

Проблема дефицита магния и метаболический синдром

Е. А. Никитина^{1, 2}, С. В. Орлова^{1, 2}, Н. В. Балашова¹, Ю. А. Пигарева³

¹ ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов» (РУДН), Москва

² ГБУЗ «Научно-практический центр детской психоневрологии Департамента здравоохранения Москвы», Россия

³ ГБУЗ «Городская клиническая больница имени В. В. Виноградова Департамента здравоохранения Москвы», Россия

РЕЗЮМЕ

Наблюдающаяся в настоящее время в развитых странах эпидемия ожирения, инсулинорезистентности и сахарного диабета 2 типа требует поиска новых подходов к профилактике и терапии данных заболеваний. Наряду с несбалансированным по калорийности питанием в развитии метаболических нарушений принимает участие дефицит микронутриентов. Изменение рациона питания современного человека вследствие аграрной и пищевой технологической революций привело к появлению новых микронутриентных дефицитов, в первую очередь магния. Если его гипотоническое действие хорошо изучено, то положительное влияние магния на метаболизм, противовоспалительное и антиоксидантное действие находится в настоящее время в центре пристального внимания исследователей. Применение магния уменьшает инсулинорезистентность, улучшает антропометрические и лабораторные маркеры метаболического синдрома. Выявление дефицита магния, в том числе субклинического, и коррекция магниевое статуса являются важными задачами для профилактики и комплексной терапии метаболического синдрома. Учитывая более высокую биодоступность и меньшую частоту развития побочных эффектов предпочтение целесообразно отдавать органическим солям магния.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: магний, ожирение, метаболический синдром, сахарный диабет, артериальная гипертензия.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Публикация выполнена при поддержке Программы стратегического академического лидерства РУДН.

The problem of magnesium deficiency and metabolic syndrome

E. A. Nikitina^{1, 2}, S. V. Orlova^{1, 2}, N. V. Balashova¹, Yu. A. Pigareva³

¹ Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

² Scientific and Practical Center for Child Psychoneurology, Moscow Department of Health, Russia

³ City Clinical Hospital n.a. V. V. Vinogradov, Moscow, Russia

SUMMARY

The epidemic of obesity, insulin resistance and diabetes mellitus currently observed in developed countries requires new approaches to the prevention and treatment. Besides the hypercaloric diet micronutrient deficiency is involved in the development of metabolic disorders. Recent diet changes due to the agrarian and food technological revolutions has led to the emergence of new micronutrient deficiencies, primarily magnesium. While its hypotonic action is well studied, magnesium's positive effects on metabolism, anti-inflammatory and antioxidant effects are currently the focus of researchers' attention. The magnesium preparations reduce insulin resistance, improves anthropometric and laboratory markers of the metabolic syndrome. Detection of magnesium deficiency, including subclinical one, and correction of magnesium status are important tasks for the prevention and complex therapy of the metabolic syndrome. Given the higher bioavailability and lower incidence of side effects, organic magnesium salts are preferable.

KEYWORDS: magnesium, obesity, metabolic syndrome, diabetes mellitus, arterial hypertension.

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

The publication was made with the support of the RUDN University Strategic Academic Leadership Program.

Введение

Избыточная масса тела, инсулинорезистентность и вызываемые ими заболевания являются одной из наиболее актуальных медицинских и социальных проблем. Распространенность ожирения в 73 странах мира с 1980 г. удвоилась, и в 2016 году более 1,9 млрд взрослых имели избыточный вес, включая более 650 млн страдавших от ожирения. Согласно прогнозу, при сохранении имеющихся тенденций к 2030 году 60 % населения мира (3,3 млрд человек) могут иметь избыточный вес. В Российской Федерации в 2016 год у 62,0 % населения выявлялась избыточная масса тела, в том числе ожирение у 26,2 % [1, 2]. В большинстве развитых стран мира, включая Российскую Федерацию, отмечается существенный рост распространенности сахарного диабета 2 типа (СД 2 типа). По данным Федерального регистра, в России на январь 2022 г. на диспансерном учете

состояло 4,5 млн человек с СД 2 типа. Учитывая результаты эпидемиологического исследования NATION, предполагают, что реальная численность пациентов с СД составляет не менее 10 млн человек (около 7 % населения) [3].

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), с 1990 по 2019 год количество людей в мире, имеющих артериальную гипертензию (АГ), удвоилось и составило 1,28 млрд человек. При этом более половины людей с гипертензией (53 % женщин и 62 % мужчин) не получают эффективного лечения. Надлежащий контроль за величиной артериального давления наблюдался менее чем у каждой четвертой женщины и каждого пятого мужчины с гипертензией [4].

Не вызывает сомнения, что основной причиной формирования избыточной массы тела является дисбаланс

между потребляемой и затрачиваемой ежедневно энергией. Вместе с тем в развитие ожирения и инсулинорезистентности определенный вклад может вносить дефицит микронутриентов, в первую очередь магния. Установлено, что в результате изменения технологий в сельском хозяйстве и пищевой промышленности потребление магния населением развитых стран снизилось за последние 40 лет в среднем на 40 % [5]. Дополнительный вклад в формирование дефицита магния вносят злоупотребление алкоголем и прием лекарственных препаратов, относящихся к первой линии терапии широко распространенных соматических заболеваний (ингибиторы протонной помпы, петлевые и тиазидные диуретики, метформин и др.) [6–8].

Основная проблема с дефицитом магния заключается в том, что его недостаточное потребление не приводит к яркой клинической симптоматике. Чрезвычайно широкие референсные значения концентрации магния в сыворотке (0,66–1,07 ммоль/л), установленные современными лабораториями, не позволяют выявлять латентный клеточный дефицит магния [9]. За счет усиления усвоения в кишечнике, повышения реабсорбции в почках и мобилизации магния из клеток в кровотоке его концентрация в крови может длительное время поддерживаться в пределах референсных значений. Однако необходимо помнить, что магний является преимущественно внутриклеточным элементом и снижение его концентрации в клетках нарушает систему внутриклеточной регуляции множества эссенциальных процессов. В исследовании Atherosclerosis Risk in Communities Study при 6-летнем наблюдении было показано, что риск развития СД 2 типа увеличивается при снижении концентрации магния в сыворотке ниже 0,95 ммоль/л [10].

Магний принимает участие в синтезе ДНК и РНК, образовании и использовании АТФ, обмене белков, жиров, углеводов, витаминов и минералов, гормональной регуляции, контроле за интенсивностью воспалительной реакции и окислительного стресса [11]. Будучи четвертым по распространенности катионом в организме человека, магний регулирует активность ферментов, контролирующих около 80 % известных метаболических реакций [12].

Внутриклеточный магний имеет ключевое значение для функционирования киназ, крупнейшего суперсемейства ферментов, для кодирования которых предназначена одна пятидесятая из 24 000 человеческих генов. Известно, что в одной клетке присутствует до 300 различных киназ, каждая из которых регулирует определенное множество белков [11]. Магний оказывает влияние на все патогенетические звенья метаболического синдрома: абдоминальное ожирение, инсулинорезистентность, нарушения липидного обмена и величину артериального давления.

Артериальное давление

Гипотензивное действие препаратов магния хорошо изучено и длительное время применяется в клинической практике. Однако в настоящее время доказано, что магний играет роль не только в терапии, но и в профилактике АГ. Магний оказывает многофакторное влияние на величину артериального давления. Он подавляет образование альдостерона, стимулирует синтез предсердного натрийуретического пептида, а также играет важную роль в регуляции периферического сосудистого сопротивления. Магний снижает внутриклеточную концентрацию кальция, которая повышается под действием ангиотензина II; уменьшает образование норадреналина и опосредует продукцию оксида азота и простаглицлина эндотелием. За счет влияния на инсулинорезистентность, антиоксидантного и противовоспалительного действия магний регулирует не только функцию, но и структуру сосудов. Он уменьшает жесткость сосудистой стенки и подавляет кальцификацию сосудов при хронической болезни почек [13]. В метаанализе, объединившем результаты 6 исследований, было показано, что низкое потребление магния увеличивает риск развития АГ. Увеличение потребления магния на 100 мг/день, напротив, было связано со снижением риска возникновения гипертензии на 5 % [14]. При уже развившемся заболевании дефицит магния ухудшает контроль за артериальным давлением. Дополнительный пероральный прием магния в дозе от 240 мг/д и более повышает эффективность стандартной антигипертензивной терапии [15].

Избыточная масса тела и инсулинорезистентность

Магний оказывает большое и разностороннее влияние на углеводный и жировой обмен (рис. 1). Он принимает участие в регуляции электрической активности и секреции инсулина бета-клетками поджелудочной железы. Магний – составная часть активного центра ферментов гексокиназы и глюко-

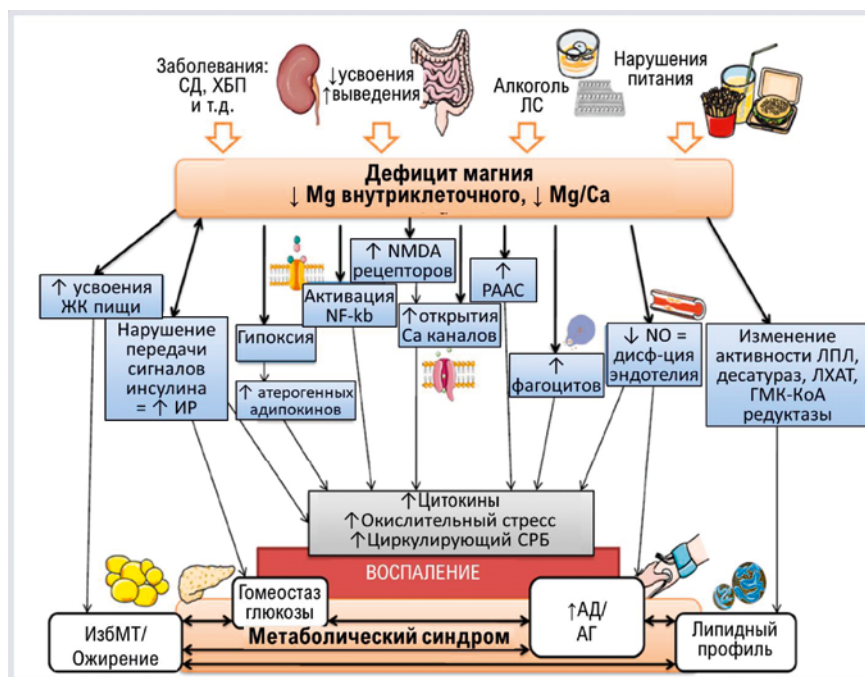


Рисунок 1. Влияние дефицита магния на развитие метаболического синдрома (адаптировано из публикации 17)

киназы, фосфофруктомутазы, енолазы и др., участвующих в углеводном обмене (глюконеогенез и гликолиз). Дефицит магния приводит к значительному снижению активности 6 из 10 гликолитических ферментов, способствуя развитию глюкозотолерантности тканей [16]. Гипомагниемия подавляет утилизацию глюкозы как в базальном, так и в инсулиностимулированном состоянии.

Внутриклеточная концентрация магния играет решающую роль в фосфорилировании рецептора инсулина и других сигнальных киназ клеток-мишеней. При контакте инсулина с рецептором происходит активация тирозинкиназы, которая запускает каскад биохимических реакций внутри клетки: активируется гликолиз и синтез гликогена, угнетаются гликогенолиз, глюконеогенез, липолиз и т.д. Активным центром тирозинкиназы является магний. В условиях дефицита магния развивается пострецепторное нарушение действия инсулина, снижаются транспорт и метаболизм глюкозы в клетках, формируется инсулинорезистентность [18].

Магний принимает участие в работе нескольких ферментов, регулирующих обмен липидов: десатураз, лецитинхолестеролацилтрансферазы (ЛХАТ), липопротеинлипазы (ЛПЛ) и 3-гидрокси-3-метил-глутарил-коэнзим а-редуктазы (ГМГ-КоА-редуктаза). Недостаток магния приводит к подавлению активности десатураз, ЛПЛ и ЛХАТ и, напротив, повышает активность ГМГ-КоА-редуктазы. В результате нарушается обмен ненасыщенных жирных кислот, происходит снижение концентрации холестерина ЛПВП и повышение уровней триглицеридов и холестерина ЛПНП [17].

Помимо этого, магний необходим для синтеза глутатиона и ряда других антиоксидантных соединений, а также для поддержания постоянства внутриклеточной концентрации кальция. Дефицит магния приводит к повышению концентрации кальция в клетке, который действует как мессенджер для развития хронического воспаления и окислительного стресса. Хроническое вялотекущее воспаление и окислительный стресс при ожирении, атеросклерозе и СД 2 типа не только усугубляются на фоне дефицита магния, но и приводят к дальнейшему снижению уровня магния в организме. Повышенная экспрессия белка PARK7 / DJ1 в ответ на окислительный стресс может привести к усилению оттока магния из клетки [19], таким образом замыкая порочный круг. В результате увеличивается риск развития сосудистых и неврологических осложнений [18].

Недостаточное потребление магния ассоциировано с повышенным риском развития СД 2 типа, ожирения и метаболического синдрома. В когортном метаанализе 26 публикаций, объединившем 1219 636 участников и 56540 случаев СД 2 за средний период наблюдения 11,2 года было обнаружено, что высокое потребление магния снижает вероятность возникновения СД 2 типа. При потреблении магния в количестве 363 мг/день риск развития СД был на 22 % ниже, чем при потреблении 227 мг магния в день [20]. Полиурия, характерная для сахарного диабета, усиливает выведение магния. У пациентов с СД 2 гипомагниемия встречается в 10 раз чаще, чем в популяции, и сама по себе способствует развитию мерцательной аритмии, сердечной недостаточности, макро- и микроциркуляторных осложнений [21].

В исследовании National Health and Nutrition Examination Study, проводившемся в 2001–2010 гг., обследование 9148 участников показало, что высокое потребление магния (> 355 мг/д) ассоциировано со снижением на 30 % риска формирования метаболического синдрома (95 % ДИ 0,57; 0,86) при сравнении с низким потреблением магния (< 197 мг/д) [22].

У пациентов с уже развившейся инсулинорезистентностью, СД 2 типа и ожирением прием магния способствует улучшению метаболических, антропометрических и физиологических показателей. В метаанализе 22 рандомизированных исследований было проанализировано влияние препаратов магния на массу тела. В исследованиях применялись различные дозы и режимы назначения микроэлемента: дозы варьировались от 48 до 450 мг в сутки, продолжительность приема составляла от 6 до 24 недель. Было показано, что магний способствует снижению индекса массы тела в среднем на $0,21$ кг/м² (95 % ДИ $-0,41$; $-0,001$, $p=0,048$, $I^2=89,5\%$). Наибольший эффект наблюдался у лиц, исходно имевших дефицит магния, инсулинорезистентность и ожирение [23].

Еще один обзор объединил данные исследований по влиянию магния на антропометрические индексы у пациентов с ожирением (индекс массы тела более 30). В дозе 168–625 мг/д препараты магния способствовали уменьшению объема талии в среднем на 2,09 см (95 % ДИ $-4,12$; $-0,07$, $p=0,040$; $I^2=0\%$) [24].

В метаанализе 26 рандомизированных клинических исследований было показано, что при нарушениях углеводного обмена дополнительный прием магния способствует улучшению обмена веществ. Прием препаратов магния на протяжении в среднем 12 недель приводил к снижению в плазме глюкозы натощак на $0,32$ ммоль/л (95 % ДИ $-0,59$; $-0,05$), глюкозы в глюкозотолерантном тесте через 2 часа – на $0,30$ ммоль/л (95 % ДИ $-0,58$; $-0,02$), инсулина натощак – на $0,17$ мМЕ/л (95 % ДИ $-0,30$; $-0,04$), индекса инсулинорезистентности НОМА – на $0,41$ (95 % ДИ $-0,71$; $-0,11$). Одновременно наблюдалось снижение концентрации триглицеридов, величины систолического и диастолического артериального давления [20].

Положительное действие магния при вялотекущем воспалении было подтверждено в большом количестве исследований. Метаанализ 11 из них показал: при исходно повышенной концентрации СРБ более > 3 мг/л прием магния способствует снижению концентрации в среднем на $-1,12$ мг/л (95 % ДИ $-2,05$; $-0,18$, $p=0,019$) [25].

Наряду с необходимостью коррекции дефицита магния актуальным остается вопрос об оптимальной форме используемых препаратов. Несмотря на то что в приведенных исследованиях применялись различные формы магния и все они показали клиническую эффективность, в настоящий момент можно считать доказанным, что органические формы магния обладают более высокой биодоступностью и реже вызывают побочные эффекты, чем неорганические. Органические соли магния (пидолат, цитрат, лактат и др.) значительно лучше усваиваются, по сравнению с оксидом, и лучше восполняют дефицит магния [26]. Усвоение магния зависит от дозы: из 360 мг усваивается



МАГНИЙ ХЕЛАТ

Единственный¹ в России легкодоступный магний
в хелатной форме



✦ В 5 раз выше
усвоение²

✦ Комфортная
переносимость²

✦ Доступная цена –
в 2 раза выгоднее³

**Легкодоступные минералы –
тренд в клинической практике**

¹ В ассортименте ЗАО «Эвалар». ² Даррейл Дж. Графф, Харви Х. Эшмед, Чарльз Хартли. Усвоение магний-содержащих соединений в сравнении с хелатами, произведенными из источников гидролизованного белка, в срезах тонкой кишки крыс, в лабораторных условиях (1996).
³ По данным АО «Группа ДСМ» по итогам 2021 г.

НЕ ЯВЛЯЕТСЯ ЛЕКАРСТВЕННЫМ СРЕДСТВОМ

51–60%, из 550–850 мг – всего 15–36%. Прием больших доз оксида или сульфата магния может приводить к диарее и потенциально снижать всасывание магния. На усвоение магния также может влиять присутствие белка, пищевых волокон, фитатов, кальция и витамина D [27].

Таким образом, результаты проведенных исследований наглядно свидетельствуют о широкой распространенности недостаточного потребления магния в современном обществе, о важнейшем влиянии магния на углеводный и жировой обмен как с профилактической, так и с лечебной точек зрения. Дополнительный прием магния здоровыми людьми способствует снижению риска развития сахарного диабета, артериальной гипертензии и ожирения. У людей с имеющимися нарушениями обмена веществ магний повышает эффективность лекарственной терапии и способствует улучшению антропометрических и метаболических показателей. При выборе препаратов магния целесообразно отдавать предпочтение легкоусвояемым, хорошо переносимым формам органического магния.

Список литературы / References

1. Кыткова О.Ю., Антонюк М.В., Кантур Т.А., Новгородцева Т.П., Денисенко Ю.К. Распространенность и биомаркеры метаболического синдрома // Ожирение и метаболизм. 2021;18(3):302–312. DOI: <https://doi.org/10.14341/omef12704>
2. Кыткова О.Ю., Антонюк М.В., Кантур Т.А., Новгородцева Т.П., Денисенко Ю.К. Prevalence and biomarkers in metabolic syndrome. Obesity and metabolism. 2021;18(3):302–312. DOI: <https://doi.org/10.14341/omef12704>
3. Клинические рекомендации. Ожирение. Одобрено Научно-практическим советом Минздрава РФ. Год утверждения 2020. https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/28_2
4. Clinical guidelines. Obesity. Approved by the Scientific and Practical Council of the Ministry of Health of the Russian Federation. Year of approval 2020. https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/28_2
5. Алгоритмы специализированной медицинской помощи больным сахарным диабетом / под ред. И.И. Дедова, М.В. Шестаковой, А.Ю. Майорова. – 10-й выпуск (дополненный). – М., 2021. DOI: <https://doi.org/10.14341/DM12802>
6. Algorithms of specialized medical care for patients with diabetes mellitus. Edited by I.I. Dedova, M.V. Shestakova, A.Yu. Mayorova. – 10th edition (updated). – M., 2021. DOI: <https://doi.org/10.14341/DM12802>
7. ВОЗ. Пресс-релизы. Более 700 млн человек живет с нелеченной гипертензией. <https://www.who.int/news/item/25-08-2021-more-than-700-million-people-with-untreated-hypertension>
8. WHO News. More than 700 million people with untreated hypertension. <https://www.who.int/news/item/25-08-2021-more-than-700-million-people-with-untreated-hypertension>
9. Romani AMP. Beneficial Role of Mg²⁺ in Prevention and Treatment of Hypertension. Int J. Hypertens. 2018 Jun 11;2018:9013721. DOI: [10.1155/2018/9013721](https://doi.org/10.1155/2018/9013721)
10. Ismail Y, Ismail AA, Ismail AA. The underestimated problem of using serum magnesium measurements to exclude magnesium deficiency in adults; a health warning is needed for (normal) results. Clin. Chem. Lab. Med. 2010 Mar;48(3):323–7. DOI: [10.1515/CCLM.2010.077](https://doi.org/10.1515/CCLM.2010.077)
11. Srinutta T, Chewcharat A, Takavatakam K, Praditpornsilpa K, Eiam-Ong S, Jaber BL, Suanthiphong P. Proton pump inhibitors and hypomagnesemia: A meta-analysis of observational studies. Medicine (Baltimore). 2019 Nov;98(44):e17788. DOI: [10.1097/MD.00000000000017788](https://doi.org/10.1097/MD.00000000000017788)
12. Wakeman P, Archer DT. Mefformin and Micronutrient Status in Type 2 Diabetes: Does Polypharmacy Involving Acid-Suppressing Medications Affect Vitamin B12 Levels? Diabetes Metab Syndr Obes. 2020 Jun 18;13:2093–2108. DOI: [10.2147/DMSO.S237454](https://doi.org/10.2147/DMSO.S237454)

Сведения об авторах

Никитина Елена Александровна, к.м.н., ассистент доцент кафедры диетологии и клинической нутрициологии, научный сотрудник^{1, 2}. E-mail: nikitina-ea1@rudn.ru. ORCID: 0000-0003-3220-0333

Орлова Светлана Владимировна, д.м.н., проф., зав. кафедрой диетологии и клинической нутрициологии, главный научный сотрудник^{1, 2}. E-mail: orlova-sv@rudn.ru. ORCID: 0000-0002-4689-3591

Балашова Наталья Валерьевна, к.б.н., доцент кафедры диетологии и клинической нутрициологии¹. E-mail: balashovaN77@mail.ru. ORCID: 0000-0002-0548-3414

Пигарева Юлия Анатольевна, к.м.н., зав. отделением клинической диетологии³. E-mail: yupigareva@yandex.ru. ORCID: 0000-0003-4749-731X

¹ ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов» (РУДН), Москва

² ГБУЗ «Научно-практический центр детской психоневрологии Департамента здравоохранения Москвы», Россия

³ ГБУЗ «Городская клиническая больница имени В.В. Виноградова Департамента здравоохранения Москвы», Россия

Автор для переписки: Орлова Светлана Владимировна. E-mail: rudn_nutr@mail.ru

Для цитирования: Никитина Е.А., Орлова С.В., Балашова Н.В., Пигарева Ю.А. Проблема дефицита магния и метаболический синдром. Медицинский алфавит. 2023; (8): 48–52. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-8-48-52>.

9. Алан Х.Б. Ву. Клиническое руководство Тица по лабораторным тестам / пер/ с англ. (4-е изд., Elsevier, 2006). М.: Лабора, 2013. Clinical guide to laboratory tests by Tietz Norbert W., Translation from English. (4th edition Elsevier, 2006). M.: Labora, 2013.
10. Kao WH, Folsom AR, Nieto FJ, Mo JP, Watson RL, Brancati FL. Serum and dietary magnesium and the risk for type 2 diabetes mellitus: the Atherosclerosis Risk in Communities Study. Arch. Intern. Med. 1999 Oct 11;159(18):2151–9. DOI: [10.1001/archinte.159.18.2151](https://doi.org/10.1001/archinte.159.18.2151)
11. Ismail AAA, Ismail Y, Ismail AA. Chronic magnesium deficiency and human disease; time for reappraisal? QJM. 2018 Nov 1;111(11):759–763. DOI: [10.1093/qjmed/hcx186](https://doi.org/10.1093/qjmed/hcx186)
12. Catalano A, Bellone F, Chila D, Laddo S, Corica F. Magnesium disorders: Myth or facts? Eur. J. Intern. Med. 2019 Dec;70: e22–e24. DOI: [10.1016/j.ejim.2019.10.013](https://doi.org/10.1016/j.ejim.2019.10.013)
13. Schutte JC, Joosten MM, de Borst MH, Bakker JSL. Magnesium and Blood Pressure: A Physiology-Based Approach. Adv Chronic Kidney Dis. 2018 May;25(3):244–250. DOI: [10.1053/j.ackd.2017.12.003](https://doi.org/10.1053/j.ackd.2017.12.003)
14. Han H, Fang X, Wei X, Liu Y, Jin Z, Chen Q, Fan Z, Aaseth J, Hiyoshi A, He J, Cao Y. Dose-response relationship between dietary magnesium intake, serum magnesium concentration and risk of hypertension: a systematic review and meta-analysis of prospective cohort studies. Nutr. J. 2017 May 5;16(1):26. DOI: [10.1186/s12937-017-0247-4](https://doi.org/10.1186/s12937-017-0247-4)
15. Rosanoff A, Costello RB, Johnson GH. Effectively Prescribing Oral Magnesium Therapy for Hypertension: A Categorized Systematic Review of 49 Clinical Trials. Nutrients. 2021 Jan 10;13(1):195. DOI: [10.3390/nu13010195](https://doi.org/10.3390/nu13010195)
16. Guerrero-Romero F, Jaques-Chairez FO, Rodríguez-Morán M. Magnesium in metabolic syndrome: a review based on randomized, double-blind clinical trials. Magnes Res. 2016 Apr 1;29(4):146–153. DOI: [10.1684/mrh.2016.0404](https://doi.org/10.1684/mrh.2016.0404)
17. Pelczyńska M, Moszak M, Bogdański P. The Role of Magnesium in the Pathogenesis of Metabolic Disorders. Nutrients. 2022 Apr 20;14(9):1714. DOI: [10.3390/nu14091714](https://doi.org/10.3390/nu14091714)
18. Kostov K. Effects of Magnesium Deficiency on Mechanisms of Insulin Resistance in Type 2 Diabetes: Focusing on the Processes of Insulin Secretion and Signaling. Int J. Mol. Sci. 2019 Mar 18;20(6):1351. DOI: [10.3390/ijms20061351](https://doi.org/10.3390/ijms20061351)
19. Kolšek M, Montezano AC, Sponder G, Anagnostopoulou A, Vormann J, Touyz RM, Aschenbach JR. PARK7/DJ-1 dysregulation by oxidative stress leads to magnesium deficiency: implications in degenerative and chronic diseases. Clin. Sci. (Lond). 2015 Dec;129(12):1143–50. DOI: [10.1042/CS20150355](https://doi.org/10.1042/CS20150355)
20. Zhao B, Deng H, Li B, Chen L, Zou F, Hu L, Wei Y, Zhang W. Association of magnesium consumption with type 2 diabetes and glucose metabolism: A systematic review and pooled study with trial sequential analysis. Diabetes Metab. Res Rev. 2020 Mar;36(3): e3243. DOI: [10.1002/dmrr.3243](https://doi.org/10.1002/dmrr.3243)
21. Oost LJ, Tack CJ, de Baaij JHF. Hypomagnesemia and Cardiovascular Risk in Type 2 Diabetes. Endocr Rev. 2022 Nov 8; bnac028. DOI: [10.1210/edrv/bnac028](https://doi.org/10.1210/edrv/bnac028)
22. Moore-Schiltz L, Albert JM, Singer ME, Swain J, Nock NL. Dietary intake of calcium and magnesium and the metabolic syndrome in the National Health and Nutrition Examination (NHANES) 2001–2010 data. Br. J. Nutr. 2015 Sep 28;114(6):924–35. DOI: [10.1017/S0007114515002482](https://doi.org/10.1017/S0007114515002482)
23. Askari M, Mozaffari H, Jafari A, Ghanbari M, Darooghegi Mofrad M. The effects of magnesium supplementation on obesity measures in adults: a systematic review and dose-response meta-analysis of randomized controlled trials. Crit. Rev Food Sci. Nutr. 2021;61(17):2921–2937. DOI: [10.1080/10408398.2020.1790498](https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1790498)
24. Rafiee M, Ghavami A, Rashidian A, Hadi A, Askari G. The effect of magnesium supplementation on anthropometric indices: a systematic review and dose-response meta-analysis of clinical trials. Br. J. Nutr. 2021 Mar 28;125(6):644–656. DOI: [10.1017/S0007114520003037](https://doi.org/10.1017/S0007114520003037)
25. Simental-Mendia LE, Sahebkar A, Rodríguez-Morán M, Zambrano-Galvan G, Guerrero-Romero F. Effect of Magnesium Supplementation on Plasma C-reactive Protein Concentrations: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. Curr. Pharm Des. 2017;23(31):4678–4686. DOI: [10.2174/1381612823666170525153605](https://doi.org/10.2174/1381612823666170525153605)
26. Спасов А.А., Петров В.И., Иежича И.Н., Кравченко М.С., Харитонов М.В., Озеров А.А. Сравнительная фармакологическая активность органических и неорганических солей магния в условиях системной алиментарной гипомagneзмии // Вестник Российской академии медицинских наук. 2010;2:29–37.
27. Спасов А.А., Петров В.И., Иежича И.Н., Кравченко М.С., Харитонов М.В., Озеров А.А. Comparative pharmacological activity of organic and inorganic magnesium salts in conditions of systemic alimentary hypomagnesemia. Bulletin of the Russian Academy of Medical Sciences. 2010; 2:29–37.
28. Institute of Medicine (US) Standing Committee on the Scientific Evaluation of Dietary Reference Intakes. Dietary Reference Intakes for Calcium, Phosphorus, Magnesium, Vitamin D, and Fluoride. Washington (DC): National Academies Press (US); 1997. PMID: 23115811.

Статья поступила / Received 20.03.23
Получена после рецензирования / Revised 23.03.23
Принята в печать / Accepted 24.03.23

Abouts authors

Nikitina Elena A., PhD Med, assistant professor of Dept of Dietetics and Clinical Nutritionology, Researcher^{1, 2}. E-mail: nikitina-ea1@rudn.ru. ORCID: 0000-0003-3220-0333

Orlova Svetlana V., DM Sci (habil.), professor, head of Dept of Dietetics and Clinical Nutritionology, Chief Researcher^{1, 2}. E-mail: orlova-sv@rudn.ru. ORCID: 0000-0002-4689-3591

Balashova Natalya V., PhD Bio Sci, assistant of Dept of Dietetics and Clinical Nutritionology¹. E-mail: balashovaN77@mail.ru. ORCID: 0000-0002-0548-3414

Pigareva Yulia A., PhD Med, head of Dept of Clinical Dietetics³. E-mail: yupigareva@yandex.ru. ORCID: 0000-0003-4749-731X

¹ Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

² Scientific and Practical Center for Child Psychoneurology, Moscow Department of Health, Russia

³ City Clinical Hospital n.a. V.V. Vinogradov, Moscow, Russia

Corresponding author: Orlova Svetlana V. E-mail: rudn_nutr@mail.ru

For citation: Nikitina E.A., Orlova S.V., Balashova N.V., Pigareva Yu.A. The problem of magnesium deficiency and metabolic syndrome. Medical alphabet. 2023; (8): 48–52. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-8-48-52>.

