

МАТИ, ДИТИНА, МІКРОБІОМ: ТРИКУТНИК ЗДОРОВ'Я

Карпушенко Ю.В., Макєєва Н.І.

Харківський національний медичний університет, Харків, Україна

Актуальність. В останні роки в дитячій популяції суттєво збільшилась кількість старшого шкільного віку в Україні можуть вважатися здоровими. На здоров'я дітей впливає низка шкідливих факторів навколишнього середовища, інфекції, стрес. Основи здоров'я дитини закладаються ще до її народження. Програмування довгострокового здоров'я триває до 2–3 років, коли формується кишковий мікробіом, що є модулятором метаболізму, поведінкових реакцій, роботи імунної та нервової систем. Дані про кишковий мікробіом численні, проте недостатньо систематизовані.

Мета. Проаналізувати сучасні наукові джерела щодо впливу харчування на формування мікробіому дитини як фактора програмування довгострокового здоров'я.

Матеріали та методи. Дослідження проведено з використанням бібліосемантичного методу та системного аналізу. Пошук наукових джерел проведено в наукометричних базах PubMed, Scopus, Web of Science, Google Scholar, Wiley Online Library за 2015–2026 рр. До аналізу включено 121 джерело. Дослідження проведено в межах науково-дослідної роботи кафедр педіатричного профілю Харківського національного медичного університету «Медико-біологічні аспекти адаптації дітей з соматичною патологією в сучасних умовах» (2023–2026), номер державної реєстрації 0123U101768.

Етика дослідження. В ході роботи були відібрані літературні джерела, що описують дослідження, автори яких дотримувалися сучасних біоетичних норм.

Результати. Аналіз джерел показав, що збалансоване повноцінне харчування під час вагітності та на ранніх стадіях життя дитини відіграє ключову роль у формуванні кишкової мікробіоти дитини, яка є важливим фактором фізичного та нейропсихічного здоров'я, сприяє формуванню та дозріванню імунної системи. Харчування матері під час вагітності та дитини в перші роки життя може порушити цей процес. Неналежне формування кишкового мікробіому може негативно впливати на фізичний розвиток дитини, спричинити появу метаболічних, серцево-судинних, аутоімунних, алергічних та нейродегенеративних захворювань, діабету 2-го типу навіть у дорослому віці. Грудне вигодовування, своєчасне введення прикорму, застосування харчових втручань можуть допомогти створити здорову мікробіоту дитини з народження і таким чином «запрограмувати» довгострокове здоров'я.

Висновки. Формування здорового мікробіому має вирішальне значення для розробки цілеспрямованих харчових втручань з метою покращення здоров'я протягом усього життя.

Ключові слова: педіатрія і неонатологія, харчування дитини, харчування матері, мікробіоценоз, програмування здоров'я, дитяча нутриціологія.

Відповідальний автор: Карпушенко Ю.В.

✉ 4, пр. Науки, м. Харків,
61022, Україна.

E-mail: yv.karpushenko@knmu.edu.ua

Corresponding author: Karpushenko Yu.V.

✉ 4, Nauky ave., Kharkiv,
61022, Ukraine.

E-mail: yv.karpushenko@knmu.edu.ua

© Карпушенко Ю.В.,
Макєєва Н.І., 2025

CC BY-NC-SA

© Karpushenko Yu.V.,
Makieieva N.I., 2025



Цитуйте українською: Карпушенко ЮВ, Макієва НІ.

Мати, дитина, мікробіом: трикутник здоров'я.

Експериментальна і клінічна медицина. 2025;94(4):21c. In press.

<https://doi.org/10.35339/ekm.2025.94.4.kma>

Cite in English: Karpushenko YuV, Makieieva NI.

Mother, child, microbiome: the health trianagl.

Experimental and Clinical Medicine. 2025;94(4):21p. In press.

<https://doi.org/10.35339/ekm.2025.94.4.kma> [in Ukrainian].

Вступ

Нутритивні порушення у немовлят становлять серйозну проблему в усьому світі. Вони включають недоїдання, ожиріння, дефіцит мікроелементів та розвиток метаболічних неінфекційних захворювань, які набувають хронічних форм, можуть призводити до інвалідизації та навіть до летальних наслідків. За даними світової статистики 2022 р., близько 149 мільйонів дітей віком до 5 років мали затримку фізичного розвитку (зріст та вага не відповідають віковим нормам), 45 мільйонів – виснаження, а 37 мільйонів – надмірну вагу [1–6]. Причому такі порушення відмічені як у країнах з низьким, так і з високим рівнем доходу, що свідчить про глобальність проблеми.

Причиною дитячої мальнутриції є комплексні фактори, що включають: харчування (його якісний та кількісний склад), спосіб життя (гіподинамію, що призводить до зниження енерговитрат), вплив генетики, епігенетики, внутрішньоутробного середовища та кишкового мікробіому. Багатоцентрові дослідження підтверджують, що кишковий мікробіом тісно пов'язаний із коливаннями маси тіла, а також із загальним гомеостазом організму [7; 8]. Мікробіом дитини, своєю чергою, формується під впливом численних факторів навколишнього середовища та генетики організму [9–12], а харчування вважається одним із найбільш вагомих факторів. Саме тому сучасні програми харчування немовлят зосереджені на «перших 1 000 днях» – від зачаття до двох років життя. Ключові заходи включають виключно грудне вигодовування протягом шести місяців, своєчасне введення багатої на поживні речовини твердої їжі та адаптивні методи годування.

Метою дослідження був аналіз сучасних наукових джерел щодо впливу харчування на формування мікробіому дитини як фактора програмування довгострокового здоров'я.

Матеріали та методи

Дослідження проведено з використанням бібліосемантичного методу та системного аналізу. Пошук наукових джерел здійснено в наукометричних базах PubMed, Scopus, Web of Science, Google Scholar, Wiley Online Library за 2015–2026 рр. за ключовими словами: кишковий мікробіом, харчування матері, грудне вигодовування, пробіотики, прикорм, алергія, ожиріння, залізо, Bifidobacterium, Bacteroides.

До дослідження було включено: оригінальні дослідження за участю людей, систематичні огляди, метааналізи, дослідження на тваринах, клінічні випадки, що стосуються впливу харчування матері або дитини на кишковий мікробіом у період від зачаття до 5 років життя, опубліковані англійською мовою. Первинний пошук виявив 1 250 джерел. Після видалення дублікатів, а також скринінгу заголовків та анотацій, для повнотекстового аналізу було відібрано 250 статей, з яких до огляду включено 121 джерело. Якість доказів оцінювали за допомогою шкали AMSTAR-2 (A MeaSurement Tool to Assess systematic Reviews – інструмент для оцінки систематичних оглядів) та шкали Ньюкасла-Оттави (Newcastle-Ottawa Scale) для когортних досліджень.

Етика дослідження

У ході роботи було відібрано літературні джерела, що описують дослідження, автори яких дотримувалися сучасних біоетичних норм.

Результати

Дитячий фонд Організації Об'єднаних Націй (ЮНІСЕФ) та Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) зосереджують увагу на підтримці грудного вигодовування

та забезпеченні дотримання правил щодо замінників молока. Вони рекомендують ранній початок (протягом першої години) та виключне грудне вигодовування протягом перших шести місяців, підкреслюючи його вирішальне значення для формування імунної системи та запобігання інфекціям.

Вплив харчування матері під час вагітності

Важливе значення для адекватного формування мікробіому мають прекоцепційна підготовка, перебіг вагітності та характер пологів. Стан здоров'я вагітної жінки, наявність метаболічних порушень, захворювань, пов'язаних з харчуванням (ожиріння, надмірне збільшення ваги під час вагітності, гестаційний цукровий діабет (ГЦД або недоїдання), також впливає на становлення дитячого мікробіому. В дослідженнях було доведено, що у таких жінок кишковий мікробіом відрізняється від мікробіому метаболічно здорових жінок [13–19]. Змінена материнська мікробіота передається немовляті та зберігається протягом кількох місяців після народження [20–25]. При цьому мікробні зміни, асоційовані з ожирінням, ГЦД або недоїданням під час вагітності, можуть передаватися на генетичному рівні, програмуючи розвиток метаболічних захворювань, включаючи ожиріння та цукровий діабет 2-го типу [26–29], а також нейро-розвиткових аномалій [30; 31] у наступних поколіннях. Материнські мікробні метаболіти можуть потрапляти до плода трансплацентарно та діяти безпосередньо або через епігенетичні модифікації, впливаючи таким чином на розвиток задовго до народження [32–35]. Крім того, ці стани пов'язані з підвищеним ризиком ускладнень перебігу вагітності, таких як преєклампсія, передчасні пологи та сам ГЦД.

Подальший постнатальний початковий мікробіом формується під час пологів, коли організм немовляти заселяється материнськими мікробами, переважно з кишечника та вагінального тракту матері [35]. І будь-яке порушення складу материнського мікробіому, в тому числі через невагінальні пологи, може порушувати його склад

та негативно впливати на розвиток імунної системи. При цьому все більше доказів свідчать про те, що стан здоров'я та харчування матері мають подвійний вплив: вони впливають на власний мікробіом матері та на мікробіом немовляти, що має наслідки для здоров'я дитини протягом усього життя.

Склад, різноманітність та якість материнського раціону до та під час вагітності є ключовими модуляторами програм розвитку немовляти та колонізації мікробіому. Аналіз існуючих досліджень показує кореляцію між порушеннями харчування (як дефіцитом, так і надмірним споживанням поживних речовин) та підвищеним ризиком неінфекційних захворювань у потомства [36]. Так, високий рівень дотримання середземноморської дієти під час вагітності корелював з більшою кількістю мікроорганізмів, що продукують коротколанцюгові жирні кислоти (КЛЖК), у меконії новонароджених [37]. В іншому дослідженні було доведено вплив раціону матері на ризик поведінкових розладів у дітей [38]. Деякі метааналізи додатково підтверджують, що високоякісний раціон під час вагітності може знизити ризик низької ваги при народженні та передчасних пологах [39], кожен з яких незалежно пов'язаний з порушенням мікробіому немовлят [40–42]. При цьому зазначено, що найважливішими поживними речовинами, пов'язаними зі складом кишкової мікробіоти як немовлят, так і матерів, є дієти з високим вмістом жирів, жиророзчинних вітамінів та клітковини [43].

Розглянемо вплив певних компонентів їжі матері на мікробіом дитини згідно із сучасними теоріями.

Вплив клітковини

Відомо, що споживання клітковини сприяє колонізації мікробами, що продукують КЛЖК та підвищує мікробну різноманітність. Проведені дослідження підтверджують, що більше споживання клітковини матір'ю позитивно корелює з мікробною різноманітністю як у матері, так і у немовляти [43]. Дослідження з Тайваню та Австралії показують, що споживання матір'ю фруктів, овочів, клітковини та жирів сприяє

формуванню такого профілю мікробіоти немовлят, який корелює зі зниженим ризиком харчової алергії [44; 45]. Однак при цьому зазначено, що реакція на харчові волокна є індивідуальною та залежить від наявності ключових таксонів ферментації [46]. Важливо, що ці переваги найбільш виражені при тривалому дотриманні дієти, багатій на клітковину та розпочатої ще до зачаття, оскільки короткострокових змін під час вагітності недостатньо для суттєвої модуляції мікробних спільнот.

Вплив біотичних засобів (пробіотиків, пребіотиків)

Все частіше застосування «біотичних» (пробіотиків, пребіотиків, синбіотиків, постбіотиків) засобів під час вагітності стає ефективною стратегією модуляції мікробіому матері та дитини [47]. Так, метааналіз 219 клінічних досліджень показав, що споживання пробіотиків матір'ю корелює зі зниженням ризику алергічних наслідків у немовлят [48]. У Танзанії споживання йогурту, збагаченого *Lactocaseibacillus rhamnosus GR-1* та *Moringa*, збільшило кількість *Bifidobacterium* у фекаліях немовлят, одночасно зменшуючи кількість прозапальних представників *Enterobacteriaceae* [49]. Споживання кисломолочних ферментованих продуктів, таких як йогурт, кефір та сир, може мати аналогічні переваги, включаючи зниження ризику atopічного дерматиту та алергічного проктоколіту, індукованого харчовими білками [50–53].

Вплив жирів та білків

Вплив раціону, збагаченого білковими компонентами, на мікробіом дитини поки залишається недостатньо вивченим, однак наявні дослідження вказують на те, що джерело білка має значення. В одному дослідженні споживання молочних продуктів матір'ю позитивно пов'язувалося з кількістю клостридій та стафілококів, тоді як червоне та оброблене м'ясо корелювало з кількістю біфідобактерій [54]. В іншій когорті споживання риби матір'ю призвело до збагачення мікробіому кишечника немовляти біфідобактеріями, тоді як відсутність споживання риби була пов'язана

з домінуванням ешеріхій [55]. В дослідженнях з оцінки фізичного розвитку високе споживання тваринного білка та насичених жирів було пов'язане зі збільшенням z-показників індексу маси тіла (ІМТ) у дітей віком 18 місяців порівняно з раціоном, багатшим на рослинні білки та клітковину [56].

Материнська дієта з високим вмістом жирів за останніми даними негативно впливає на мікробне різноманіття і може порушити склад кишкового мікробіому як у матері, так і у дитини [57]. В дослідженнях зазначається про зниження загального мікробного різноманіття та виснаження бактероїдів, що негативно впливає на формування імунної системи та метаболізм поживних речовин. Дослідження на тваринах повідомляють про численні побічні ефекти, включаючи запалення низького ступеня, дисфункцію кишкового бар'єра, жирову дистрофію печінки та навіть зміни в поведінці потомства [57–60].

Вплив мікронутрієнтів (вітамінів, заліза)

Традиційно під час вагітності рекомендована суплементация вітамінами та мікронутрієнтами. Багато досліджень присвячено їх впливу на розвиток плода та новонародженого. Дійсно, дефіцит мікронутрієнтів може погіршити розвиток плода і мати постнатальні негативні наслідки, що опосередковуються кишковим мікробіомом. Дослідження показують, що дефіцит заліза, цинку, магнію, фолієвої кислоти та вітамінів А і D у матері може порушити склад материнської та дитячої мікробіоти [61; 62]. В іншому рандомізованому дослідженні споживання ліпідної полікомпонентної харчової добавки вагітними призвело до більшої різноманітності мікробіоти у немовлят порівняно з немовлятами, чий матері отримували кілька звичайних мікронутрієнтів або окремо залізо та фолієву кислоту [63]. Крім того, у когортах із пренатальним споживанням вітаміну D виявлено меншу кількість потенційно патогенних бактерій, таких як *Clostridioides difficile* [64; 65], а також більшу загальну видову різноманітність [66]. Слід зауважити, що для вагітних жінок з ризиком дефіциту мікроелементів добавки є важливими для нормального

розвитку плода, і деякі ефекти можуть бути опосередковані саме мікробіомом, склад і функція якого залежать від доступності мікроелементів.

Вплив цукру, підсолоджувачів та харчових добавок

Вживання цукру, штучних підсолоджувачів та інших харчових добавок є дискусійним в сучасній нутриціології. Західна дієта відзначається значним споживанням харчових цукрів, таких як фруктоза, а також великою кількістю харчових добавок. Більшість харчових цукрів активно всмоктується в тонкому кишечнику, але при надмірному споживанні деякі з них можуть залишатися в товстій кишці. У дослідженні на щурах було показано, що материнська дієта з високим вмістом фруктози викликає гіпертонію, змінюючи кишкову мікробіоту у потомства чоловічої статі в ранньому та дорослому віці. А споживання пробіотичного штаму *Lactocasebacillus* та пребіотику інуліну під час вагітності та лактації захищає від цього ефекту [67]. Деякі підсолоджувачі (наприклад, сукралоза) погано всмоктується в тонкому кишечнику, і значна частина того, що потрапляє в організм, досягає товстої кишки. У проспективному канадському когортному дослідженні споживання штучно підсолоджених напоїв матір'ю під час вагітності було пов'язане зі змінами як у складі мікробіоти кишечника немовлят, так і в профілях їхніх метаболітів (вищий рівень сукцината та спермідину). Зміни в мікробних спільнотах включали виснаження бактероїдів та збагачення *Akkermansia muciniphila*. Ці зміни асоціювалися з вищим індексом маси тіла (ІМТ) немовлят віком один рік [68]. Отримані дані свідчать про те, що немовлята, народжені від матерів, які вживали підвищену кількість цукру під час вагітності, можуть мати вищий ризик змін мікробіому, пов'язаних зі схильністю до метаболічних захворювань у ранньому віці.

Окрім штучних підсолоджувачів, на кишковий мікробіом можуть впливати інші численні харчові добавки [69; 70]. Найважливіші дослідження стосуються переважно моделей на тваринах, і всі вони свідчать

про негативний вплив на кишкову мікробіоту (у тому числі збільшення кількості бактерій роду *Helicobacter*), порушення кишкового бар'єру та асоційовані зі збільшеним ризиком розвитку ожиріння й харчової алергії [71–73].

Вплив ксенобіотиків та забруднювачів

У складі сучасних продуктів харчування часто містяться різноманітні додаткові сполуки, такі як мікотоксини, важкі метали, хімічні залишки (пестициди, мікропластик та ветеринарні препарати). Зростаюча кількість даних показує, що ці ксенобіотики здатні погіршувати склад та функцію кишкового мікробіому [74–80], і очікується, що наслідки токсичності будуть більш шкідливими у пренатальний період та на ранніх стадіях життя [81]. Наразі невелика кількість досліджень присвячена впливу цих сполук на мікробіом матері або її дитини у пренатальний період. Більшість наявних досліджень зосереджені на тваринах. В експериментах показано, що споживання хімічних поліхлорованих біфенілів у пренатальний період через материнський раціон спричинило значні дефекти слизового бар'єру кишечника у потомства, посилення профілю маркерів запалення кишечника та порушення складу кишкової мікробіоти [82]. Цікаво, що пробіотики зменшують накопичення та вплив певних забруднюючих речовин. Так, споживання йогурту з додаванням *L. rhamnosus GR-1* мало захисний ефект проти подальшого підвищення рівня ртуті та миш'яку в крові у вагітних із групах ризику, але цей ефект не був значним у дітей [83]. Інші дослідження довели розвиток порушення гомеостазу кишкового бар'єру зі зниженням здатності боротися з кишковими патогенами [84]. Також було зареєстровано формування поведінкових порушень, подібних до розладів аутистичного спектра, пов'язаних зі змінами мікробіому та профілю КЛДЖК [85]. У людей вплив важких металів, таких як миш'як та цинк, на матір вплинув і на мікробіом немовлят, зменшивши різноманітність (миш'як) та знизивши чисельність біфідобактерій (цинк) [81]. Отримані дані викликають занепокоєння і потребують подальших досліджень.

Вплив води

Наскільки нам відомо, не існує систематичного огляду, що вивчає вплив споживання води на додаток до грудного молока протягом перших шести місяців. Всесвітня організація охорони здоров'я стверджує: «...концентрація поживних мінералів у питній воді може значною мірою впливати на загальне споживання мікроелементів та мінералів немовлятами та дітьми раннього віку... особливо це стосується немовлят, яких годують сумішшю протягом перших місяців життя, оскільки вони можуть бути найбільш вразливою групою, яка страждає від надмірної концентрації поживних речовин або забруднюючих речовин у питній воді». Грудне молоко задовольняє всі потреби здорових немовлят протягом перших шести місяців; 50 % цих потреб між 6-м і 12-м місяцями та 30 % – після 12-го місяця. Такі фактори, як пізній початок грудного вигодовування, ранній або пізній перехід на прикорм (раніше 4-го та пізніше 6-го місяця життя), дача води або підсолодженої води дитині, використання пляшечок та пустушок, освітній статус та зайнятість матері, брак інформації про грудне вигодовування та брак підтримки медичного персоналу/сім'ї, призводять до недостатнього рівня грудного вигодовування та споживання грудного молока. Батьки можуть відчувати потребу давати своїм дітям воду через турботу про ризик зневоднення, але оскільки вода практично не містить калорій, але підвищує відчуття ситості у немовляти, це може призвести до зниження споживання грудного молока, недостатньої кількості калорій, більшої втрати ваги в ранньому післяпологовому періоді. Інші більш «глобальні» наслідки – порушення формування імунної системи немовляти, підвищена захворюваність та смертність, зниження прив'язаності матері до немовляти, порушення розвитку, збільшення термінів перебування в лікарні, тривала фізіологічна жовтяниця.

Ще один ризик, пов'язаний з раннім введенням води – це водна інтоксикація. Крім того, накопичення шкідливих речовин, що надходять з водою, розглядається як

один із важливих факторів ризику для здоров'я [86]. У немовлят це може призводити до серйозних порушень, зокрема затримки нервово-психічного розвитку. Нітрати, хлор, алюміній та фтор – це проблеми для немовлят, які споживають суміші, виготовлені на водопровідній воді. З цієї причини для приготування дитячих сумішей рекомендовано використовувати бутильовану або кип'ячену водопровідну воду, або системи очищення води, які є безпечнішими.

Також споживання надмірної кількості води немовлятами може спричинити розвиток гіпонатріємії, оскільки фізіологічно нирки немовляти не можуть переробляти стільки ж води, скільки нирки дорослого. Це загрожує такими серйозними ускладненнями, як набряк мозку.

Впливу небезпечних факторів, що містяться у воді, найбільш вразливу категорію становлять діти на штучному вигодовуванні, зокрема ті, що отримують сухі форми, які потрібно регідратувати. В існуючих дослідженнях виявлено кореляцію впливу побутової води зі змінами в кишковому мікробіомі. Доведено, що тип води, що використовується (бутильована чи фільтрована), також по-різному впливає на метаболічні шляхи [49]. Ці ефекти, хоча ще не повністю охарактеризовані, можуть частково пояснити варіації мікробіоти серед дітей, яких годують сумішшю.

Наведені дані підкреслюють глибокий та багатогранний вплив материнського раціону та навколишнього середовища на мікробіом кишечника немовляти, як ключового фактора програмування здоров'я в цілому.

Вплив прикорму та грудного вигодовування

Період виключно грудного вигодовування, згідно з рекомендаціями ВООЗ та ЮНІСЕФ, має тривати близько шести місяців, після чого можна починати вводити тверду їжу. Але на практиці досить часто це відбувається раніше – використовуючи «вікно можливостей», рекомендоване для багатьох категорій дітей із груп ризику (зокрема при ризику алергічних захворювань), батьки вводять прикорм у віці від чотирьох до шести місяців. Згідно з результатами дослідження,

раннє відлучення від грудей (до 4 міс.) супроводжується підвищеним ризиком надмірної ваги в подальшому житті [87; 88], що пояснюється можливим передчасним виснаженням корисних біфідобактерій, які, як відомо, відіграють вирішальну роль в імунній регуляції [89; 90]. Підвищення цього ризику визначається у дітей на штучному вигодовуванні [91]. Перехід від молока до твердої їжі знаменує собою ключову віху розвитку, що характеризується збільшенням мікробного різноманіття та переходом до мікробіоти більш «дорослого» складу. Це включає розширення таксонів, пов'язаних з дорослими, зокрема зменшення біфідобактерій та одночасну їхню заміну на бактерії з родин *Lachnospiraceae* та *Ruminococcaceae* [92]. Хоча висока різноманітність мікробіоти зазвичай вважається корисною для дорослих, її інтерпретація в ранньому дитинстві є неоднозначною.

Серед немовлят на штучному вигодовуванні введення твердої їжі супроводжується підвищенням рівнів стрептококів та копробацил, а також відносним збільшенням біфідобактерій [92].

Важливо, що під час переходу на тверду їжу, зміни мікробіому, що відбуваються, також пов'язані з функціональним дозріванням, перш за все, органів травлення. Гени, що беруть участь у метаболізмі складних вуглеводів, крохмалів, полісахаридів рослинного походження та ксенобіотиків, збагачуються разом з генами біосинтезу вітамінів [92]. Профілі КЛЖК також змінюються: на ранніх стадіях відлучення від грудей відбувається перехід від високого рівня сукцинату та низького рівня ацетату до підвищеного рівня лактату та формиату. Повне припинення грудного вигодовування супроводжується збільшенням синтезу бутирату (має протизапальну та захисну дію на кишківник, сприяє регуляції кишкової перистальтики, стимулює синтез гормону GLP-1, що регулює вагу та апетит, а також знижує ризик алергічних захворювань) та пропіонату (імуномодулюючий ефект, знижує ризик алергії), значною мірою завдяки поширенню таксонів *Clostridiales* [93].

Так само, як і в раціоні дорослої людини, введення продуктів, багатих на клітковину та білок, має особливо сильний вплив на мікробне різноманіття та міжвидову взаємодію, сприяючи кооперативній деградації резистентних крохмалів та рослинних полісахаридів [94].

Введення певних компонентів їжі також може мати різний вплив. Наприклад, раннє введення глютену (3–4 місяці) пов'язане зі зниженням ризику целіакії, тоді як високий рівень впливу глютену на ранніх стадіях життя може збільшити ризик діабету 1-го типу [95; 96]. Точна роль мікробіому в цих процесах залишається неясною, але являє собою важливий напрямок для майбутніх досліджень.

Залізо є критично важливим мікронутрієнтом у немовлячому віці, необхідним для імунної функції, нейророзвитку та загального росту. Для профілактики та лікування залізодефіцитної анемії широко впроваджуються стратегії збагачення та добавок, включаючи використання порошків мікронутрієнтів, що містять залізо [97]. Однак результати досліджень як на тваринах [98], так і на людях [99], свідчать про те, що добавки заліза можуть суттєво змінити кишковий мікробіом і потенційно посилити сприйнятливість до інфекцій. Було показано, що добавки заліза порушують баланс бактеріальних, грибкових та найпростіших спільнот у кишечнику [100; 101]. Як у тварин, так і у людей, залізо зменшує чисельність біфідобактерій, одночасно посилюючи ріст та вірулентність кишкових патогенів, таких як сальмонела, ешерихія колі, шигела та кампілобактер [102]. Однак ці ефекти є неоднозначними і їх слід розглядати в контексті комплексного впливу регіональних особливостей, навколишнього середовища, базового харчування та гігієнічних практик. Так, результати досліджень саплементації залізом у кенійських немовлят підтверджують цей ризик: прийом добавок заліза призвів до посилення колонізації кишковою паличкою, зменшення кількості корисних лактобактерій та підвищення рівня маркерів запалення кишечника [100–103]. А от подібне

втручання, проведене на південноафриканських немовлятах, не показало помітних змін у складі мікробіоти [104]. Крім того, залізо також може взаємодіяти з деякими методами лікування, потенційно знижуючи їхню ефективність – існують дані, які свідчать про те, що збагачення раціону залізом може знижувати ефективність антибіотиків широкого спектру дії проти кишкових інфекцій у дітей [105].

Отримані дані підкреслюють необхідність стратегій прийому заліза з урахуванням мікробіоти у немовлячому віці, особливо для вразливих категорій населення, де високими є як ризик інфекцій, так і дефіцит мікроелементів. Для вирішення цієї проблеми наразі проводять тестування новітніших рецептур. До них належать комбінації заліза з антиоксидантами, такими як вітамін Е [106], або з пробіотиками, які призначені для пом'якшення побічних ефектів із збереженням ефективності [107].

Харчові звички дітей раннього віку впливають на подальше формування складу мікробіому та здоров'я організму. У дітей, як і у дорослих, певні групи продуктів харчування пов'язані з різними мікробними профілями. Дослідження дітей віком від одного до двох років показало, що необроблені продукти (наприклад, м'ясо, риба, фрукти) позитивно корелюють з румінококами, бактероїдами та представниками родини *Lachnospiraceae*, тоді як оброблені продукти корелюють зі збільшенням кількості *Blautia* та *Clostridium* [108]. У австралійських дітей віком 2–3 роки споживання молочних продуктів негативно корелює із загальним мікробним різноманіттям, але позитивно пов'язане зі співвідношенням *Firmicutes*: *Bacteroidetes* та *Erysipelatoclostridium spp.* [109]. Споживання овочів позитивно корелює з *Lachnospira*, а споживання сої, бобових та горіхів пов'язано з більшою кількістю *Bacteroides xylanisolvens*, що має виражений протизапальний потенціал. Цікаво, що споживання яблук і груш негативно пов'язане з *R. Gnavus* (видом, що бере участь у запальних захворюваннях, включаючи хворобу Крона) [110]. Позитивний вплив на склад

мікробіому з високим мікробним різноманіттям, підвищеною кількістю корисних таксонів, що зберігалось до 4-річного віку показано й у нещодавньому клінічному дослідженні за участю 394 здорових немовлят, які отримували середземноморську дієту [111]. А збагачення раціону харчовими волокнами сприяє зростанню *Bacteroides* або *Prevotella*, які корелюють зі зниженим рівнем інсуліну в плазмі [112].

Дитячий мікробіом динамічно змінюється впродовж перших від 3 до 5 років життя, а за деякими даними і довше [94]. Незважаючи на його кількісний та якісний прогрес в перші роки життя, ювенільний мікробіом має меншу бактеріальну різноманітність, меншу функціональну складність та вищий ступінь міжособистісної варіації порівняно з дорослим [94]. Дані свідчать про те, що ювенільний мікробіом може бути менш стійким і демонструвати вищу пластичність, ніж дорослий [113–115]. Це означає, що перші роки життя можуть забезпечити можливості для втручань на основі дієти та мікробіоти для зміцнення здоров'я або запобігання дисбактеріозу.

Доведено, що про- та пребіотики можна використовувати для дієтичних втручань з метою впливу на здоров'я, що залежить від штаму та контексту. Наприклад, у немовлят та дітей раннього віку пробіотики знижують ризик поширених гострих інфекцій [113], а також частоту виникнення астми та полегшують її симптоми. Вважається, що втручання зі змішаними штамми пробіотиків мають посилений профілактичний та лікувальний ефект [114], хоча це твердження не є безперечним. Метааналіз, заснований на 19 рандомізованих контрольованих дослідженнях, не підтвердив рекомендації щодо використання багатокомпонентних пробіотиків для профілактики астми у немовлят [113]. Аналогічні результати рандомізованого контрольованого дослідження показали певну перспективність модуляції мікробіоти недоношених дітей у бік такої ж, як у доношених дітей, за допомогою багатоштамових пробіотиків, однак захисного ефекту проти колонізації

організмами з множинною лікарською резистентністю виявлено не було [115].

Окрім пробіотиків, дієтичне втручання також може бути використане для модуляції мікробіому і попередження розвитку як інфекційних, так і неінфекційних захворювань. У клінічному дослідженні за участю дітей з ожирінням (віком 3–16 років) дієта, збагачена неперетравлюваними вуглеводами, змінила кишкову мікробіоту, а також зменшила запалення та індекс маси тіла. Метагеномні та метаболомні дані показали значне збільшення експресії функціональних груп геному для виробництва ацетату в результаті ферментації вуглеводів та зменшення кількості метаболітів, зазвичай пов'язаних з несприятливими метаболічними наслідками після дієтичного втручання порівняно з вихідними показниками.

Кілька додаткових досліджень встановили зв'язок між дієтою, мікробіомом та станом здоров'я дітей. Аналіз результатів обстеження 361 дитини віком 3 роки в межах американського дослідження щодо впливу вітаміну D на зниження ризику астми виявив взаємозв'язок між дієтою, мікробіомом та астмою. Діти, яких годували грудьми більше ніж 4 місяці, мали нижчу захворюваність на астму до трьох років. Метаболомічний аналіз виявив причинно-наслідковий зв'язок, за допомогою якого кишкові метаболіти опосередковували частину зв'язку між споживанням смаженого та обробленого м'яса та астмою, причому родина Christensenellaceae та специфічні метаболіти плазми позитивно корелювали як з маркерами астми, так і з кишковими метаболітами, пов'язаними з астмою [116]. В іншому дослідженні південноафриканської когорти дітей віком від 1 до 3 років з харчовою алергією було виявлено, що споживання фастфуду принаймні один раз на тиждень було пов'язане з вищими показниками атопічного дерматиту у міських дітей, при цьому споживання ферментованого молока (амасі) показало захисний ефект і було пов'язане з нижчими показниками частоти атопічного дерматиту, астми та харчової алергії в міській когорті, але не мало жодного ефекту в сільській когорті. Дані щодо складу мікробіому були відсутні [117].

Згідно з деякими теоріями, ферментована їжа може бути альтернативним джерелом мікробів навколишнього середовища та мікробних метаболітів для дітей, зменшуючи ризик алергічних захворювань [118]. У тій самій африканській когорті збільшення щоденного споживання цукру та насичених жирів було пов'язане з меншою різноманітністю кишкового мікробіому та зниженням відносної чисельності *P. copri*. Немовлята з хворобою Альцгеймера також мали нижчий рівень *P. copri* [119]. Вважається, що *P. copri* має захисний ефект проти харчової алергії. Цікаво, що материнське носійство *P. copri* під час вагітності сильно передбачало відсутність харчової алергії у потомства [120; 121]. Ці дані свідчать про те, що мікробіом може опосередковувати певний вплив «нездорової» їжі (обробленого м'яса та високого щоденного споживання простих цукрів і насичених жирів) на здоров'я немовлят, зокрема на імунні порушення.

Обговорення результатів

Проведений аналіз літератури підтверджує, що кишковий мікробіом є ключовою ланкою, через яку харчування матері та дитини впливає на довгострокове програмування здоров'я. Отримані дані свідчать, що формування мікробіому починається внутрішньоутробно [32–35] і триває інтенсивно протягом перших трьох років життя [94]. Саме в цей період відбувається «метаболічне програмування» – процес, під час якого харчові стимули можуть визначати схильність до неінфекційних захворювань у дорослому віці [1]. Наші результати узгоджуються з концепцією DOHaD (Developmental Origins of Health and Disease – раннє програмування здоров'я та хвороб), яка наголошує на критичній ролі раннього харчування [6].

Вплив материнського харчування.

Аналіз джерел показав, що дієта вагітної жінки безпосередньо впливає на склад її власного мікробіому [13–19] та, опосередковано, на мікробіом новонародженого [20–25]. Зокрема, високе споживання клітковини сприяє колонізації кишки немовляти бактеріями, що продукують КЛДЖК [43; 46], які мають протизапальну та імуномодулюючу дію.

Ці результати підтверджуються дослідженнями, які демонструють зниження ризику алергічних захворювань у дітей, матері яких дотримувалися середземноморської дієти [37; 45]. Водночас дієта з високим вмістом насичених жирів та цукру асоціюється з дисбактеріозом, запаленням низького ступеня та підвищеним ризиком метаболічних порушень у потомства [57–60; 68]. Ці дані мають важливе клінічне значення, оскільки вони вказують на необхідність прекоцепційної підготовки та оптимізації харчування вагітних для профілактики захворювань у наступних поколінь [1; 26–29].

Роль грудного вигодовування та прикорму.

Грудне молоко є не лише джерелом поживних речовин, але й потужним модулятором мікробіому завдяки вмісту олігосахаридів, які вибірково стимулюють ріст *Bifidobacterium* [89; 90]. Наш огляд підтверджує, що виключно грудне вигодовування протягом перших шести місяців асоціюється з нижчою частотою алергічних захворювань та ожиріння в подальшому житті [87; 88; 91]. На відміну від цього, раннє введення прикорму (до 4 місяців) порушує природну сукцесію мікробіоти, зменшує кількість біфідобактерій та підвищує ризик надмірної ваги [92; 93]. Водночас введення твердої їжі у «вікно толерантності» (4–6 місяців) сприяє збільшенню мікробної різноманітності та дозріванню імунної системи [94; 110]. Ці результати узгоджуються з рекомендаціями ВООЗ та ЮНІСЕФ, але вони також підкреслюють необхідність індивідуального підходу, особливо у дітей з обтяженим алергологічним анамнезом [95; 96].

Вплив добавок заліза та мікронутрієнтів.

Особливої уваги заслуговує неоднозначний вплив добавок заліза на мікробіом немовлят. Наш огляд показує, що збагачення раціону залізом може зменшувати кількість *Bifidobacterium* та спричиняти рост умовно-патогенних ентеробактерій [100–102], що підвищує ризик кишкових інфекцій [103]. Однак цей ефект залежить від регіональних особливостей, базового харчування та супутньої терапії: у дослідженнях у Кенії спостерігали негативні наслідки [101; 102], тоді як у Південній Африці подібних змін не

було виявлено [104]. Цей контраст свідчить про те, що стратегії збагачення залізом мають бути персоналізованими та враховувати індивідуальні особливості мікробіому [107]. Аналогічні застереження стосуються добавок вітаміну D, які в одних когортах зменшували кількість потенційно патогенних бактерій [64; 65], а в інших не впливали на мікробіом [67]. Таким чином, хоча мікронутрієнтна підтримка є важливою, її слід застосовувати лише за наявності доведеного дефіциту.

Вплив ксенобіотиків та харчових добавок.

Окремий розділ огляду присвячено впливу забруднювачів довкілля та харчових добавок на мікробіом немовлят. Дані свідчать, що мікропластик [74–76], пестициди [78; 80], важкі метали [81] та деякі емульгатори [71; 72] здатні порушувати кишковий бар'єр, спричиняти дисбактеріоз та системне запалення. Особливо вразливими є немовлята, які отримують штучне вигодовування, оскільки водопровідна вода може містити залишкові концентрації цих сполук [86]. Ці результати підкреслюють необхідність суворого контролю якості води та продуктів дитячого харчування.

Клінічне значення та перспективи.

Результати цього огляду мають безпосереднє практичне значення для лікарів-педіатрів, неонатологів, сімейних лікарів та дієтологів. По-перше, вони обґрунтовують доцільність рутинного скринінгу харчових звичок вагітних та батьків дітей раннього віку. По-друге, вони надають доказову базу для рекомендацій щодо грудного вигодовування, своєчасного введення прикорму та обмеження продуктів з високим вмістом цукру, жирів та харчових добавок. По-третє, вони вказують на потенційну користь пробіотиків та пребіотиків для профілактики алергічних та метаболічних захворювань [47; 48; 114], хоча ефективність залежить від штаму та дозування [115].

Обмеження огляду. Незважаючи на комплексний аналіз, дане дослідження має кілька обмежень. По-перше, включені джерела гетерогенні за дизайном (когортні, рандомізовані дослідження, дослідження

на тваринах), що ускладнює метааналіз. По-друге, більшість досліджень проведено в країнах з високим рівнем доходу, тому екстраполяція результатів на популяції з іншими харчовими традиціями потребує обережності. По-третє, деякі включені роботи не мали корекції на множинні порівняння, що підвищує ризик випадкових асоціацій. По-четверте, ми не проводили формальної оцінки ризику публікаційної упередженості через велику кількість джерел. Незважаючи на ці обмеження, отримані дані є достатньо переконливими, щоб рекомендувати впровадження мікробіоморієнтованих харчових втручань у клінічну практику. Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку стандартизованих протоколів нутритивної підтримки з урахуванням індивідуальних особливостей мікробіому, а також на вивчення довгострокових ефектів таких втручань у різних популяціях.

Висновки

1. Харчування матері під час вагітності (споживання клітковини, пробіотиків, середземноморської дієти) позитивно впливає на формування мікробіому новонародженого, тоді як дієта з високим вмістом жирів, цукру та оброблених продуктів асоціюється з дисбактеріозом та підвищеним ризиком метаболічних та алергічних захворювань у потомства.

2. Грудне вигодовування є ключовим фактором формування здорового мікробіому (домінування *Bifidobacterium*), а раннє введення прикорму (до 4 місяців) асоціюється з підвищеним ризиком ожиріння. Введення твердої їжі у «вікно толерантності» (4–6 місяців) сприяє збільшенню мікробної різноманітності.

3. Додатки заліза у немовлят можуть зменшувати кількість *Bifidobacterium* та підвищувати ризик виникнення кишкових

інфекцій, що потребує індивідуального підходу. Збагачення раціону клітковиною та ферментованими продуктами (йогурт, кефір) сприяє зростанню бактерій, що продукують коротколанцюгові жирні кислоти, та знижує ризик алергії.

4. Перші роки життя є критичним вікном для мікробіоморієнтованих втручань (пробіотики, пребіотики, дієтичні зміни), які можуть запобігати розвитку хронічних захворювань у дорослому віці. Необхідні подальші рандомізовані контрольовані дослідження для розробки стандартизованих рекомендацій щодо харчування вагітних та дітей раннього віку з урахуванням індивідуальних особливостей мікробіому.

Перспективи подальших досліджень

Наступні дослідження можуть бути спрямовані на подальше вивчення впливу певних харчових компонентів на формування мікробіому для створення профілактичних стратегій шляхом застосування цілеспрямованих харчових втручань.

Декларації

Конфлікт інтересів відсутній

Усі автори надали згоду на публікацію статті на умовах ліцензії Creative Commons BY-NC-SA 4.0 International License та публічного договору з редакцією, на обробку та публікацію їхніх персональних даних.

Автори рукопису заявляють, що під час проведення досліджень, підготовки та редагування цього рукопису вони не використовували жодні інструменти чи сервіси генеративного штучного інтелекту (ШІ) для виконання завдань, перелічених у Таксономії делегування генеративного ШІ (Generative AI Delegation Taxonomy, GAIDeT, 2025). Усі етапи роботи (від розробки дослідницької концепції до фінального редагування) виконувалися авторами особисто.

Фінансування та подяки

Робота виконана в межах науково-дослідної роботи кафедр педіатричного профілю Харківського національного медичного університету «Медико-біологічні аспекти адаптації дітей з соматичною патологією в сучасних умовах» (2023–2026), номер державної реєстрації 0123U101768.

Внесок авторів

Внесок \ Автори	A	B	C	D	E	F
Карпушенко Ю.В.		+	+	+	+	+
Макєєва Н.І.	+	+			+	+

*Примітки:**A – концепція;**B – дизайн;**C – збір даних;**D – статистична обробка та інтерпретація даних;**E – написання або критичне редагування статті;**F – схвалення фінальної версії до публікації та згода нести відповідальність за всі аспекти роботи.***Література**

1. Mikkelsen B, Williams J, Rakovac I, Wickramasinghe K, Hennis A, Shin HR, et al. Life course approach to prevention and control of non-communicable diseases. *BMJ*. 2019;364:1257. DOI: 10.1136/bmj.1257. PMID: 30692103.
2. Fontaine F, Turjeman S, Callens K, Koren O. The Intersection of Undernutrition, Microbiome, and Child Development in the First Years of Life. *Nature communications*. 2023;14(1):3554. DOI: 10.1038/s41467-023-39285-9. PMID: 37322020.
3. Robertson RC, Manges AR, Finlay BB, Prendergast AJ. The Human Microbiome and Child Growth – First 1000 Days and Beyond. *Trends in Microbiology*. 2019;27(2):131-47. DOI: 10.1016/j.tim.2018.09.008. PMID: 30529020.
4. Wagner CL. Convergence of Two Fields-Breastfeeding and Lifestyle Medicine: Integrating Early Nutrition and Wellness for Lifelong Outcomes: A Tribute to Dr. Ruth Lawrence, A Pioneer in Both Fields. *Breastfeed Med*. 2025;20(3):163-9. DOI: 10.1089/bfm.2025.0003. PMID: 39949286.
5. Barratt MJ, Ahmed T, Gordon JI. Gut microbiome development and childhood undernutrition. *Cell Host Microbe*. 2022;30(5):617-26. DOI: 10.1016/j.chom.2022.04.002. PMID: 35550665.
6. United Nations Children’s Fund (UNICEF), World Health Organization (WHO), International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank. Levels and trends in child malnutrition: UNICEF / WHO / World Bank Group Joint Child Malnutrition Estimates: Key findings of the 2023 edition. New York: UNICEF and WHO; 2023. 32 p. Available at: <https://data.unicef.org/wp-content/uploads/2023/05/JME-2023-Levels-and-trends-in-child-malnutrition.pdf>
7. Sasidharan Pillai S, Gagnon CA, Foster C, Ashraf AP. Exploring the Gut Microbiota: Key Insights into Its Role in Obesity, Metabolic Syndrome, and Type 2 Diabetes. *J Clin Endocrinol Metab*. 2024;109(11):2709-19. DOI: 10.1210/clinem/dgae499. PMID: 39040013.
8. Van Hul M, Cani PD. The gut microbiota in obesity and weight management: microbes as friends or foe? *Nat Rev Endocrinol*. 2023;19(5):258-71. DOI: 10.1038/s41574-022-00794-0. PMID: 36650295.
9. Bonder MJ, Tigchelaar EF, Cai X, Trynka G, Cenit MC, Hrdlickova B et al. The influence of a short-term gluten-free diet on the human gut microbiome. *Genome Med*. 2016;8(1):45. DOI: 10.1186/s13073-016-0295-y. PMID: 27102333.
10. Rothschild D, Weissbrod O, Barkan E, Kurilshikov A, Korem T, Zeevi D, et al. Environment dominates over host genetics in shaping human gut microbiota. *Nature*. 2018;555(7695):210-5. DOI: 10.1038/nature25973. PMID: 29489753.
11. Zou L, Zhang Z, Chen J, Guo R, Tong X, Ju Y, et al. Unraveling the impact of host genetics and factors on the urinary microbiome in a young population. *mBio*. 2024;15(12):e0277324. DOI: 10.1128/mbio.02773-24. PMID: 39513726.

12. Qin Y, Havulinna AS, Liu Y, Jousilahti P, Ritchie SC, Tokolyi A, et al. Combined effects of host genetics and diet on human gut microbiota and incident disease in a single population cohort. *Nat Genet.* 2022;54(2):134-42. DOI: 10.1038/s41588-021-00991-z. PMID: 35115689.
13. Frishman S, Nuriel-Ohayon M, Turjeman S, Pinto Y, Yariv O, Tenenbaum-Gavish K, et al. Positive effects of diet-induced microbiome modification on GDM in mice following human faecal transfer. *Gut.* 2024;73(10):e17. DOI: 10.1136/gutjnl-2023-331456. PMID: 38182136.
14. Pinto Y, Frishman S, Turjeman S, Eshel A, Nuriel-Ohayon M, Shrossel O, et al. Gestational diabetes is driven by microbiota-induced inflammation months before diagnosis. *Gut.* 2023;72(5):918-28. DOI: 10.1136/gutjnl-2022-328406. PMID: 36627187.
15. Crusell MKW, Hansen TH, Nielsen T, Allin KH, Rühlemann MC, Damm P, et al. Gestational diabetes is associated with change in the gut microbiota composition in third trimester of pregnancy and postpartum. *Microbiome.* 2018;6(1):89. DOI: 10.1186/s40168-018-0472-x. PMID: 29764499.
16. Collado MC, Isolauri E, Laitinen K, Salminen S. Distinct composition of gut microbiota during pregnancy in overweight and normal-weight women. *Am J Clin Nutr.* 2008;88(4):894-9. DOI: 10.1093/ajcn/88.4.894. PMID: 18842773.
17. Calatayud M, Koren O, Collado MC. Maternal Microbiome and Metabolic Health Program Microbiome Development and Health of the Offspring. *Trends Endocrinol Metab.* 2019;30(10):735-44. DOI: 10.1016/j.tem.2019.07.021. PMID: 31493988.
18. Stanislawski MA, Dabelea D, Wagner BD, Sontag MK, Lozupone CA, Eggesbø M. Pre-pregnancy weight, gestational weight gain, and the gut microbiota of mothers and their infants. *Microbiome.* 2017;5(1):113. DOI: 10.1186/s40168-017-0332-0. PMID: 28870230.
19. Turjeman S, Collado MC, Koren O. The Gut Microbiome in Pregnancy and Pregnancy Complications. *Current Opinion in Endocrine and Metabolic Research.* 2021;18:133-8. DOI: 10.1016/j.coemr.2021.03.004.
20. Collado MC, Isolauri E, Laitinen K, Salminen S. Effect of mother's weight on infant's microbiota acquisition, composition, and activity during early infancy: a prospective follow-up study initiated in early pregnancy. *Am J Clin Nutr.* 2010;92(5):1023-30. DOI: 10.3945/ajcn.2010.29877. PMID: 20844065.
21. Tun HM, Bridgman SL, Chari R, Field CJ, Guttman DS, Becker AB, et al. Canadian Healthy Infant Longitudinal Development (CHILD) Study Investigators. Roles of Birth Mode and Infant Gut Microbiota in Intergenerational Transmission of Overweight and Obesity From Mother to Offspring. *JAMA Pediatr.* 2018;172(4):368-77. DOI: 10.1001/jamapediatrics.2017.5535. PMID: 29459942.
22. Singh SB, Madan J, Coker M, Hoen A, Baker ER, Karagas MR, et al. Does birth mode modify associations of maternal pre-pregnancy BMI and gestational weight gain with the infant gut microbiome? *Int J Obes (Lond).* 2020;44(1):23-32. DOI: 10.1038/s41366-018-0273-0. PMID: 30765892.
23. Baumann-Dudenhofer AM, D'Souza AW, Tarr PI, Warner BB, Dantas G. Infant diet and maternal gestational weight gain predict early metabolic maturation of gut microbiomes. *Nat Med.* 2018;24(12):1822-9. DOI: 10.1038/s41591-018-0216-2. PMID: 30374198.
24. Cerdó T. Maternal Obesity Is Associated with Gut Microbial Metabolic Potential in offspring During Infancy. *Journal of Physiology and Biochemistry.* 2018;74(1):159-69. DOI: 10.1007/s13105-017-0577-x. PMID: 28819768.
25. Deng L, Taelman S, Olm MR, Toe LC, Balini E, Ouedraogo W-BLO, et al. Maternal balanced energy-protein supplementation reshapes the maternal gut microbiome and enhances carbohydrate metabolism in infants: a randomized controlled trial. *Nature Communications.* 2025;16(1):2683. DOI: 10.1038/s41467-025-57838-y. PMID: 40102379.

26. Soderborg TK, Clark SE, Mulligan CE, Janssen RC, Babcock L, Ir D, Young B, et al. The gut microbiota in infants of obese mothers increases inflammation and susceptibility to NAFLD. *Nat Commun.* 2018;9(1):4462. DOI: 10.1038/s41467-018-06929-0. PMID: 30367045.
27. Wang J, Zheng J, Shi W, Du N, Xu X, Zhang Y, et al. Dysbiosis of maternal and neonatal microbiota associated with gestational diabetes mellitus. *Gut.* 2018;67(9):1614-25. DOI: 10.1136/gutjnl-2018-315988. PMID: 29760169.
28. Wagner VE, Dey N, Guruge J, Hsiao A, Ahern PP, Semenkovich NP, et al. Effects of a Gut Pathobiont in a Gnotobiotic Mouse Model of Childhood Undernutrition. *Science Translational Medicine.* 2016;(8):366ra164. DOI: 10.1126/scitranslmed.aah4669. PMID: 27881825.
29. Ponzo V, Ferrocino I, Zarovska A, Amenta MB, Leone F, Monzeglio C, et al. The Microbiota Composition of the Offspring of Patients with Gestational Diabetes Mellitus (GDM). *PLoS ONE.* 2019;(14):0226545. DOI: 10.1371/journal.pone.0226545. PMID: 31841548.
30. Nieto-Ruiz A, Cerdó T, Jordano B, Torres-Espínola FJ, Escudero-Marín M, García-Ricobaraza M, et al. Maternal weight, gut microbiota, and the association with early childhood behavior: the PREOBE follow-up study. *Child Adolesc Psychiatry Ment Health.* 2023;17(1):41. DOI: 10.1186/s13034-023-00589-9. PMID: 36945049.
31. Kaisanlahti A, Turunen J, Byts N, Samoylenko A, Bart G, Virtanen N, et al. Maternal microbiota communicates with the fetus through microbiota-derived extracellular vesicles. *Microbiome.* 2023;11(1):249. DOI: 10.1186/s40168-023-01694-9. PMID: 37953319.
32. Li Y, Toothaker JM, Ben-Simon S, Ozeri L, Schweitzer R, McCourt BT, et al. In utero human intestine harbors unique metabolome, including bacterial metabolites. *JCI Insight.* 2020;5(21):e138751. DOI: 10.1172/jci.insight.138751. PMID: 33001863.
33. Wang W, Gu W, Schweitzer R, Koren O, Khatib S, Tseng G, Konnikova L. In utero human intestine contains maternally derived bacterial metabolites. *Microbiome.* 2025;13(1):116. DOI: 10.1186/s40168-025-02110-0. PMID: 40329366.
34. Koren O, Konnikova L, Brodin P, Mysorekar IU, Collado MC. The maternal gut microbiome in pregnancy: implications for the developing immune system. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol.* 2024;21(1):35-45. DOI: 10.1038/s41575-023-00864-2. PMID: 38097774.
35. Mitchell CM, Mazzoni C, Hogstrom L, Bryant A, Bergerat A, Cher A, et al. Delivery Mode Affects Stability of Early Infant Gut Microbiota. *Cell Rep Med.* 2020;1(9):100156. DOI: 10.1016/j.xcrm.2020.100156. PMID: 33377127.
36. Chen LW, Aubert AM, Shivappa N, Bernard JY, Mensink-Bout SM, Geraghty AA, et al. Maternal dietary quality, inflammatory potential and childhood adiposity: an individual participant data pooled analysis of seven European cohorts in the ALPHABET consortium. *BMC Med.* 2021;19(1):33. DOI: 10.1186/s12916-021-01908-7. PMID: 33612114.
37. Sasaki T, Kawamura M, Okuno C, Lau K, Riel J, Lee MJ, Miller C. Impact of Maternal Mediterranean-Type Diet Adherence on Microbiota Composition and Epigenetic Programming of Offspring. *Nutrients.* 2023;16(1):47. DOI: 10.3390/nu16010047. PMID: 38201877.
38. Dawson SL, O'Hely M, Jacka FN, Ponsonby AL, Symeonides C, Loughman A, et al. Maternal Prenatal Gut Microbiota Composition Predicts Child Behaviour. *EBioMedicine.* 2021;(68):103400. DOI: 10.1016/j.ebiom.2021.103400. PMID: 34098340.
39. Gete DG, Waller M, Mishra GD. Effects of maternal diets on preterm birth and low birth weight: a systematic review. *Br J Nutr.* 2020;123(4):446-61. DOI: 10.1017/S0007114519002897. PMID: 31711550.
40. Henderickx JGE, Zwiittink RD, van Lingen RA, Knol J, Belzer C. The Preterm Gut Microbiota: An Inconspicuous Challenge in Nutritional Neonatal Care. *Front Cell Infect Microbiol.* 2019;9:85. DOI: 10.3389/fcimb.2019.00085. PMID: 31001489.
41. Desorcy-Scherer K, Bendixen MM, Parker LA. Determinants of the Very Low-Birth-Weight Infant's Intestinal Microbiome: A Systematic Review. *Journal of Perinatal and Neonatal Nursing.* 2020;(34):257-75. DOI: 10.1097/JPN.0000000000000506. PMID: 32697547.

42. Hiltunen H, Hanani H, Luoto R, Turjeman S, Ziv O, Isolauri E, et al. Preterm infant meconium microbiota transplant induces growth failure, inflammatory activation, and metabolic disturbances in germ-free mice. *Cell Rep Med.* 2021;2(11):100447. DOI: 10.1016/j.xcrm.2021.100447. PMID: 34841294.
43. Maher SE, O'Brien EC, Moore RL, Byrne DF, Geraghty AA, Saldo R, et al. The association between the maternal diet and the maternal and infant gut microbiome: a systematic review. *Br J Nutr.* 2023;129(9):1491-9. DOI: 10.1017/S0007114520000847. PMID: 32129734.
44. Vuillermin PJ, O'Hely M, Collier F, Allen KJ, Tang MLK, Harrison LC, et al. Maternal carriage of *Prevotella* during pregnancy associates with protection against food allergy in the offspring. *Nat Commun.* 2020;11(1):1452. DOI: 10.1038/s41467-020-14552-1. PMID: 32210229.
45. Fan HY, Tung YT, Yang YSH, Hsu JB, Lee CY, Chang TH, et al. Maternal Vegetable and Fruit Consumption during Pregnancy and Its Effects on Infant Gut Microbiome. *Nutrients.* 2021;13(5):1559. DOI: 10.3390/nu13051559. PMID: 34063157.
46. Makki K, Deehan EC, Walter J, Bäckhed F. The Impact of Dietary Fiber on Gut Microbiota in Host Health and Disease. *Cell Host Microbe.* 2018;23(6):705-15. DOI: 10.1016/j.chom.2018.05.012. PMID: 29902436.
47. Flores Ventura E, Lane JA, Turjeman S, Vidra N, Weiss GA, Gross G, et al. ILSI Europe perspective review: site-specific microbiota changes during pregnancy associated with biological consequences and clinical outcomes: opportunities for probiotic interventions. *Gut Microbes.* 2025;17(1):2501186. DOI: 10.1080/19490976.2025.2501186. PMID: 40397816.
48. Alemu BK, Wu L, Azeze GG, Lau SL, Wang Y, Wang CC. Microbiota-targeted interventions and clinical implications for maternal-offspring health: An umbrella review of systematic reviews and meta-analyses of randomised controlled trials. *J Glob Health.* 2024;14:04177. DOI: 10.7189/jogh.14.04177. PMID: 39269153.
49. Bisanz JE, Enos MK, PrayGod G, Seney S, Macklaim JM, Chilton S, et al. Microbiota at Multiple Body Sites during Pregnancy in a Rural Tanzanian Population and Effects of Moringa-Supplemented Probiotic Yogurt. *Appl Environ Microbiol.* 2015;81(15):4965-75. DOI: 10.1128/AEM.00780-15. PMID: 25979893.
50. Erçelik HC, Kaya V. The effects of fermented food consumption in pregnancy on neonatal and infant health: An integrative review. *J Pediatr Nurs.* 2024;75:173-9. DOI: 10.1016/j.pedn.2023.12.019. PMID: 38160470.
51. Tan T, Xiao D, Li Q, Zhong C, Hu W, Guo J, et al. Maternal yogurt consumption during pregnancy and infantile eczema: a prospective cohort study. *Food Funct.* 2023;14(4):1929-36. DOI: 10.1039/d2fo02064e. PMID: 36723007.
52. Sugimori N, Hamazaki K, Matsumura K, Kasamatsu H, Tsuchida A, Inadera H, et al. Association between maternal fermented food consumption and infant sleep duration: The Japan Environment and Children's Study. *PLoS One.* 2019;14(10):e0222792. DOI: 10.1371/journal.pone.0222792. PMID: 31584958.
53. Inoue M, Sugimori N, Hamazaki K, Matsumura K, Tsuchida A, Inadera H; Japan Environment and Children's Study (JECS) Group. Association Between Maternal Fermented Food Consumption and Child Sleep Duration at the Age of 3 Years: The Japan Environment and Children's Study. *BMC Public Health.* 2022;(22):1504. DOI: 10.1186/s12889-022-13805-6. PMID: 35933371.
54. Lundgren SN, Madan JC, Emond JA, Morrison HG, Christensen BC, Karagas MR, et al. Maternal diet during pregnancy is related with the infant stool microbiome in a delivery mode-dependent manner. *Microbiome.* 2018;6(1):109. DOI: 10.1186/s40168-018-0490-8. PMID: 29973274.
55. Simone M, Harshman SG, Castro I, Linnemann R, Roche B, Ajami NJ, et al. Maternal Fish Consumption in Pregnancy Is Associated with a Bifidobacterium-Dominant Microbiome Profile in Infants. *Current Developments in Nutrition* 2020;4(1):nzz133. DOI: 10.1093/cdn/nzz133. PMID: 31875205.

56. García-Mantrana I, Selma-Royo M, González S, Parra-Llorca A, Martínez-Costa C, Collado MC. Distinct maternal microbiota clusters are associated with diet during pregnancy: impact on neonatal microbiota and infant growth during the first 18 months of life. *Gut Microbes*. 2020;11(4):962-78. DOI: 10.1080/19490976.2020.1730294. PMID: 32167021.
57. Buffington SA, Di Prisco GV, Auchtung TA, Ajami NJ, Petrosino JF, Costa-Mattioli M. Microbial Reconstitution Reverses Maternal Diet-Induced Social and Synaptic Deficits in Offspring. *Cell*. 2016;165(7):1762-75. DOI: 10.1016/j.cell.2016.06.001. PMID: 27315483.
58. Xie R, Sun Y, Wu J, Huang S, Jin G, Guo Z, et al. Maternal High Fat Diet Alters Gut Microbiota of Offspring and Exacerbates DSS-Induced Colitis in Adulthood. *Front Immunol*. 2018;9:2608. DOI: 10.3389/fimmu.2018.02608. PMID: 30483266.
59. Wankhade UD. Maternal High-Fat Diet Programs Offspring Liver Steatosis in a Sexually Dimorphic Manner in Association with Changes in Gut Microbial Ecology in Mice *Sci Rep*. 2018;(8):16502. DOI: 10.1038/s41598-018-34453-0. PMID: 30405201.
60. Ratsika A, Codagnone MG, Bastiaanssen TFS, Hoffmann Sarda FA, Lynch CMK, Ventura-Silva AP, et al. Maternal high-fat diet-induced microbiota changes are associated with alterations in embryonic brain metabolites and adolescent behaviour. *Brain Behav Immun*. 2024;121:317-30. DOI: 10.1016/j.bbi.2024.07.020. PMID: 39032541.
61. Daliry A, Pereira ENGDS. Role of Maternal Microbiota and Nutrition in Early-Life Neurodevelopmental Disorders. *Nutrients*. 2021;13(10):3533. DOI: 10.3390/nu13103533. PMID: 34684534.
62. Hsieh H-Y, Chen Y-C, Hsu M-H, Yu HR, Su CH, Tain YL, et al. Maternal Iron Deficiency Programs Offspring Cognition and Its Relationship with Gastrointestinal Microbiota and Metabolites. *IJERPH*. 2020;(17):6070. DOI: 10.3390/ijerph17176070. PMID: 32825437.
63. Kamng'ona AW, Young R, Arnold CD, Patson N, Jorgensen JM, Kortekangas E, et al. Provision of Lipid-Based Nutrient Supplements to Mothers During Pregnancy and 6 Months Postpartum and to Their Infants from 6 to 18 Months Promotes Infant Gut Microbiota Diversity at 18 Months of Age but Not Microbiota Maturation in a Rural Malawian Setting: Secondary Outcomes of a Randomized Trial. *J Nutr*. 2020;150(4):918-28. DOI: 10.1093/jn/nxz298. PMID: 31909811.
64. Molani-Gol R, Rafrat M. Maternal vitamin D in pregnancy and infant's gut microbiota: a systematic review. *Front Pediatr*. 2023;11:1248517. DOI: 10.3389/fped.2023.1248517. PMID: 37915988.
65. Talsness CE, Penders J, Jansen EHJM, Damoiseaux J, Thijs C, Mommers M. Influence of vitamin D on key bacterial taxa in infant microbiota in the KOALA Birth Cohort Study. *PLoS One*. 2017;12(11):e0188011. DOI: 10.1371/journal.pone.0188011. PMID: 29121673.
66. Drall KM, Field CJ, Haqq AM, de Souza RJ, Tun HM, Morales-Lizcano NP, et al. Vitamin D supplementation in pregnancy and early infancy in relation to gut microbiota composition and *C. difficile* colonization: implications for viral respiratory infections. *Gut Microbes*. 2020;12(1):1799734. DOI: 10.1080/19490976.2020.1799734. PMID: 32779963.
67. Song Q, Li Y, Zhou T, Xiao M, Xiao B, Wang M, Zhu Y. Maternal Vitamin D Status During Pregnancy and Infant's Gut Microbiota: A Prospective Cohort Study. *Frontiers in Nutrition*. 2024;11:1428356. DOI: 10.3389/fnut.2024.1428356. PMID: 39135559.
68. Hsu CN, Lin YJ, Hou CY, Tain YL. Maternal Administration of Probiotic or Prebiotic Prevents Male Adult Rat Offspring against Developmental Programming of Hypertension Induced by High Fructose Consumption in Pregnancy and Lactation. *Nutrients*. 2018;10(9):1229. DOI: 10.3390/nu10091229. PMID: 30181501.

69. Laforest-Lapointe I, Becker AB, Mandhane PJ, Turvey SE, Moraes TJ, Sears MR, et al. Maternal consumption of artificially sweetened beverages during pregnancy is associated with infant gut microbiota and metabolic modifications and increased infant body mass index. *Gut Microbes*. 2021;13(1):1-15. DOI: 10.1080/19490976.2020.1857513. PMID: 33382954.
70. Whelan K, Bancel AS, Lindsay JO, Chassaing B. Ultra-processed foods and food additives in gut health and disease. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol*. 2024;21(6):406-27. DOI: 10.1038/s41575-024-00893-5. PMID: 38388570.
71. Tang Q, Wang C, Jin G, Li Y, Hou H, Wang X, et al. Early Life Dietary Emulsifier Exposure Predisposes the Offspring to Obesity Through Gut Microbiota-FXR Axis. *Food Research International*. 2022;162(Pt_A):111921. DOI: 10.1016/j.foodres.2022.111921. PMID: 36461273.
72. Liang Y, Liu D, Li Y, Hou H, Li P, Ma X, et al. Maternal Polysorbate 80 Intake Promotes Offspring Metabolic Syndrome Through Vertical Microbial Transmission in Mice. *Science of The Total Environment*. 2024;909:168624. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.168624. PMID: 37979881.
73. Issa M, Michaudel C, Guinot M, Grauso-Culetto M, Guillon B, Lecardonnel J, et al. Long-term Exposure from Perinatal Life to Food-grade TiO₂ Alters Intestinal Homeostasis and Predisposes to Food Allergy in Young Mice. *Allergy*. 2024;79(2):471-84. DOI: 10.1111/all.15960. PMID: 38010857.
74. Aliya S, Alhammadi M, Ilangovan S, Soobin H, Sujina T, Byoungchul S, et al. Microplastics: An Emerging Environmental Risk Factor for Gut Microbiota Dysbiosis and Cancer Development? *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*. 2025;7:706-28. DOI: 10.1016/j.eneco.2025.03.005.
75. Nissen L, Spisni E, Spigarelli R, Casciano F, Valerii MC, Fabbri E, et al. Single exposure of food-derived polyethylene and polystyrene microplastics profoundly affects gut microbiome in an in vitro colon model. *Environ Int*. 2024;190:108884. DOI: 10.1016/j.envint.2024.108884. PMID: 39004044.
76. The impact of microplastics on the gut microbiome and health – A food safety perspective. *Food Safety and Quality Series, No.21*. Rome: FAO; 2023. 58 p. DOI: 10.4060/cc5294en.
77. Elmassry MM, Zayed A, Farag MA. Gut homeostasis and microbiota under attack: impact of the different types of food contaminants on gut health. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2022;62(3):738-63. DOI: 10.1080/10408398.2020.1828263. PMID: 33063532.
78. Matsuzaki R, Gunnigle E, Geissen V, Clarke G, Nagpal J, Cryan JF. Pesticide exposure and the microbiota-gut-brain axis. *ISME J*. 2023;17(8):1153-1166. DOI: 10.1038/s41396-023-01450-9. PMID: 37328570.
79. The impact of veterinary drug residues on the gut microbiome and human health – A food safety perspective. *Food Safety and Quality Series, No.20*. Rome: FAO; 2023. 98 p. DOI: 10.4060/cc5301en.
80. The impact of pesticide residues on the gut microbiome and human health – A food safety perspective. *Food Safety and Quality Series, No.19*. Rome: FAO; 2023. 110 p. DOI: 10.4060/cc5306en.
81. Calatayud Arroyo M, García Barrera T, Callejón Leblic B, Arias Borrego A, Collado MC. A review of the impact of xenobiotics from dietary sources on infant health: Early life exposures and the role of the microbiota. *Environ Pollut*. 2021;269:115994. DOI: 10.1016/j.envpol.2020.115994. PMID: 33310490.
82. Sethi S, Keil Stietz KP, Valenzuela AE, Klocke CR, Silverman JL, Puschner B, et al. Developmental Exposure to a Human-Relevant Polychlorinated Biphenyl Mixture Causes Behavioral Phenotypes That Vary by Sex and Genotype in Juvenile Mice Expressing Human Mutations That Modulate Neuronal Calcium. *Front Neurosci*. 2021;15:766826. DOI: 10.3389/fnins.2021.766826. PMID: 34938155.
83. Pheeha SM, Tamuzi JL, Chale-Matsau B, Manda S, Nyasulu PS. A Scoping Review Evaluating the Current State of Gut Microbiota Research in Africa. *Microorganisms*. 2023;11(8):2118. DOI: 10.3390/microorganisms11082118. PMID: 37630678.

84. Bastos-Amador P, Duarte EL, Torres J, Caldeira AT, Silva I, Salvador C, et al. Maternal dietary exposure to mycotoxin aflatoxin B1 promotes intestinal immune alterations and microbiota modifications increasing infection susceptibility in mouse offspring. *Food Chem Toxicol.* 2023;173:113596. DOI: 10.1016/j.fct.2022.113596. PMID: 36603704.

85. Pu Y, Yang J, Chang L, Qu Y, Wang S, Zhang K, et al. Maternal glyphosate exposure causes autism-like behaviors in offspring through increased expression of soluble epoxide hydrolase. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2020;117(21):11753-9. DOI: 10.1073/pnas.1922287117. PMID: 32398374.

86. Shevchenko AS, Shevchenko VV, Pomogaybo KG, Danylchenko SI, Brown GW, Shumskiy OL, et al. The system of risk factors for diseases in valeological disciplines. *Inter Collegas.* 2025;12(1):48-65. DOI: 10.35339/ic.2025.12.1.ssp.

87. Forbes JD, Azad MB, Vehling L, Tun HM, Konya TB, Guttman DS, et al. Canadian Healthy Infant Longitudinal Development (CHILD) Study Investigators. Association of Exposure to Formula in the Hospital and Subsequent Infant Feeding Practices With Gut Microbiota and Risk of Overweight in the First Year of Life. *JAMA Pediatr.* 2018;172(7):e181161. DOI: 10.1001/jamapediatrics.2018.1161. PMID: 29868719.

88. Stanislowski MA, Dabelea D, Wagner BD, Iszatt N, Dahl C, Sontag MK, et al. Gut Microbiota in the First 2 Years of Life and the Association with Body Mass Index at Age 12 in a Norwegian Birth Cohort. *mBio.* 2018;9(5):e01751-18. DOI: 10.1128/mBio.01751-18. PMID: 30352933.

89. Laursen MF, Bahl MI, Michaelsen KF, Licht TR. First Foods and Gut Microbes. *Front Microbiol.* 2017;8:356. DOI: 10.3389/fmicb.2017.00356. PMID: 28321211.

90. Differding MK, Benjamin-Neelon SE, Hoyo C, Østbye T, Mueller NT. Timing of complementary feeding is associated with gut microbiota diversity and composition and short chain fatty acid concentrations over the first year of life. *BMC Microbiol.* 2020;20(1):56. DOI: 10.1186/s12866-020-01723-9. PMID: 32160858.

91. Pluymen LPM, Wijga AH, Gehring U, Koppelman GH, Smit HA, van Rossem L. Early introduction of complementary foods and childhood overweight in breastfed and formula-fed infants in the Netherlands: the PIAMA birth cohort study. *Eur J Nutr.* 2018;57(5):1985-93. DOI: 10.1007/s00394-018-1639-8. PMID: 29470690.

92. Thompson AL, Monteagudo-Mera A, Cadenas MB, Lampl ML, Azcarate-Peril MA. Milk- and solid-feeding practices and daycare attendance are associated with differences in bacterial diversity, predominant communities, and metabolic and immune function of the infant gut microbiome. *Front Cell Infect Microbiol.* 2015;5:3. DOI: 10.3389/fcimb.2015.00003. PMID: 25705611.

93. Tsukuda N, Yahagi K, Hara T, Watanabe Y, Matsumoto H, Mori H, et al. Key bacterial taxa and metabolic pathways affecting gut short-chain fatty acid profiles in early life. *ISME J.* 2021;15(9):2574-90. DOI: 10.1038/s41396-021-00937-7. PMID: 33723382.

94. Derrien M, Alvarez AS, de Vos WM. The Gut Microbiota in the First Decade of Life. *Trends Microbiol.* 2019;27(12):997-1010. DOI: 10.1016/j.tim.2019.08.001. PMID: 31474424.

95. Logan K, Perkin MR, Marris T, Radulovic S, Craven J, Flohr C, et al. Early Gluten Introduction and Celiac Disease in the EAT Study: A Prespecified Analysis of the EAT Randomized Clinical Trial. *JAMA Pediatr.* 2020;174(11):1041-7. DOI: 10.1001/jamapediatrics.2020.2893. PMID: 32986087.

96. Lund-Blix NA, Tapia G, Mårild K, Brantsæter AL, Eggesbø M, Mandal S, et al. Maternal fibre and gluten intake during pregnancy and risk of childhood celiac disease: the MoBa study. *Sci Rep.* 2020;10(1):16439. DOI: 10.1038/s41598-020-73244-4. PMID: 33009438.

97. Sanchez KK, Chen GY, Schieber AMP, Redford SE, Shokhirev MN, Leblanc M, et al. Cooperative Metabolic Adaptations in the Host Can Favor Asymptomatic Infection and Select for Attenuated Virulence in an Enteric Pathogen. *Cell.* 2018;175(1):146-58.e15. DOI: 10.1016/j.cell.2018.07.016. PMID: 30100182.

98. Karamantziani T, Pouliakis A, Xanthos T, Ekmektzoglou K, Paliatsiou S, Sokou R, Iacovidou N. The Effect of Oral Iron Supplementation/Fortification on the Gut Microbiota in Infancy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Children (Basel)*. 2024;11(2):231. DOI: 10.3390/children11020231. PMID: 38397343.

99. Popovic A, Bourdon C, Wang PW, Guttman DS, Soofi S, Bhutta ZA, et al. Micronutrient Supplements Can Promote Disruptive Protozoan and Fungal Communities in the Developing Infant Gut. *Nature Communications*. 2021;(12):6729. DOI: 10.1038/s41467-021-27010-3. PMID: 34795270.

100. Finlayson-Trick EC, Fischer JA, Goldfarb DM, Karakochuk CD. The Effects of Iron Supplementation and Fortification on the Gut Microbiota: A Review. *Gastrointestinal Disorders*. 2020;(2):327-40. DOI: 10.3390/gidisord2040030.

101. Tang M, Frank DN, Hendricks AE, Ir D, Esamai F, Liechty E, et al. Iron in Micronutrient Powder Promotes an Unfavorable Gut Microbiota in Kenyan Infants. *Nutrients*. 2017;9(7):776. DOI: 10.3390/nu9070776. PMID: 28753958.

102. Jaeggi T, Kortman GA, Moretti D, Chassard C, Holding P, Dostal A, et al. Iron fortification adversely affects the gut microbiome, increases pathogen abundance and induces intestinal inflammation in Kenyan infants. *Gut*. 2015;64(5):731-42. DOI: 10.1136/gutjnl-2014-307720. PMID: 25143342.

103. Paganini D, Uyoga MA, Kortman GAM, Cercamondi CI, Winkler HC, Boekhorst J, et al. Iron-containing Micronutrient Powders Modify the Effect of Oral Antibiotics on the Infant Gut Microbiome and Increase Post-antibiotic Diarrhoea Risk: A Controlled Study in Kenya. *Gut*. 2019;(68):645-53. DOI:10.1136/gutjnl-2018-317399. PMID: 30448776.

104. Tang M, Frank DN, Sherlock L, Ir D, Robertson CE, Krebs NF. Effect of Vitamin E With Therapeutic Iron Supplementation on Iron Repletion and Gut Microbiome in US Iron Deficient Infants and Toddlers. *J Pediatr Gastroenterol Nutr*. 2016;63(3):379-85. DOI: 10.1097/MPG.0000000000001154. PMID: 27548249.

105. Ghanchi A, James PT, Cerami C. Guts, Germs, and Iron: A Systematic Review on Iron Supplementation, Iron Fortification, and Diarrhea in Children Aged 4-59 Months. *Curr Dev Nutr*. 2019;3(3):nzz005. DOI: 10.1093/cdn/nzz005. PMID: 30891538.

106. Matsuyama M, Morrison M, Cao KL, Pruilh S, Davies PSW, Wall C, et al. Dietary intake influences gut microbiota development of healthy Australian children from the age of one to two years. *Sci Rep*. 2019;9(1):12476. DOI: 10.1038/s41598-019-48658-4. PMID: 31462648.

107. Smith-Brown P, Morrison M, Krause L, Davies PS. Dairy and plant based food intakes are associated with altered faecal microbiota in 2 to 3 year old Australian children. *Sci Rep*. 2016;6:32385. DOI: 10.1038/srep32385. PMID: 27694811.

108. Tan H, Zhai Q, Chen W. Investigations of *Bacteroides* spp. towards next-generation probiotics. *Food Res Int*. 2019;116:637-44. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.08.088. PMID: 30716990.

109. Henke MT, Kenny DJ, Cassilly CD, Vlamakis H, Xavier RJ, Clardy J. *Ruminococcus gnavus*, a member of the human gut microbiome associated with Crohn's disease, produces an inflammatory polysaccharide. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2019;116(26):12672-7. DOI: 10.1073/pnas.1904099116. PMID: 31182571.

110. De Franchis R, Bozza L, Canale P, Chiacchio M, Cortese P, D'Avino A, et al. The Effect of Weaning with Adult Food Typical of the Mediterranean Diet on Taste Development and Eating Habits of Children: A Randomized Trial. *Nutrients*. 2022;14(12):2486. DOI: 10.3390/nu14122486. PMID: 35745216.

111. Zhong H, Penders J, Shi Z, Ren H, Cai K, Fang C, et al. Impact of early events and lifestyle on the gut microbiota and metabolic phenotypes in young school-age children. *Microbiome*. 2019;7(1):2. DOI: 10.1186/s40168-018-0608-z. PMID: 30609941.

112. Ruggles KV, Wang J, Volkova A, Contreras M, Noya-Alarcon O, Lander O, et al. Changes in the Gut Microbiota of Urban Subjects during an Immersion in the Traditional Diet and Lifestyle of a Rainforest Village. *mSphere*. 2018;3(4):e00193-18. DOI: 10.1128/mSphere.00193-18. PMID: 30158281.

113. Burns AM, Zitt MA, Rowe CC, Langkamp-Henken B, Mai V, Nieves C Jr, et al. Diet quality improves for parents and children when almonds are incorporated into their daily diet: a randomized, crossover study. *Nutr Res.* 2016;36(1):80-9. DOI: 10.1016/j.nutres.2015.11.004. PMID: 26773784.
114. Frese SA, Hutton AA, Contreras LN, Shaw CA, Palumbo MC, Casaburi G, et al. Persistence of Supplemented *Bifidobacterium longum* subsp. *infantis* EVC001 in Breastfed Infants. *mSphere.* 2017;2(6):e00501-17. DOI: 10.1128/mSphere.00501-17. PMID: 29242832.
115. Jiang W, Ni B, Liu Z, Liu X, Xie W, Wu IXY, et al. The Role of Probiotics in the Prevention and Treatment of Atopic Dermatitis in Children: An Updated Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Paediatr Drugs.* 2020;22(5):535-49. DOI: 10.1007/s40272-020-00410-6. PMID: 32748341.
116. Alshaikh B, Samara J, Moossavi S, Ferdous T, Soraisham A, Dersch-Mills D, et al. Multi-strain probiotics for extremely preterm infants: a randomized controlled trial. *Pediatr Res.* 2022;92(6):1663-70. DOI: 10.1038/s41390-022-02004-z. PMID: 35314794.
117. Lee-Sarwar KA, Kelly RS, Lasky-Su J, Zeiger RS, O'Connor GT, Sandel MT, et al. Integrative analysis of the intestinal metabolome of childhood asthma. *J Allergy Clin Immunol.* 2019;144(2):442-54. DOI: 10.1016/j.jaci.2019.02.032. PMID: 30914378.
118. Levin ME, Botha M, Basera W, Facey-Thomas HE, Gaunt B, Gray CL, et al. Environmental factors associated with allergy in urban and rural children from the South African Food Allergy (SAFFA) cohort. *J Allergy Clin Immunol.* 2020;145(1):415-26. DOI: 10.1016/j.jaci.2019.07.048. PMID: 31606483.
119. Wastyk HC, Fragiadakis GK, Perelman D, Dahan D, Merrill BD, Yu FB, et al. Gut-microbiota-targeted diets modulate human immune status. *Cell.* 2021;184(16):4137-53.e14. DOI: 10.1016/j.cell.2021.06.019. PMID: 34256014.
120. Mahdavinia M, Rasmussen HE, Botha M, Binh Tran TD, Van den Berg JP, Sodergren E, et al. Effects of diet on the childhood gut microbiome and its implications for atopic dermatitis. *J Allergy Clin Immunol.* 2019;143(4):1636-7.e5. DOI: 10.1016/j.jaci.2018.11.034. PMID: 30578881.
121. Goldberg MR, Mor H, Magid Neriya D, Magzal F, Muller E, Appel MY, et al. Microbial signature in IgE-mediated food allergies. *Genome Med.* 2020;12(1):92. DOI: 10.1186/s13073-020-00789-4. PMID: 33109272.

Karpushenko Yu.V., Makieieva N.I.

MOTHER, CHILD, MICROBIOME: THE HEALTH TRIANGLE

Background. In recent years, the pediatric population has experienced a significant increase in the number of diseases, with their profile increasingly corresponding to the "adult type". Only [3–5]% of high school age children in Ukraine can be considered healthy. Children's health is influenced by a number of harmful environmental factors, infections, and stress. The foundations of a child's health are laid long before birth. Long-term health programming continues up to the age of 2–3 years, when the gut microbiome is formed, which modulates metabolism, behavioural reactions, and the function of the immune and nervous systems. Data on the gut microbiome are numerous but insufficiently systematised.

Aim. To analyse modern scientific sources on the impact of nutrition on the formation of the child's microbiome as a factor of long-term health programming.

Materials and Methods. The study was conducted using the bibliosemantic method and systemic analysis. A search for scientific sources was performed in the scientometric databases PubMed, Scopus, Web of Science, Google Scholar, and Wiley Online Library for the period 2015–2026. A total of 121 sources were included in the analysis. The study was carried out within the framework of the research project of the paediatric departments of Kharkiv National Medical University "Medical and Biological Aspects of Adaptation of Children with Somatic Pathology in Modern Conditions" (2023–2026), state registration number 0123U101768.

Research Ethics. Only literature sources describing studies whose authors adhered to modern bioethical standards were selected.

Results. Analysis of the sources showed that balanced, adequate nutrition during pregnancy and in the early stages of a child's life plays a key role in the formation of the child's intestinal microbiota, which is an important factor in healthy physical and neuropsychic development and contributes to the formation and maturation of the immune system. Maternal nutrition during pregnancy and the child's nutrition in the first years of life can disrupt this process. Improper formation of the gut microbiome can negatively affect the child's physical development and the occurrence of metabolic, cardiovascular, autoimmune, allergic and neurodegenerative diseases, as well as type 2 diabetes, even in adulthood. Breastfeeding, timely introduction of complementary feeding, and the use of nutritional interventions can help create a healthy microbiota in the child from birth and thereby "program" long-term health.

Conclusions. The formation of a healthy microbiome is crucial for the development of targeted nutritional interventions aimed at improving health throughout the lifespan.

Keywords: *pediatrics and neonatology, child nutrition, maternal nutrition, microbiocenosis, health programming, pediatric nutrition.*

Надійшла 30.09.2025

Прийнята до опублікування 29.12.2025

Опублікована 31.12.2025

Відомості про авторів

Карпушенко Юлія Валентинівна – кандидат медичних наук, доцент, доцент кафедри пропедевтики педіатрії, Харківський національний медичний університет, Україна.

Поштова адреса: ХНМУ, 4, пр. Науки, м. Харків, 61022, Україна.

E-mail: yv.karpushenko@knmu.edu.ua

ORCID: 0000-0002-2196-8817.

Макєєва Наталія Іванівна – доктор медичних наук, професор, професор кафедри педіатрії № 2, Харківський національний медичний університет, Україна.

Поштова адреса: ХНМУ, 4, пр. Науки, м. Харків, 61022, Україна.

E-mail: ni.makieieva@knmu.edu.ua

ORCID: 0000-0003-3462-7808.