

<https://doi.org/10.36107/hfb.2022.i3.s147>

УДК 612.015.6:613.4:546.47

Обеспеченность цинком – важный показатель здоровья человека

А. В. Налетов¹, А. Н. Мацынин¹, М. А. Мацынина²

¹ Государственная образовательная организация высшего профессионального образования «Донецкий национальный медицинский университет имени М. Горького», Донецк, Донецкая Народная Республика

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Западный государственный И.И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Корреспонденция:**Налетов Андрей Васильевич**

ГОО ВПО «Донецкий национальный медицинский университет имени М. Горького»,
адрес: 83003, Донецкая Народная Республика, Донецк, пр. Ильича, 16
E-mail: nalyotov-a@mail.ru

Конфликт интересов:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов

Поступила: 24.08.2022**Принята:** 28.09.2022**Опубликована:** 30.09.2022**Copyright:** © 2022 Авторы**АННОТАЦИЯ**

Введение. Изучение физиологических потребностей организма человека в нутриентах в норме и при различной патологии является актуальным вопросом современной нутрициологии. Цинк является одним из значимых эссенциальных микроэлементов, который участвует практически во всех процессах, протекающих в организме человека.

Цель. На основании данных ряда клинических исследований изучить влияние обеспеченности цинком на состояние здоровья человека и роль дефицита данного микроэлемента в развитии ряда патологических состояний.

Материалы и методы. Анализ данных современной научной литературы по вопросу влияния обеспеченности цинком на состояние здоровья человека.

Результаты и их применение. В статье представлены современные сведения о влиянии обеспеченности цинком на состояние здоровья человека. Рассматриваются клинические проявления дефицита цинка и влияние данного состояния на развитие различных патологических процессов. Наибольшее внимание уделяется обеспеченности цинком пациентов с патологией пищеварительной системы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

цинк, дефицит цинка, клинические проявления



Для цитирования: Налетов, А. В., Мацынин, А. Н., Мацынина, М. А. (2022). Обеспеченность цинком – важный показатель здоровья человека. *Health, Food & Biotechnology*, 4(3), 12–18. <https://doi.org/10.36107/hfb.2022.i3.s147>

<https://doi.org/10.36107/hfb.2022.i3.s147>

Zinc Availability is an Important Indicator of Human Health

Andrew V. Nalyotov¹, Alexander N. Matsynin¹, Maria A. Matsynina²

¹ M. Gorky Donetsk National Medical University, Donetsk, Donetsk People's Republic

² North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov

Correspondence:

Andrey V. Nalyotov,

Donetsk National Medical University, 16, Illich av., Donetsk, 83003, Donetsk People's Republic
E-mail: nalyotov-a@mail.ru

Declaration of competing interest:
none declared.

Received: 24.08.2022

Accepted: 28.09.2022

Published: 30.09.2022

Copyright: © 2022 The Authors

ABSTRACT

Introduction. The study of the physiological needs of the human body in nutrients in normal and in various pathologies is an actual issue of modern nutritionology. Zinc is one of the significant essential trace elements, which is involved in almost all processes occurring in the human body.

Purpose. Based on data from a number of clinical studies, to study the effect of zinc availability on human health and the role of deficiency of this micronutrient in the development of a number of pathological conditions.

Materials and methods. Analysis of the data of modern scientific literature on the influence of zinc availability on human health.

Results and conclusion. The article presents up-to-date information on the impact of zinc availability on human health. Clinical manifestations of zinc deficiency and the influence of this condition on the development of various pathological processes are considered. The greatest attention is paid to the provision of zinc to patients with pathology of the digestive system.

KEYWORDS

zinc, zinc deficiency, clinical manifestations



To cite: Nalyotov, A. V., Matsynin, A. N., Matsynina, M. A. (2022). Zinc availability is an important indicator of human health. *Health, Food & Biotechnology*, 4(3), 12–18. <https://doi.org/10.36107/hfb.2022.i3.s147>

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшим вопросом современной нутрициологии является изучение физиологических потребностей организма человека в нутриентах в норме и при различной патологии. Большинство «болезней цивилизации» — заболеваний, широко распространенных в экономически развитых странах, — относится к группе алиментарно-зависимых (Заикина и др., 2021).

Метаболизм — совокупность всех метаболитов, являющихся конечным продуктом обмена веществ в клетке, ткани, органе или организме. На сегодняшний день установлено, что тело человека состоит из 81 элемента: 4 основных (азот, углерод, водород, кислород), 8 макроэлементов (натрий, калий, кальций, хлор, фтор, магний, фосфор, сера) и 69 микроэлементов. В исследованиях доказано, что основные и макроэлементы составляют около 99 % массы тела человека. В число жизненно необходимых (элементы, недостаточное поступление которых вызывает нарушения жизненных функций организма человека) включены 8 микроэлементов: хром, медь, железо, йод, марганец, молибден, селен и цинк. Включаясь в состав различных белков, макро- и микроэлементы участвуют в сложных процессах регулирования гомеостаза. Очевидно, что необходимое поступление микроэлементов с пищей и, соответственно, поддержание их адекватных концентраций в организме является важным условием сохранения здоровья человека, а также лечения различных патологических процессов. Согласно мнению ряда исследователей, изучение участия макро и микроэлементов в метаболических процессах и выяснение причинно-следственных отношений их дефицита с развитием различных заболеваний является одним из приоритетных направлений исследования человеческого метаболизма (Хапалюк, 2021).

Целью работы было на основании данных ряда клинических исследований изучить влияние обеспеченности цинком на состояние здоровья человека и роль дефицита данного микронутриента в развитии ряда патологических состояний.

Цинк является одним из значимых эссенциальных микроэлементов, который участвует практически во всех процессах, протекающих в организме человека.

На сегодняшний день установлено, что около 10 % генов человеческого генома кодируют белки, связанные с цинком. Существует не менее 1700 белков, различно взаимодействующих с данным элементом. Значительная часть данных белков — транскрипционные факторы, необходимые для активации транскрипции тысяч генов. Цинк обнаружен в составе более 300 ферментов, регулирующих процессы синтеза и распада белков, углеводов, жиров, нуклеиновых кислот (Choi et al., 2018; Оберлис

и др., 2015; Сальникова, 2016). Считается, что катионы цинка выполняют в клетках каталитическую, структурную и регуляторную функции. Цинк оказывает влияние на дифференцировку и рост клеток, регуляцию проницаемости клеточных мембран, процессы мембранного транспорта, работу антиоксидантной системы, участвует в процессах воспаления, апоптоза, старения и канцерогенеза (Панасенко и др., 2018; Сальникова, 2016).

Установлено, что общее содержание цинка в организме человека составляет 2–4 г, из них 90 % концентрируется в депо — в скелетной мускулатуре (60 %) и костях (30 %). Лишь менее 1 % микроэлемента определяется в сыворотке крови (Choi et al., 2018).

Считается, что цинк находится в организме человека в форме двухвалентного катиона, который электростатически вступает во взаимодействие с анионами и отрицательно заряженными компонентами макромолекул, такими как белки, образует растворимые хелатные комплексы с аминокислотами и органическими кислотами.

Согласно мнению диетологов, установленные нормы потребности цинка — 5,5–15,0 мг/сутки в зависимости от страны, как правило, должны покрываться естественным приемом пищи и воды. Рекомендовано цинк употреблять в пищу ежедневно, поскольку в организме он не депонируется (Новикова и др., 2021). Считается, что цинк содержат устрицы, крабы, говядина, индейка, тунец, яйца и молочные продукты (сыры), корень имбиря, лук-порей, зелень горчицы, цельное зерно и продукты его переработки, бобовые (горох, чечевица), орехи (кешью), семена (тыквенные, подсолнечника) (Коробейникова и др., 2018). Установлено, что абсорбция цинка увеличивается по мере снижения содержания элемента в пищевом рационе. Низкое ежедневное поступление цинка с пищей быстро приводит к его дефициту. Абсорбция микроэлемента снижается при присутствии в пище пищевых волокон, фитатов, кадмия, железа, больших доз кальция и фолиевой кислоты. Всасывание цинка усиливается под воздействием глюкозы, лактозы, белков, особенно грудного молока и сои, которые формируют Zn-аминокислотные хелаты, повышающие абсорбцию микроэлемента.

Наше мнение основывается на результатах ряда исследований и выражается в том, что современный характер питания жителей городов достаточно часто приводит к развитию недостаточного поступления цинка в организм. Несмотря на довольно широкое распространение элемента в продуктах питания, недостаточное потребление данного микронутриента отмечается у 65–70 % здоровых мужчин и женщин до 40 лет в Западной Европе и у 50–80 % россиян (Студеникин и др., 2012). В целом распространенность развития дефицита цинка во всем мире составляет более 20 % (Choi et al., 2018).

Согласно результатам ряда исследований, важной причиной недостаточного обеспечения цинком организма человека является его дефицит в почве, что ведет к обеднению пищевого рациона жителей данным микроэлементом. Считается, что 80 % пахотных земель Российской Федерации бедны цинком, поэтому пищевые продукты, полученные в этих регионах, изначально могут содержать его недостаточное количество (Хапалюк, 2021).

По мнению исследователей, недостаток цинка чаще всего встречается в педиатрической практике в период активного роста ребенка. Считается, что наибольшая потребность в данном микроэлементе отмечается у детей в возрасте 10–12 лет у девочек и 11–14 лет у мальчиков. Дети младшего школьного возраста имеют дефицит цинка в 50 % случаев, а подростки – в 30 % (Хапалюк, 2021). В исследованиях установлено, что снижение уровня обеспеченности цинком может происходить у женщин в период беременности, что оказывает влияние на течение беременности, рост и развитие плода, а также уровень заболеваемости детей в младенческом возрасте (Lamberti et al., 2016). Считается, что концентрация цинка в сыворотке крови понижается при острых инфекционно-воспалительных процессах, травмах, интенсивных физических нагрузках и стрессе (Willoughby et al., 2014). Риск дефицита цинка увеличивается при приеме некоторых лекарственных средств (например, эстрогенов, глюкокортикоидов, мочегонных).

На сегодняшний день известно, что цинк оказывает влияние на работу иммунной системы организма. Даже незначительный дефицит цинка приводит к нарушению развития и дифференцировки Т- и В-лимфоцитов, снижению процессов синтеза антител, выработки цитокинов, активации системы комплемента, а также естественных клеток-киллеров и полиморфноядерных лейкоцитов, нарушению фагоцитоза, что реализуется в повышении восприимчивости человека к воздействию инфекционных патогенов (Skrajnowska et al., 2019).

Цинк непосредственно связан с гормональным статусом организма, определяя интенсивность синтеза гормона роста (соматотропина), гонадотропина и кортикотропина. Также микроэлемент участвует в превращении тироксина в метаболически активный трийодтиронин. Не исключено, что дефицит цинка подавляет синтез гормонов щитовидной железы и нарушает связывание трийодтиронина с ядерными рецепторами, что приводит к гипотиреозу. Дефицит цинка приводит к увеличению титра антител к ткани щитовидной железы (Трошина и др., 2020). Микроэлемент участвует в поддержании необходимого уровня тестостерона в организме, регулирует уровень его активного метаболита – дигидротестостерона. Также цинк ингибирует 5-альфа-редуктазу – фермент, превращающий тестостерон в эстроген. Цинк

стимулирует выработку женского полового гормона – прогестерона, обеспечивая нормальное функционирование желтого тела. Кроме того микроэлемент играет незаменимую роль при синтезе, накоплении и освобождении инсулина в клетках поджелудочной железы.

Согласно мнению исследователей, клинически выраженная алиментарная недостаточность цинка встречается редко. При этом субклинический дефицит данного микроэлемента может быть достаточно частым состоянием, которое не имеет специфических проявлений, что затрудняет его диагностику. Традиционно считается, что дефицит цинка характеризуется патологией опорно-двигательного аппарата (нарушение осанки, сколиоз, плоскостопие), пищеварительной, и нервной систем, аллергическими заболеваниями (атопический дерматит), часто и длительно протекающими вирусно-бактериальными инфекциями слизистых оболочек (носоглотки, бронхов, мочевых путей, кишечника).

Предполагается, что при дефиците цинка могут наблюдаться такие неспецифические состояния, как нарушения сна, ухудшение состояния кожи (склонность к гнойничковым заболеваниям, угревой сыпи, увеличение длительности заживления ран), снижение аппетита, депрессия, замедленный рост, дефицит массы тела.

Лабораторная диагностика дефицита цинка считается достаточно затруднительной. Из лабораторных методов наиболее часто используется определение концентрации цинка в сыворотке крови. Диагноз дефицита цинка ставится в том случае, если содержание микроэлемента в сыворотке крови составляет менее 13 мкмоль/л. Однако для интерпретации сывороточных уровней цинка желательно определять не только его содержание в сыворотке крови, но и его экскрецию, что далеко не всегда возможно.

Установлено, что цинк абсорбируется в кишечнике активным (при умеренном потреблении – с помощью «насыщаемого переносчика» семейства hZIP1) и пассивным (при высоком потреблении цинка – парацеллюлярным движением) путями. Основная часть цинка адсорбируется в тонкой кишке: в двенадцатиперстной кишке всасывается 40–45 %, а в тощей и подвздошной – 15–21 %. В желудке и прямой кишке всасывается не более 2 % цинка. На щеточной кайме клетки слизистой оболочки кишечника ионы цинка, связанные с небольшими пептидами или аминокислотами, высвобождаются, абсорбируются с помощью переносчика и в цитозоле связываются с металлопротеинами и другими белками, а затем переходят в кровь (Студеникин и др., 2012).

С одной стороны, заболевания пищеварительной системы, сопровождающиеся синдромом мальабсорбции, приводят к возникновению дефицита цинка, с другой –

дефицит цинка оказывает влияние на функцию слизистой оболочки желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) (Hujuel, 2020).

Учитывая полученные сведения, следует ожидать развития дефицита цинка у пациентов с тяжелой патологией ЖКТ. Так, исследователями установлено, что при целиакии дефицит цинка наблюдается у 60–70 % пациентов, причем уровень дефицита микроэлемента зависит от степени атрофии кишечных ворсинок: при частичной атрофии дефицит цинка встречается у 60 % больных, при субтотальной – у 80 %, а при полной – у 92 % случаев (Wierdsma et al, 2013). При этом выявлено, что строгая безглютеновая диета приводит как к гистологической ремиссии, так и к нормализации уровня цинка в крови (Kreutz et al., 2020).

Механизмы развития дефицита цинка при целиакии до конца не изучены. Установлено, что дефицит цинка приводит к активации тканевой трансглутаминазы, активации Т-клеток у людей, генетически предрасположенных к целиакии, воспалению с атрофией ворсинок и усилению параклеточной проницаемости для глиадина через кишечный барьер (Li et al., 2022).

Согласно результатам исследований установлено, что дефицит цинка также типичен и для воспалительных заболеваний кишечника (ВЗК). Выявлено, что 15 % пациентов с ВЗК имеют дефицита данного микронутриента (Ghishan et al., 2017). Недавно проведенное исследование показало, что дефицит цинка у пациентов с болезнью Крона и язвенным колитом связан с плохими клиническими исходами: повышенным риском последующих госпитализаций, операций и осложнений, связанных с заболеванием. Авторы показали, что исходы улучшаются при нормализации уровня цинка, рекомендовали мониторинг обеспеченности данным микронутриентом и проведение его саплементации у пациентов с ВЗК по мере необходимости (Siva et al., 2017; Vasseur et al., 2020).

По мнению исследователей, снижение обеспеченности цинком может лежать в основе поддержания процессов воспаления и снижении уровня антиоксидантной защиты (Ohashi et al., 2019; Vaghari-Tabari et al., 2021). Доказано, что дефицит цинка может нарушать организацию плотных контактов и целостность эпителиального барьера кишечника, а саплементация микроэлементом снижает проникание антигенов через кишечную стенку.

Считается, что дефицит цинка при болезни Крона связан с плохим его всасыванием или недополучением микроэлемента с пищей из-за применения ограничительной диеты. Дефицит цинка у пациентов с язвенным колитом расценивается как следствие недоедания,

вызванного недостаточным пероральным приемом из-за заболевания, а не повреждением ткани толстой кишки (Hwang et al., 2012).

Традиционно считается, что цинк необходим для нормального развития и функционирования головного мозга. Именно головной мозг имеет наибольшую концентрацию данного микроэлемента (150 мкмоль/л) в организме, десятикратно превышающую его концентрацию в сыворотке крови. Ионы цинка участвуют в формировании мозга и его нейротрансмиссивной функции, выступая в качестве нейромодулятора и нейромедиатора синаптической передачи. Его содержание определяет во многом нормальные когнитивную и эмоциональную функции, сопряжен с механизмами памяти и восприимчивостью к обучению. Недостаточное поступление цинка с пищей оказывает влияние на гомеостаз в головном мозге, вызывая дисфункцию последнего, включая расстройства познания и нарушение обоняния. Учеными предполагается, что дефицит цинка приводит к снижению абсорбции дофамина в клетках, способствует развитию депрессии (Portbury et al., 2017).

Таким образом, согласно мнению многих исследователей, обеспеченность организма цинком является важнейшим показателем здоровья человека, а его дефицит лежит в патогенезе ряда заболеваний. Поддержание необходимой обеспеченности данного микронутриента является важнейшим фактором сохранения здоровья человека и коррекции ряда патологических процессов. На наш взгляд разработка индивидуальных схем саплементации цинка при различных заболеваниях и в периоды активного роста, повышении физических нагрузках, воздействии стрессовых факторов является актуальным вопросом современной медицины. Особенно актуальным данный аспект остается в педиатрической практике, учитывая, что именно в этот период идет активное становление функции всех органов и систем организма.

ВКЛАД АВТОРОВ

Налетов. А. В. — задумал и разработал анализ, разработал методологию и ее анализ, предоставил данные и инструменты анализа, провел анализ, написал статью.

Мацынин А. Н. — задумал и разработал анализ, разработал методологию и ее анализ, предоставил данные и инструменты анализа, провел анализ, написал статью.

Мацынина М. А. — задумала и разработала анализ, разработала методологию и ее анализ, предоставила данные и инструменты анализа, провела анализ, написала статью.

ЛИТЕРАТУРА

- Заикина, И. В., Комлева, Н. Е., & Микеров, А. Н. (2021). Роль витамина D, цинка и селена в развитии неинфекционных заболеваний (обзор литературы). *Гигиена и санитария*, 100(7), 730–735. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-7-730-735>
- Коробейникова, Т. В. (2018). Вегетарианство и микронутриенты. *Микронутриенты в медицине*, 19(2), 34–40.
- Новикова, В. П., & Хавкин, А. И. (2021). Дефицит цинка и микробиота кишечника. *Вопросы практической педиатрии*, 16(3), 92–98. <https://doi.org/10.20953/1817-7646-2021-3-92-98>
- Оберлис, Д., Скальный, А. В., Скальная, М. Г., Никоноров, А. А., & Никонорова, Е. А. (2015). Патофизиология микроэлементозов. Сообщение 2. Цинк. *Патогенез*, 13(4), 9–11.
- Панасенко, Л. М., Карцева, Т. В., Нефедова, Ж. В., & Задорина-Хуторная, Е. В. (2018). Роль основных минеральных веществ в питании детей. *Вестник перинатологии и педиатрии*, 63(1), 122–127. <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2018-63-1-122-127>
- Сальникова, Е. В. (2016). Потребность человека в цинке и его источники (обзор). *Микроэлементы в медицине*, 17(4), 11–15.
- Студеникин, В. М., Турсунхужаева, С. Ш., & Шелковский, В. И. (2012). Цинк в нейрорпедиатрии и нейродиетологии. *Лечащий врач*, 1, 44–47.
- Трошина, Е. А., & Сенюшкина, Е. С. (2020). Роль цинка в процессах синтеза и метаболизма гормонов щитовидной железы. *Клиническая и экспериментальная тиреодология*, 16(3), 25–30.
- Хапалюк, А. В. (2021). Биологическое и клиническое значение цинка. *Лечебное дело*, 2(77), 13–21.
- Choi, S., Liu, X., & Pan, Z. (2018). Zinc deficiency and cellular oxidative stress: prognostic implications in cardiovascular diseases. *Acta Pharmacologica Sinica*, 39(7), 1120–1132. <https://doi.org/10.1038/aps.2018.25>
- Ghishan, F. K., & Kiela, P. R. (2017). Vitamins and minerals in inflammatory bowel disease. *Gastroenterology Clinics of North America*, 46(4), 797–808. <https://doi.org/10.1016/j.gtc.2017.08.011>
- Hujoel, I. A. (2020). Nutritional status in irritable bowel syndrome: A North American population-based study. *JGH Open*, 4(4), 656–662. <https://doi.org/10.1002/jgh3.12311>
- Hwang, C., Ross, V., & Mahadevan, U. (2012). Micronutrient deficiencies in inflammatory bowel disease: from A to zinc. *Inflammatory Bowel Diseases*, 18(10), 1961–1981. <https://doi.org/10.1002/ibd.22906>
- Kreutz, J. M., Adriaanse, M. P. M., van der Ploeg, E. M. C., & Vreugdenhil, A. C. E. (2020). Narrative review: nutrient deficiencies in adults and children with treated and untreated celiac disease. *Nutrients*, 12(2), 500. <https://doi.org/10.3390/nu12020500>
- Lamberti, L. M., Fischer Walker, C. L., & Black, R. E. (2016). Zinc deficiency in childhood and pregnancy: evidence for intervention effects and program responses. *World Review of Nutrition and Dietetics*, 115, 125–133. <https://doi.org/10.1159/000442079>
- Li, Zh., Zhang, L., Li, L., & Du, Zh. (2022). Evaluation of serum levels of copper and zinc in patients with celiac disease seropositivity: findings from the National health and nutrition examination Survey. *Biological Trace Element Research*. <https://doi.org/10.1007/s12011-022-03212-8>
- Ohashi, W., & Fukada, T. (2019). Contribution of zinc and zinc transporters in the pathogenesis of inflammatory bowel diseases. *Journal of Immunology Research*, 8396878. <https://doi.org/10.1155/2019/8396878>
- Portbury, S. D., & Adlard, P. A. (2017). Zinc signal in brain diseases. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(8), E2506. <https://doi.org/10.3390/ijms18122506>
- Siva, S., Rubin, D.T., Gulotta, G., Wroblewski, K., & Pekow, J. (2017). Zinc deficiency is associated with poor clinical Outcomes in patients with inflammatory bowel disease. *Inflammatory Bowel Diseases*, 23(1), 152–157. <https://doi.org/10.1097/MIB.0000000000000989>
- Skrajnowska, D., & Bobrowska-Korczak, B. (2019). Role of zinc in immune system and anti-cancer defense mechanisms. *Nutrients*, 11(10), 2273. <https://doi.org/10.3390/nu11102273>
- Vaghari-Tabari, M., Jafari-Gharabaghlo, D., Sadeghsoltani, F., Hassanpour, P., Qujeq, D., Rashtchizadeh, N., & Ghorbanihaghjo, A. (2021). Zinc and selenium in inflammatory bowel disease: trace elements with key roles? *Biological Trace Element Research*, 199(9), 3190–3204. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02444-w>
- Vasseur, P., Dugelay, E., Benamouzig, R., Savoye, G., Hercberg, S., Touvier, M., Hugot, J. P., Julia, C., Lan, A., & Buscail, C. (2020). Dietary zinc intake and inflammatory bowel disease in the French NutriNet-Santé cohort. *The American Journal of Gastroenterology*, 115(8), 1293–1297. <https://doi.org/10.14309/ajg.0000000000000688>
- Wierdsma, N. J., van Bokhorst-de van der Schueren, M. A., Berkenpas, M., Mulder, C. J., & van Bodegraven, A. A. (2013). Vitamin and mineral deficiencies are highly prevalent in newly diagnosed celiac disease patients. *Nutrients*, 5(10), 3975–3992. <https://doi.org/10.3390/nu5103975>
- Willoughby, J. L., & Bowen, C. N. (2014). Zinc deficiency and toxicity in pediatric practice. *Current Opinion in Pediatrics*, 26(5), 579–584. <https://doi.org/10.1097/MOP.0000000000000132>

REFERENCES

- Zaikina, I. V., Komleva, N. E., & Mikerov, A. N. (2021). The role of vitamin D, zinc and selenium in the development of non-communicable diseases (review). *Gigiena i sanitarija* [Hygiene and Sanitation], 100(7), 730–735. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-7-730-735>
- Korobeynikova, T. V. (2018). Vegetarianism and micronutrients. *Mikronutrienty v medicine* [Micronutrients in Medicine], 19(2), 34–40.
- Novikova, V. P., & Khavkin, A. I. (2021). Zinc deficiency and intestinal microbiota. *Voprosy prakticheskoy pediatrii* [Questions of Practical Pediatrics], 16(3), 92–98. <https://doi.org/10.20953/1817-7646-2021-3-92-98>
- Oberlis, D., Skalny, A. V., Skalnaya, M. G., Nikonorov, A. A., & Nikonorova, E. A. (2015). [Pathophysiology of Microelementoses]. *Patogenez* [Pathogenesis], 13 (4). 9–11.
- Panasenko, L. M., Kartseva, T. V., Nefedova, Zh. V., & Zadornina-Khutornaya, E. V. (2018). The role of basic minerals in the nutrition of children. *Vestnik perinatologii i pediatrii* [Bulletin of Perinatology and Pediatrics], 63(1), 122–127. <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2018-63-1-122-127>
- Salnikova, E. V. (2016). The human need for zinc and its sources (review). *Mikroelementy v medicine* [Microelements in medicine], 17(4), 11–15.
- Studenikin, V. M., Tursunhuzhaeva, S. Sh., & Shelkovsky, V. I. (2012). Zinc in neuropsychiatry and neurodetology. *Lechashhij vrach* [Attending Physician], 1, 44–47.
- Troshina, E. A., & Senyushkina, E. S. (2020). The role of zinc in the synthesis and metabolism of thyroid hormones. *Klinicheskaja i jeksperimental'naja tireodologija* [Clinical and Experimental Thyroidology], 16(3), 25–30.
- Hapalyuk, A. V. (2021). Biological and clinical significance of zinc. *Lechebnoe delo* [Medical Business], 2(77), 13–21.
- Choi, S., Liu, X., & Pan, Z. (2018) Zinc deficiency and cellular oxidative stress: prognostic implications in cardiovascular diseases. *Acta Pharmacologica Sinica*, 39(7). 1120–1132. <https://doi.org/10.1038/aps.2018.25>
- Ghishan, F. K., & Kiela, P. R. (2017) Vitamins and minerals in inflammatory bowel disease. *Gastroenterology Clinics of North America*, 46(4), 797–808. <https://doi.org/10.1016/j.gtc.2017.08.011>
- Hujoel, I. A. (2020). Nutritional status in irritable bowel syndrome: A North American population-based study. *JGH Open*, 4(4), 656–662. <https://doi.org/10.1002/jgh3.12311>
- Hwang, C., Ross, V., & Mahadevan, U. (2012). Micronutrient deficiencies in inflammatory bowel disease: from A to zinc. *Inflammatory Bowel Diseases*, 18(10), 1961–1981. <https://doi.org/10.1002/ibd.22906>
- Kreutz, J. M., Adriaanse, M. P. M., van der Ploeg, E. M. C., & Vreugdenhil, A. C. E. (2020) Narrative review: nutrient deficiencies in adults and children with treated and untreated celiac disease. *Nutrients*, 12(2), 500. <https://doi.org/10.3390/nu12020500>
- Lamberti, L. M., Fischer Walker, C. L., & Black, R. E. (2016) Zinc deficiency in childhood and pregnancy: evidence for intervention effects and program responses. *World Review of Nutrition and Dietetics*, 115, 125–133. <https://doi.org/10.1159/000442079>
- Li, Zh., Zhang, L., Li, L., & Du, Zh. (2022). Evaluation of serum levels of copper and zinc in patients with celiac disease seropositivity: findings from the National health and nutrition examination Survey. *Biological Trace Element Research*. <https://doi.org/10.1007/s12011-022-03212-8>
- Ohashi, W., & Fukada, T. (2019). Contribution of zinc and zinc transporters in the pathogenesis of inflammatory bowel diseases. *Journal of Immunology Research*, 8396878. <https://doi.org/10.1155/2019/8396878>
- Portbury, S. D., & Adlard, P. A. (2017) Zinc signal in brain diseases. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(8), E2506. <https://doi.org/10.3390/ijms18122506>
- Siva, S., Rubin, D.T., Gulotta, G., Wroblewski, K., & Pekow, J. (2017) Zinc deficiency is associated with poor clinical Outcomes in patients with inflammatory bowel disease. *Inflammatory Bowel Diseases*, 23(1), 152–157. <https://doi.org/10.1097/MIB.0000000000000989>
- Skrajnowska, D., & Bobrowska-Korczak, B. (2019). Role of zinc in immune system and anti-cancer defense mechanisms. *Nutrients*, 11(10), 2273. <https://doi.org/10.3390/nu11102273>
- Vaghari-Tabari, M., Jafari-Gharabaghlo, D., Sadeghsoltani, F., Hassanpour, P., Qujeq, D., Rashtchizadeh, N., & Ghorbanihaghjo, A. (2021). Zinc and selenium in inflammatory bowel disease: trace elements with key roles? *Biological Trace Element Research*, 199(9), 3190–3204. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02444-w>
- Vasseur, P., Dugelay, E., Benamouzig, R., Savoye, G., Herberg, S., Touvier, M., Hugot, J. P., Julia, C., Lan, A., & Buscail, C. (2020). Dietary zinc intake and inflammatory bowel disease in the French NutriNet-Santé cohort. *The American Journal of Gastroenterology*, 115(8), 1293–1297. <https://doi.org/10.14309/ajg.0000000000000688>
- Wierdsma, N. J., van Bokhorst-de van der Schueren, M. A., Berkenpas, M., Mulder, C. J., & van Bodegraven, A. A. (2013). Vitamin and mineral deficiencies are highly prevalent in newly diagnosed celiac disease patients. *Nutrients*, 5(10), 3975–3992. <https://doi.org/10.3390/nu5103975>
- Willoughby, J. L., & Bowen, C. N. (2014). Zinc deficiency and toxicity in pediatric practice. *Current Opinion in Pediatrics*, 26(5), 579–584. <https://doi.org/10.1097/MOP.0000000000000132>