



Сравнительный анализ органических солей магния: клинико-фармакологические аспекты

Рогозин М. А.¹, Громова О. А.^{1,2}, Калачева А. Г.¹, Торшин И. Ю.², Гришина Т. Р.¹, Богачева Т. Е.¹,
Гоголева И. В.¹, Жидоморов Н. Ю.¹

¹ ФГБОУ ВО «Ивановский государственный медицинский университет» Минздрава России,
Иваново, Российская Федерация

² ФГУ «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН» (ФИЦ ИУ РАН), Москва, Российская
Федерация

Аннотация

Дефицит магния является широко распространённой проблемой, ассоциированной с повышенным риском сердечно-сосудистых, неврологических и метаболических нарушений. Эффективность магниевой терапии в значительной степени определяется биодоступностью применяемой соли. Хорошо известно, что соли магния с органическими анионами отличаются достаточно высокой биодоступностью. Представлен детальный анализ фармакологических свойств органических солей магния: малата, fumarата, цитрата, аспарагината, глицината, треоната, пироглутамата, оротата и лактата магния. Рассмотрены структурные особенности, содержание элементного магния, метаболизм анионов и влияние анионов в соли на биодоступность и на биораспределение ионов Mg^{2+} . Обосновывается целесообразность персонализированного выбора соли магния в зависимости от клинических задач.

Ключевые слова: магний; органические соли; биодоступность; хелатные комплексы; малат; цитрат; глицинат; треонат; гипомagneмия; хемореактомика

Для цитирования:

Рогозин М. А., Громова О. А., Калачева А. Г., Торшин И. Ю., Гришина Т. Р., Богачева Т. Е., Гоголева И. В., Жидоморов Н. Ю. Сравнительный анализ органических солей магния: клинико-фармакологические аспекты. *Фармакокинетика и фармакодинамика*. 2025;(4):105–111. <https://doi.org/10.37489/2587-7836-2025-4-105-111>. EDN: FTWLPZ

Поступила: 24.10.2025. **В доработанном виде:** 24.11.2025. **Принята к печати:** 05.12.2025. **Опубликована:** 30.12.2025.

Comparative analysis of organic magnesium salts: clinical and pharmacological aspects

Mikhail A. Rogozin¹, Olga A. Gromova^{1,2}, Alla G. Kalacheva¹, Ivan Yu. Torshin², Tatiana R. Grishina¹, Tatiana E. Bogacheva¹,
Irina V. Gogoleva¹, Nikolay Yu. Zhidomorov¹

¹ Ivanovo State Medical University of MOH of Russia, Ivanovo, Russian Federation

² Federal Research Center "Computer Science and Control", RAS, Moscow, Russian Federation

Abstract

Magnesium deficiency is a widespread problem associated with an increased risk of cardiovascular, neurological, and metabolic disorders. The effectiveness of magnesium therapy is largely determined by the bioavailability of the salt used. It is well known that magnesium salts with organic anions are characterized by relatively high bioavailability. This paper presents a detailed analysis of the pharmacological properties of organic magnesium salts: magnesium malate, fumarate, citrate, aspartate, glycinate, threonate, pyroglutamate, orotate, and lactate. The article examines the structural features, elemental magnesium content, anion metabolism, and the effect of anions in the salt on the bioavailability and biodistribution of Mg^{2+} . The feasibility of personalized selection of magnesium salts based on clinical needs is substantiated.

Keywords: magnesium; organic salts; bioavailability; chelate complexes; malate; citrate; glycinate; threonate; hypomagnesemia; chemoreactomics

For citations:

Rogozin MA, Gromova OA, Kalacheva AG, Torshin IYu, Grishina TR, Bogacheva TE, Gogoleva IV, Zhidomorov NYu. Comparative analysis of organic magnesium salts: clinical and pharmacological aspects. *Farmakokinetika i farmakodinamika = Pharmacokinetics and pharmacodynamics*. 2025;(4):105–111. (In Russ.). <https://doi.org/10.37489/2587-7836-2025-4-105-111>. EDN: FTWLPZ

Received: 24.10.2025. **Revision received:** 24.11.2025. **Accepted:** 05.12.2025. **Published:** 30.12.2025.

Введение / Introduction

Магний — эссенциальный (жизненно важный) химический элемент. В организме магний представлен катионом Mg^{2+} , который является одним из четырёх важнейших электролитов организма (наряду с натрием, калием и кальцием). Ион магния взаимодействует более чем с 900 белками протеома человека. Внутри клеток ион Mg^{2+} является кофактором более 600 ферментативных реакций, вовлечённых, в частности, в энергетический метаболизм (синтез АТФ), синтез нуклеиновых кислот, нейромышечную передачу сигналов, регуляцию сосудистого тонуса [1]. Недостаточное потребление магния с пищей и с водой затрагивает значительную часть популяций человека, причём наиболее часто недостаточная обеспеченность магния встречается среди женщин репродуктивного возраста и у пожилых [2]. Анализ систем промышленного производства продуктов питания указывает на системные «провалы» по ряду нутриентов (включая магний), обусловленные как аграрно-технологическими факторами, так и сменой структуры питания в целом [3].

Проблема диетарного дефицита магния усугубляется широким распространением ятрогенной (лекарственно-индуцированной) гипомagneмии. К «магний-выводящим» препаратам относят диуретики, ингибиторы протонной помпы, антибактериальные и противоопухолевые средства [4, 5]. Механизмы лекарственно-индуцированной гипомagneмии включают усиление почечной экскреции, блокаду каналов TRPM6/7 и повреждение канальцев почек [6]. При этом гипомagneмия часто остаётся недиагностируемой, поскольку концентрация ионов магния в сыворотке крови может долгое время оставаться в пределах референсных значений, в то время как его внутриклеточный пул магния уже истощён [7].

Ключевым фактором эффективности фармаконутрициальной коррекции дефицита магния является выбор соли магния. В отличие от неорганических форм (оксид, сульфат), которые часто обладают низкой биодоступностью и выраженным слабительным эффектом, органические соли характеризуются лучшей органолептикой и усвояемостью [8]. Важной причиной этого отличия органических солей является то, что анионы в составе органических солей являются зачастую естественными метаболитами организма, что облегчает их усвоение и создаёт потенциал для синергидного с магнием фармакологического действия [9]. Заметим, что современные хемореактомные подходы, сопоставляющие химические структуры с биологическими эффектами, позволяют прогнозировать свойства и потенциальные преимущества различных органических лигандов [10]. Цель настоящей работы — систематизировать современные данные о фармакохимических и клинико-фармакологических свойствах основных органических солей магния.

Методы оценки статуса магния в организме / Methods for assessing the status of magnesium in the body

Прежде чем перейти к анализу солей, необходимо рассмотреть методы диагностики дефицита магния, так как именно от их точности зависит оценка эффективности терапии [11]. Выбор метода диагностики должен быть индивидуальным и учитывать клиническую картину и принимаемые пациентом лекарственные средства.

1. Магний в сыворотке крови: наиболее распространённый, но наименее чувствительный метод. Отражает лишь около 1 % от общего содержания Mg в организме. Может быть в пределах нормы при значительном тканевом дефиците магния [7].

2. Магний в эритроцитах: считается более надёжным маркёром долговременного статуса магния, так как отражает его запасы в тканях. Однако метод имеет вариабельность и не стандартизирован повсеместно [12].

3. Суточная экскреция магния с мочой: полезный метод для оценки почечных потерь магния и диагностики гипомagneмии, часто вызванной диуретиками [6].

4. Магниева́я нагрузочная проба: «Золотой стандарт» для оценки общего статуса магния. Основан на измерении удержания парентерально введённой дозы магния в течение 24 часов. Высокоретенция (>50–60 %) указывает на дефицит. Метод трудоёмок и малоприменим в рутинной практике [13].

Сравнительная характеристика органических солей магния / Comparative characteristics of organic magnesium salts

Анализ ассортимента магнийсодержащих продуктов, представленных на фармацевтическом рынке РФ в 2023–2024 гг., показал, что наиболее распространёнными органическими анионами в составе солей магния являются цитрат, лактат, пидолат и аспарагинат, глицинат, бисглицинат, L-треонат, малат. В составе витаминно-минеральных комплексов (ВМК) и препаратов органические соли магния могут сочетаться с пиридоксином, рибофлавином и с другими синергидными магнию микронутриентами. Несмотря на широкий ассортимент, сохраняется проблема стандартизации качества и соответствия заявленного содержания элементного магния реальному, что требует усиления контроля и проведения независимых исследований. В таблице приведена краткая характеристика наиболее используемых органических солей магния; далее приведены более развёрнутые клинико-фармакологические характеристики этих солей.

Магния цитрат (содержание элементного Mg 16,2 %). Цитрат-анион является центральным звеном цикла Кребса (цикла трикарбоновых кислот, рисунок). Его метаболизация стимулирует энергетический обмен в митохондриях, что указывает на возможность приме-

Сравнительная характеристика органических солей магния

Table 1

Comparative characteristics of organic magnesium salts

Соль магния	Химическая формула	Содержание Mg, %	Ключевые свойства и преимущества	Основные области применения
Цитрат	$Mg_3(C_6H_5O_7)_2$	16,2	Высокая биодоступность, участие в цикле Кребса, энергетический обмен	Астения, усталость, запоры (с осторожностью)
Малат	$Mg(C_4H_4O_5)$	15,3	Участие в цикле Кребса, энерготропное действие	Фибромиалгия, синдром хронической усталости
Фумарат	$MgC_4H_2O_4$	14,8	Антиоксидантные свойства (активация Nrf2), энергетический обмен	Состояния с окислительным стрессом
Глицинат	$Mg(H_2NCH_2COO)_2$	12–15	Высокая биодоступность, отличная переносимость, нейротропное действие	Стресс, тревога, нарушения сна, неврологический дефицит
L-Треонат	$C_8H_{14}MgO_{10}$	8,7	Повышение уровня Mg в головном мозге, когнитивные функции	Когнитивные нарушения, нейродегенеративные заболевания
Аспарагинат	$Mg(C_4H_6NO_3)_2$	7,5	Метаболическая поддержка миокарда, синергизм с калием	Кардиология, гипокалиемия
Оротат	$Mg(C_5H_3N_2O_4)_2$	6–7	Стимуляция синтеза нуклеиновых кислот, поддержка миокарда	Сердечная недостаточность, восстановление после нагрузок
Пироглутамат	$Mg(C_5H_7NO_3)_2$	8,7	Хорошая растворимость, нейромедиаторная активность лиганда	Парентеральное введение, неврологические нарушения
Лактат	$Mg(C_3H_5O_3)_2$	12,0	Хорошая усвояемость, мягкое действие	Длительная профилактика дефицита

нения цитрата магния при астенических состояниях [8]. Рандомизированное исследование показало высокую биодоступность магния из соли с цитратом по сравнению с неорганическими солями (оксид магния) [14]. В высоких дозах (более 4–5 г) цитрат магния проявляет умеренное слабительное действие, что может быть использовано в комплексной терапии запоров, но требует осторожности у пациентов с лабильной функцией ЖКТ.

Магния малат (содержание элементного Mg 15,3 %). Яблочная кислота (малат-анион) — ключевой интермедиат цикла Кребса, играющий важную роль в генерации АТФ. Соль магния и яблочной кислоты может использоваться в терапии астении, фибромиалгии и других состояний, сопровождающихся нарушениями клеточного энергообмена. Малат-анион способствует накоплению ионов Mg^{2+} в клетках мышечной ткани, улучшая её толерантность к нагрузкам. Малат магния показал достоверное уменьшение болевого синдрома у пациентов с фибромиалгией [15].

Магния фумарат (содержание элементного Mg 14,8 %). Фумаровая кислота — ещё один метаболит цикла Кребса. Помимо роли в энергетическом обмене, фумарат проявляет антиоксидантные и противовоспалительные свойства, активируя ядерный белок «фактор Nrf2», который регулирует экспрессию генов антиоксидантной защиты. Этот молекулярный меха-

низм открывает перспективы для применения фумарата магния при нейродегенеративных заболеваниях, метаболическом синдроме и сердечно-сосудистой патологии [16].

Магния глицинат (бисглицинат, содержание элементного Mg в диапазоне 12–15 %, в зависимости от гидратации). Аминокислота глицин (как, впрочем, цитрат, малат и фумарат-анионы) выполняет роль транспортного лиганда, улучшая всасывание Mg, не вызывая при этом осмотической диареи [17]. Как известно, глицин является тормозным нейромедиатором и в высоких дозах (граммы) проявляет нейропротекторные свойства [18], потенцируя положительное влияние магния на центральную нервную систему.

Магния L-треонат (содержание элементного Mg 8,7 %). Предполагается, что данная соль может способствовать таргетному накоплению магния в головном мозге. Доклинические исследования показали, что треонат-анион усиливает синаптическую пластичность, плотности синапсов в гиппокампе, улучшает когнитивные функции (обучение, память) [19]. Несмотря на низкое содержание элементного магния в данной соли, его высокая тканеспецифичная биодоступность для мозга указывает на перспективность дальнейшего изучения эффектов треоната магния при когнитивных нарушениях и нейродегенеративных заболеваниях.

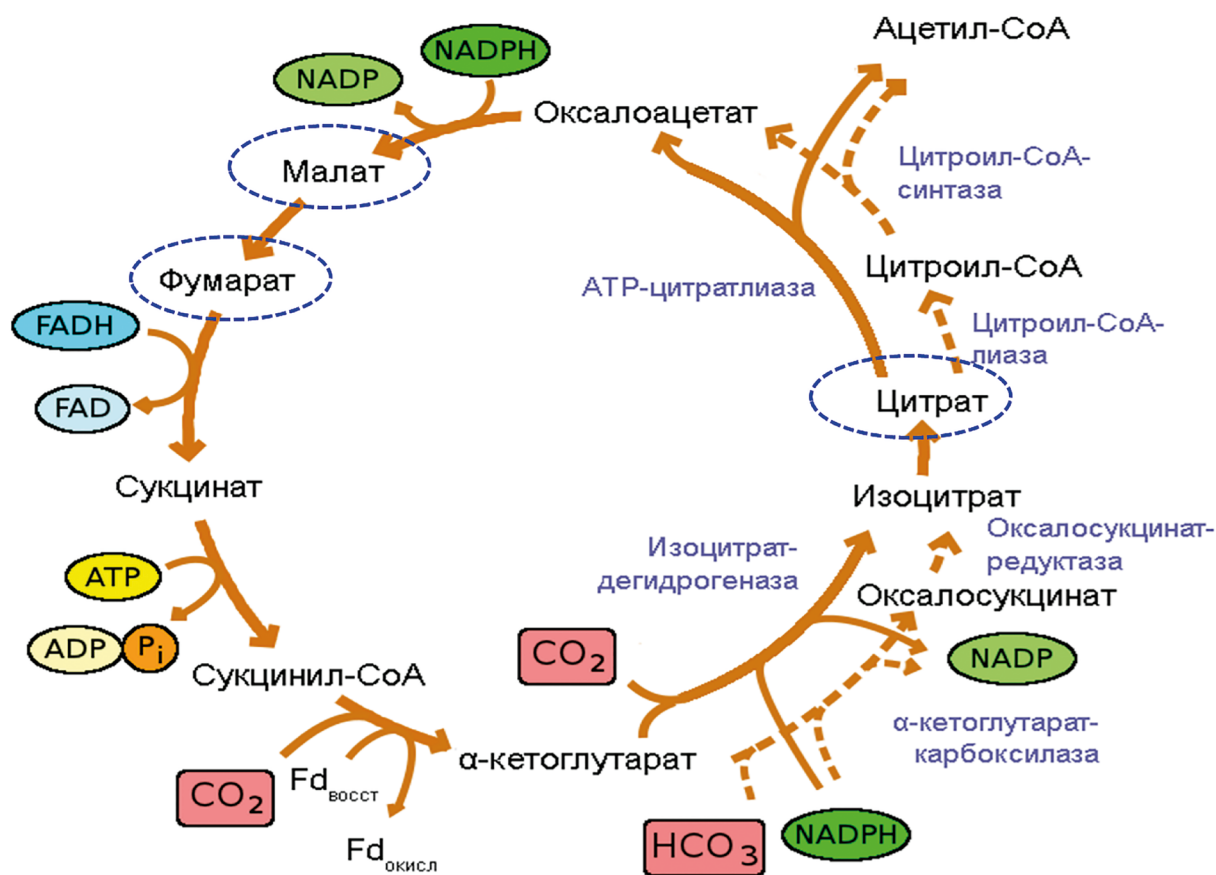


Рис. 1. Цикл Кребса и участие в нём различных анионов органических кислот

Fig. 1. The Krebs cycle and the role of various organic acid anions in it

Примечания: NADP — никотинамидадениндинуклеотидфосфат; NADPH — никотинамидадениндинуклеотидфосфат восстановленный; FAD — флавинодениндинуклеотид; FADH — флавинодениндинуклеотид восстановленный; ATP — аденозинтрифосфат; ADP — аденозиндифосфат; P_i — фосфат-анион; Fd_{восст} — ферредоксин восстановленный; Fd_{окисл} — ферредоксин окисленный; CO₂ — углекислый газ; HCO₃ — гидрокарбонат анион.

Notes: NADP — nicotinamide adenine dinucleotide phosphate; NADPH — reduced nicotinamide adenine dinucleotide phosphate; FAD — flavin adenine dinucleotide; FADH — reduced flavin adenine dinucleotide; ATP — adenosine triphosphate; ADP — adenosine diphosphate; P_i — phosphate anion; Fd_{восст} — reduced ferredoxin; Fd_{окисл} — oxidized ferredoxin; CO₂ — carbon dioxide; HCO₃ — bicarbonate anion.

Магния аспарагинат (содержание элементного Mg 7,5 %). Аспарагиновая кислота участвует в цикле мочевины и в обмене глутамата. Аспарагинат-анион способствует проникновению ионов K⁺ и Mg²⁺ внутрь клетки, восстанавливая трансмембранный потенциал кардиомиоцитов. Ионы калия и магния в составе аспарагината (в таких препаратах, как «Панангин», «Аспаркам») способствуют нормализации метаболизма миокарда [20]. Поэтому, аспарагинат магния широко используется в кардиологической практике для коррекции электролитных нарушений, особенно на фоне терапии диуретиками и сердечными гликозидами.

Магния оротат (содержание элементного Mg 6–7 %). Оротовая кислота является ключевым промежуточным звеном биосинтеза пиримидинов (оснований, необходимых для синтеза ДНК и РНК) и показано, что

она улучшает энергетический статус повреждённого миокарда за счёт стимуляции синтеза гликогена и АТФ. Это рассматривают как механизм кардиопротекции, повышающий устойчивость миокарда к гипоксическим условиям [21]. Оротат магния применяется в комплексной терапии сердечной недостаточности и пролапсе митрального клапана [10].

Магния пироглутамат (пидолат, содержание элементного Mg 8,7 %). Пироглутаминовая кислота является нейромедиатором и предшественником глутатиона. Хорошая растворимость пироглутамата магния обуславливает его использование *per os* (в виде растворов, сиропов и др.) для быстрой коррекции дефицита магния [22]. Пироглутамат-анион хорошо проникает через гематоэнцефалический барьер, и способствует быстрому восполнению внутримозговых запасов магния.

Магния лактат (содержание элементного Mg 12,0 %). Лактат-анион — продукт анаэробного гликолиза. Соль хорошо усваивается, обладает мягким действием и реже вызывает диспепсию, что делает её подходящей для длительной терапии [23]. Лактат магния часто используется в составе комбинированных препаратов и БАД, предназначенных для курсового приёма с целью повышения обеспеченности организма магнием.

Принципы комбинированной терапии: синергизм магния и пиридоксина / Principles of Combined Therapy: Synergism of Magnesium and Pyridoxine

Одним из ключевых направлений повышения эффективности магниевой терапии при различных коморбидных патологиях является комбинированный приём органических солей магния с витамином В₆ (пиридоксин). Синергизм Mg²⁺ и В₆ имеет глубокое биохимическое обоснование. Пиридоксальфосфат (коферментная форма витамина В₆) является кофактором для множества ферментов, участвующих в обмене нейромедиаторов (серотонина, дофамина, ГАМК), синтезе гема и в переработке гомоцистеина [24].

Показано, что пиридоксин увеличивает внутриклеточное накопление магния, выступая в роли хелатирующего агента, облегчающего транспорт Mg²⁺ через клеточные мембраны. Кроме того, пиридоксин потенцирует нейротропные эффекты магния, совместно модулируя синтез и взаимодействие с рецепторами различных нейромедиаторов. Построение протеомных карт Mg/В₆-зависимых белков человека позволяет визуализировать масштаб этого синергизма и выделить нейрофункциональные подсети, что открывает путь к созданию обоснованных композиций [25].

Заключение / Conclusion

Органические соли магния представляют собой гетерогенную группу соединений с достаточно

специфическими фармакологическими профилями. В соответствии с патогенетическими особенностями пациента осуществляется выбор оптимальной для данного пациента органической соли магния или композиции солей. Общие рекомендации по выбору той или иной органической соли магния могут быть сформулированы следующим образом:

- быстрая, эффективная коррекция дефицита магния: цитрат, малат, пироглутамат;
- неустойчивый стул, необходимость длительного приёма: глицинат, лактат;
- для снижения стресса/депрессивных состояний: глицинат, L-треонат, цитрат, лактат, в комбинации с пиридоксином;
- поддержание сердечной мышцы, лечение пролапса митрального клапана, аритмий: аспарагинат, оротат, лактат, малат;
- при состояниях, ассоциированных с окислительным стрессом: фуемарат, цитрат, малат.

Современные исследования, включая хемореактомный анализ действующих начал лекарств, позволяют прогнозировать фармакологические свойства органических солей магния, выявлять ятрогенные риски развития гипомagneмии и также приоритизировать классы препаратов, наиболее негативно влияющих на обмен магния в организме.

Планируются дальнейшие исследования, направленные на хемореактомное моделирование эффектов солей магния *in silico* и на сравнительные исследования солей магния *in vivo* на моделях диетарного дефицита магния у животных.

Планируемый комплекс исследований позволит объективно ранжировать эффективность, механизмы тканеспецифического действия и спектр применения органических солей магния, включая разработку новых патентоспособных композиций органических солей магния с таргетными клинико-фармакологическими свойствами.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Конфликт интересов

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, о которых необходимо сообщить в связи с публикацией данной статьи.

Участие авторов

Все авторы приняли равнозначное участие в написании статьи.

Финансирование

Работа выполнена без спонсорской поддержки.

ADDITIONAL INFORMATION

Conflict of interests

The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest, which must be reported in connection with the publication of this article.

Authors' participation

All authors contributed equally to this work.

Funding

The work was carried out without sponsorship.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / ABOUT THE AUTHORS

Рогозин Михаил Александрович — аспирант кафедры фармакологии ФГБОУ ВО Ивановский ГМУ Минздрава России, Иваново, Российская Федерация

Автор ответственный за переписку

e-mail: tik92@bk.ru

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-2744-4268>

Громова Ольга Алексеевна — д. м. н., профессор, профессор кафедры фармакологии ФГБОУ ВО Ивановский ГМУ Минздрава России, Иваново, Российская Федерация; в. н. с. ФИЦ ИУ РАН, Москва, Российская Федерация

e-mail: unesco.gromova@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7663-710X>

РИНЦ SPIN-код: 6317-9833

Калачева Алла Геннадьевна — к. м. н., доцент кафедры фармакологии ФГБОУ ВО Ивановский ГМУ Минздрава России, Иваново, Российская Федерация

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6144-5781>

Торшин Иван Юрьевич — к. ф-м. н., к. х. н., в. н. с. ФИЦ ИУ РАН, Москва, Российская Федерация

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2659-7998>

РИНЦ SPIN-код: 1375-1114

Гришина Татьяна Романовна — д. м. н., профессор, заведующая кафедрой фармакологии ФГБОУ ВО Ивановский ГМУ Минздрава России, Иваново, Российская Федерация

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1665-1188>

РИНЦ SPIN-код: 1241-0701

Богачева Татьяна Евгеньевна — к. м. н., доцент кафедры фармакологии ФГБОУ ВО Ивановский ГМУ Минздрава России, Иваново, Российская Федерация

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5042-4886>

РИНЦ SPIN-код: 8970-6270

Mikhail A. Rogozin — Postgraduate student of the Department of Pharmacology of the FSBEI HE «Ivanovo SMU» of MOH of Russia, Ivanovo, Russian Federation

Corresponding autor

e-mail: tik92@bk.ru

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-2744-4268>

Olga A. Gromova — PhD, Dr. Sci. (Med.), Professor, Professor of the Department of Pharmacology FSBEI HE «Ivanovo SMU» of MOH of Russia, Ivanovo, Russian Federation; Leading researcher FRC CSC RAS, Moscow, Russian Federation

e-mail: unesco.gromova@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7663-710X>

RSCI SPIN code: 6317-9833

Alla G. Kalacheva — PhD, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Pharmacology of the Ivanovo SMU, Ivanovo, Russian Federation

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6144-5781>

Ivan Yu. Torshin — PhD, Cand. Sci. (Physics and Mathematics), Cand. Sci. (Chemistry), Leading researcher FRC CSC RAS, Moscow, Russian Federation

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2659-7998>

RSCI SPIN code: 1375-1114

Tatiana R. Grishina — PhD, Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of pharmacology, Ivanovo SMU, Ivanovo, Russian Federation

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1665-1188>

RSCI SPIN code: 1241-0701

Tatiana E. Bogacheva — PhD, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Pharmacology of the Ivanovo SMU, Ivanovo, Russian Federation

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5042-4886>

RSCI SPIN code: 8970-6270

Гоголева Ирина Викторовна — к. м. н., доцент кафедры фармакологии ФГБОУ ВО Ивановский ГМУ Минздрава России, Иваново, Российская Федерация
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2178-8285>

Irina V. Gogoleva — PhD, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Pharmacology, Ivanovo SMU, Ivanovo, Russian Federation
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2178-8285>

Жидоморов Николай Юрьевич — к. м. н., доцент кафедры фармакологии ФГБОУ ВО Ивановский ГМУ Минздрава России, Иваново, Российская Федерация
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-5125-0419>

Nikolay Yu. Zhidomorov — PhD, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Pharmacology, Ivanovo SMU, Ivanovo, Russian Federation
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-5125-0419>

Список литературы / References

- de Baaij JH, Hoenderop JG, Bindels RJ. Magnesium in man: implications for health and disease. *Physiol Rev*. 2015 Jan;95(1):1-46. doi: 10.1152/physrev.00012.2014.
- Passarelli S, Free CM, Shepon A, et al. Global estimation of dietary micronutrient inadequacies: a modelling analysis. *Lancet Glob Health*. 2024 Oct;12(10):e1590-e1599. doi: 10.1016/S2214-109X(24)00276-6.
- Wang X, Dou Z, Feng S, et al. Global food nutrients analysis reveals alarming gaps and daunting challenges. *Nat Food*. 2023 Nov;4(11):1007-1017. doi: 10.1038/s43016-023-00851-5.
- Shikh EV, Makhova AA, Chemeris AV, Tormyshov IA. [Patrogenic deficits of micronutrients]. *Vopr Pitan*. 2021;90(4):53-63. Russian. doi: 10.33029/0042-8833-2021-90-4-53-63.
- Громова О.А., Торшин И.Ю., Моисеев В.С., Сорокина М.А. О фармакологических взаимодействиях магния с антибиотиками и дефиците магния, возникающем в результате антибиотикотерапии. *Терапия*. 2017;11(1):135-143. [Gromova OA, Torshin IYu, Moiseev VS, Sorokina MA. On the pharmacological interactions of antibiotics with magnesium and on the magnesium deficiency arising as a result of antibiotic treatment. *Therapy*. 2017;11(1):135-143. (In Russ.)].
- Lameris AL, Monnens LA, Bindels RJ, Hoenderop JG. Drug-induced alterations in Mg²⁺ homeostasis. *Clin Sci (Lond)*. 2012 Jul;123(1):1-14. doi: 10.1042/CS20120045.
- Adomako EA, Yu ASL. Magnesium Disorders: Core Curriculum 2024. *Am J Kidney Dis*. 2024 Jun;83(6):803-815. doi: 10.1053/j.ajkd.2023.10.017.
- Firoz M, Graber M. Bioavailability of US commercial magnesium preparations. *Magnes Res*. 2001 Dec;14(4):257-62.
- Uysal N, Kizildag S, Yuce Z, et al. Timeline (Bioavailability) of Magnesium Compounds in Hours: Which Magnesium Compound Works Best? *Biol Trace Elem Res*. 2019 Jan;187(1):128-136. doi: 10.1007/s12011-018-1351-9.
- Громова О.А., Торшин И.Ю. Магний и «болезни цивилизации». Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2018. — 800 с. [Gromova OA, Torshin IYu. Magnesium and "Civilization Diseases". Moscow: GEOTAR-Media, 2018. (In Russ.)]. ISBN 978-5-9704-4527-3.
- Workinger JL, Doyle RP, Bortz J. Challenges in the Diagnosis of Magnesium Status. *Nutrients*. 2018 Sep 1;10(9):1202. doi: 10.3390/nu10091202.
- Witkowski M, Hubert J, Mazur A. Methods of assessment of magnesium status in humans: a systematic review. *Magnes Res*. 2011 Dec;24(4):163-80. doi: 10.1684/mrh.2011.0292.
- Gullestad L, Nes M, Ronneberg R, et al. Magnesium status in healthy free-living elderly Norwegians. *J Am Coll Nutr*. 1994 Feb;13(1):45-50. doi: 10.1080/07315724.1994.10718370.
- Walker AF, Marakis G, Christie S, Byng M. Mg citrate found more bioavailable than other Mg preparations in a randomised, double-blind study. *Magnes Res*. 2003 Sep;16(3):183-91.
- Abraham GE, Flechas JD. Management of fibromyalgia: rationale for the use of magnesium and malic acid. *Journal of Nutritional Medicine*. 1992;3(1):49-59. doi: 10.3109/13590849208997961
- Kornberg MD, Bhargava P, Kim PM, et al. Dimethyl fumarate targets GAPDH and aerobic glycolysis to modulate immunity. *Science*. 2018 Apr 27;360(6387):449-453. doi: 10.1126/science.aan4665.
- Schuette SA, Lashner BA, Janghorbani M. Bioavailability of magnesium diglycinate vs magnesium oxide in patients with ileal resection. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*. 1994 Sep-Oct;18(5):430-5. doi: 10.1177/0148607194018005430.
- Kawai N, Sakai N, Okuro M, et al. The sleep-promoting and hypothermic effects of glycine are mediated by NMDA receptors in the suprachiasmatic nucleus. *Neuropsychopharmacology*. 2015 May;40(6):1405-16. doi: 10.1038/npp.2014.326.
- Slutsky I, Abumaria N, Wu LJ, et al. Enhancement of learning and memory by elevating brain magnesium. *Neuron*. 2010 Jan 28;65(2):165-77. doi: 10.1016/j.neuron.2009.12.026.
- Dyckner T, Wester PO. The relation between extra- and intracellular electrolytes in patients with hypokalemia and/or diuretic treatment. *Acta Med Scand*. 1978;204(4):269-82. doi: 10.1111/j.0954-6820.1978.tb08438.x.
- Classen HG. Magnesium orotate—experimental and clinical evidence. *Rom J Intern Med*. 2004;42(3):491-501. PMID: 16366126.
- Громова О.А., Торшин И.Ю., Калачева А.Г., и др. Молекулярные механизмы действия пидолата магния и его нейротропные эффекты. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2016;116(12):96-103. [Gromova OA, Torshin IYu, Kalacheva AG, et al. Molecular mechanisms of pidolate magnesium action and its neurotropic affects. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*. 2016;116(12):96-103. (In Russ.)]. doi: 10.17116/jnevro201611612196-103.
- Lindberg JS, Zobitz MM, Poindexter JR, Pak CY. Magnesium bioavailability from magnesium citrate and magnesium oxide. *J Am Coll Nutr*. 1990 Feb;9(1):48-55. doi: 10.1080/07315724.1990.10720349.
- Parra M, Stahl S, Hellmann H. Vitamin B₆ and Its Role in Cell Metabolism and Physiology. *Cells*. 2018 Jul 22;7(7):84. doi: 10.3390/cells7070084.
- Громова ОА, Торшин ИЮ, Тапильская НИ. Протеомный анализ магний-зависимых белков в системе «мать – плод – ребенок». *Медицинский Совет*. 2017;(1):66-76. [Gromova OA, Torshin IY, Tapilskaya NI. Proteomic analysis of magnesium-dependent proteins and children's health. *Meditsinskiy sovet = Medical Council*. 2017;(1):66-76. (In Russ.)]. doi: 10.21518/2079-701X-2017-1-66-76.