

ВАЖНОСТЬ ДИСБАЛАНСА МИКРОЭЛЕМЕНТОВ У ДЕТЕЙ, ПЕРЕНЕСШИХ COVID-19

Шарипова Д. Ж.

Ташкентский государственный медицинский университет 100109, Ташкент, Узбекистан, ул. Фарабий, 2. Тел: +99878 1507825; E-mail: info@tma.uz Email: dilnozasharipova692@gmail.com <https://orcid.org/0009-0003-7983-2992>

Аннотация:

В период восстановления после инфекции COVID-19 дисбаланс микроэлементов (серебро, бром, хлор, хром, ртуть, натрий, рений, скандий, уран и другие) у детей изменяет электролитный баланс, приводя к воспалительным и нарушениям минерального обмена. Данная статья глубоко анализирует патофизиологические механизмы дисбаланса, корреляционные связи и клиническую значимость.

Ключевые слова: COVID-19, дети, дисбаланс микроэлементов, серебро (Ag), бром (Br), хлор (Cl), хром (Cr), ртуть (Hg), натрий (Na), рений (Rb), полимикроэлементоз, корреляционный анализ, NAT, баланс кальций-фосфор, дефицит витамина D, повышенное потоотделение, депрессия, риск ОРВИ, минеральные комплексы.

Introduction

Введение

Пандемия COVID-19 в период восстановления у детей вызывает дисбаланс микроэлементов, изменяя электролитный и минеральный обмен. Согласно отчету JSST за 2025 год, пост-COVID состояния составляют 25-35% у детей, с воспалительными и метаболическими нарушениями (гипокальциемия, гипофосфатемия) как основными факторами риска [1]. Серебро (Ag), бром (Br), хлор (Cl), хром (Cr), ртуть (Hg), натрий (Na), рений (Rb) и другие микроэлементы обеспечивают стабильность клеточных мембран; дисбаланс через их снижение активирует воспалительные медиаторы (IL-6, TNF-α), усиливая клинические симптомы (депрессия, риск ОРВИ) [2].

Результаты исследования показывают, что по NAT 15 микроэлементов снижены, 2 (Cu, Mn) повышены, что составляет полимикроэлементоз (92%) [3]. В Узбекистане проекты ТМА (№03.3300567) развивают корреляционный анализ [4]. Данная статья подробно рассматривает корреляционные механизмы дисбаланса, различия по возрастным группам и клиническую значимость, предлагая алгоритм мониторинга и улучшение профилактики в педиатрии.

Материалы и методы

Исследование проведено в ретроспективно-проспективном методе. В ретроспективном методе изучены истории и результаты КТ грудной клетки 240 детей (1-18 лет; мальчики 61,7%), леченных в 3-й инфекционной больнице в 2020-2021 годах. В проспективном методе обследованы 112 детей (период восстановления, 1-3 месяца) в 33-й поликлинике и

ТМА. Контроль: 30 здоровых детей. Инклюзия: PCR-подтвержденный COVID-19, наличие симптомов; эксклюзия: генетические заболевания. Возрастные группы: раннее детство (1-3 года), дошкольный возраст (4-6 лет), младший школьный возраст (7-11 лет), старший школьный возраст (12-18 лет).

Микроэлементы определены методом NAT (Институт ядерной физики) в волосах (2-4 см, 0,1-0,2 г): 22 элемента (Ag, Br, Cl, Cr, Hg, Na, Rb и другие). В крови Ca, P, витамин D, Zn – биохимический анализ (AAS, HPLC). Корреляция: Спирмен r ($P<0,05$). Клиническая: VAS (депрессия), частота ОРВИ. Дисбаланс: классификация Авцина (полимикроэлементоз). Реабилитация: минеральные комплексы (Ca 500-800 мг/сут, P 400-600 мг/сут, 2-3 месяца), диета (богатая Ca: молочные продукты, зеленая листва). Статистика: STATISTICA, t-критерий, Пирсон r. Этика: Хельсинки, разрешение ТМА (№13-24/167-т).

Результаты

Ретроспективный анализ показал тяжелую форму COVID-19 в 15,8% (38 детей) и среднюю тяжесть в 84,2%; поражение легких на КТ в 20-50% случаев, среди фоновых заболеваний анемия 59,5% и хронический тонзиллит 41,2% преобладают. В период восстановления клиническая картина характеризуется повышенным потоотделением (63,3%), признаками депрессии (45%) и риском ОРВИ (35%), что связано с дисбалансом микроэлементов, и в тяжелых формах частота симптомов в 1,5-2 раза выше.

Микроэлемент	Контроль (n=30), мкг/г	Пост-COVID (n=112), мкг/г	Коэффициент снижения	p-значение
Ag (серебро)	0,25±0,008	0,12±0,005	2,1	<0,001
Br (бром)	5,4±0,18	3,2±0,12	1,7	<0,001
Cl (хлор)	150±5,2	98±3,1	1,5	<0,001
Cr (хром)	0,45±0,015	0,28±0,009	1,6	<0,001
Hg (ртуть)	0,08±0,003	0,04±0,001	2,0	<0,001
Na (натрий)	1200±38	780±25	1,5	<0,001
Rb (рений)	0,35±0,012	0,22±0,007	1,6	<0,001

По NAT в волосах 15 микроэлементов снижены ($p<0,001$), что указывает на нарушение электролитного баланса: серебро (Ag) с 0,25±0,008 мкг/г до 0,12±0,005 мкг/г (снижение в 2,1 раза, ослабление клеточной защиты); бром (Br) с 5,4±0,18 мкг/г до 3,2±0,12 мкг/г (в 1,7 раза, активация воспалительных медиаторов); хлор (Cl) с 150±5,2 мкг/г до 98±3,1 мкг/г (в 1,5 раза, нарушение водно-солевого обмена); хром (Cr) с 0,45±0,015 мкг/г до 0,28±0,009 мкг/г (в 1,6 раза, замедление углеводного метаболизма); ртуть (Hg) с 0,08±0,003 мкг/г до 0,04±0,001 мкг/г (в 2 раза, затруднение детоксикации); натрий (Na) с 1200±38 мкг/г до 780±25 мкг/г (в 1,5 раза, изменение осмотического давления); рений (Rb) с 0,35±0,012 мкг/г до 0,22±0,007 мкг/г (в 1,6 раза, снижение активности нервной системы). Только медь (Cu) с 17,5±0,56 мкг/г до 22,75±0,72 мкг/г (рост в 1,3 раза) и марганец (Mn) с 0,42±0,014

мкг/г до $0,55 \pm 0,018$ мкг/г (в 1,3 раза) повышены, что указывает на окислительный стресс и активацию воспалительных медиаторов (цитокины). Эти изменения подтверждают полимикрозлементоз в 92% случаев, т.е. одновременный дефицит 5-8 элементов, в тяжелых формах (15,8%) этот показатель достигает 100%.

Различия по возрастным группам значительны: в раннем детском возрасте (1-3 года) Ca с 650 ± 22 мкг/г до 520 ± 18 мкг/г (снижение на 20%, высокий риск нарушения развития костей); в дошкольном возрасте (4-6 лет) Zn с $72,5 \pm 2,5$ мкг/г до $65,3 \pm 2,1$ мкг/г (снижение на 10%, ослабление иммунитета); в младшем школьном возрасте (7-11 лет) Fe с $18,2 \pm 0,6$ мкг/г до $14,8 \pm 0,5$ мкг/г (снижение на 19%, сильные признаки анемии); в старшем школьном возрасте (12-18 лет) Ca с 678 ± 21 мкг/г до $532,91 \pm 15,79$ мкг/г (снижение на 21% – самое резкое, связано с гормональными нарушениями подросткового возраста). Эти возрастные различия объясняются увеличением метаболической активности и привычками питания, в тяжелых формах снижения в 1,2-1,5 раза сильнее.

Анализы сыворотки крови подтверждают системный характер дисбаланса: цинк (Zn) с $13,56 \pm 0,38$ $\mu\text{mol/l}$ в тяжелой форме до $6,63 \pm 0,17$ $\mu\text{mol/l}$ (снижение в 2 раза, $p < 0,001$, усиление воспалительной реакции); кальций (Ca) с $2,20 \pm 0,03$ mmol/l до $1,53 \pm 0,03$ mmol/l (в 1,44 раза, $p < 0,001$, гипокальциемия в 75% случаев); фосфор (P) с $1,08 \pm 0,04$ mmol/l до $0,52 \pm 0,02$ mmol/l (в 2,08 раза, $p < 0,001$, гипофосфатемия в 80%, нарушение минерализации); витамин D с $40,40 \pm 1,65$ ng/ml до $6,82 \pm 0,19$ ng/ml (снижение в 5,9 раза, $p < 0,001$, высокий риск для иммунитета и здоровья костей). Эти изменения в тяжелых формах еще более резкие: Zn $6,63$ $\mu\text{mol/l}$ (в легкой форме $7,78$ $\mu\text{mol/l}$), вит D $6,82$ ng/ml (в средней форме $11,60$ ng/ml), что отражает влияние метаболического стресса вируса и воспалительных медиаторов (повышение кортизола). Гипокальциемия и гипофосфатемия в тяжелых формах наблюдаются в 85% случаев, что ослабляет костную и мышечную активность, продлевая период восстановления на 2-3 месяца.

Корреляционный анализ выявил связи между микроэлементами: в волосах между кальцием (Ca) и цинком (Zn) умеренная положительная корреляция ($r=0,3$, $p < 0,05$), что указывает на их совместное участие в минерализации; между Zn и железом (Fe) $r=0,4$ ($p < 0,05$), между Ca и Fe $r=0,4$ ($p < 0,05$), т.е. дефициты усиливаются совместно, приводя к анемии и ослаблению иммунитета. В сыворотке крови между Ca и фосфором (P) слабая обратная корреляция ($r=-0,2$, $p < 0,05$), что отражает конкуренцию в минеральном обмене; между витамином D и Zn умеренная обратная корреляция ($r=-0,3$, $p < 0,01$), т.е. снижение вит D ограничивает всасывание Zn; между Ca и витамином D умеренная положительная корреляция ($r=0,5$, $p < 0,01$), что подтверждает роль вит D в ассимиляции Ca. Между Zn и Cu обратная корреляция ($r=-0,44$, $p < 0,001$), между I и Se положительная ($r=+0,52$, $p < 0,001$), между Fe и вит D обратная ($r=-0,65$, $p < 0,001$).

Корреляции с клиническими симптомами демонстрируют практическую значимость дисбаланса: между Ca и повышенным потоотделением умеренная положительная корреляция ($r=0,6$, $p < 0,01$), между Ca и депрессией $r=0,6$ ($p < 0,01$), между Ca и риском ОРВИ $r=0,4$ ($p < 0,05$), т.е. дефицит Ca усиливает вегетативные и психологические нарушения; между P и повышенным потоотделением умеренная обратная корреляция ($r=-0,5$, $p < 0,01$), между P и депрессией $r=-0,4$ ($p < 0,01$), между P и ОРВИ $r=-0,5$ ($p < 0,01$), что

указывает на роль дефицита Р в облегчении симптомов. Между Zn и повышенным потоотделением положительная $r=0,3$ ($p<0,05$), между вит D и повышенным потоотделением обратная $r=-0,3$ ($p<0,01$), между вит D и депрессией обратная $r=-0,5$ ($p<0,01$). В тяжелых формах между Р и повышенным потоотделением обратная $r=0,3$, что подчеркивает интенсивность воспаления. Эти связи важны для клинического прогноза: тяжесть дефицитов увеличивает частоту симптомов в 1,5-2 раза.

В реабилитации минеральные комплексы (Са 500-800 мг/сут, Р 400-600 мг/сут) и диета (молочные продукты, богатые Са; зерновые, богатые Р) снизили повышенное потоотделение с 63,3% до 28%, риск ОРВИ с 35% до 12% ($p<0,001$), признаки депрессии с 45% до 22%. Эффективность по возрастным группам: в раннем детском возрасте 85%, в старшем школьном возрасте 75%. Экономический эффект: у 112 детей сэкономлено 52,4 млн сум (на ребенка 468 тыс. сум), поскольку ранний скрининг сократил период восстановления на 1-2 месяца.

Обсуждение

Дисбаланс микроэлементов в период восстановления после COVID-19 изменяет электролитный баланс: снижение Ag и Br (в 2,1-1,7 раза) ослабляет клеточные мембраны, усиливая воспаление, что повышает повышенное потоотделение (63,3%) и риск ОРВИ (35%) [5]. Дефицит Cl и Na (в 1,5 раза) нарушает водно-солевой баланс, провоцируя депрессию (45%), снижение Cr и Hg (в 1,6-2 раза) замедляет детоксикацию [6]. Повышение Cu и Mn (в 1,3 раза) указывает на окислительный стресс, что соответствует обратной корреляции Zn-Cu ($r=-0,44$) по Read et al. (2021) [7]. Возрастные различия: в старшем школьном возрасте снижение Са (на 21%) подчеркивает нарушения метаболизма подросткового периода [8].

Корреляции показывают в сыворотке обратную связь Са-Р ($r=-0,2$) и вит D-Zn ($r=-0,3$), объясняя гипокальциемию и гипофосфатемию; в волосах положительные $r=0,3-0,4$ между Са-Zn/Fe подтверждают совместное нарушение минерального обмена [9]. Клинически положительная $r=0,6$ между Са и повышенным потоотделением/депрессией, обратная $r=-0,5$ между Р и повышенным потоотделением, обратная $r=-0,5$ между вит D и депрессией указывают на усиление цитокинового шторма [10]. Эффективность минеральных комплексов (82%) соответствует работам Fugazzaro et al. (2022) по дефициту вит D [11]. Недостатки: ограниченные образцы NAT, но корреляционный анализ улучшает клинический мониторинг. Будущие исследования: RCT с биомаркерами (IL-6) [12].

Заключение

У детей, перенесших COVID-19, дисбаланс микроэлементов (Ag в 2,1 раза, Br в 1,7 раза снижение) приводит к электролитным и минеральным нарушениям, усиливая в клинике повышенное потоотделение (63,3%), депрессию (45%) и риск ОРВИ (35%). Корреляции по NAT (Са-Р $r=-0,2$; вит D-Zn $r=-0,3$) подтверждают полимикроэлементоз (92%), возрастные различия (в старшем школьном возрасте Са на 21% снижение) подчеркивают риск подросткового периода. Минеральные комплексы и диета дают 82% эффективности. Алгоритм мониторинга (ДГУ №22345) помогает в ранней диагностике.

Использованная литература

1. Всемирная организация здравоохранения. (2025). Отчет о пост-COVID здоровье детей. Женева: ВОЗ.
2. Evaluation of trace elements analysis in Pediatric Patients with COVID-19: A report from Turkey. medRxiv. 2022. doi:10.1101/2022.07.20.22277852.
3. Role of nutrient supplements in children with post-COVID condition. Italian Journal of Pediatrics. 2025;51:45. doi:10.1186/s13052-025-01620-8.
4. Circulating trace elements status in COVID-19 disease: A systematic review and meta-analysis. Redox Biology. 2022;55:102413. doi:10.1016/j.redox.2022.102413.
5. Role of Micronutrients in the Response to SARS-CoV-2 Infection in Children. Journal of Personalized Medicine. 2024;14(8):745. doi:10.3390/jpm14080745.
6. The Association Between COVID-19 Infection Severity and Micronutrient Deficiencies: A Cross-Sectional Study. Journal of Clinical Pediatrics. 2024;12(4):e149127. doi:10.5812/jcp-149127.
7. Serum zinc levels in pediatric patients with COVID-19. European Journal of Pediatrics. 2022;181:1-7. doi:10.1007/s00431-021-04348-w.
8. Prediction of survival odds in COVID-19 by zinc, age and selenium status. Redox Biology. 2020;37:101799. doi:10.1016/j.redox.2020.101799.
9. The underlying mechanism behind the different outcomes of COVID-19 in children and adults. Frontiers in Immunology. 2025;16:1440169. doi:10.3389/fimmu.2025.1440169.
10. Авцин А.П. (1991). Классификация клинических микроэлементозов. Москва: Медицина.
11. Fugazzaro S., et al. (2022). Витамин D и тяжесть COVID-19. Nutrients, 14(5):1050. doi:10.3390/nu14051050.
12. Read S.A., et al. (2021). Роль цинка в антивирусном иммунитете. Advances in Nutrition, 10(4):696-710. doi:10.1093/advances/nmab062.
13. Mohan M., et al. (2022). Дефицит цинка в патогенезе COVID-19. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology, 68:126-132. doi:10.1016/j.jtemb.2021.126832.