими маркерами, измеряемыми с помощью МРС, и открывает новые возможности для раннего вмешательства с целью профилактики печеночно-клеточной недостаточности.

Интересным представляется также выявленный нами феномен «эффекта ножниц» при анализе уровней цитра-

та и лактата у пациентов в раннем послеоперационном периоде. Рост концентрации цитрата при одновременном снижении лактата коррелирует с развитием паралитической кишечной непроходимости, тогда как обратное соотношение (низкий цитрат, высокий лактат) характерно для висцеральной гиперчувствительности кишечника. Эти наблюдения имеют важное клиническое значение для стратификации риска осложнений в раннем послеоперационном периоде и выбора индивидуальной тактики ведения пациентов. В русскоязычной литературе известен метод оценки висцеральной гиперчувствительности (патент на изобретение RU 2725 197 С 1 «Метод оценки висцеральной гиперчувствительности», авторы: Шкляев А. Е., Галиханова Ю. И., Максимов К. В., 2020), основанный на проведении питьевого теста, результаты которого оцениваются в течение двух суток. Данный метод диагностики является неэффективным в отношении пациентов в критических состояниях, находящихся в отделении реанимации и интенсивной терапии, поскольку запоздалая диагностика существенно ухудшает прогнозы и увеличивает риски развития системного воспалительного ответа, сепсиса [17]. Также в литературе имеются отдельные сообщения о диагностической ценности лактата как маркера ишемии кишечника [19], однако комплексная оценка нескольких метаболитов с помощью МРС ранее не применялась для дифференциальной диагностики функциональных нарушений моторики кишечника.

Необходимо отметить ряд ограничений нашего исследования, которые типичны для пилотных работ. Прежде всего, это относительно небольшой объем выборки и ее клиническая гетерогенность.

Тем не менее наши результаты свидетельствуют о том, что внедрение протокола МРС в рутинные обследования пациентов в критических состояниях, находящихся на лечении в отделении реанимации и интенсивной терапии, позволяет повысить точность диагностики и обоснованность принятия клинических решений. Ранняя идентификация метаболических нарушений предоставляет врачу дополнительное время для проведения патогенетически обоснованной терапии (адекватная индивидуализированная инфузионная терапия, восполнение дефицитов метаболитов, коррекция нутритивного статуса, применение гепатопротекторов, антиоксидантов), что может существенно улучшить прогноз и снизить частоту осложнений.

В заключение следует подчеркнуть, что наше исследование является первым шагом к внедрению МРС кишечника в рутинную клиническую практику отделений реанимации и интенсивной терапии. Полученные результаты согласуются с современными тенденциями персонализированной медицины и открывают перспективы для дальнейших исследований по оптимизации диагностики и терапии критических состояний. Мы полагаем, что широкое внедрение данного метода позволит повысить качество медицинской помощи данной категории пациентов и улучшить их долгосрочные исходы.

Выводы

1. МРС позволяет выявить метаболические нарушения в стенке кишечника (снижение уровня холина, креатина, липидов) в первые часы после поступления пациента в отделение реанимации, то есть на этапе, когда структурные изменения еще отсутствуют.
2. Метод предоставляет уникальные метаболические паттерны («эффект ножниц») для различения схожих по симптоматике состояний. Соотношение уровней цитрата и лактата позволяет достоверно дифференцировать паралитическую кишечную непроходимость ($\uparrow\text{Cit}/\downarrow\text{Lac}$) от висцеральной гиперчувствительности ($\downarrow\text{Cit}/\uparrow\text{Lac}$) (AUC=0,94; 95% ДИ 0,88–0,99), при пороговом значении 1,1 чувствительность составила 92%, специфичность – 88%, что кардинально меняет тактику лечения.
3. Данные МРС служат прямым руководством к действию для врача-реаниматолога, позволяя перейти от эмпирической терапии к целевой коррекции конкретных метаболических дефицитов.
4. Динамическое изменение концентрации метаболитов, в частности прогрессивное снижение N-ацетиласпартата (НАА), является маркером нарушения окислительно-восстановительного гомеостаза и указывает на неблагоприятное течение заболеваний. Напротив, стабилизация уровня НАА и других метаболитов на фоне целенаправленной терапии свидетельствует о ее эффективности и позволяет прогнозировать положительный исход.
5. Разработанная методика МРС основана на стандартном протоколе МРТ брюшной полости с дополнительным программным обеспечением, что делает ее относительно простой для внедрения в практику работы отделений лучевой диагностики и не требует инвазивных вмешательств для получения биохимической информации.

Список литературы / References

1. Vincent J.L., Marshall J.C., Namendys-Silva S.A. et al. Assessment of the worldwide burden of critical illness: the Intensive Care Over Nations (ICON). *Lancet Respir Med.* 2014; 2 (5): 380–386. [http://doi.org/10.1016/S2213-2600\(14\)70061-X](http://doi.org/10.1016/S2213-2600(14)70061-X)
2. Rhodes A., Evans L.E., Alhazzani W. et al. Surviving Sepsis Campaign: International Guidelines for Management of Sepsis and Septic Shock: 2016 *Intensive Care Medicine.* 2017; 43 (3): 304–377. <http://doi.org/10.1007/s00134-021-06506-y>
3. Olde Damink S.W., Dejong C.H., Deutz N.E. et al. Effects of different types of surgery on splanchnic metabolism: lessons learned from stable isotope studies. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care.* 2005;8 (2): 167–172.

Сведения об авторах

Ореховская Алина Геннадьевна, аспирант кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии¹. E-mail: alina_orehovskaya@mail.ru. ORCID: 0009-0000-6908-6605

Морозова Татьяна Геннадьевна, д.м.н., зав. кафедрой лучевой диагностики и лучевой терапии¹, врач-рентгенолог². E-mail: t.g.morozova@yandex.ru. ORCID: 0000-0003-4983-5300

¹ ФГБОУ ВО «Смоленский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Смоленск, Россия

² ОГБУЗ «Клиническая больница No 1», г. Смоленск, Россия

Автор для переписки: Ореховская Алина Геннадьевна. E-mail: alina_orehovskaya@mail.ru

Для цитирования: Ореховская А.Г., Морозова Т.Г. Возможности магнитно-резонансной спектроскопии в выявлении метаболических нарушений кишечника у пациентов в критическом состоянии: пилотные результаты. *Медицинский алфабет.* 2025; (25): 59–66. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2025-25-59-66>

4. Menke J. Diagnostic accuracy of multidetector CT in acute mesenteric ischemia: systematic review and meta-analysis. *Radiology.* 2010; 256 (1): 93–101. <http://doi.org/10.1148/radiol.10091938>
5. Davenport M.S., Perazella M.A., Yee J. et al. Use of intravenous iodinated contrast media in patients with kidney disease: consensus statements from the American College of Radiology and the National Kidney Foundation. *Radiology.* 2020; 294 (3): 660–668. <http://doi.org/10.1148/radiol.2019192094>
6. Öz G., Alger J.R., Barker P.B. et al. Clinical proton MR spectroscopy in central nervous system disorders. *Radiology.* 2014; 270 (3): 658–679. <http://doi.org/10.1148/radiol.13130531>
7. Goryawala M.Z., Sheriff S., Maudsley A.A. et al. Magnetic resonance spectroscopy for assessment of liver and bowel disorders in clinical practice: a systematic review and meta-analysis. *European Radiology.* 2021; 31 (2): 933–944.
8. Kinner S., Schmitt F.C.F., Schütz M. et al. In vivo assessment of bowel ischemia using ¹H-magnetic resonance spectroscopy at 3T in a rat model: correlation with histopathology and serum lactate levels. *European Radiology Experimental.* 2017; 1 (1): 20.
9. Dioguardi Burgio M., Sartoris R., Beaufrère A. et al. Non-invasive metabolic imaging of bowel ischemia by in vivo proton magnetic resonance spectroscopy at 3 Tesla: a pilot study in a rat model of acute mesenteric ischemia. *European Radiology Experimental.* 2020; 4 (1): 21.
10. Beaufrère A., Dioguardi Burgio M.A., Sartoris R. et al. Magnetic resonance imaging and spectroscopy for the evaluation of bowel ischemia: where do we stand? *Diagnostic and Interventional Imaging.* 2020; 101 (12): 819–829. <http://doi.org/10.1148/radiographics.20.1.g00ja0629>
11. Хроническая болезнь почек (ХБП): клинические рекомендации. 2021. Российское общество нефрологов. *Нефрология.* 2021; 25 (5): 10–82.
12. Chronic kidney disease (CKD): clinical guidelines. Russian Society of Nephrologists. *Nephrology.* 2021. 2021; 25 (5): 10–82. (In Russ.).
13. Статья Р. Острое почечное повреждение: Клинические практические рекомендации KDIGO (Основные положения). *Нефрология и диализ.* 2012; 14 (2): 86–94. Article by R. Acute kidney injury: Clinical practice guidelines KDIGO (Basic provisions). *Nephrology and dialysis.* 2012; 14 (2): 86–94. (In Russ.).
14. Ишемический инсульт и транзиторная ишемическая атака у взрослых: клинические рекомендации. 2024. Министерство здравоохранения РФ, Всероссийское общество неврологов [Электронный ресурс]. 2024. URL: <https://congress-med.ru/2024-klinicheskie-rekomendaczii-mz-rt-po-insultu-i-ita.pdf>
15. Ischemic stroke and transient ischemic attack in adults: clinical guidelines. 2024. Ministry of Health of the Russian Federation, Russian Society of Neurologists [Electronic resource]. 2024. (In Russ.).
16. Геморрагический инсульт: клинические рекомендации. 2022. Ассоциация нейрохирургов России, Всероссийское общество неврологов, Федерация анестезиологов и реаниматологов России [Электронный ресурс]. URL: <https://ruans.org/Text/Guidelines/hemorrhagic-stroke-2022.pdf>
17. Hemorrhagic stroke: clinical guidelines. 2022. Association of Neurosurgeons of Russia, Russian Society of Neurologists, Federation of Anesthesiologists and Resuscitators of Russia [Electronic resource]. (In Russ.).
18. Хроническая сердечная недостаточность: клинические рекомендации. 2024 [Электронный ресурс]. Российский кардиологический журнал. 2024; 29 (11): 61–62. URL: https://russjcardiol.epub.ru/jour/article/view/6162?locale=ru_RU
19. Chronic heart failure: clinical guidelines. 2024 [Electronic resource]. *Russian Cardiology Journal.* 2024; 29 (11): 61–62. (In Russ.).
20. Лечение осложненной цирроза печени: клинические рекомендации. Российское общество по изучению печени, Российская гастроэнтерологическая ассоциация. *Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии.* 2016; 26 (4): 71–102. The diagnosis and individual fibrosis and cirrhosis of the liver and their development: clinical guidelines. Russian Society for the Study of the liver and the Russian Gastroenterological Association [Electronic resource]. *Russian Gastroenterology, Hepatology, Proctology Journal.* 2016; 26 (4): 71–102. (In Russ.).
21. Singer M., Deutschman C.S., Seymour C.W. et al. The Third International Consensus Definitions for Sepsis and Septic Shock (Sepsis-3). *JAMA (Journal of the American Medical Association).* 2016; 315 (8): 801–810. <http://doi.org/10.1001/jama.2016.0287>
22. Соловьев А.Е. Исследование лактата как маркера ишемии кишечника при острой спаечной странгуляционной кишечной непроходимости у детей. *Российский вестник детской хирургии, анестезиологии, реаниматологии.* 2021; (11): 141. Solov'ev A.E. Study of lactate as a marker of ischemia in acute adhesive regional intestinal obstruction in children. *Russian Bulletin of pediatric surgery, anesthesiology and resuscitation.* 2021; (11): 141. (In Russ.).

Статья поступила / Received 10.10.2025
Получена после рецензирования / Revised 15.10.2025
Принята в печать / Accepted 15.10.2025

About authors

Orekhovskaia Alina G., postgraduate student at Dept of Radiation Diagnostics and Radiation Therapy¹. E-mail: alina_orehovskaya@mail.ru. ORCID: 0009-0000-6908-6605

Morozova Tatyana G., DM Sci (habil.), head of Dept of Radiation Diagnostics and Radiation Therapy¹, radiologist². E-mail: t.g.morozova@yandex.ru. ORCID: 0000-0003-4983-5300

¹ Smolensk State Medical University, Smolensk, Russia

² Clinical Hospital No 1, Smolensk, Russia

Corresponding author: Orekhovskaia Alina G. E-mail: alina_orehovskaya@mail.ru

For citation: Orekhovskaia A.G., Morozova T.G. Capabilities of magnetic resonance spectroscopy in detecting bowel metabolic disorders in critically ill patients: pilot results. *Medical alphabet.* 2025; (25): 59–66. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2025-25-59-66>

