

OBCIĄŻANIE WĘGLOWODANAMI W SPORTACH WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH – WCZORAJ I DZIŚ

CARBOHYDRATE LOADING IN ENDURANCE SPORTS – THEN AND NOW

Karolina Furmańska

Studia II stopnia, Dietetyka, UJ CM, Kraków

Streszczenie

Węglowodany stanowią główne źródło energii dla pracujących mięśni szkieletowych. Ich prawidłowa podaż w żywieniu warunkuje utrzymanie odpowiedniego poziomu glikogenu mięśniowego, natomiast metoda obciążania węglowodanami pozwala doprowadzić do jego superkompensacji poprawiając tym samym zdolności wysiłkowe sportowca.

Na podstawie przeglądu dostępnego piśmiennictwa przedstawiono metodykę stosowania procedury obciążania węglowodanami oraz opisano w jaki sposób została modyfikowana na przestrzeni lat. Pierwsze opisane tradycyjne cykle 6-dniowe znacznie ingerowały w zakres intensywności wykonywanych przez sportowca jednostek treningowych jednocześnie zaburzając plan przygotowawczy. Etap wprowadzenia diety wysokowęglowodanowej poprzedzały trzy dni żywienia z niskim ich udziałem, co niejednokrotnie wiązało się z pogorszeniem samopoczucia oraz osłabieniem zawodnika. Każde kolejne zaproponowane przez badaczy protokoły były skracane i upraszczane tak, aby niosły jak najwięcej korzyści i możliwie najmniej efektów ubocznych.

Aktualne Stanowisko Międzynarodowej Federacji Lekkiej Atletyki rekomenduje zwiększenie spożycia węglowodanów od 10 do 12 g/ kg masy ciała na 36-48 godzin przed planowanym startem oraz ograniczenie aktywności fizycznej na czas trwania superkompensacji, aby zminimalizować ryzyko przedwczesnego rozpadu glikogenu mięśniowego.

Celem pracy jest przedstawienie aktualnego stanu wiedzy na temat obciążania węglowodanami stosowanego przez sportowców dyscyplin wytrzymałościowych.

Słowa kluczowe: obciążanie węglowodanami, superkompensacja glikogenu, sporty wytrzymałościowe

Abstract

Carbohydrates are the main source of energy for working skeletal muscles. Their correct intake in nutrition determines the maintenance of an adequate level of muscle glycogen, while the carbohydrate loading enables for its supercompensation, therefore, improving the athletes' exercise capacity.

Based on the collected literature, the methodology for using the carbohydrate loading protocol has been presented and describes how it has been modified over the years. The first described 6-day classical regimen significantly interfered with the intensity of the training units performed by the athlete while disturbing the preparation plan. The stage of introducing a high-carbohydrate diet was preceded by three days of nutrition with low carbohydrate intake, which was often associated with a deterioration of the well-being and weakness of the athlete. Each subsequent protocol proposed by the scholars is shortened and simplified to bring as many benefits as possible and the least possible side effects.

The current position of The International Association of Athletics Federations recommends increasing carbohydrate intake from 10 to 12 g/kg body weight 36-48 hours before the planned competition and limiting physical activity for the duration of supercompensation to minimize the risk of premature breakdown of muscle glycogen.

The aim of the article is to present the current state of knowledge about carbohydrate loading used by athletes in endurance disciplines.

Keywords: carbohydrate loading, glycogen supercompensation, endurance sports

Wprowadzenie

O tym, jak istotną rolę w sporcie pełni żywienie zauważono już wiele lat temu. Niemniej jednak, pomimo wielu przeprowadzonych już badań, wytyczne są często aktualizowane, co świadczy o tym, jak ważny jest to problem oraz ile zagadnień jest jeszcze niezbadane.

Nie ulega wątpliwości, że podstawowym warunkiem, który musi być spełniony w kontekście żywienia w sportach wytrzymałościowych jest dostarczenie organizmowi energii adekwatnej do zapotrzebowania, pokrywającej koszty energetyczne związane z obciąż-

eniem treningowym oraz prawidłowym funkcjonowaniem organizmu. Głównym źródłem energii podczas długotrwałego wysiłku są zarówno glikogen jak i lipidy. Biorąc pod uwagę fakt, że węglowodany są ekonomiczniejszym źródłem energii niż tłuszcze oraz mogą być źródłem ATP w warunkach beztlenowych, tym samym stają się najważniejszym źródłem paliwa dla pracujących mięśni na okres długiego, intensywnego wysiłku [1,2].

Właściwe stężenie glukozy we krwi jak i odpowiednie zasoby glikogenu zmagazynowanego w wątrobie

i mięśniach szkieletowych są kluczowym źródłem energii podczas wysiłku fizycznego. Niski poziom glukozy we krwi oraz ubogie zasoby glikogenu mięśniowego skutkują wczesnym wystąpieniem zmęczenia w czasie długotrwałego wysiłku oraz zmniejszeniem wydolności. Niezmiernie istotne jest zatem zgromadzenie wysokich zasobów glikogenu przed wysiłkiem [1,2].

Świadomość związku pomiędzy poziomem glikogenu, a wydolnością fizyczną stała się przed laty podstawą sformułowania koncepcji obciążania węglowodanami CHO-L (z ang. *carbohydrate loading*), co w praktyce sprowadza się do ich zwiększonego spichrzenia w postaci glikogenu. Jak dzisiaj wiemy, zawartość glikogenu w mięśniach szkieletowych u osób niewytrenowanych oscyluje w granicach 80-90 mmol/kg masy mięśni, natomiast u sportowców dyscyplin wytrzymałościowych wartość ta jest wyższa i wynosi 125 mmol/kg masy mięśni. Wprowadzenie strategii CHO-L wraz modyfikacjami w zakresie intensywności treningu umożliwia zmagazynowanie glikogenu mięśniowego nawet do 200 mmol/kg masy mięśni [3]. Współcześnie podana metoda wykorzystywana jest w przygotowaniu zawodnika przed udziałem w zawodach wytrzymałościowych i ma na celu zgromadzenie zasobów glikogenu mięśniowego ponad normalny stan. Korzystny wpływ superkompensacji glikogenu jest zauważalny w przypadku wysiłku trwającego dłużej niż 90 min, do którego możemy zaliczyć długodystansowe wyścigi kolarskie czy biegi maratońskie.

Obecny stan wiedzy na temat stosowania CHO-L jest wynikiem wieloletnich badań eksperymentalnych, które potwierdziły intuicyjne próby zawodników sportów wytrzymałościowych w tym zakresie.

Zatem celem pracy jest w oparciu o dostępne piśmiennictwo przedstawienie aktualnych wytycznych w zakresie koncepcji obciążania węglowodanami na tle zmian, jakie miały miejsce od początków pierwszych, udokumentowanych badań.

Ewolucja koncepcji superkompensacji glikogenu

Jednym z warunków skutecznego treningu sportowego jest osiągnięcie stanu superkompensacji, w którym wzrost poziomu wytrenowania zawodnika (objawiający się poprawą pożądanых cech np. siły i/lub masy mięśni, szybkości, wytrzymałości oraz dynamiki) następuje dzięki odpowiedniemu, systematycznie powtarzanemu wysiłkowi fizycznemu oraz właściwej regeneracji powysiłkowej (w trakcie fazy potreningowej), której głównym elementem powinny być właściwe żywienie, ewentualna suplementacja diety i odnowa biologiczna [4].

Natomiast określenie superkompensacji w kontekście żywienia, znane jest pod pojęciem obciążania węglowodanami. Jednym z pierwszych badań, podjętych przez szwedzkich naukowców Bergströma i Hultmana [5] w tym temacie był eksperyment

wykonany w latach 60. polegający na oznaczaniu zawartości glikogenu w mięśniach kończyn dolnych z wykorzystaniem biopsji przed i po wykonanych ćwiczeniach. Podana metoda umożliwiła przeprowadzenie szeregu badań metabolizmu mięśni oraz określenie wpływu treningu i żywienia na wybrane właściwości włókien mięśniowych, a przede wszystkim na efektywność syntezy glikogenu. Badacze stwierdzili, że wyczerpanie się zasobów glikogenu mięśniowego w wyniku aktywności fizycznej pozwala skuteczniej go odbudować, a nawet doprowadzić do odbudowy zasobów z nadwyżką (superkompensacji) przy wysokim udziale węglowodanów w żywieniu. W efekcie może wpłynąć to na zwiększenie zdolności wysiłkowych. Wnioski wyciągnięte z tego doświadczenia pozwoliły naukowcom w kolejnych latach sformułować koncepcję CHO-L i tak modyfikować kolejne protokoły obciążania węglowodanami, aby ich wdrożenie w czasie przygotowania do zawodów nie stanowiły dużego obciążenia dla zawodnika, a jednocześnie były coraz bardziej skuteczne.

Protokół siedmiodniowy

Pierwszy opisany protokół CHO-L obejmował 6 dni modyfikacji w zakresie treningu i żywienia [6]. Pierwszego dnia rano zawodnik wykonywał długi, intensywny trening, po którym wprowadzał dietę niskowęglowodanową. Przez kolejne dwa dni kontynuował spożycie węglowodanów na niskim poziomie oraz wykonywał ćwiczenia o niskiej intensywności. Czwartego dnia sportowiec po raz drugi podejmował się intensywniej sesji treningowej mającej na celu maksymalne uszczuplenie zasobów glikogenu oraz wprowadzał posiłki wysokowęglowodanowe, aż do dnia startu w zawodach [6,7] (Tabela 1).

Przedstawiony cykl pozwalał osiągnąć główny cel, jakim jest zmagazynowanie zasobów glikogenu ponad normalny stan. Natomiast miał wiele niedociągnięć i wad. Wykonywanie dwóch, bardzo intensywnych i wyczerpujących sesji treningowych na kilka dni przed startem zaburzało plan przygotowawczy zawodnika. Poza tym dochodziło do konfliktu z uzyskaniem superkompensacji zdolności wysiłkowych. Dodatkowo niskowęglowodanowa, bardzo restrykcyjna dieta stosowana przez pierwsze trzy dni cyklu, poza dodatkowym utrudnieniem dla sportowca, mogła stać się czynnikiem wywołującym hipoglikemię, która wiąże się z gorszym samopoczuciem, osłabieniem oraz zmęczeniem [8].

Zmodyfikowany protokół siedmiodniowy

Kilka lat później, Sherman W. i wsp. [8] zaproponowali nowy, zmodyfikowany cykl, który eliminował skutki uboczne protokołu przedstawionego powyżej (Tabela 1). Schemat pozostał ten sam, natomiast zmiany dotyczyły głównie zmniejszenia restrykcji w podaży

węglowodanów oraz zbyt wyczerpujących treningów. Odpowiednikiem diety niskowęglowodanowej przez pierwsze trzy dni cyklu było standardowe żywienie sportowca nieobejmujące zwiększania, bądź zmniejszania spożycia jakichkolwiek makroskładników, a dwie, intensywne sesje treningowe w drugiej części tego cyklu zostały całkowicie wyeliminowane [8].

Zaproponowany cykl miał dwie główne zalety – po pierwsze eliminował ryzyko wystąpienia objawów hipoglikemii oraz po drugie – zmniejszał prawdopodobieństwo przeciążeń w wyniku intensywnych treningów uwzględnionych w cyklu tradycyjnym, jednocześnie nie tracąc na efektywności syntezy glikogenu. Niemniej jednak, autor modyfikacji nie skrócił czasu trwania protokołu, tak więc siedmiodniowy cykl nadal stanowił czasochłonne wyzwanie dla zawodnika [8].

Cykl jednodniowy

Dopiero po wielu latach w 2002 roku australijscy naukowcy [9] wychodząc naprzeciw oczekiwaniom sportowców i ich potrzebom przeprowadzili eksperyment, w którym zbadali skuteczność superkompensacji glikogenu w skróconym, aż o pięć dni cyklu w porównaniu do tradycyjnych protokołów (Tabela 1). Udowodnili, że wysokie spożycie węglowodanów umożliwia wytrenowanym sportowcom

osiągnąć maksymalny poziom glikogenu już w ciągu 24 godzin [9].

Eksperyment poprzedzono krótką rozgrzewką, zgodnie z zasadą, która mówi, że mechanizmy odpowiedzialne za syntezę glikogenu funkcjonują najefektywniej po wysiłku fizycznym. Następnie zawodnicy byli poddani wysiłkowi na ergometrze rowerowym z intensywnością 130 % $\text{VO}_{2\text{max}}$ przez 150 sek. zakończonym 30 sekundowym sprintem. Przed wysiłkiem została wykonana biopsja mięśnia czworogłowego uda uczestników badania w celu oznaczenia poziomu glikogenu mięśniowego. Do dwudziestu minut po zakończonym wysiłku zawodnicy mieli spożyć posiłek wysokowęglowodanowy (10 g CHO/kg m.c.) o wysokim indeksie glikemicznym. Następne posiłki przyjmowane w ciągu kolejnych 24 godz. były zbilansowane na podobnej zasadzie. Podaż białek i tłuszczu w tym okresie był niewielki i wynosił po około 10% energii na dany makroskładnik. Dodatkowo uczestnikom badania do jadłospisu włączono napoje bogate w maltodekstrynę, dzięki czemu udało się zrealizować bardzo wysokie zapotrzebowanie na węglowodany [10]. Kolejnego dnia została wykonana biopsja mięśni zawodników po raz drugi. Badanie wykazało znaczący wzrost poziomu glikogenu mięśniowego w porównaniu z dniem poprzednim.

Tabela 1. Cykle superkompensacji glikogenu

Protokół siedmiodniowy									
	Dzień 1	Dzień 2		Dzień 3	Dzień 4		Dzień 5	Dzień 6	Dzień 7
Obciążenie treningowe	odpoczynek	WYSIŁEK	odpoczynek	odpoczynek	WYSIŁEK	odpoczynek	odpoczynek	odpoczynek	WYSIŁEK
Udział CHO w żywieniu	dieta mieszana	niski		niski	wysoki		wysoki	wysoki	
Cykl siedmiodniowy									
	Dzień 1	Dzień 2	Dzień 3	Dzień 4	Dzień 5	Dzień 6	Dzień 7		
Długość wysiłku	~90min	~40min	~40min	~20min	~20min	odpoczynek	zawody		
Udział CHO w żywieniu	średni	średni	Średni	wysoki	wysoki	wysoki			
Cykl 1-dniowy (1 wersja)									
	Dzień 1								
Obciążenie treningowe	3- minutowy, intensywny wysiłek								
Udział CHO w żywieniu	wysoki								
Cykl 1-dniowy (2 wersja)									
	Dzień 1								
Obciążenie treningowe	odpoczynek								
Udział CHO w żywieniu	wysoki								

* Opracowanie własne na podstawie piśmiennictwa [5,8,10,12].

Jedną z głównych zalet podanego cyklu jest to, że zmiany zarówno w treningu jak i zwiększeniu podaży CHO wprowadzane są dopiero w przeddzień zawodów przy minimalnym wpływie na trening. Jest to niezwykle ważne, ponieważ umożliwia to zawodnikowi swobodnie realizować założony plan treningowy oraz uniknąć niepotrzebnego stresu jaki niesie za sobą kilkudniowy przebieg tradycyjnego cyklu. Istotne jednak jest ograniczenie aktywności fizycznej (odpoczynek) do momentu startu w zawodach, aby zminimalizować rozpad glikogenu mięśniowego [10].

W przypadku, jeśli zawodnicy nie chcą dzień przed zawodami podejmować się intensywnego wysiłku oraz modyfikować jadłospisu, dobrym rozwiązaniem jest zastosowanie jednodniowego protokołu CHO-L na 2-3 dni przed zawodami. Wsparcie jest to badaniami, z których wynika, że utrzymanie glikogenu mięśniowego powyżej poziomu normalnego jest możliwe nawet do pięciu dni po zastosowania protokołu obciążania. Należy jednak pamiętać, że w tym czasie powinno ograniczyć się aktywność fizyczną do minimum oraz spożywać posiłki normokaloryczne, w których zawartość węglowodanów będzie oscylować w przedziale 8-10 g/kg m.c. [10,11].

W tym samym, 2002 roku opublikowane zostało kolejne badanie [12] przedstawiające podobną procedurę obciążania węglowodanami jak powyżej, wykluczając jedynie 3-minutowy wysiłek (Tab.1). Tym samym wykazano, że w przypadku sportowców o wysokim poziomie wytrenowania inicjowanie intensywnych ćwiczeń, które mają na celu zubożenie zapasów glikogenu w celu efektywniejszej jego resyntezy jest zbędne. Należy podkreślić, że zastosowanie tego typu protokołu jest zapewne możliwe tylko u wysokowytrenowanych zawodników. Podłożem tego spostrzeżenia, są mechanizmy odpowiedzialne za syntezę glikogenu, które są bardziej rozwinięte w tej grupie zawodników, niż u osób o niskim poziomie wytrenowania. Stąd podobnego efektu najprawdopodobniej nie należy się spodziewać u osób z krótszym stażem zawodniczym [12].

Wybór z pomiędzy jednej z powyższych metod wymaga indywidualizacji i zależy przede wszystkim do specyfiki sportu. W dyscyplinach, w których 3 minutowe, intensywne ćwiczenia dzień przed startem stanowią wskazany element przygotowania do zawodów, wersja pierwsza będzie lepszym wyborem [12]. Natomiast w przypadku zawodników, dla których wypoczynek w przeddzień zawodów jest zalecany – warto wybrać drugą metodę.

Kontrowersje, pozytyw i negatywy dotyczące obciążania CHO

Niektórzy badacze mają zastrzeżenia odnośnie metodyki badań powyżej opisanego eksperymentu i krytycznie twierdzą, że całkowita faza obciążania trwała nie 24 godziny, jak podają autorzy badania, ale aż

36 godzin [2]. Stąd również rodzi się pytanie, dlaczego w uprzednich protokołach proces syntezy glikogenu ponad normalny stan zachodził dopiero po kilku dniach żywienia z wysokim udziałem CHO. Badacze uzasadniają to tym, że wprowadzenie fazy wyczerpania w postaci intensywnego wysiłku uszczuplało jedynie zasoby glikogenu. Dlatego sportowcy potrzebowali przez to dłuższego czasu na odbudowę podstawowych jego zasobów i dopiero w późniejszym czasie osiąkali stan superkompensacji [12]. Należy zaznaczyć, że w pierwszych badaniach brały udział osoby niewytrenowane, u których mechanizmy odpowiedzialne za syntezę glikogenu nie są tak dobrze wykształcone jak u wysokowytrenowanych zawodników. Czynnikiem ten mógł znacząco wpływać na wyniki eksperymentów [6]. Z kolei Sherman – autor zmodyfikowanego cyklu sześciodniowego [8] w swoim badaniu nie zmierzył poziomu glikogenu mięśniowego po 24 godzinach ładowania CHO, przez co nie możemy stwierdzić, czy już po tym czasie, nie doszło do superkompensacji. Jak domniemają inni badacze, bardziej prawdopodobne jest, że nie udało się jednak uzyskać maksymalnego poziomu glikogenu z powodu przeprowadzenia długotrwałego wysiłku w początkowej fazie ich schematu [8,12].

Jak wiemy, zwiększona zawartość początkowa glikogenu w mięśniach może opóźnić moment zmęczenia o około 10-20% oraz poprawić wytrzymałość o 2-3%. W przypadku ćwiczeń o wysokiej intensywności, trwających mniej niż 5 minut superkompensacja glikogenu nie ma istotnego wpływu na zwiększenie zdolności wysiłkowych. Także w sytuacjach, gdzie wysiłek o umiarkowanej intensywności trwa mniej niż 90 minut, nadwyżka glikogenu nie ma realnego i korzystnego przełożenia na wydolność organizmu, ponieważ znormalizowane zasoby glikogenu u dobrze wytrenowanego sportowca są wystarczające, aby pokryć jego zapotrzebowanie energetyczne na czas wysiłku [3,13].

Z kolei próbowano ustalić, czy istnieje możliwość kilkukrotnego osiągnięcia zwiększonych zasobów glikogenu pomiędzy wyczerpującymi treningami powtarzanymi w odstępie 48 godzin, co mogłoby znaleźć swoje zastosowanie u sportowców uczestniczących w zawodach kilka dni pod rząd takich jak wyścigi kolarskie wieloetapowe czy turnieje w wielu dyscyplinach sportu. Niestety wyniki eksperymentów wykazały, że nawet w przypadku dobrze wytrenowanych zawodników, którym podawano do spożycia większe porcje węglowodanów niż w standardowych protokołach obciążania, skuteczność superkompensacji sukcesywnie malała w wyniku najprawdopodobniej, jak sugerują autorzy badania, osłabienia mechanizmów odpowiedzialnych za akumulację glikogenu [14].

CHO-L może mieć również negatywną stronę, bowiem należy pamiętać, iż 1 g glikogenu magazynowany jest z 2-3 g wody. Skutkuje to wzrostem masy

ciała zawodnika o około 2-3% po zainicjowaniu superkompensacji, co nie w niektórych konkurencjach nie ma znaczenia, ale dla wybranych może być niepożądanym efektem ubocznym [3].

Czynniki wpływające na skuteczność syntezy glikogenu

Wiele czynników może mieć dodatkowy wpływ na syntezę. Podstawowym jest rodzaj CHO, który mają istotny wpływ na efektywność resyntezy glikogenu. Spożycie po ćwiczeniach posiłku, w którym dominującym cukrem jest fruktoza charakteryzuje się niższą skutecznością syntezy glikogenu w porównaniu do glukozy, ponieważ to glukoza jest głównym prekursorem w tworzeniu tego związku. Ponadto, wyższy udział fruktozy koreluje z niższym stężeniem glukozy w osoczu, co w konsekwencji wpływa na spadek wydolności podczas wysiłku. Nie oznacza to, że sportowcy powinni unikać spożywania po wysiłku produktów zawierających fruktozę, lecz zadbać o to, aby przeważającym cukrem była glukoza [2,15,16].

Aby osiągnąć maksymalne zasoby glikogenu mięśniowego, IG posiłku po wysiłku powinien mieć wysoką wartość. Produkty żywnościowe o wysokim IG powodują szybki wzrost poziomu glukozy we krwi, przez co stają się łatwym źródłem do syntezy glikogenu w porównaniu do artykułów spożywczych o niskim IG [2].

Równie ważnym aspektem jest czas i częstotliwość spożycia posiłku, bądź przekąski po wysiłku fizycznym. Jeśli okres pomiędzy jednostkami treningowymi wynosi mniej niż 8 h, zaleca się, aby sportowiec możliwie jak najszybciej spożył produkt wysokowęglowodanowy po pierwszym treningu w celu odbudowania zasobów glikogenu. Dobrą praktyką będzie spożywanie kilku mniejszych porcji w zamian za jeden większy posiłek, co może przynieść jeszcze lepszy efekt końcowy [2].

Kolejnym czynnikiem sprzyjającym może być kreatyna. Jest to środek ergogeniczny wspomagający wzrost masy i siły mięśniowej, dlatego stosowany jest głównie w środowisku zawodników trenujących sporty siłowe. Istnieją jednak badania uzasadniające zastosowanie kreatyny w dyscyplinach wytrzymałościowych, szczególnie w aspekcie energetycznym. Mięsień, który ma zwiększone zapasy kreatyny jest w stanie przechować więcej glikogenu, dlatego połączenie obciążania węglowodanami z suplementacją kreatyny może dawać lepszy efekt końcowy, niż w przypadku standardowego postępowania w ładowaniu CHO [17]. W 2017 roku opublikowano raport, w którym autorzy wykazali, że połączenie suplementacji kreatyny z protokołem obciążania węglowodanami zwiększa moc wyjściową mięśni, niezależnie od poziomu zmagazynowanego w nich glikogenu. Stąd zawodnik w dyscyplinach takich jak kolarstwo czy biegi maratońskie, jest w stanie na

ostatnich etapach wysiłku utrzymać tempo na wysokim poziomie. Badacze tłumaczą, że to właśnie wysoka moc wyjściowa mięśni uzyskana dzięki superkompensacji glikogenu wraz z kreatyną może mieć korzystny wpływ na końcowy wynik takiego wyścigu [18].

Z kolei inni naukowcy mając na uwadze badanie, w którym na modelach zwierzęcych dowiedziono, że spożywanie ekstraktu z zielonej herbaty (GTE) zwiększa wydolność i wytrzymałość stworzyli hipotezę mówiącą, że przewlekła suplementacja GTE u sportowców wpływa na zwiększenie utleniania tłuszczów po wysiłku na rzecz odbudowy glikogenu mięśniowego. Przeprowadzili oni eksperyment, który miał na celu zbadanie wpływu 8-tygodniowej suplementacji GTE na efektywność resyntezy glikogenu mięśniowego, co mogłoby mieć praktyczne zastosowanie w kontekście obciążania węglowodanami. Wyniki badania jednak nie potwierdziły hipotezy, że GTE wpływa na zwiększenie resyntezy glikogenu, natomiast co ciekawe, zwiększa utlenianie tłuszczu po wysiłku [19].

Natomiast alkohol, **co trzeba wyraźnie podkreślić**, wpływa bezpośrednio na osłabienie syntezy glikogenu zarówno mięśniowego jak i gromadzonego w wątrobie, co wiąże się z obniżeniem efektywności regeneracji powysiłkowej. Szczególnie negatywne działanie alkoholu odnotowuje się po jego spożyciu po zakończonym wysiłku. Problem używek również wiąże się z nieodpowiednimi wyborami żywieniowymi oraz zaniedbaniami w kwestii treningu [2].

Jak się okazuje, na efektywność CHO-L najczęściej mają wpływ błędy popełnianie przez samych zawodników. Według Australijskiego Instytutu Sportu (AIS) [20] do najważniejszych należą:

- niewystarczające spożycie węglowodanów. Wielu sportowców niewłaściwie interpretuje superkompensację glikogenu spożywając posiłki wysokokaloryczne z dużą zawartością tłuszczu, tym samym zmniejszając spożycie węglowodanów.
- zbyt wysokie spożycie pokarmów bogatych w błonnik. W efekcie może to powodować zaburzenia żołądkowo-jelitowe związane z konsumpcją dużych objętości pokarmów, charakteryzujących produkty bogatobłonnikowe.
- podejmowanie aktywności fizycznej w okresie, gdy zalecany jest odpoczynek, skutkując uszczupleniem zasobów glikogenu przed zawodami.

Odmienności obciążania węglowodanami u kobiet

Warto wspomnieć, że ze względu na różnice w metabolizmie węglowodanów u kobiet i u mężczyzn, protokoły superkompensacji glikogenu mogą się różnić dla obu płci. Pierwsze badania, które miały na celu porównanie efektywności syntezy glikogenu i poprawy wydolności po zastosowaniu protokołu wskazywały, iż w przypadku kobiet superkompensacja glikogenu osiągnięta jest na znacznie niższym pozio-

mie, niż w przypadku mężczyzn. Badacze próbowali ustalić przyczyny tych odchyleń analizując różnice w poziomach hormonów i enzymów, które uczestniczą w metabolizmie energii, jednak ostatecznie problem tkwił w niedostatecznym spożyciu węglowodanów oraz zbyt niskiej podaży kalorii [21,22,23].

Ustalono, że w przypadku zawodniczek chcących zmagazynować glikogen ponad normalny poziom, całkowite spożycie energii w trakcie protokołu powinno zostać zwiększone o 34%, a udział węglowodanów w diecie nie powinien być niższy niż 8-10g/ kg m.c., który jest niezbędny do osiągnięcia korzyści z ich nadwyżki w żywieniu [21,22,23].

Strategie żywieniowe – perspektywy

W ostatnim czasie powstały również inne koncepcje strategii żywieniowych, dążące do zapewnienia najwyższej wydolności podczas zawodów. Jedną z nich polega na obniżaniu spożycia węglowodanów w okresie treningów w celu zmniejszenia poziomu glikogenu. Z kolei niski poziom glikogenu aktywuje procesy metaboliczne zwiększające syntezę białek mitochondrialnych, zwiększając tym samym ich masę, ilość oraz aktywność. Jednocześnie kosztem węglowodanów zwiększa się udział tłuszczów w żywieniu. Zmiany te prowadzą do zwiększenia adaptacji mięśni szkieletowych oraz wzrostu intensywności procesów utleniania lipidów. Cały ten proces powinien być zaplanowany tak, aby przed startem w zawodach, wprowadzić posiłki wysokowęglowodanowe celem odbudowania zasobów glikogenu mięśniowego [3,9,24].

Biorąc pod uwagę, że trening oraz niski udział węglowodanów w żywieniu prowadzi do większej zdolności utleniania lipidów przy zmniejszonym zużyciu glikogenu mięśniowego, może nieść to za sobą negatywne konsekwencje i doprowadzić do zaburzenia metabolizmu węglowodanów, a także skutkować obniżeniem wyników w zawodach oraz zmniejszeniem zdolności do utrzymania wysokiej intensywności treningu. Ponadto, może dojść do przyspieszenia rozpadu białek mięśniowych, jak również zwiększenia podatności na choroby i infekcje [1]. Przedstawione konsekwencje często wynikają z błędnego rozumienia koncepcji diety wysokotłuszczowej i nieprawidłowego jej zastosowania. Niemniej jednak, jak podkreślają naukowcy, same zmiany w fizjologii mięśni nie są trafnym wskaźnikiem wydajności, a aktualny stan wiedzy nie potwierdza, aby podane modyfikacje żywieniowe stanowiły lepsze rozwiązanie, niż tradycyjnie stosowane zasady żywienia. Ponadto, wytrenowani biegacze ultramaratońscy, czyli jedna z grup sportowców, do której kierowana jest metoda żywienia z niskim udziałem węglowodanów, zazwyczaj osiągnęli wysoką zdolność do utleniania tłuszczu w odpowiedzi na treningi, bez zmian w żywieniu [1,25]. Z drugiej strony, pojawiają się kontrowersyjne doniesienia odnośnie

diety ketogenicznej, która znalazła potwierdzenie, ale jedynie w wąskiej grupie wysokowytrenowanych zawodników [26].

Podsumowanie

Metoda obciążania węglowodanami była wielokrotnie poddawana modyfikacjom. Ostatecznie została maksymalnie skrócona oraz uproszczona, eliminując tym samym wiele skutków ubocznych, które wiązały się z jej zastosowaniem w wersji pierwotnej [2]. Badania pokazały, że wystarczy tylko jeden dzień, aby zapasy glikogenu osiągnęły wartości ponad normalne. Zwiększenie udziału węglowodanów w żywieniu do około 10 g na kilogram masy ciała (12 g na kilogram beztłuszczowej masy ciała), na jedynie 24 godziny, po wykonaniu 3 minut bardzo intensywnych ćwiczeń [10], może dać podobne efekty, co protokoły trwające 3-6 dni [6,27,28,29], a porównując do niektórych badań – znacznie lepsze [30,31]. Ponadto udowodniono, że faza wyczerpania zasobów w postaci intensywnych ćwiczeń jest zbędna, ponieważ sama dieta wysokowęglowodanowa wystarczy, aby doprowadzić do superkompensacji glikogenu na równie wysokim poziomie [12].

Oficjalne Stanowisko 2019: *Nutrition for Athletics* Międzynarodowej Federacji Lekkiej Atletyki, opracowane przez grono ekspertów uznaje protokół trwający w zakresie 36-48 godzin jako prawidłowy i zgodny z aktualnym stanem wiedzy [1]. Niemniej już przed laty naukowcy zwracali uwagę, że krótkie protokoły, trwające od 24-48 godz., które wykluczają etap intensywnych ćwiczeń są skuteczne tylko w przypadku wysoko wytrenowanych sportowców [12]. Ponadto w opracowaniu po raz kolejny podkreślono znaczenie ścisłego związku pomiędzy racjonalnym podejściem do żywienia, a wynikami jakie osiągają sportowcy podczas zawodów.

Reasumując, na przestrzeni kilkunastu ostatnich lat można zaobserwować wiele zmian w zakresie żywienia w sporcie. Powstało wiele kontrowersyjnych teorii, które nie zawsze mają swoje potwierdzenie w badaniach naukowych. Odnosząc się do metody obciążania węglowodanami – ma ona zarówno swoich zwolenników jak i przeciwników. Niemniej jednak, wydaje się dobrze sprawdzoną naukowo metodą, która ma szczególne znaczenie w sportach wytrzymałościowych. W praktyce zawsze należy swoją opinię opierać na Evidence Based Medicine oraz na zaleceniach wydawanych przez Towarzystwa Naukowe, które zawsze są oparte na aktualnym stanie wiedzy. Uwzględniając Stanowiska oraz postępując zgodnie z założeniem protokołów opracowanych przez naukowców z renomowanych ośrodków naukowych jesteśmy w stanie osiągnąć korzyści z obciążania węglowodanami i uzyskać superkompensację glikogenu bez skutków ubocznych [1].

Ponadto, warto skorzystać z konsultacji z dietetykiem sportowym przed wprowadzaniem jakichkolwiek zmian w żywieniu. Przede wszystkim, należałoby ustalić zapotrzebowanie energetyczne zawodnika oraz odpowiednią ilość węglowodanów w zależności od masy ciała oraz rodzaju i długości wysiłku. W trakcie wdrażania metody obciążania węglowodanami, wskazane jest omówić z zawodnikiem i trenerem zawodnika modyfikacje obciążeń tak, aby w miarę możliwości zmniejszyć na ten czas ilość treningów oraz ich intensywność w celu zminimalizowania rozpadu glikogenu mięśniowego. Aby ostatecznie zweryfikować skuteczność zastosowanej procedury i sprawdzić tolerancję zawodnika na zwiększoną podaż CHO, należy przeprowadzić próbę obciążania przed zawodami niższej rangi.

Pismienictwo/References:

1. Burke L i wsp. International Association of Athletics Federations Consensus Statement 2019: Nutrition for Athletics. *Int J Sport Nutr Exe* 2019; 29(2): 73-84.
2. Burke L, Loon L, Hawley J. Postexercise muscle glycogen resynthesis in humans. *J Appl Physiol* 2016; 122: 1055-67.
3. Bartlett J, Hawley J, Morton J. Carbohydrate availability and exercise training adaptation: Too much of a good thing? *Eur J Sport Sci* 2015; 15(1): 3-12.
4. Bompa T. O., Buzzichelli C. Basic for Training. [W:] Bompa T. O., Buzzichelli C. Periodization: Theory and Methodology of Training. Human Kinetics 2019; 3-27.
5. Bergstrom J, Hultman E. Muscle glycogen synthesis after exercise. An enhancing factor localized to the muscle cells in man. *Nature* 1966; 210: 309.
6. Bergström J i wsp. Diet, Muscle Glycogen and Physical Performance. *Acta Physiol Scand* 1967; 71(2): 140-50.
7. Bosquet L i wsp. Effect of Tapering on performance: a Meta-Analysis. *Med Sci Sports Exerc* 2007; 39(8): 1358-65.
8. Sherman W i wsp. Effect of Exercise-Diet Manipulation on Muscle Glycogen and Its Subsequent Utilization During Performance. *Int J Sports Med* 1981; 2: 114-8.
9. Burke L i wsp. Carbohydrates for training and competition. *J Sports Sci* 2011; 29(S1): 17-27.
10. Fairchild T i wsp. Rapid carbohydrate loading after a short bout of near maximal-intensity exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2002; 34: 980-6.
11. David A i wsp. Supercompensated glycogen loads persist 5 days in resting trained cyclists. *Eur J Appl Physiol* 2007; 99: 251-6.
12. Bussau V i wsp. Carbohydrate loading in human muscle: An improved 1 day protocol. *Eur J Appl Physiol* 2002; 87: 290-295.
13. Hawley A i wsp. Carbohydrate-Loading and Exercise Performance. *Sports Med* 1997; 24: 73-81.
14. McNerney P i wsp. Failure to Repeatedly Supercompensate Muscle Glycogen Stores in Highly Trained Men. *Med Sci Sports Exerc* 2005; 37(3): 404-11.
15. Wallis G i wsp. Postexercise muscle glycogen synthesis with combined glucose and fructose ingestion. *Med Sci Sports Exerc* 2008; 40(10): 1789-94.
16. Rosset R i wsp. Postexercise repletion of muscle energy stores with fructose or glucose in mixed meals. *Am J Clin Nutr* 2017; 105: 609-17.
17. Nelson A i wsp. Muscle glycogen supercompensation is enhanced by prior creatine supplementation. *Med Sci Sports Exerc* 2001; 33(7): 1096-100.
18. Tomcik K i wsp. Effect of Creatine and Carbohydrate Loading on Cycling Time Trial Performance. *Med Sci Sports Exerc* 2017; 50(1): 141-50.
19. Tsai T i wsp. Effect of green tea extract supplementation on glycogen replenishment in exercised human skeletal muscle. *Br J Nutr* 2017; 117(10): 1343-50.
20. Department of Sports Nutrition, AIS. Carbohydrate Loading. <http://www.triathlonandmultisportcoaching.com.au/docs/carbohydrateloading.pdf>; Dostęp 27marzec 2019 r.
21. Wismann J, Willoughby D. Gender Differences in Carbohydrate Metabolism and Carbohydrate Loading. *J Int Soc Sports Nutr* 2006; 3(1): 28-34.
22. Tarnopolsky M i wsp. Gender differences in carbohydrate loading are related to energy intake. *J Appl Physiol* 2001; 91: 225-30.
23. Walker J i wsp. Dietary carbohydrate, muscle glycogen content and endurance performance in well-trained women. *J Appl Physiol* 2000; 88: 2151-8.
24. Jeukendrup A. Carbohydrate feeding during exercise. *Eur J Sport Sci* 2008; 8(2): 77-86.
25. Burke L. New issues in training and nutrition: train low, compete high? *Curr Sports Med.* 2007; 6(3): 137-8.
26. Volek J, Noakes T, Phinney S. Rethinking fat as a fuel for endurance exercise. *Eur J Sport Sci* 2015; 15(1): 13-20.
27. Ahlborg B i wsp. Human muscle glycogen content and capacity for prolonged exercise after different diets. *Forsvarsmedicin* 1967; 3: 85-99.
28. Greiwe J i wsp. Effects of endurance exercise training on muscle glycogen accumulation in humans. *J Appl Physiol* 1999; 87: 222-6.
29. Hickner R i wsp. Muscle glycogen accumulation after endurance exercise in trained and untrained individuals. *J Appl Physiol* 1997; 83: 897-903.
30. Burke L i wsp. Carbohydrate loading failed to improve 100-km cycling performance in a placebo-controlled trial. *J Appl Physiol* 2000; 88: 1284-90.
31. Hawley J i wsp. Effects of 3 days of carbohydrate supplementation on muscle glycogen content and utilisation during a 1-h cycling performance. *Eur J Appl Physiol* 1997; 75: 407-12.

Adres do korespondencji:
Karolina Furmańska
e-mail: furmanska.diet@gmail.com