

УДК 613.24(091)

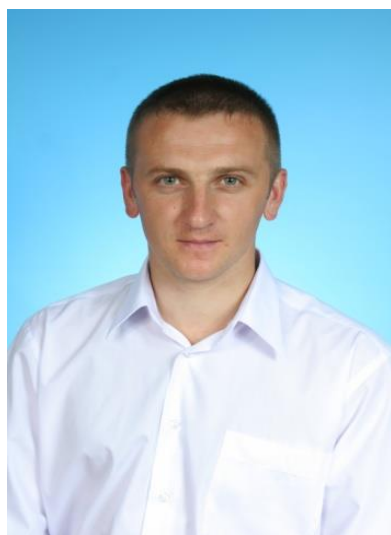


КУЙБІДА Віктор,

кандидат біологічних наук, доктор історичних наук, професор кафедри природничих дисциплін і методики навчання, декан факультету фізичної культури, спорту і здоров'я Університету Григорія Сковороди в Переяславі (м. Переяслав, Україна)

Viktor_kuybida@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5865-1306>



КОХАНЕЦЬ Петро,

кандидат наук з фізичної культури і спорту, доцент кафедри спортивних ігор, заступник декана факультету фізичної культури, спорту і здоров'я Університету Григорія Сковороди в Переяславі (м. Переяслав, Україна)

kohanetz@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0795-3141>



ЛОПАТИНСЬКА Валентина,

кандидат педагогічних наук, доцент кафедри природничих дисциплін і методики навчання Університету Григорія Сковороди в Переяславі (м. Переяслав, Україна)

lopatinska78@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0034-6891>

ІСТОРІЯ СТАНОВЛЕННЯ ТА СУЧАСНИЙ СТАН ВЧЕННЯ ПРО КЕТОДІЄТУ

Харчування з дуже низьким вмістом вуглеводів, високим вмістом жиру і достатньою кількістю білків у галузі дієтології, теорії і методики та спортивної практики позначено поняттям кетогенна дієта. Кетогенна дієта призводить до своєрідного стану безпечного підвищення концентрації кетонів тіл (ацетону, ацетооцтової кислоти, β -оксимасляної кислоти), зниження концентрації глюкози та інсуліну тощо. Цей природний стан функціонування організму людини отримав назву харчовий кетоз. Якщо концентрація кетонів тіл невисока вони виконують роль енергетичного джерела, а якщо їхня концентрація перевищує норму – виникає отруєння або захворювання. Харчовий кетоз виникає під час різноманітних станів та видів діяльності людини: важкої фізичної роботи, голодування, постів, захворювань, насамперед епілепсії, діабету та спортивного тренування. Більшість цих станів супроводжували людство з давніх-давен, тому їх зафіксовано в міфологічних, релігійних та медичних текстах ще 2000 років до нашої ери. Бурхливий ренесанс використання кетогенної дієти зафіксовано протягом двох перших десятиліть XXI століття. Новою нішею для кетодієти стала царина спортивного харчування. На сьогодні процес становлення і розвитку зазначеної галузі, механізм впливу кетодієти, особливості її використання, побічні ефекти є актуальною проблемою сучасної історії науки, медицини та спорту. Обрану тему студіювання визначено нами як мету оглядового дослідження. Пошук літератури здійснено на основі ключових слів в електронних базах даних PubMed та SPORTDiscus. Пошукові терміни стосовно історії становлення, ефективності й особливостей впливу кетодієти на організм людини вводили у різних комбінаціях, використовуючи списки літератури в оригінальних наукових статтях та оглядах. У роботі визначену проблему розглянуто в двох аспектах: 1) власне кетогенна дієта, зовнішня (харчовий кетоз виникає внаслідок специфічного високожирного харчування); 2) помірний кетоз, внутрішній (виникає внаслідок ритуальних язичницьких чи релігійних постів, добровільного чи вимушеного голодування, різноманітних станів та різновидів діяльності). Виділено два хронологічних етапи використання кетодієти та її ніші, зосереджено увагу на історичних, медичних, біологічних аспектах.

Ключові слова: кетогенна дієта, міфологічна та релігійна ніша, медичні аспекти, використання у спорті, витривалість, сила, швидкість.

HISTORY OF ESTABLISHMENT AND CURRENT STATUS OF DOCTRINE ON KETO DIET

Nutrition with a very low carbohydrate content, high fat content and a sufficient amount of proteins in the field of dietetics, theory and methodology, and sports practice is labeled a ketogenic diet. A ketogenic diet leads to a peculiar state of safely increasing the concentration of ketone bodies (acetone, acetoacetic acid,

β -oxybutyric acid), lowering the concentration of glucose and insulin, etc. This natural state of functioning of the human body is called nutritional ketosis. If the concentration of ketone bodies is low, they act as an energy source, and if their concentration exceeds the norm, poisoning or disease occurs. Nutritional ketosis occurs during various conditions and types of human activity: heavy physical work, starvation, fasting, diseases, primarily epilepsy and diabetes, and sports training. Most of these conditions have accompanied humanity since ancient times, so they were recorded in mythological, religious and medical texts as early as 2000 BC. A stormy renaissance in the use of the ketogenic diet was recorded around the first two decades of the 21st century. A new niche for the keto diet has become the field of sports nutrition. Today, the process of formation and development of the specified field, the mechanism of the keto diet's influence, the peculiarities of its use, and side effects are an urgent problem in the modern history of science, medicine, and sports. The chosen topic of study is defined by us as the purpose of the review study. The literature search was carried out based on keywords in the electronic databases PubMed and SPORTDiscus. Search terms related to the history of development, effectiveness, and features of the keto diet's impact on the human body were entered in various combinations, using lists of literature in original scientific articles and reviews. In the paper, the identified problem is considered in two aspects: 1) the actual ketogenic diet, external (dietary ketosis occurs as a result of a specific high-fat diet); 2) moderate ketosis, internal (occurs as a result of ritual pagan or religious fasting, voluntary or forced fasting, various states and types of activity). Two chronological stages of the use of the keto diet and its niche are highlighted, focusing on historical, medical, and biological aspects.

Keywords: *ketogenic diet, mythological and religious niche, medical aspects, use in sports, endurance, strength, speed.*

Постановка проблеми. Харчування з дуже низьким вмістом вуглеводів і високим вмістом жиру та достатньою кількістю білків позначають терміном *кетогенна дієта*. Вона передбачає споживання вуглеводів до 50 г на добу, які містяться в одному невеликому банані чи 1–2 картоплинах. За такого харчування близько 75% калорій утворюється з жирів, 20% з білків і лише 5% – з вуглеводів. Кетогенна дієта зменшує щоденне споживання вуглеводів шляхом заміни їх на жири. Дієта викликає значний інтерес серед спортсменів, оскільки вона може збільшити максимальне поглинання кисню ($VO_2 \max$) [3; 12].

Слід зазначити, що кінцевими продуктами розпаду жирів є H_2O , CO_2 та незначна кількість кетонів. Якщо в енергозабезпеченні організму переважають

жири, то концентрація кетонів збільшується. Три таких сполуки, зокрема, ацетон (пропанон), ацетооцтова кислота (ацетоацетат), β -оксимасляна кислота (β -оксибутират) отримали назву *кетонові тіла*. При певній концентрації кетонових тіл вони виконують функцію важливого джерела енергії для поперечно посмугованих та серцевого м'язів, коркового шару нирок і головного мозку.

Кетогенна дієта призводить до своєрідного стану організму, який отримав назву *харчовий кетоз*. Це природний стан здорового зниження концентрації глюкози та інсуліну. Одночасно в організмі підвищується концентрація кетонів, але значно менше, ніж при цукровому діабеті I типу. Зазвичай концентрація кетонових тіл крові складає 0,08–0,43 ммоль/л. Натомість під час вживання великої кількості жирних продуктів, алкоголю, виконання важкої фізичної праці, виснажливих аеробних тренувань концентрація кетонових тіл зростає. Під час тривалого посту, голодування, діабету I типу та алкоголізму концентрація кетонових тіл зростає в десять разів (3–5 ммоль/л) і вище. Кетогенна дієта не впливає на фізичну форму клінічно значущим чином, який би погіршив повсякденну діяльність та аеробне тренування. Проте вона може викликати занепокоєння у процесі змагальної діяльності спортсменів [33].

Аналіз наукових публікацій. Пошук наукових публікацій здійснено на основі ключових слів в електронних базах даних PubMed та SPORTDiscus. Пошукові терміни стосовно історії становлення, ефективності та особливостей впливу кетодієти на організм людини вводили в різних комбінаціях, використовуючи списки літератури в оригінальних наукових статтях та оглядах.

Аналізу особливостей історії становлення й сучасного стану вчення про кетодієту присвячено низку робіт. Поміж них варто відзначити статті історичного, медичного та дискусійного спрямування: L. M. Burke et al. [5–9], G. Guelpa, A. Marie [15], P. J. Prins et al. [28; 29], J. W. Wheless [37],

R. M. Wilder [38], M. G. Peterman [27] та інші. Механізм адаптації організму спортсмена до кетодієти, методика її використання у швидко-силових видах спорту та випробуваннях на витривалість чи ультравитривалість вивчали: A. J. Carr et al. [10], C. K. Chang et al. [11], W. C. Kephart et al. [19], G. M. Tinsley et al. [32] та інші. На сьогодні в галузі вивчення різних аспектів впливу кетодієти працюють десятки лабораторій та сотні дослідників. У запропонованій статті із 41 використаного джерела 19 робіт побачили світ у період з 2019 по 2023 роки.

Отже, проблема вивчення історії становлення, розвитку, сьогодення та використання кетодієти в дієтології, медичній та спортивній практиці має не лише теоретичне, а й практичне значення. На сьогодні процес становлення і розвитку зазначеної галузі, механізм впливу кетодієти, особливості її використання, побічні ефекти є актуальною проблемою сучасної історії науки, медицини та спорту. Обрану тему студіювання визначено метою оглядової статті, яка потребує подальшого вивчення.

Виклад основного матеріалу.

ЕТАП ЗАРОДЖЕННЯ ТА СТАНОВЛЕННЯ КЕТОДІЄТИ: МІФОЛОГІЧНА, РЕЛІГІЙНА І МЕДИЧНА НІШИ

З давніх часів кетодієту у формі голодування пов'язують із захворюванням епілепсія. Спостереження щодо епілепсії сягають медичних текстів асирійців і вавилонян за два тисячоліття до нашої ери. У той час епілепсію було названо «божественною (священною) хворобою». У монографічному дослідженні «Народні природничі назви» в розділі «Народні назви: психіатрія» нами виділено деякі несистематичні терміни на позначення епілепсії. У них заковано окремі характерні особливості захворювання, зокрема: *бег* – «психічна хвороба»; *бирса, придибка* – «епілепсія»; *божевілець, божевільник* – «психічно хворий»; *болість чорна, перехід* – «епілепсія у дітей»; *кадук* – «епілепсія, падуча хвороба»; *нашибка* – «падуча, епілепсія»; *неволя* –

«падуча хвороба»; *падуча болезнь, падавка, падалник, падачка, падуча* – «епілепсія»; *черная немочь, падучая болѣзнь, падучка* – «епілепсія» [2].

Існувало вірування, що в хвору особу вселяється місячне божество, яке впливає на її поведінку. У багатьох давньогрецьких міфах епілепсію пов'язано з місячними богинями Селеною та Артемідой, які насилали цю хворобу на тих, хто їм завинив. Лікування проводили шляхом застосування обряду вигнання бісів та інших надзвичайних істот з одержимої людини. Епілепсію деміфологізував «батько сучасної медицини» Гіппократ. У трактаті *«Про священну хворобу»* він висловив думку, що причина хвороби криється в мозку і може піддаватися лікуванню. На позначення епілепсії Гіппократ запропонував власний термін *«велика хвороба»*, який трансформувався на сучасний термін *«великий епілептичний припадок»* із значенням: *«генералізовані судоми при епілепсії»*. Найдавніший опис епілептичного нападу було знайдено в стародавній Месопотамії близько 2000 р. до н. е. [21]. Голодування та інші режими харчування використовували для лікування епілепсії принаймні з 500 року до н. е. Єдиним лікувальним засобом проти епілепсії, зафіксованим у збірці Гіппократа, є голодування [37].

Упродовж кількох тисячоліть дієтичне голодування існувало у формі різновиду ритуальної кетодієти й було загальноприйнятою суспільною практикою в різних релігіях. Зокрема в текстах Священної книги християн зроблено детальний опис симптомів епілепсії, поведінки хворого та лікування від недуги засобами посту та молитви. У розділі *«Уздоровлення сновидного»* Євангелія від Св. Марка він розповідає історію про те, як Ісус зцілив хлопчика, хворого на епілепсію: 17. «Учителю, привів я до Тебе ось сина свого, що духа німого він має. 18. А як він де схопить його, то об землю кидає ним, – і він піну пускає й зубами скрегоче та сохне. Я казав Твоїм учням, щоб прогнали його, – та вони не змогли.» 20. І до Нього того привели. І як тільки побачив Його, то дух зараз затряс ним. А той, повалившись на землю, став качатися та

залитися піною... 21. Він запитав його батька: «Як давно йому сталося це?» Той сказав: «Із дитинства.» 22. І почасти кидав він ним і в огонь, і до води, щоб його погубити... 25. А Ісус, як побачив, що натовп збігається, то нечистому духові наказав, і сказав йому: «Душе німий і глухий, тобі Я наказую: вийди з нього, і більше у нього не входь!» 28. Коли ж Він додому прийшов то учні питали Його самотою: «Чому ми не могли його вигнати?» 29. А Він їм сказав: «Цей рід не виходить інакше, як тільки від молитви та посту» [1].

Кетогенна дієта набула статусу наукової галузі на початку ХХ ст. з ідеї Бернарра Макфаддена, гуру фізичної форми/культиста, який стверджував, що голодування від 3 днів до 3 тижнів може вилікувати будь-яку хворобу [37]. Практика голодування показала ефективність у зменшенні кількості нападів у хворих на епілепсію ще в 1920-х рр. [37]. Кетони метаболізуються набагато повільніше, ніж глюкоза, і не є основним джерелом їжі для мозку та еритроцитів. Харчовий кетоз призводить до відносно голодного стану мозкової тканини. Мозок економить енергію і зменшує свою гіперактивність під час припадку [41].

Стало відомо, що частина пацієнтів з діабетом мають підвищену концентрацію кетонових тіл (ацетооцтової кислоти, β -гідроксимасляної кислоти та ацетону) в крові та сечі. Збільшення концентрації кетонових тіл у крові ще в 1897 р. було пов'язано зі збільшенням метаболізму жирних кислот. Зміна енергетичного субстрату із вуглеводів на ліпіди у хворих на цукровий діабет зумовлена нездатністю організму метаболізувати глюкозу для задоволення потреб у калоріях з достатньою швидкістю [14; 39].

На початку 20-х рр. ХХ ст. побачили світ низка робіт стосовно використання кетодієти для лікування хворих на діабет. Звернуто увагу, що сеча найважчих діабетиків може бути звільнена від цукру шляхом досить тривалого голодування. Запропоновано високожирну дієту із вмістом вуглеводів, що не перевищували обсягу їх метаболізування [24; 25; 30; 40].

У 1911 р. опубліковано доповідь, в якій розглянуто особливості процесу голодування з метою запобігання важких та частих нападів епілепсії [15]. Для лікування епілепсії в 1921 р. запропоновано викликати кетонемію не шляхом голодування, а дієтою з високим вмістом жирів і низьким вмістом вуглеводів. Такий тип харчування було названо «кетогенною дієтою» [38]. Згодом у 1925 р. сформульовано структуру дієти, в яку входило близько 15 г вуглеводів на день та 1 г білка на кілограм маси тіла. Залишковий дефіцит калорій поповнювали жирами. Зазначений баланс між компонентами був близьким до сучасної кетогенної дієти. Так, співвідношення жирів до вуглеводів і білків складало 4:1, а максимальна норма вуглеводів на день – 50 г. Після голодування або кетодієти відмічено різке зниження частоти нападів епілепсії [27].

У 1938 р. Хьюстон Мерріт і Трейсі Патнем відкрили фармакологічний препарат дифенілгідантоїн. Його використовували для контролю припадків у епілептиків без седативних ефектів. З тих пір увага лікарів і дослідників переключилася з механізму дії та ефективності кетодієти на нові протиепілептичні препарати. Розпочалася нова ера медичної терапії епілепсії, а дієта, багата жиром, відійшла на другий план [37]. Поява нових протисудомних препаратів (фенобарбіталу, фенітоїну, карбамазепіну, вальпроату натрію тощо) призвела до відчутного зниження популярності кетогенної дієти як додаткового варіанту лікування епілепсії, однак вона ніколи не зникала повністю [31; 39].

У 1920–1930-х рр. кетодієту використовували в медичній практиці, зокрема в лікарні Джона Хопкінса (США). У підручнику С. Лівінгстона «Комплексне лікування епілепсії у грудному віці, дитинство і юність» (1972 р.) описано результати застосування дієти впродовж попередніх десятиліть для 1000 дітей з епілепсією. Зазначено, що 52% хворих мали повний контроль над нападами, а 27% покращили контроль над її проявами [20]. Досліджено опубліковані докази щодо клінічного лікування педіатричної епілепсії. Фахівцям було запропоновано дати відповіді на два питання: «Коли назначали

протиепілептичний препарат?» і «Коли назначали кетогенну дієту?». Встановлено, що у Сполучених Штатах та Європі на початку ХХІ ст. кетодієта була передостаннім або останнім вибором для лікування майже всіх дитячих епілептичних захворювань. Шляхом опитування практикуючих дитячих неврологів також зроблено оцінку використання терапевтичного впливу кетодієти. Виявилося, що кетодієту вони використовували останньою або не використовували взагалі. Дані щодо безпеки й ефективності терапії засвідчують, що кетогенну дієту слід ширше застосовувати як стратегію лікування педіатричної епілепсії [22]. Факти про використання кетодієти було зафіксовано майже в кожному комплексному підручнику з епілепсії в дітей упродовж 1941–1980-х рр. Більшість текстів у підручниках мали повні розділи з описом дієти та розповіддю про те, як її розпочати та як розрахувати плани харчування [37].

СУЧАСНИЙ ЕТАП ВИКОРИСТАННЯ КЕТОДІЄТИ: ТРАНСЛОКАЦІЯ В СПОРТИВНУ НІШУ

Коротка (5–6 днів) адаптація до дієти з низьким вмістом вуглеводів і високим вмістом жирів у елітних спортсменів призвела до збільшення темпу окиснення жиру під час фізичних навантажень. Короткотривала кетоадаптація піднімала темп окиснення жирів до середнього рівня (3–4 тижні) або тривалого терміну (>12 місяців) дотримання дієти. Метаболічні зміни зникали за аналогічний період часу [8].

Три тижні інтенсивних тренувань і помірний дефіцит енергії в елітних спортсменів зі спортивної ходи на 20 км збільшують максимальну аеробну здатність незалежно від дієтичного харчування. Адаптація до кетогенної дієти з низьким вмістом вуглеводів і високим вмістом жиру помітно підвищує швидкість окиснення жиру в усьому тілі під час бігових вправ. Для окиснення жирів та кетонів необхідно більше O_2 , ніж для окиснення вуглеводів. Внаслідок цього зростає показник максимального споживання кисню (V_{O_2max}). При

підвищенні темпу фізичного навантаження дефіцит спожитого O_2 стає обмежуючим чинником через неспроможність дихальної і кровоносної систем його постачати [5]. Не виявлено видимої користі від застосування дієти з високим вмістом жирів як періодичної стратегії перед 2,5-тижневою підготовкою до гонки з високою доступністю вуглеводів [7].

У роботі А. J. Carr та ін. зроблено припущення, що хронічні дієтичні втручання навряд чи вплинуть на кислотно-лужний статус в елітних спортсменів. Це може бути пов'язано з уже існуючими тренувальними адаптаціями. Серед них підвищена буферна ємність, дихальні та ниркові шляхи, які мають більший вплив на кислотно-лужний стан, ніж споживання їжі [10].

Харчування справляє значний вплив на спортивні результати. Важливе значення мають споживання поживних речовин під час тренування та щоденний раціон. Його необхідно адаптувати до вимог фізичної активності й оптимального пристосування до тренувань. Не встановлено, чи може глікемічний індекс вуглеводів у щоденному раціоні покращити показники витривалості шляхом впливу на окиснення вуглеводів або жирів під час тренувань [23]. Кетодієта не суттєво покращує або погіршує результативність у видах спорту на витривалість та силу. Вона може бути корисною у видах спорту, де співвідношення сили та ваги спортсмена є суттєвим фактором, який впливає на спортивний результат [18].

Задokumentовано зміну продуктивності спортсмена на витривалість, що адаптувався до вживання жиру і розпочав харчуватися вуглеводами під час високоінтенсивних тренувань. Елітний триатлоніст упродовж 2 років використовував кетогенну дієту і посідав призові місця. Згодом він випробував 7-тижневу змішану дієту – 4-тижневу звичну кетодієту + 3-тижневу дієту з підвищеним вмістом жирів + вуглеводну дієту (60 г/год вуглеводів). Змішана дієта, порівняно з кетогенною, сприяла покращенню результату на 2,8% під час

пробігу на 20 км. Вона не змінила результат у спринті й призвела до його зменшення бігу на 100 км на 1,1% [36].

Кетогенним дієтам приділяють увагу не лише спортсмени, а й фізично активні люди. Однак питання про те, чи може дієта принести користь цій здоровій когорті людей залишається не встановленим. Доведено, що кетодієта тривалістю ≥ 3 тижнів призводить до помірного зниження маси тіла та % жиру в організмі. При цьому відбувається обезжирення організму, але зазначена адаптація не завжди покращує витривалість [17]. Кетодієта може бути альтернативним дієтичним підходом до зменшення жирової маси та вісцеральної жирової тканини без зменшення нежирової маси тіла. Водночас вона може бути не корисною для збільшення м'язової маси під час позитивного енергетичного балансу у чоловіків, які використали силове тренування з надлишком енергії [34]. Результати дослідження S. Vargas-Molina та ін. засвідчують, що кетодієта може допомогти зменшити жирову масу тіла та зберегти знежирену масу після 8 тижнів силових тренувань у тренуваних жінок, але є неоптимальною для збільшення знежиреної маси [35].

В іншому дослідженні підтверджено думку про недоцільність використання кетодієти для людей, які тренуються на опір. Дієта з високим вмістом жирів зменшує рівень глікогену в скелетних м'язах і сповільнює анаболічні процеси в них, а рівень холестеролу за показником ЛПНЩ збільшує на $\sim 35\%$ [19]. До того ж, ще однією потенційною проблемою кетогенних дієт є втрата знежиреної маси, зокрема скелетних м'язів [32].

У 2020 р. групою дослідників на чолі з М. А. Bestard встановлено, що рівень витрат енергії залежить від швидкості плавання і обернено корелює з його енергетичною вартістю. Коефіцієнт дихального обміну під час субмаксимального плавання виявився значно вищим при високовуглеводній дієті, ніж при високожирній. Не виявлено істотних відмінностей у швидкості споживання кисню. Зроблено висновок, що 3-денна дієта з високим вмістом

вуглеводів збільшує їх споживання, але не впливає на економіку плавання при (50–70% $\text{VO}_2 \text{ max}$). До того ж, таку інтенсивність роботи спостерігають під час ультрамарафонських запливів [4].

Загальноприйнята думка полягає в тому, що високоінтенсивні вправи (>60% $\text{VO}_2 \text{ max}$) найкраще підтримуються високими темпами окиснення вуглеводів. Вона частково базується на ідеї, розробленій Крогом і Ліндхардом у 1920 р. Однак за 100 років з тих пір лише кілька досліджень перевірили її достовірність. Перевірено нульову гіпотезу стосовно того, що продуктивність спортсменів-рекреаторів, які подолали 5-кілометрові випробування при (>80% $\text{VO}_2 \text{ max}$) і використовували кетодіету буде нижчою, ніж при високовуглеводному харчуванні. Час 5-кілометрових випробувань погіршився упродовж 6-тижневого періоду адаптації до їжі з високим вмістом жиру. Виявилося, що окиснення вуглеводів забезпечувало 94% енергії на вуглеводній дієті і лише 65% на кетодієті. Вуглеводна дієта не давала переваг перед дієтою з високим вмістом жиру. Отже, високі показники окиснення жиру, спричинені кетодієтою, не погіршують продуктивність бігу на 5 км у спортсменів-рекреаторів. Зазначені результати – важливий аргумент високої метаболічної гнучкості харчування жирами. Гіпотеза високої цінності кетодієти кидає виклик популярним доктринам «залежності від вуглеводів» для високоінтенсивних вправ і ролі дієтичних макроелементів у продуктивності людини [28; 29].

У біохімії фізичних вправ побутує усталена думка, що окиснення жиру є основним енергетичним джерелом у стані спокою та під час вправ низької інтенсивності. Під час виконання вправ середньої та високої інтенсивності енергозабезпечення залежить від окиснення вуглеводів. У цій моделі є чотири ключових моменти. По-перше, >50% енергії надходить від окиснення вуглеводів при ($\geq 60\%$ від $\text{VO}_2 \text{ max}$), що називається точкою перетину. По-друге, кожна людина має максимальну здатність до окиснення жиру при інтенсивності вправ, нижчій за точку перетину. Значення окиснення жиру

зазвичай становить 0,3-0,6 г/хв. По-третє, окиснення жиру зведено до мінімуму під час вправ ($\geq 85\% \text{VO}_2 \text{ max}$), що робить вуглеводи переважним енергетичним субстратом під час високоінтенсивних вправ, особливо при ($>85\% \text{VO}_2 \text{ max}$). По-четверте, дієти з високим вмістом вуглеводів і низьким вмістом жиру забезпечать чудову ефективність фізичних вправ завдяки максимальному збільшенню запасів цього переважного субстрату для фізичних вправ перед тренуванням. У серії останніх публікацій, що оцінюють метаболічні ефекти та ефективність адаптації дієти з низьким вмістом вуглеводів і високим вмістом жиру (кетогенної) під час фізичних вправ різної інтенсивності, автори зробили висновки, які кидають сумнів цій моделі і, зазначеним вище, чотирьом ключовим положенням. По-перше, автори стверджують, що адаптація до високовуглеводної дієти зміщує точку переходу до вищого максимального споживання кисню ($>80\% \text{VO}_2 \text{ max}$), ніж повідомлялося раніше. По-друге, значно вищі значення максимальної здатності до окиснення жиру ($>1,5 \text{ г/хв}$) можна зустріти у спортсменів, адаптованих до кетодієти. По-третє, спортсмени на витривалість, які тренувалися при ($>85\% \text{VO}_2 \text{ max}$), виконуючи інтервали бігу $6 \times 800 \text{ м}$, виміряли найвищі показники окиснення жиру серед людей. Пікові швидкості окиснення жиру, виміряні при ($86,4\% \text{VO}_2 \text{ max}$), становили ($1,58 \text{ г/хв.}$), при цьому 30% суб'єктів досягали ($>1,85 \text{ г/хв}$). Ці дослідження кидають виклик поширеній доктрині, згідно з якою вуглеводи є переважаючим окисленим паливом під час високоінтенсивних вправ [26].

Упродовж останніх 60 років рекомендації щодо харчування для занять спортом на витривалість зосереджувалися на стратегіях кінцевих запасів вуглеводів в організмі спортсменів на час змагань. Спортивні випробування на витривалість класифікують як безперервні змагання тривалістю >30 хвилин. Фізичні вправи тривалістю $>4-5$ годин класифікують як *надвитривалість*. Існують переконливі докази того, що адаптація до кетогенної дієти створює суттєві клітинні зміни для збільшення мобілізації, транспортування,

поглинання та окиснення жиру під час тренувань в елітних спортсменів. Максимальні зміни метаболізму м'язового жиру відбуваються упродовж 3–4 тижнів і, ймовірно, через 5–10 днів адаптації. Зміни та значення використання м'язових кетонів поки що невідомі. Є чіткі докази того, що кетоадаптація зменшує окиснення вуглеводів у м'язах. Окиснення вуглеводів є ефективнішим джерелом енергії при дефіциті кисню. Спортсмени, які планують використовувати кетогенні дієти, повинні провести перевірку власного досвіду, щоб збалансувати ризик погіршення виконання вправ високої інтенсивності з потенційними перевагами заміни неминучого виснаження запасів вуглеводів на більшу залежність від використання м'язового жиру [6].

Здатність кетогенної дієти посилювати окиснення м'язового жиру призвела до припущень, що вона «майбутнє елітного спорту на витривалість». Існують переконливі докази того, що значне збільшення окиснення жиру відбувається навіть в елітних спортсменів упродовж 3–4 тижнів і, можливо, 5–10 днів дотримання кетодієти. У результаті адаптації кетодієтою м'язи можуть подвоїти використання жиру під час вправ до (~1,5 г/хв.). При цьому інтенсивність максимальних показників окиснення змінюється з (~45% до ~70%) від максимальної аеробної потужності. Кетоадаптація може погіршити здатність м'язів до використання глікогену, як субстрату для окиснювальних процесів. При потужності вправ (>80%) максимальної аеробної потужності кетоадаптація може мати порогові обмеження, коли надходження кисню стає недостатнім. Навіть при вправах середньої інтенсивності індивідуальна реакція на кетодієту різна, з крайніми значеннями на обох кінцях спектру продуктивності. Зроблено припущення, що кетодієту із високою доступністю вуглеводів можна використати для відновлення здатності до фізичних вправ високої інтенсивності. Натомість дослідження різних моделей кетодієти не виявили переваги над загальноприйнятими дієтичними підходами поточних рекомендацій щодо спортивного харчування. Стаєри, які планують

використовувати кетодієту, мають провести перевірку характеристик події та власного досвіду для збалансування ризику погіршення виконання вправ вищої інтенсивності з ймовірністю неминучого виснаження запасів вуглеводів [9].

Стаєри усіх рівнів кваліфікації шукають шляхи оптимізації тренувальної діяльності у стратегіях тренування, відновлення та харчування. Якщо фізичне випробування триває понад 30 хв основними чинниками втоми вважають зневоднення організму та виснаження вуглеводів. До того ж, погіршується робота шлунково-кишківникового тракту, виникає гіпертермія та гіпонатріємія. Вони негативно впливають на спортивний результат і потенційно загрожують здоров'ю при тривалості роботи понад 4 год або під час харчування по дистанції. Висока концентрація глікогену в м'язах та печінці може бути корисною на початку аеробних вправ. Натомість у другій половині випробування на ультравитривалість пріоритетними будуть жири. Комбінуванням дієт можна розробити індивідуальну харчову стратегію, спрямовану на постачання вуглеводів і жирів із печінки до працюючих м'язів із швидкістю, яка залежить від абсолютної інтенсивності вправ та їх тривалості. Ультравитривалим спортсменам необхідно мінімізувати зневоднення і обмежити втрати маси тіла шляхом потовиділення до 2–3% [16].

Нещодавно поведено, що близька до кетодієти, палеодієта негативно впливає на анаеробну здатність і не впливає на рівень аеробної здатності [13]. Метаболічні зміни, викликані кетодієтами, підвищують показники витривалості. Дієта в діапазоні харчового кетозу створює передумови для реалізації нового підходу до харчування та фізичної готовності. Дослідженнями С. К. Chang та співавторів доведено, що кетодієта генерує енергію лише при значному надходженні O_2 . Вона призводить до зменшення маси тіла, максимальної швидкості окиснення жиру (1,5 г/хв.) та зниження швидкості окиснення вуглеводів. Однак, підвищена концентрація неестерифікованих жирних кислот та аміаку в крові після вживання кетодієти під час фізичних

вправ може призвести до раннього розвитку втоми центральної нервової системи. Для метаболічних змін і відновлення м'язового глікогену необхідно принаймні кілька місяців адаптації до кетодієти [11].

Висновки та подальші напрями досліджень. Харчування високожирною їжею – еволюційно-адаптований спосіб забезпечення організму людини і тварин енергією та водою. Зазначений тип харчування названо *кетодієтою*. Вона призводить до природного стану харчового кетозу ендогенним та екзогенним шляхами.

На етапі зародження кетодієти (~2000 років до н. е.) ендогенний харчовий кетоз створювали шляхом природного голодування, а пізніше шляхом постування. Тривалий час голодування і постування були своєрідним ритуальним способом боротьби з епілептичними приступами. Власне кетодієта виникла на початку 20-х р. XX ст. як метод лікування хворих на діабет. Упродовж другої половини XX ст. і до початку XXI ст. її було витіснено з медичної практики після відкриття протиепілептичних препаратів.

На початку XXI ст. відбулася транслокація кетодієти в нішу спортивної галузі. Сьогодні її використовують спортсмени та фізично активні люди для зменшення жирової маси тіла та збільшення ультравитривалості.

Кетогенна дієта ефективна лише при значному надходженні O_2 в організм спортсмена. Процес кетоадаптації призводить до посилення швидкості окиснення жиру із 0,3–0,6 г/хв до максимальної величини – 1,5 г/хв і знижує швидкість розпаду вуглеводів. Значне збільшення окиснення жиру відбувається після інтенсивного тренування та 3–4 тижневої програми дотримання кетодієти. При цьому інтенсивність максимальних показників окиснення змінюється з ~45% до ~70% від максимальної аеробної потужності. Якщо фізичні випробування тривають понад 4 години спортсмени поповнюють запаси вуглеводів безпосередньо по дистанції. Часте споживання вуглеводів перенаправляє кров з працюючих м'язів до травної системи, призводить до

значної кількості негативних ефектів і погіршує спортивний результат. У цьому випадку пріоритетною може бути кетогенна дієта.

Однак механізму впливу кетодієти та методики її використання остаточно на сьогодні ще не з'ясовано. Існує нагальна потреба подальшого студіювання зазначеної проблеми, насамперед у контексті взаємодії кетодієти з вуглеводним харчуванням.

Список використаних джерел та літератури

1. Біблія. Євангелія від Св. Марка. Уздоровлення сновидного. 17–29, 56–57.
2. Куйбіда В. В. Народні природничі назви: монографія. Корсунь-Шевченківський: Корсунський видавничий дім «Всесвіт», 2017. 896 с. С. 649–650.
3. Bailey CP, Hennessy E. (2020). A review of the ketogenic diet for endurance athletes: performance enhancer or placebo effect? *J Int Soc Sports Nutr.* 17, 33. <https://doi.org/10.1186/s12970-020-00362-9>.
4. Bestard MA, Rothschild JA, Crocker GH. (2020). Effect of low- and high-carbohydrate diets on swimming economy: a crossover study. *J Int Soc Sports Nutr.* Dec 9;17(1):64. doi: 10.1186/s12970-020-00392-3.
5. Burke LM, Ross ML, Garvican-Lewis LA, Welvaert M, Heikura IA, Forbes SG, Mirtschin JG, Cato LE, Strobel N, Sharma AP, Hawley JA. (2017). Low carbohydrate, high fat diet impairs exercise economy and negates the performance benefit from intensified training in elite race walkers. *J Physiol.* May 1;595(9):2785-2807. doi: 10.1113/JP273230.
6. Burke LM, Hawley JA, Jeukendrup A, Morton JP, Stellingwerff T, Maughan RJ. (2018). Toward a Common Understanding of Diet-Exercise Strategies to Manipulate Fuel Availability for Training and Competition Preparation in Endurance Sport. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* Sep 1;28(5):451-463. doi: 10.1123/ijsnem.2018-0289.
7. Burke LM, Sharma AP, Heikura IA, Forbes SF, Holloway M, McKay AKA, Bone JL, Leckey JJ, Welvaert M, Ross ML. (2020). Crisis of confidence averted: Impairment of exercise economy and performance in elite race walkers by ketogenic low carbohydrate, high fat (LCHF) diet is reproducible. *PLoS One.* Jun 4;15(6):e0234027. doi: 10.1371/journal.pone.0234027.
8. Burke LM, Whitfield J, Heikura IA, Ross MLR, Tee N, Forbes SF, Hall R, McKay AKA, Walleth AM, Sharma AP. (2021). Adaptation to a low carbohydrate high fat diet is rapid but impairs endurance exercise metabolism and performance

despite enhanced glycogen availability. *J Physiol.* Feb;599(3):771-790. doi: 10.1113/JP280221.

9. Burke LM. (2021). Ketogenic low-CHO, high-fat diet: the future of elite endurance sport? *J Physiol.* Feb;599(3):819-843. doi: 10.1113/JP278928.

10. Carr AJ, Sharma AP, Ross ML, Welvaert M, Slater GJ, Burke LM. (2018). Chronic Ketogenic Low Carbohydrate High Fat Diet Has Minimal Effects on Acid-Base Status in Elite Athletes. *Nutrients.* Feb 18;10(2):236. doi: 10.3390/nu10020236.

11. Chang CK, Borer K, Lin PJ. (2017). Low-Carbohydrate-High-Fat Diet: Can it Help Exercise Performance? *J Hum Kinet.* Mar 12;56:81-92. doi: 10.1515/hukin-2017-0025.

12. Chiarello N, Leger B, De Riedmatten M, Rossier MF, Vuistiner P, Duc M, Rapillard A, Allet L. (2023). Effect of a four-week isocaloric ketogenic diet on physical performance at very high-altitude: a pilot study. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* Mar 20;15(1):37. doi: 10.1186/s13102-023-00649-9.

13. Frączek B, Pięta A. (2023). Does the Paleo diet affect an athlete's health and sport performance? *Biol Sport.* Oct;40(4):1125-1139. doi: 10.5114/biol sport.2023.123325.

14. Geelmuyden HC (1897). Über die acetonuria bei florizinvergiftung. *Zeitschr. F. Phys. Chem.* 23 :431.

15. Guelpa G., Marie A. (1911). La lutte contre l'épilepsie par la desintoxication et par la reeducation alimentaire. *Revue de Therapie Medico-Chirurgicale.* p. 78 :8–13.

16. Jeukendrup AE. (2011). Nutrition for endurance sports: marathon, triathlon, and road cycling. *J Sports Sci.* 29 Suppl 1:S91-9. doi: 10.1080/02640414.2011.610348.

17. Kang J, Ratamess NA, Faigenbaum AD, Bush JA. (2020). Ergogenic Properties of Ketogenic Diets in Normal-Weight Individuals: A Systematic Review. *J Am Coll Nutr.* Sep-Oct;39(7):665-675. doi: 10.1080/07315724.2020.1725686.

18. Kaspar MB, Austin K, Huecker M, Sarav M. (2019). Ketogenic Diet: from the Historical Records to Use in Elite Athletes. *Curr Nutr Rep.* Dec;8(4):340-346. doi: 10.1007/s13668-019-00294-0.

19. Kephart WC, Pledge CD, Roberson PA, Mumford PW, Romero MA, Mobley CB, Martin JS, Young KC, Lowery RP, Wilson JM, Huggins KW, Roberts MD. (2018). The Three-Month Effects of a Ketogenic Diet on Body Composition, Blood Parameters, and Performance Metrics in CrossFit Trainees: A Pilot Study. *Sports (Basel).* Jan 9;6(1):1. doi: 10.3390/sports6010001.

20. Livingston S. (1972). Comprehensive management of epilepsy in infancy, childhood and adolescence. Charles C. Thomas, Springfield, IL, pp. 378–405.

21. Magiorkinis E, Sidiropoulou K, Diamantis A. (2010). Hallmarks in the history of epilepsy: epilepsy in antiquity. *Epilepsy Behav.* Jan;17(1):103-8. doi: 10.1016/j.yebeh.2009.10.023.

22. Mastriani KS, Williams VC, Hulsey TC, Wheless JW, Maria BL. (2008). Evidence-based versus reported epilepsy management practices. *J Child Neurol.* May;23(5):507-14. doi: 10.1177/0883073807309785.
23. Moitzi AM, König D. (2023). Longer-Term Effects of the Glycemic Index on Substrate Metabolism and Performance in Endurance Athletes. *Nutrients.* Jul 4;15(13):3028. doi: 10.3390/nu15133028.
24. Newburgh LH, Marsh PL. (1920). The use of a high fat diet in the treatment of diabetes mellitus first paper. *Arch. Intern. Med.* 26:647–662. doi: 10.1001/archinte.1920.00100060002001.
25. Newburgh LH, Marsh PL. (1921). The use of a high fat diet in the treatment of diabetes mellitus second paper: Blood sugar. *Arch. Intern. Med.* 27:699–705. doi: 10.1001/archinte.1921.00100120070005.
26. Noakes TD, Prins PJ, Volek JS, D'Agostino DP, Koutnik AP. (2023). Low carbohydrate high fat ketogenic diets on the exercise crossover point and glucose homeostasis. *Front Physiol.* Mar 28;14:1150265. doi: 10.3389/fphys.2023.1150265.
27. Peterman MG. (1925). The ketogenic diet in epilepsy. *JAMA.* 1925;84(26):1979–1983. doi:10.1001/jama.1925.02660520007003
28. Prins PJ, Noakes TD, Buxton JD, Welton GL, Raabe AS, Scott KE, Atwell AD, Haley SJ, Esbenshade NJ, Abraham J. (2023). High fat diet improves metabolic flexibility during progressive exercise to exhaustion (VO₂max testing) and during 5 km running time trials. *Biol Sport.* Apr;40(2):465-475. doi: 10.5114/biolSport.2023.116452.
29. Prins PJ, Noakes TD, Welton GL, Haley SJ, Esbenshade NJ, Atwell AD, Scott KE, Abraham J, Raabe AS, Buxton JD, Ault DL. (2019). High Rates of Fat Oxidation Induced by a Low-Carbohydrate, High-Fat Diet, Do Not Impair 5-km Running Performance in Competitive Recreational Athletes. *J Sports Sci Med.* Nov 19;18(4):738-750. PMID: 31827359;
30. Shaffer P.A. Antiketogenesis. *J. Biol. Chem.* 1921;47:433–448. doi: 10.1016/S0021-9258(18)86088-4.
31. Swink TD, Vining EP, Freeman JM. (1997). The ketogenic diet: 1997. *Adv Pediatr.* 44:297-329. PMID: 9265974.
32. Tinsley GM, Willoughby DS. (2016). Fat-Free Mass Changes During Ketogenic Diets and the Potential Role of Resistance Training. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* Feb;26(1):78-92. doi: 10.1123/ijsnem.2015-0070.
33. Urbain P, Strom L, Morawski L, Wehrle A, Deibert P, Bertz H. (2017). Impact of a 6-week non-energy-restricted ketogenic diet on physical fitness, body composition and biochemical parameters in healthy adults. *Nutr Metab (Lond).* Feb 20;14:17. doi: 10.1186/s12986-017-0175-5.
34. Vargas S, Romance R, Petro JL, Bonilla DA, Galancho I, Espinar S, Kreider RB, Benítez-Porres J. (2018). Efficacy of ketogenic diet on body

composition during resistance training in trained men: a randomized controlled trial. *J Int Soc Sports Nutr.* Jul 9;15(1):31. doi: 10.1186/s12970-018-0236-9.

35. Vargas-Molina S, Petro JL, Romance R, Kreider RB, Schoenfeld BJ, Bonilla DA, Benítez-Porres J. (2020). Effects of a ketogenic diet on body composition and strength in trained women. *J Int Soc Sports Nutr.* Apr 10;17(1):19. doi: 10.1186/s12970-020-00348-7.

36. Webster CC, Swart J, Noakes TD, Smith JA. (2018). A Carbohydrate Ingestion Intervention in an Elite Athlete Who Follows a Low-Carbohydrate High-Fat Diet. *Int J Sports Physiol Perform.* Aug 1;13(7):957-960. doi: 10.1123/ijspp.2017-0392.

37. Wheless JW. (2008). History of the ketogenic diet. *Epilepsia.* Nov;49 Suppl 8:3-5. doi: 10.1111/j.1528-1167.2008.01821.x.

38. Wilder R.M. (1921). The effect of ketonemia on the course of epilepsy. *Mayo Clin. Bull.* 2:307.

39. Williams MS, Turos E. (2021). The Chemistry of the Ketogenic Diet: Updates and Opportunities in Organic Synthesis. *Int J Mol Sci.* May 15;22(10):5230. doi: 10.3390/ijms22105230.

40. Woodyatt RT. (1921). Objects and methods of diet adjustment in diabetes. *Arch. Intern. Med.* 28:125–141. doi: 10.1001/archinte.1921.00100140002001.

41. Zarnowska IM. (2020). Therapeutic Use of the Ketogenic Diet in Refractory Epilepsy: What We Know and What Still Needs to Be Learned. *Nutrients.* Aug 27;12(9):2616. doi: 10.3390/nu12092616.

References

1. Bibliia. Yevanheliia vid Sv. Marka. Uzdorovlennia snovydnoho. 17–29, 56–57. [In Ukrainian].

2. Kuibida, V. V. (2017). Narodni pryrodnychi nazvy: monohrafiia. Korsun-Shevchenkivskyi: Korsunskyi vydavnychy dim «Vsesvit», 896. 649–650. [In Ukrainian].

3. Bailey CP, Hennessy E. (2020). A review of the ketogenic diet for endurance athletes: performance enhancer or placebo effect?. *J Int Soc Sports Nutr.* 17, 33. <https://doi.org/10.1186/s12970-020-00362-9> [In English].

4. Bestard MA, Rothschild JA, Crocker GH. (2020). Effect of low- and high-carbohydrate diets on swimming economy: a crossover study. *J Int Soc Sports Nutr.* Dec 9;17(1):64. doi: 10.1186/s12970-020-00392-3. [In English].

5. Burke LM, Ross ML, Garvican-Lewis LA, Welvaert M, Heikura IA, Forbes SG, Mirtschin JG, Cato LE, Strobel N, Sharma AP, Hawley JA. (2017). Low carbohydrate, high fat diet impairs exercise economy and negates the performance benefit from intensified training in elite race walkers. *J Physiol.* May 1;595(9):2785-2807. doi: 10.1113/JP273230. [In English].

6. Burke LM, Hawley JA, Jeukendrup A, Morton JP, Stellingwerff T, Maughan RJ. (2018). Toward a Common Understanding of Diet-Exercise Strategies

to Manipulate Fuel Availability for Training and Competition Preparation in Endurance Sport. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* Sep 1;28(5):451-463. doi: 10.1123/ijsnem.2018-0289. [In English].

7. Burke LM, Sharma AP, Heikura IA, Forbes SF, Holloway M, McKay AKA, Bone JL, Leckey JJ, Welvaert M, Ross ML. (2020). Crisis of confidence averted: Impairment of exercise economy and performance in elite race walkers by ketogenic low carbohydrate, high fat (LCHF) diet is reproducible. *PLoS One.* Jun 4;15(6):e0234027. doi: 10.1371/journal.pone.0234027. [In English].

8. Burke LM, Whitfield J, Heikura IA, Ross MLR, Tee N, Forbes SF, Hall R, McKay AKA, Walleth AM, Sharma AP. (2021). Adaptation to a low carbohydrate high fat diet is rapid but impairs endurance exercise metabolism and performance despite enhanced glycogen availability. *J Physiol.* Feb;599(3):771-790. doi: 10.1113/JP280221. [In English].

9. Burke LM. (2021). Ketogenic low-CHO, high-fat diet: the future of elite endurance sport? *J Physiol.* Feb;599(3):819-843. doi: 10.1113/JP278928. [In English].

10. Carr AJ, Sharma AP, Ross ML, Welvaert M, Slater GJ, Burke LM. (2018). Chronic Ketogenic Low Carbohydrate High Fat Diet Has Minimal Effects on Acid-Base Status in Elite Athletes. *Nutrients.* Feb 18;10(2):236. doi: 10.3390/nu10020236. [In English].

11. Chang CK, Borer K, Lin PJ. (2017). Low-Carbohydrate-High-Fat Diet: Can it Help Exercise Performance? *J Hum Kinet.* Mar 12;56:81-92. doi: 10.1515/hukin-2017-0025. [In English].

12. Chiarello N, Leger B, De Riedmatten M, Rossier MF, Vuistiner P, Duc M, Rapillard A, Allet L. (2023). Effect of a four-week isocaloric ketogenic diet on physical performance at very high-altitude: a pilot study. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* Mar 20;15(1):37. doi: 10.1186/s13102-023-00649-9. [In English].

13. Frączek B, Pięta A. (2023). Does the Paleo diet affect an athlete's health and sport performance? *Biol Sport.* Oct;40(4):1125-1139. doi: 10.5114/biolSport.2023.123325. [In English].

14. Geelmuyden HC (1897). Über die acetonuria bei florizinvergiftung. *Zeitschr. F. Phys. Chem.* 23 :431. [In English].

15. Guelpa G., Marie A. (1911). La lutte contre l'épilepsie par la desintoxication et par la reeducation alimentaire. *Revue de Therapie Medico-Chirurgicale.* pik; 78 :8–13. [In English].

16. Jeukendrup AE. (2011). Nutrition for endurance sports: marathon, triathlon, and road cycling. *J Sports Sci.* 29 Suppl 1:S91-9. doi: 10.1080/02640414.2011.610348. [In English].

17. Kang J, Ratamess NA, Faigenbaum AD, Bush JA. (2020). Ergogenic Properties of Ketogenic Diets in Normal-Weight Individuals: A Systematic Review. *J Am Coll Nutr.* Sep-Oct;39(7):665-675. doi: 10.1080/07315724.2020.1725686. [In English].

18. Kaspar MB, Austin K, Huecker M, Sarav M. (2019). Ketogenic Diet: from the Historical Records to Use in Elite Athletes. *Curr Nutr Rep.* Dec;8(4):340-346. doi: 10.1007/s13668-019-00294-0. [In English].
19. Kephart WC, Pledge CD, Roberson PA, Mumford PW, Romero MA, Mobley CB, Martin JS, Young KC, Lowery RP, Wilson JM, Huggins KW, Roberts MD. (2018). The Three-Month Effects of a Ketogenic Diet on Body Composition, Blood Parameters, and Performance Metrics in CrossFit Trainees: A Pilot Study. *Sports (Basel).* Jan 9;6(1):1. doi: 10.3390/sports6010001. [In English].
20. Livingston S. (1972). Comprehensive management of epilepsy in infancy, childhood and adolescence. Charles C. Thomas, Springfield, IL, pp. 378–405. [In English].
21. Magiorkinis E, Sidiropoulou K, Diamantis A. (2010). Hallmarks in the history of epilepsy: epilepsy in antiquity. *Epilepsy Behav.* Jan;17(1):103-8. doi: 10.1016/j.yebeh.2009.10.023. [In English].
22. Mastriani KS, Williams VC, Hulsey TC, Wheless JW, Maria BL. (2008). Evidence-based versus reported epilepsy management practices. *J Child Neurol.* May;23(5):507-14. doi: 10.1177/0883073807309785. [In English].
23. Moitzi AM, König D. (2023). Longer-Term Effects of the Glycemic Index on Substrate Metabolism and Performance in Endurance Athletes. *Nutrients.* Jul 4;15(13):3028. doi: 10.3390/nu15133028. [In English].
24. Newburgh LH, Marsh PL. (1920). The use of a high fat diet in the treatment of diabetes mellitus first paper. *Arch. Intern. Med.* 26:647–662. doi: 10.1001/archinte.1920.00100060002001. [In English].
25. Newburgh LH, Marsh PL. (1921). The use of a high fat diet in the treatment of diabetes mellitus second paper: Blood sugar. *Arch. Intern. Med.* 27:699–705. doi: 10.1001/archinte.1921.00100120070005. [In English].
26. Noakes TD, Prins PJ, Volek JS, D'Agostino DP, Koutnik AP. (2023). Low carbohydrate high fat ketogenic diets on the exercise crossover point and glucose homeostasis. *Front Physiol.* Mar 28;14:1150265. doi: 10.3389/fphys.2023.1150265. [In English].
27. Peterman MG. (1925). The ketogenic diet in epilepsy. *JAMA.* 1925;84(26):1979–1983. doi:10.1001/jama.1925.02660520007003 [In English].
28. Prins PJ, Noakes TD, Buxton JD, Welton GL, Raabe AS, Scott KE, Atwell AD, Haley SJ, Esbenshade NJ, Abraham J. (2023). High fat diet improves metabolic flexibility during progressive exercise to exhaustion (VO₂max testing) and during 5 km running time trials. *Biol Sport.* Apr;40(2):465-475. doi: 10.5114/biolSport.2023.116452. [In English].
29. Prins PJ, Noakes TD, Welton GL, Haley SJ, Esbenshade NJ, Atwell AD, Scott KE, Abraham J, Raabe AS, Buxton JD, Ault DL. (2019). High Rates of Fat Oxidation Induced by a Low-Carbohydrate, High-Fat Diet, Do Not Impair 5-km

Running Performance in Competitive Recreational Athletes. *J Sports Sci Med*. Nov 19;18(4):738-750. PMID: 31827359. [In English].

30. Shaffer P.A. Antiketogenesis. *J. Biol. Chem.* 1921;47:433–448. doi: 10.1016/S0021-9258(18)86088-4. [In English].

31. Swink TD, Vining EP, Freeman JM. (1997). The ketogenic diet: 1997. *Adv Pediatr*. 44:297-329. PMID: 9265974. [In English].

32. Tinsley GM, Willoughby DS. (2016). Fat-Free Mass Changes During Ketogenic Diets and the Potential Role of Resistance Training. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. Feb;26(1):78-92. doi: 10.1123/ijsnem.2015-0070. [In English].

33. Urbain P, Strom L, Morawski L, Wehrle A, Deibert P, Bertz H. (2017). Impact of a 6-week non-energy-restricted ketogenic diet on physical fitness, body composition and biochemical parameters in healthy adults. *Nutr Metab (Lond)*. Feb 20;14:17. doi: 10.1186/s12986-017-0175-5. [In English].

34. Vargas S, Romance R, Petro JL, Bonilla DA, Galancho I, Espinar S, Kreider RB, Benítez-Porres J. (2018). Efficacy of ketogenic diet on body composition during resistance training in trained men: a randomized controlled trial. *J Int Soc Sports Nutr*. Jul 9;15(1):31. doi: 10.1186/s12970-018-0236-9. [In English].

35. Vargas-Molina S, Petro JL, Romance R, Kreider RB, Schoenfeld BJ, Bonilla DA, Benítez-Porres J. (2020). Effects of a ketogenic diet on body composition and strength in trained women. *J Int Soc Sports Nutr*. Apr 10;17(1):19. doi: 10.1186/s12970-020-00348-7. [In English].

36. Webster CC, Swart J, Noakes TD, Smith JA. (2018). A Carbohydrate Ingestion Intervention in an Elite Athlete Who Follows a Low-Carbohydrate High-Fat Diet. *Int J Sports Physiol Perform*. Aug 1;13(7):957-960. doi: 10.1123/ijsp.2017-0392. [In English].

37. Wheless JW. (2008). History of the ketogenic diet. *Epilepsia*. Nov;49 Suppl 8:3-5. doi: 10.1111/j.1528-1167.2008.01821.x. [In English].

38. Wilder R.M. (1921). The effect of ketonemia on the course of epilepsy. *Mayo Clin. Bull*. 2:307. [In English].

39. Williams MS, Turos E. (2021). The Chemistry of the Ketogenic Diet: Updates and Opportunities in Organic Synthesis. *Int J Mol Sci*. May 15;22(10):5230. doi: 10.3390/ijms22105230. [In English].

40. Woodyatt RT. (1921). Objects and methods of diet adjustment in diabetes. *Arch. Intern. Med*. 28:125–141. doi: 10.1001/archinte.1921.00100140002001. [In English].

41. Zarnowska IM. (2020). Therapeutic Use of the Ketogenic Diet in Refractory Epilepsy: What We Know and What Still Needs to Be Learned. *Nutrients*. Aug 27;12(9):2616. doi: 10.3390/nu12092616. [In English].

Рецензенти:

О. Я. Пилипчук, д. біол. н., проф.;

Т. М. Підгайна, к. і. н.

Надійшла до редакції: 27.12.2023 р.