

ORCID 0000-0001-5865-1306

КУЙБИДА Віктор

кандидат біологічних наук, доктор історичних наук, професор кафедри біології, методології та методики навчання, декан факультету фізичної культури, спорту і здоров'я, Університет Григорія Сковороди в Переяславі, м. Переяслав, Україна

KUIBIDA Victor

candidate of biological sciences, doctor of historical sciences, professor of the department of biology, methodology and teaching methods, dean of the faculty of physical culture, sports and health, Hryhoriy Skovoroda University in Pereyaslav, Pereyaslav, Ukraine

✉ viktor_kuybida@ukr.net

ORCID 0000-0002-0795-3141

КОХАНЕЦЬ Петро

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

KOHANETZ Petro

candidate of sciences in physical education and sports, associate professor of the department of sports games, deputy dean of the faculty of physical culture, sports and health, Hryhoriy Skovoroda University in Pereyaslav, Pereyaslav, Ukraine

✉ Kohanetz@ukr.net

ORCID 0000-0002-0034-6891

ЛОПАТИНСЬКА Валентина

кандидат педагогічних наук, доцент кафедри біології та методики навчання, Університет Григорія Сковороди в Переяславі, м. Переяслав, Україна

LOPATYNSKA Valentina

candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Biology and Teaching Methods, Hryhoriy Skovoroda University in Pereyaslav, Pereyaslav, Ukraine

✉ Kohanetz@ukr.net**ОПТИМІЗАЦІЯ ВУГЛЕВОДНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В ТРИАТЛОНІ****OPTIMIZATION OF CARBOHYDRATE ENERGY SUPPLY IN TRIATLON****Анотація.**

Вступ. Під час довготривалих випробувань спортсмени змушені харчуватися по дистанції. Вживання вуглеводно-електролітичних речовин вирішує, щонайменше, кілька завдань: покращення спортивного результату, уникнення шлунково-кишкових розладів та збереження здоров'я. Основною транспортною енергетичною формою вуглеводів в триатлоні є глюкоза. Водночас всмоктування глюкози може бути обмежене здатністю ентероцитів кишкової транспортної системи. У сучасній літературі та методиці дані, які стосуються використання вуглеводних батончиків, гелів та розчинів ще й досі суперечливі щодо їх вживання до тренування, під час випробування та після нього. До того ж, не у повній мірі розкрито взаємозв'язок між механізмом транспорту та енергогенеруючим окисненням моносахаридів. Проблема оптимізації вуглеводного енергозабезпечення в триатлоні є **актуальною**, тому що має теоретичний і практичний характер.

Метою оглядового дослідження було з'ясування механізму ефективного проникнення вуглеводів в кровоносну систему, швидкості їх екзогенного окиснення та оптимізації методики харчування по дистанції в триатлоні.

Методи дослідження: теоретичний аналіз, систематизація та узагальнення даних літературних джерел, електронної бази даних *PubMed*.

Результати дослідження та висновки. Вуглеводи проникають з просвіту кишківника в ентероцити, а з них у кровоносну систему за участі різних переносників. Вживання змішаних типів

вуглеводів (глюкоза + фруктоза + трегалоза) збільшує швидкість поглинання вуглеводів шлунково-кишковим трактом та швидкість їх окиснення в клітинах організму.

Ключові слова: транспорт вуглеводів, окиснення вуглеводів, триатлон.

Annotation.

Abstract. During long-term tests, athletes are forced to eat according to the distance. The use of carbohydrate-electrolyte substances solves at least several tasks: improving sports performance, avoiding gastrointestinal disorders and maintaining health. The main transport energy form of carbohydrates in triathlon is glucose. At the same time, the absorption of glucose can be limited by the ability of enterocytes of the intestinal transport system. Current literature and methodology regarding the use of carbohydrate bars, gels, and solutions are still controversial regarding their use before, during, and after training. In addition, the relationship between the transport mechanism and the energy-generating oxidation of monosaccharides has not been fully revealed. The problem of optimizing carbohydrate energy supply in triathlon **is relevant** because it has a theoretical and practical nature.

The purpose of the review study was to find out the mechanism of effective penetration of carbohydrates into the circulatory system, the speed of their exogenous oxidation and optimization of the **method** of nutrition for the distance in triathlon. The literature search was carried out using keywords in the PubMed electronic database.

Research results and conclusions. Carbohydrates penetrate from the lumen of the intestine into enterocytes, and from them into the circulatory system with the participation of various carriers. Consumption of mixed types of carbohydrates (glucose + fructose + trehalose) increases the rate of absorption of carbohydrates by the gastrointestinal tract and the rate of their oxidation in body cells.

Key words: transport of carbohydrates, oxidation of carbohydrates, triathlon.

Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень та публікацій. На сьогодні у видах випробувань на ультравитривалість під час проходження дистанції широко застосовують вуглеводно-електролітні розчини, батончики, гелі [11, 12]. Харчування по дистанції покращує спортивні результати, але призводить до виникнення шлунково-кишкових розладів та захворювань [9, 13]. Зокрема, близько 52% спортсменів мають відрижку, 48% – здуття живота, блювоту, нудоту, біль у животі, кишкові спазми та діарею [7, 8], зміни температури ядра тіла та біосинтезу білків термального шоку [10]. Усвідомлене розуміння механізму оптимального вуглеводного харчування буде сприяти підвищенню рівня прояву динамічної витривалості, зменшенню частоти розладів травної системи та збереженню здоров'я спортсменів [5, 6, 20, 22, 23].

Метою оглядового дослідження було з'ясування механізму ефективного проникнення вуглеводів в кровоносну систему, швидкості їх екзогенного окиснення та оптимізації методики харчування по дистанції в триатлоні.

Методи дослідження: теоретичний аналіз, систематизація та узагальнення даних літературних джерел, електронної бази даних *PubMed*.

Результати досліджень і дискусія. Триатлон – це змагання на витривалість, які включають плавання, біг та їзду на велосипеді. Різні види триатлону відрізняються довжиною дистанції – спринтерські перегони (плавання 750 м, велогонка 20 км, біг 5 км) та *Ironman* (плавання 3,800 км, велогонка 180,2 км, біг 42,2 км). Вуглеводи є основним джерелом енергії для спортсменів – стайерів. Під час довготривалих випробувань спортсменам необхідно оптимально харчуватися по дистанції, для того, щоб максимізувати свій потенціал для успіху та уникнути шлунково-кишкового синдрому [12, 17].

Переважає більшість вуглеводів поглинаються кишківником у вигляді моносахаридів. Лише невелика їх кількість адсорбується у формі дисахаридів. Натомість всмоктування глюкози може бути обмежене здатністю ентероцитів кишкової транспортної системи. Поглинання глюкози в кишківнику забезпечується однією транспортною системою, а фруктози – іншою. Поєднання споживання суміші глюкози та фруктози збільшує загальну доступність екзогенних вуглеводів, забезпечує вищу швидкість їх окислення, оптимізує процес енергозабезпечення, призводить до зменшення шлунково-кишкового дистресу. Результати досліджень свідчать, що вживання суміші моносахаридів призводить до збільшення швидкості поглинання глюкози в крові (до 90 г/год (1,5 г/хв) і до покращення показників витривалості порівняно із використанням лише розчину глюкози [3, 4].

В експерименті Патріка Вілсона зі співавторами (2015) протестовано 54 учасники (43 чоловіки та 11 жінок). Вони вживали 80 продуктів і напоїв з унікальним профілем сахаридів. Із загальної кількості вуглеводів середні пропорції глюкози, фруктози та сахарози становили 64%, 5% та 10%, і лише 7 продуктів (8,8%) мали співвідношення глюкози до фруктози від 1,2:1 до 1:1. Середнє співвідношення глюкози до фруктози в спожитих вуглеводах становило 2,9:1 (2,2:1-5,3:1). Двадцять учасників споживали ≥ 50 г·год (-1) вуглеводів під час запливу та велопробігу.

Виявлено значні кореляції з випадками шлунково-кишкового дистресу під час бігу для глюкози ($r = 0,480$, $p = 0,032$) та фруктози ($r = -0,454$, $p = 0,044$). Авторами дослідження зроблено висновок, що вживання суміші глюкози та фруктози (≥ 50 г/год⁻¹) під час надвитривалого триатлону збільшує окислення екзогенних вуглеводів, мінімізуючи шлунково-кишковий розлад. Середні пропорції глюкози, фруктози та сахарози становили 64%, 5% і 10% [16, 20].

Дослідники Baur D.A., Toney H.R., Saunders M.J. et al. (2019), Rowlands D.S., Houltham S.D. (2017) вивчали вплив вуглеводів, які переносяться кількома способами (батончики, гелі та напої) на ефективність змагань з триатлону. Виявлено, що вживання декількох вуглеводів (2:1 глюкоза-фруктоза) у випробуваннях з високим темпом (> 78 г/год⁻¹) покращує окислення екзогенних вуглеводів, поглинання рідини, комфорт кишківника та продуктивність порівняно з однією лише глюкозою [1, 16].

Не всі вуглеводи окислюються з однаковою швидкістю. Через це вони можуть бути не однаково ефективними. Глюкоза, сахароза, мальтоза, мальтодекстрин і амілопектин окислюються з високою швидкістю. Натомість фруктоза, галактоза та амілоза окислюються на 25-50% нижчими темпами. Комбінації кількох транспортабельних вуглеводів можуть збільшити загальне поглинання та загальне екзогенне окислення вуглеводів. Збільшення споживання вуглеводів до 1,0-1,5 г/хв збільшить окислення приблизно до 1,0-1,1 г/хв. Однак, подальше збільшення споживання не призведе до подальшого збільшення швидкості окислення [7, 2].

Шлунково-кишковий тракт відіграє важливу роль у доставці вуглеводів і рідини під час тривалих фізичних навантажень і може бути головним чинником продуктивності. Частота проблем зі шлунково-кишковим трактом у спортсменів, які беруть участь у змаганнях на витривалість, висока. Дієта з високим вмістом вуглеводів збільшить щільність натрій-залежних транспортерів глюкози-1 (SGLT1) в кишківнику, а також активність транспортера, що дозволить краще поглинати та окислювати вуглеводи під час виконання фізичних вправ. Зазначено, що при швидкості поглинання глюкози, сахарози, мальтози, мальтодекстрину, крохмалю понад 60–70 г/год екзогенне окислення вуглеводів досягає піку близько 60 г/год. Якщо швидкість поглинання вуглеводів шлунково-кишковим трактом збільшується вдвічі то швидкість їх окислення у клітинах організму становить близько 60 г/год, але при цьому посилюються проблеми з шлунково-кишковим трактом. При одночасному споживанні кількох харчових компонентів (глюкози, сахарози, гліцину, Na⁺) виникає менше розладів шлунково-кишкового тракту. Дієтологи рекомендують вживати близько 60 г/год вуглеводів під час виконання фізичних вправ, що тривають до 2 годин; якщо фізичне навантаження триває ≥ 2 год, необхідно вживати 90 г/год [8].

Дослідники рекомендують зробити акцент на збільшенні споживання вуглеводів перед змаганнями відповідно до потреб наступної діяльності упродовж підготовчого періоду. Під час тренування при швидкості споживання (> 60 г-год⁻¹) суміші глюкози та фруктози зі співвідношенням (1:0,8) є більш оптимальним, ніж при 2:1. Короткострокове відновлення може бути оптимізоване шляхом поєднання глюкози та фруктози для одночасного спрямування на синтез глікогену в печінці та м'язах [14, 11].

Міжнародне товариство спортивного харчування (ISSN) рекомендує спортсменам і тренерам споживання вуглеводів зі швидкістю ~ 30 -60 г вуглеводів/год у 6-8% розчині вуглеводів-електролітів (6-12 унцій рідини) кожні 10-15 хв упродовж всього періоду фізичного навантаження, особливо при тривалості виконання вправи понад 70 хв [9].

Спільне споживання глюкози та галактози зменшує рівень галактози в плазмі. Однак, як свідчать результати досліджень, під час виконання фізичних вправ це не призвело до посиленого окислення прийнятої галактози. Насправді спільне споживання глюкози та галактози призвело до тривіального (0,05 г/хв⁻¹) зниження екзогенного окислення галактози, що дорівнювало б різниці в ~ 6 г за всі 150 хв вправи [13].

Пікові швидкості екзогенного окислення вуглеводів досягають ~ 1 г/хв⁻¹ під час виконання фізичних вправ, коли надходить велика кількість глюкози або її полімерів. Фахівці наголошують, що одночасне споживання посилить швидкість окислення екзогенних вуглеводів. Десять тренуваних велосипедистів (VO_{2peak} : 65 ± 2 мл·кг⁻¹·хв⁻¹) чотири рази їздили на велосипеді по 180 хв при 50% W_{max} , під час якого вони споживали розчин вуглеводів, що забезпечує 1,8 г-хв⁻¹ глюкози (GLU), 1,2 г-хв⁻¹ глюкози + 0,6 г-хв⁻¹ фруктози (GLU + FRU), 0,6 г-хв⁻¹ глюкози + 1,2 г-хв⁻¹ сахарози (GLU + SUC) або води (WAT). Пікові швидкості екзогенного окислення вуглеводів не відрізнялися між GLU + FRU та GLU + SUC ($1,40 \pm 0,06$ проти $1,29 \pm 0,07$ г-хв⁻¹ відповідно, $p = 0,999$), але були на $46\% \pm 8\%$ вищими від ГЛУ ($0,96 \pm 0,06$ г-хв⁻¹: $p < 0,05$). Швидкість екзогенного окислення вуглеводів упродовж останніх 120 хвилин тренування була на $46\% \pm 8\%$ вищою в GLU + FRU або GLU + SUC у порівнянні з GLU ($1,19 \pm 0,12$, $1,13 \pm 0,21$ і $0,82 \pm 0$), 16 г-хв⁻¹ відповідно ($p < 0,05$). Зроблено висновок, що одночасне споживання фруктози (0,6 г-хв⁻¹) з глюкозою (1,2 г-хв⁻¹), яка постачається у вигляді моносахариду або у вигляді сахарози, прискорює швидкість окислення екзогенних вуглеводів під час тривалості роботи у тренуваних

велосипедистів, але були на $46\% \pm 8\%$ вищими захворюваннями з GLU ($0,96 \pm 0,06$ г·хв⁻¹: $p < 0,05$) [18, 19, 15].

У процесі виснажливого тренування застосовують розчин **трегалози**. Цей дисахарид викликає повільне підвищення рівня глюкози в крові та реакції інсуліну порівняно з розчином глюкози. Він допомагає підтримувати працездатність на пізніх стадіях довготривалих вправ. Метою дослідження Hamada N., Wadazumi T., Hirata Y. et al. (2021-2022) та було з'ясування найнижчої ефективної концентрації трегалози. Учасники експерименту виконували 60-хвилинну вправу з постійним навантаженням при 40% VO_2 . Зроблено висновок, що трегалоза може бути корисною для виготовлення нового типу змішаного вуглеводного розчину [5, 6].

Під час високоінтенсивного переривчастого фізичного навантаження тривалістю 5 год. не було виявлено відмінностей між групами у виконанні вправ на пізніх стадіях з концентраціями 8,6 і 4% розчину трегалози [5].

Відомо, що основною транспортною енергетичною формою вуглеводів є глюкоза, яка, зазвичай, забезпечує близько 80% калорій енергії. У продуктах харчування переважають різновиди крохмалю та глікоген, з яких в процесі розпаду виділяється глюкоза. При вживанні молочної їжі накопичується галактоза, а з фруктів, меду, сахарози виділяється фруктоза. Разом вони складають близько 20% моносахаридів, які всмоктуються кишківником. Для оптимізації методики харчування по дистанції ми графічно представили механізм транспорту Na^+ та глюкози в ентероцитах кишківника шляхом полегшеної дифузії та переносниками (Рис. 1).

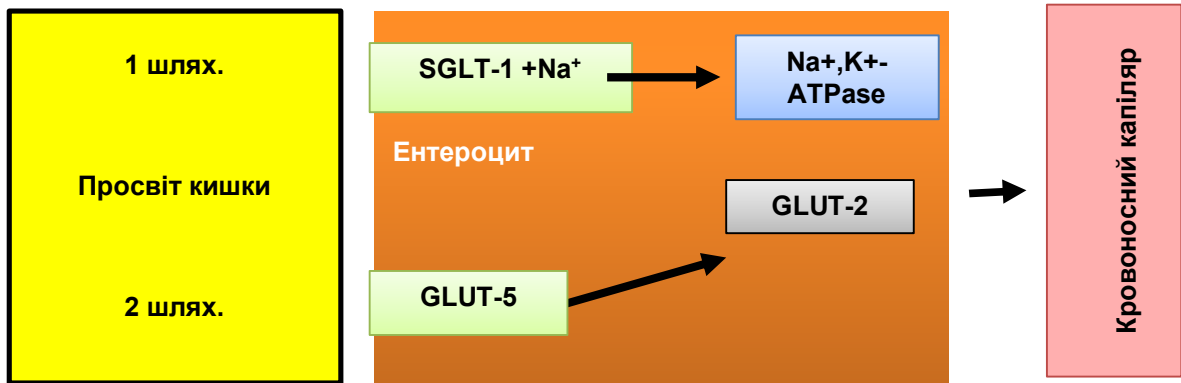


Рис. 1. Механізм транспорту Na^+ та глюкози в ентероцитах кишківника шляхом полегшеної дифузії (1) та переносниками (2)

Під час харчування по дистанції глюкоза та електроліт заповнюють кишківник. Концентрація глюкози та іонів Na^+ в просвіті кишки зростає. Поглинання глюкози шляхом полегшеної дифузії здійснюється Na^+ -залежним транспортом (SGLT-1 + Na^+ , 1 шлях). Частину моносахариду в ентероцит транспортують переносники глюкози (GLUT-5, 2 шлях). Максимальний рівень всмоктування глюкози в кишці становить 120 г/год (Рис. 1).

Натомість фруктоза та галактоза транспортуються в ентероцит незалежно від градієнта натрію. Поглинання відбувається за допомогою ще одного транспортера (GLUT-2, 3 шлях). У результаті використання третього шляху максимальний рівень всмоктування глюкози в кишці може досягти 180 г/год. Концентрація вуглеводів у кровоносній системі, печінці, м'язах збільшується, дещо посилюється їх окислення та утворення АТФ. Після відновлення енергетичного ресурсу організму зростає рівень проявлення динамічної витривалості.

Висновки. Базові вуглеводи (глюкоза, фруктоза, галактоза) проникають з просвіту кишківника в ентероцити, а з них у кровоносну систему за участі різних мембранних переносників.

Вживання змішаних типів вуглеводів під час фізичного випробування призводить до збільшення швидкості їх поглинання шлунково-кишковим трактом, окислення в м'язових волокнах та покращення спортивних результатів в триатлоні.

Вживання суміші вуглеводів (глюкоза + фруктоза + трегалоза) під час фізичного випробування має переваги над однокомпонентним вуглеводно-електролітним розчином, оскільки викликає менше шлунково-кишкових ускладнень у спортсменів під час змагань в триатлоні.

Перспективи подальших досліджень полягають у визначенні ефективності застосування вуглеводного забезпечення організму спортсменів в процесі змагань в триатлоні.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність будь-якого конфлікту інтересів.

References

1. Baur D.A., Toney H.R., Saunders M.J., Baur K.G., Luden N.D., Womack C.J. (2019). Carbohydrate hydrogel beverage provides no additional cycling performance benefit versus

- carbohydrate alone. *Eur J Appl Physiol*. Dec;119(11-12):2599-2608. doi: 10.1007/s00421-019-04240-4.
2. Cermak N.M., van Loon L.J. (2013). The use of carbohydrates during exercise as an ergogenic aid. *Sports Med*. Nov; 43 (11):1139-55. doi: 10.1007/s40279-013-0079-0.
3. Fuchs C.J., Gonzalez J.T., van Loon L.J.C. (2019). Fructose co-ingestion to increase carbohydrate availability in athletes. *J. Physiol*. 597:3549–3560. doi:10.1113/JP277116.
4. Gonzalez J.T., Fuchs C.J., Betts J.A., van Loon L.J. (2017). Glucose Plus Fructose Ingestion for Post-Exercise Recovery-Greater than the Sum of Its Parts? *Nutrients*. Mar 30;9(4):344. doi: 10.3390/nu9040344.
5. Hamada N., Wadazumi T., Hirata Y., Watanabe H., Hongu N., Arai N. (2022). Effects of Trehalose Solutions at Different Concentrations on High-Intensity Intermittent Exercise Performance. *Nutrients*. Apr 23; 14(9):1776. doi: 10.3390/nu14091776.
6. Hamada N., Wadazumi T., Hirata Y., Kuriyama M., Watanabe K., Watanabe H., Hongu N., Arai N. (2021). Single ingestion of trehalose enhances prolonged exercise performance by effective use of glucose and lipid in healthy men. *Nutrients*.; 13:1439. doi:10.3390/nu13051439.
7. Jeukendrup A.E., Jentjens R. (2000). Oxidation of carbohydrate feedings during prolonged exercise: current thoughts, guidelines and directions for future research. *Sports Med*. Jun; 29(6):407-24. doi: 10.2165/00007256-200029060-00004.
8. Jeukendrup A.E. (2017). Training the Gut for Athletes. *Sports Med*. Mar; 47(Suppl 1):101-110. doi: 10.1007/s40279-017-0690-6.
9. Kerksick C.M., Arent S, Schoenfeld B.J., Stout J.R., Campbell B., Wilborn C.D., Taylor L., Kalman D., Smith-Ryan A.E., Kreider R.B., Willoughby D., Arciero P.J., VanDusseldorp T.A., Ormsbee M.J., Wildman R., Greenwood M., Ziegenfuss T.N., Aragon A.A., Antonio J. (2017). International society of sports nutrition position stand: nutrient timing. *J Int Soc Sports Nutr*. Aug 29;14:33. doi: 10.1186/s12970-017-0189-4.
10. Kuibida, V., Kokhanets, P., & Lopatynska, V. (2022). Heat shock proteins in adaptation to physical exertion. *Ukr. Biochem.J.*; 94, No. 2, March-April, 5-14. doi: <https://doi.org/10.15407/ubj94.02.005>.
11. Malone J.J., Hulton A.T., MacLaren DPM. (2021). Exogenous carbohydrate and regulation of muscle carbohydrate utilisation during exercise. *Eur J Appl Physiol*. May;121(5):1255-1269. doi: 10.1007/s00421-021-04609-4.
12. Martínez-Olcina M., Miralles-Amorós L., Asencio-Mas N., Vicente-Martínez M., Yáñez-Sepúlveda R., Martínez-Rodríguez A. (2022). Ingestion of Carbohydrate Solutions and Mouth Rinse on Mood and Perceptual Responses during Exercise in Triathletes. *Gels*. Jan 9;8(1):50. doi: 10.3390/gels8010050.
13. Odell O.J., Impey S.G., Shad B.J., Podlogar T., Salgueiro R.B., Rowlands D.S., Wallis G.A. (2022). Oxidation of independent and combined ingested galactose and glucose during exercise. *J Appl Physiol* (1985). Nov 1;133(5):1166-1174. doi: 10.1152/jappphysiol.00105.2022.
14. Podlogar T., Wallis G.A. (2022). New Horizons in Carbohydrate Research and Application for Endurance Athletes. *Sports Med*. Dec;52(Suppl 1):5-23. doi: 10.1007/s40279-022-01757-1.
15. Rosset R., Lecoultre V., Egli L., Cros J., Dokumaci A.S., Zwygart K., Boesch C., Kreis R., Schneiter P., Tappy L. (2017). Postexercise repletion of muscle energy stores with fructose or glucose in mixed meals. *Am J Clin Nutr*. Mar;105(3):609-617. doi: 10.3945/ajcn.116.138214.
16. Rowlands D.S, Houltham S.D. (2017). Multiple-Transportable Carbohydrate Effect on Long-Distance Triathlon Performance. *Med Sci Sports Exerc*. Aug;49(8):1734-1744. doi: 10.1249/MSS.0000000000001278.
17. Sousa C.V., Nikolaidis P.T., Knechtle B. (2020). Ultra-triathlon-Pacing, performance trends, the role of nationality, and sex differences in finishers and non-finishers. *Scand J Med Sci Sports*. Mar; 30(3):556-563. doi: 10.1111/sms.13598.
18. Trommelen J., Beelen M., Pinckaers P.J., Senden J.M., Cermak N.M., Van Loon L.J. (2016). Fructose Coingestion Does Not Accelerate Postexercise Muscle Glycogen Repletion. *Med Sci Sports Exerc*. May; 48(5):907-12. doi: 10.1249/MSS.0000000000000829.
19. Trommelen J., Fuchs C.J., Beelen M., Lenaerts K., Jeukendrup A.E., Cermak N.M., van Loon L.J. (2017). Fructose and Sucrose Intake Increase Exogenous Carbohydrate Oxidation during Exercise. *Nutrients*. Feb 20;9(2):167. doi: 10.3390/nu9020167.
20. Wadazumi T., Watanabe, K., & Arai, N. (2019). Effects of a single ingestion of trehalose during prolonged exercise. *Sports*. 7:100. doi: 10.3390/sports7050100.
21. Wilson P.B., Rhodes G.S., Ingraham S.J. Saccharide (2015). Composition of Carbohydrates Consumed during an Ultra-endurance Triathlon. *J Am Coll Nutr*.;34(6):497-506. doi: 10.1080/07315724.2014.996830.

22. Yoshizane C., Mizote A., Yamada M., Arai N., Arai S., Maruta K., & Fukuda S. (2017). Glycemic, insulinemic and incretin responses after oral trehalose ingestion in healthy subjects. *Nutr. J.* 16:9. doi:10.1186/s12937-017-0233-x.
23. Yoshizane C., Mizote A., Arai C., Arai N., Ogawa, R., Endo, S., & Ushio, S. (2020). Daily consumption of one teaspoon of trehalose can help maintain glucose homeostasis: A double-blind, randomized controlled trial conducted in healthy volunteers. *Nutr. J.* 19:68. doi: 10.1186/s12937.