

# ŻYWIENIE W SPORCIE



# Żywnienie w sporcie

Wydanie drugie

**Dan Benardot**

Redakcja naukowa wydania polskiego

Małgorzata Schlegel-Zawadzka

Zbigniew Szyguła

Tytuł oryginału: **Advanced Sports Nutrition. Fine-tune your food and fluid intake for optimal training and performance.**  
Second Edition

Autor: Dan Benardot, PhD, RD, FACSM

Copyright © 2012, 2006 by Dan Benardot

All rights reserved. Except for use in a review, the reproduction or utilization of this work in any form or by any electronic, mechanical, or other means, now known or hereafter invented, including xerography, photocopying, and recording, and in any information storage and retrieval system, is forbidden without the written permission of the publisher.

### **Human Kinetic**

Website: [www.HumanKinetics.com](http://www.HumanKinetics.com)

**Illustrations:** © Human Kinetics, unless otherwise noted.

ISBN 978-1-4504-0161-6

Wszelkie prawa zastrzeżone, szczególnie prawo do przedruku i tłumaczenia na inne języki. Żadna część tej książki nie może być reprodukowana lub przenoszona w jakiegokolwiek formie na wszelkie nośniki elektroniczne, mechaniczne lub inne, włączając kserokopię, nagrywanie lub inne systemy składowania i odzyskiwania informacji bez uprzedniej pisemnej zgody Wydawnictwa.

Ze względu na stały postęp w naukach medycznych oraz odmienne nieraz opinie na temat leczenia, jak również możliwość wystąpienia błędów, prosimy, aby w trakcie podejmowania decyzji uważnie oceniać zamieszczone w książce informacje. Pomoże to zmniejszyć ryzyko wystąpienia błędów lekarskiego.

© Copyright for the Polish edition by Edra Urban & Partner, Wrocław 2019

Redakcja naukowa wydania polskiego:

**prof. dr hab. Małgorzata Schlegel-Zawadzka** – Uniwersytet Jagielloński – Collegium Medicum, Wydział Nauk o Zdrowiu (ul. Michałowskiego 12, 31-126 Kraków), Instytut Zdrowia Publicznego, Zakład Żywienia Człowieka

**dr hab. Zbigniew Szyguła**, prof. nadzw. – Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Tarnowie, Instytut Ochrony Zdrowia, ul. Mickiewicza 8, 33-100 Tarnów

Tłumaczenie z języka angielskiego:

dr Katarzyna Fijał (1, 3, 5, 7, 8, 9, Wstęp, Przedmowa, Podziękowania)

lek. Kamil Kowalczyk (rozdz. 2, 4, 6, 10–18, Nota o Autorze, Załącznik)

Prezes Zarządu: Giorgio Albonetti

Redaktor naczelny: lek. med. Edyta Błażejewska

Redaktor tekstu: Katarzyna Kresak

Redaktor prowadzący: Dorota Lis-Olszewska

Opracowanie skorowidza: Zofia Szamrowicz

ISBN 978-83-65835-66-6

Edra Urban & Partner


ul. Kościuszki 29, 50-011 Wrocław

tel.: + 48 71 726 38 35

[biuro@edraurban.pl](mailto:biuro@edraurban.pl)

[www.edraurban.pl](http://www.edraurban.pl)

Łamanie i przygotowanie do druku: Barbara Włodarczyk

Druk i oprawa: **opolgraf**  DRUKARNIA

Przedmowa ix

Wstęp xi

Podziękowania xiii

## część I **Składniki odżywcze w diecie sportowców 1**

### rozdział 1 **Składniki odżywcze dostarczające energii 3**

Węglowodany 3

Rodzaje węglowodanów 6 Metabolizm węglowodanów 8 Glikoliza 10  
Glukoneogeneza 11 Zużycie węglowodanów podczas aktywności fizycznej 12 Teorie zmęczenia ośrodkowego 13 Zapotrzebowanie na węglowodany 14 Indeks i ładunek glikemiczny 16 Węglowodany i aktywność fizyczna 18

Tłuszcze 18

Rola tłuszczów 19 Struktura tłuszczów 19 Triacyloglicerole 20 Niezbędne nienasycone kwasy tłuszczowe 21 Zapotrzebowanie na tłuszcze 22 Tłuszcze i aktywność fizyczna 22

Białko 24

Funkcje białek 24 Metabolizm białek 25 Jakość białka 27 Zapotrzebowanie na białko 28 Białko i aktywność fizyczna 30 Białko i rozwój mięśni 32 Białko i dieta wegetariańska 33 Białko i regeneracja mięśni po ćwiczeniach fizycznych 34

### rozdział 2 **Witaminy i składniki mineralne 37**

Witaminy 38

Witaminy rozpuszczalne w wodzie 39 Witaminy rozpuszczalne w tłuszczach 49

Składniki mineralne 55

Makropierwiastki 55 Mikropierwiastki 62

### rozdział 3 **Płyny i elektrolity 73**

Bilans wodno-elektrolitowy 75

Czynniki wpływające na utratę płynów 77 Czynniki wpływające na pobór płynów 78 Tempo opróżniania żołądka i dostarczanie płynu podczas pracy mięśni 79

Trening, adaptacja i wiek sportowca 80

Wchłanianie jelitowe 81 Nieprawidłowości związane z pobieraniem płynów 81

Strategie nawadniania 85

Pobieranie płynów przed treningiem 86 Pobieranie płynów podczas treningu 88

Uzupełnianie napojów po ćwiczeniach 91

- rozdział 4 **Substancje ergogeniczne 95**  
Rodzaje środków ergogenicznych 97  
Węglowodany jako środek ergogeniczny 98 Monohydrat kreatyny 99 Glicerol 100  
Wodorowęglan sodu (dwuwęglan sodu, soda oczyszczona) 101 Białka i aminokwasy 102  
Kofeina 102 Karnityna (zazwyczaj L-karnityna) 103 Kwasy tłuszczowe omega-3 104  
Triacyloglicerole średniołańcuchowe 104 Żeń-szeń 104 Kwercetyna 104  
Wybór substancji ergogenicznej 106
- część II **Znaczenie żywienia w budowaniu optymalnych możliwości wysiłkowych sportowca 113**
- rozdział 5 **Funkcje układu pokarmowego oraz jego rola w dostarczaniu energii 115**  
Układ pokarmowy 115  
Jama ustna i przełyk 115 Żołądek 116 Jelito cienkie 117 Jelito grube 118  
Czynniki wpływające na przyjmowanie pokarmu 119  
Czynniki wpływające na trawienie i wchłanianie składników odżywczych 121  
Czynniki wpływające na przemiany energetyczne 125  
Zaburzenia żołądkowo-jelitowe występujące u sportowców 127  
Napoje sportowe 128 Skład i czas przyjmowania posiłku oraz płynów 129 Leki, preparaty ziołowe i suplementy diety 132
- rozdział 6 **Czas przyjmowania składników odżywczych i napojów 133**  
Odżywianie mające na celu poprawę wydolności fizycznej 134  
Korzyści wynikające z analizy bilansu energetycznego 136 Uwagi dotyczące przyjmowania napojów 138 Uwagi dotyczące dostarczania energii 139  
Ładowanie węglowodanami 141  
Ograniczanie wysiłku przez siedem dni 142  
Ostatnie siedem dni przed zawodami – podsumowanie 156
- rozdział 7 **Transport i wykorzystanie tlenu 159**  
Pobieranie tlenu 159  
Astma wysiłkowa 160 Transport i wykorzystanie tlenu w komórkach 160 Zależność wydolności organizmu od tlenu i składników odżywczych 162  
Stres oksydacyjny 164
- rozdział 8 **Zapobieganie stanom zapalnym i strategię zapewniające zdrowie mięśni 167**  
DOMS a dieta 167  
Kwasy tłuszczowe omega-3 168 Witamina D 170 Witamina E 170 Witamina C 170  
Aminokwasy rozgałęzione 171 Spożycie białka 171 Pobieranie płynów 171



## część III **Czynniki modyfikujące potrzeby żywieniowe 173**

### rozdział 9 **Podróże 175**

Ogólne zasady żywienia w czasie podróży 176

Minimalizowanie objawów zespołu nagłej zmiany strefy czasowej (*jet lag*) 178

Cel podróży 180

### rozdział 10 **Duże wysokości 183**

Wysiłek na dużych wysokościach 184

Zaspokajanie potrzeb w zakresie energii i składników odżywczych 188

Zaspokajanie potrzeb w zakresie płynów 189

### rozdział 11 **Płeć i wiek 191**

Zawodniczki 191

Ogólne zalecenia dla zawodniczek 193

Młodzi sportowcy 194

Ogólne zalecenia dla młodych sportowców 198

Starsi sportowcy 199

Ogólne zalecenia dla starszych sportowców 201

### rozdział 12 **Skład i masa ciała 203**

Utrata masy ciała a skład ciała 204

Masa ciała 206

Metody ustalania pożądanej masy ciała 206 Wskaźnik masy ciała 206 Kwestie związane z masą i składem ciała 207

Skład ciała 210

Skład ciała a wydolność fizyczna 210 Ocena składu ciała 212 Zmiany w składzie ciała 215

Kwestie dotyczące oceny składu ciała 217

Nieprawidłowa kontrola masy ciała u sportowców: zaburzenia odżywiania 218

Jadłowstręt psychiczny i anoreksja sportowa 220 Żarłoczność psychiczna 221 Zaburzenia odżywiania a osiągnięcia sportowe 221

## część IV **Strategie żywieniowe dla różnych systemów energetycznych 225**

### rozdział 13 **Metabolizm beztlenowy w krótkotrwałym wysiłku o dużej intensywności 227**

Strategie żywieniowe dla sportowców uprawiających sporty siłowe 228

Beztlenowe szlaki metaboliczne 229  
 System fosfokreatynowy (fosfagenowy) 229 Glikoliza (system glikolityczny) 229

Wybrane sporty zależne od metabolizmu beztlenowego 230

Baseball i softball 230 Kulturystyka 232 Futbol amerykański 235 Gimnastyka 237  
 Hokej 239 Lekkoatletyka (biegi, skoki i rzuty) 240 Pływanie (na dystansie 100–  
 400 metrów) 242 Zapasy 244 Łyżwiarstwo szybkie 247 Podnoszenie ciężarów 249

## rozdział 14 **Metabolizm tlenowy w wysiłku wytrzymałościowym 253**

Strategie odżywiania 253

Tlenowe szlaki metaboliczne 257

Kwestie związane ze sportami wytrzymałościowymi 259

Przetrenowanie 259 Uszkodzenia ciała spowodowane przeciążeniem 260  
 Właściwe żywienie 260

Wybrane sporty zależne od metabolizmu tlenowego 263

Biegi długodystansowe 263 Triathlon 265 Pływanie długodystansowe 267 Kolarstwo 268  
 Biegi narciarskie 269 Wioślarstwo 270

## rozdział 15 **Potrzeby metaboliczne w sportach wymagających siły i wytrzymałości 273**

Zasady odżywiania w sportach wymagających siły i wytrzymałości 273

Przykłady sportów opierających się na połączeniu metabolizmu  
 beztlenowego i tlenowego 277

Koszykówka 277 Łyżwiarstwo figurowe 278 Piłka nożna, lacrosse i hokej na trawie 281  
 Rugby 282 Tenis 284 Siatkówka 285 Golf 287

## część V **Plany żywieniowe w wybranych sportach 291**

### rozdział 16 **Sporty wymagające siły i szybkości 292**

Informacje dotyczące planów żywieniowych 293

### rozdział 17 **Sporty wymagające wytrzymałości 308**

Informacje dotyczące planów żywieniowych 309

### rozdział 18 **Sporty wymagające siły i wytrzymałości 320**

Informacje dotyczące planów żywieniowych 321

## Załącznik **Zalecane dzienne spożycie makroskładników odżywczych według Instytutu Medycznego 333**

Piśmiennictwo 342

Skorowidz 364

Nota o Autorze 370

Wybitni sportowcy przekraczają granice ludzkich możliwości, aby stać się silniejszymi i szybszymi. Sportowcy, którzy potrafią dynamicznie dopasowywać zapotrzebowanie na energię i substancje odżywcze do trudnego programu treningowego, ostatecznie odnoszą sukces i znajdują się w czołówce. W drugim wydaniu *Advanced Sports Nutrition* utrzymany został pierwotny zamiar stworzenia wszechstronnego podręcznika na temat żywienia przeznaczonego dla sportowców, trenerów i lekarzy medycyny sportowej pracujących ze sportowcami, zostało ono jednak uzupełnione o wiele informacji. Podstawowym celem niniejszej książki jest zatem dostarczenie sportowcom i tym, którzy z nimi pracują, wiedzy, co trzeba robić, by jak najlepiej dostosować swój organizm do uprawianej dyscypliny sportu, oraz w jaki sposób można uniknąć najczęstszych problemów zdrowotnych i urazów związanych z aktywnością fizyczną. Incydentalne urazy i choroby są wśród sportowców tak rozpowszechnione, że wielu z nich uważa te problemy zdrowotne za nieodłączny element swojej pracy. Nie musi tak być, a sportowcy, którzy potrafią uniknąć tych przeciwności, robią bardziej stabilne postępy w kierunku osiągania celów. Właściwe żywienie wydłuża czas trwania kariery sportowca oraz poprawia jego zdrowie, osiągane wyniki sportowe i samopoczucie.

W niniejszym wydaniu informacje oraz piśmiennictwo dołączone do każdego rozdziału zostały zaktualizowane, dodano także nowe rozdziały. Przykładowo wielu sportowców doświadcza przewlekłych lub ostrych dolegliwości ze strony przewodu pokarmowego, które utrudniają trening i obniżają sprawność. Niniejsze wydanie zostało uzupełnione o przydatne dla sportowców informacje na temat możliwych przyczyn tych dolegliwości oraz sposobów ich łagodzenia. Rozdział 5 zawiera materiały związane z nietolerancją glutenu (celiakia), która staje się coraz częstsza zarówno wśród sportowców, jak i osób nieuprawiających sportu. Nowe wydanie zawiera także wyniki badań opartych na dowodach dotyczące strategii żywieniowych zmniejszających ból mięśni, obszar, który ostatnio wzbudza ogromne zainteresowanie wśród naukowców, ale wiąże się także z licznymi nieporozumieniami.

Ponadto uaktualnione zostały też plany diety, do których w obecnej wersji zastosowano wyjątkową metodologię, obrazującą wzajemne oddziaływanie między wydatkami a poborem energii w ciągu dnia. Stworzenie planów diety miało na celu wyjaśnienie sportowcom,

w jaki sposób potrzeby energetyczne i żywieniowe powinny być zaspokajane przy wydatkach energetycznych o różnej częstotliwości i natężeniu. Najważniejszym celem tych planów dietetycznych jest uświadomienie sportowcom, że różne programy treningowe wymagają przyjęcia zróżnicowanych wzorców żywieniowych.

Obecnie obserwuje się stały rozwój profesjonalnych i olimpijskich dyscyplin sportowych, wzrasta też liczba sportowców, którzy mogą osiągnąć w sporcie poziom elitarny. Istnieje też coraz liczniejsza grupa osób, które mimo że nie są sportowcami wyczynowymi, entuzjastycznie angażują się w systematyczne uprawianie wybranej dyscypliny sportowej. Niniejsza książka została napisana z myślą także o tej grupie, dostarcza bowiem informacji w sposób umożliwiający czytelnikowi poznanie zasad żywienia i ich właściwe wykorzystanie, niezależnie od uprawianej dyscypliny czy poziomu zaawansowania konkretnego sportowca. Aby ułatwić czytelnikom odniesienie do ich własnej dyscypliny sportu, w niniejszej edycji zwiększono liczbę opisanych dyscyplin. Opisom tym towarzyszą informacje dotyczące kwestii żywieniowych i strategii typowych dla każdej z dyscyplin.

Imprezy wytrzymałościowe, obejmujące praktycznie wszystkie grupy wiekowe, mają coraz więcej zwolenników, a zawody odbywają się w każdym średnim czy dużym mieście. Nawet przypadkowy obserwator może dostrzec grupę zawodników w wieku ponad 60 lat, którzy uczestniczą w półmaratonach i maratonach odbywających się na terenie całego kraju. Wzrost zainteresowania odnotowuje się również w przypadku imprez ultrawytrzymałościowych, takich jak Ironman czy biegi kilkudniowe. Wydarzenia te są widowiskowe, towarzyszy im jednak wzrost aktywności służb medycznych udzielających pierwszej pomocy, co nasywa poważne wątpliwości, czy uczestnicy są świadomi, jakie obciążenia dla organizmu wynikają z udziału w trwających długo zawodach wytrzymałościowych, oraz czy mają wystarczającą wiedzę, w jaki sposób można zredukować ryzyko odwodnienia, hiponatremii czy choroby z przegrzania. Niniejsza książka proponuje tym zawodnikom najkorzystniejsze strategie, przedstawiając jednocześnie dowody naukowe potwierdzające ich skuteczność, nie pomijając znaczenia adaptacji do nowego środowiska przed wzięciem udziału w tego typu wydarzeniach sportowych. Strategie te mogą być różne dla kobiet i mężczyzn oraz



poszczególnych grup wiekowych z uwagi na zróżnicowane potrzeby żywieniowe każdej z nich. Poznanie ich i zaspokojenie w prawidłowy sposób pozwoli zmniejszyć zagrożenia wynikające z uprawiania sportu. Niniejsza książka dostarcza rzetelnej wiedzy, odnoszącej się do obu płci oraz różnych grup wiekowych, która może pomóc zawodnikom oraz tym, którzy ich wspierają, w podejmowaniu właściwych działań.

Wiele osób rozpoczyna program treningowy ukierunkowany na poprawę masy i składu ciała. Może to mieć dobre lub złe konsekwencje, zależnie od tego, w jaki sposób program zostanie wdrożony oraz czy plan żywienia będzie wkomponowany w program ćwiczeń. Bardzo wiele osób stara się zastąpić jedzenie większą ilością ćwiczeń w nadziei, że w ten sposób pozbędą się zbędnych kilogramów. Tak, prawdopodobnie uda im się zredukować masę ciała, ale liczne dowody wskazują, że nie osiągną efektu, o który chodziło. W niniejszej książce przedstawiam liczne przykłady ilustrujące prostą regułę: reakcją organizmu na niedobór energii jest redukcja masy tkanek, które ją pobierają. Czytelnik dowie się, dlaczego poważne deficyty energetyczne wpływają niekorzystnie na zdrowie, masę ciała i sprawność. Książka prezentuje także techniki oceny składu ciała oraz sposoby ich wykorzystania w celu uzyskania pożądanego profilu.

Wokół strategii prowadzących do osiągnięcia szczytowej formy sportowej i zdrowia powstało wiele nieporozumień. Dotyczy to szczególnie „odżywek” i „suplementów diety”, sprzedawanych jako cudowne środki poprawiające sprawność. Z pewnością w przypadku tych produktów występuje efekt placebo, stąd ich przyjmowanie może niekiedy wywoływać dostrzegalną poprawę. Ich skuteczność nie jest jednak poparta badaniami, a literatura z zakresu medycyny sportowej zawiera liczne opisy przypadków sportowców, u których stosowanie tego rodzaju suplementów wywołało negatywne, niezamierzone konsekwencje. Badania wskazują, że wprowadzane do obrotu środki ergogeniczne (wspomagające) często zawierają niedozwolone substancje, które mogą zagrozić zdrowiu i spowodować dyskwalifikację sportowców. Na domiar złego wielu początkujących sportowców stara się zbyt szybko poprawić swoje wyniki dzięki programom szkoleniowym i suplementom diety, które naśladują dietę stosowaną przez wysoce uzdolnionych profesjonalistów. Jest to przepis na katastrofę, która może skutkować przetrenowaniem, niedożywieniem i stresem psychicznym – co ostatecznie może doprowadzić utalentowanych młodych sportowców do decyzji o rezygnacji z uprawiania sportu. Biorąc pod uwagę realia rywalizacji sportowej i olbrzymie nagrody dostępne dla tych, którzy osiągają szczytowe wyniki, sportowcom trudno jest podejmować w pełni racjonalne wybory

odnośnie do odpowiednich strategii żywieniowych, które mogłyby być pomocne w osiągnięciu pożądanego celu. Reklamodawcy produktów żywnościowych wiedzą zaś, że sportowcy są podatni na sugestię. Nawet jeżeli domniemany związek między spożywaniem nietypowej odżywką a optymalnymi wynikami sportowymi okazuje się fałszywy, sportowcy i trenerzy nadal upierają się przy dietetycznych mitach. W rzeczywistości pieniądze wydane na specjalne produkty czynią kogoś bogatszym, ale z pewnością nie poprawiają wyników sportowców. Nie ma innej drogi niż dopasowywanie spożycia dobrej jakości jedzenia do potrzeb żywieniowych. Dobrym punktem wyjścia dla sportowców jest przyjęcie zasady, że to *jedzenie* (nie suplementy ani środki ergogeniczne) stanowi podstawową jednostkę w naukach żywieniowych.

Wiedza z zakresu żywienia sportowego szybko się rozwija. Badania w tej dziedzinie prowadzone są przez wysokiej klasy specjalistów, a rosnąca liczba artykułów publikowanych w czasopismach naukowych koncentruje się na zależnościach między żywieniem a wydajnością sportową. W związku z postępem, jaki się dokonuje w tej dziedzinie wiedzy, obowiązujące dotychczas przekonania są weryfikowane, a ich miejsce zajmują nowe teorie. Niezwykle ważne jest, aby wszyscy, którzy zajmują się sportem, zachowali wystarczająco otwarty umysł, by odrzucić stare przekonania i pozwolić zakorzenić się nowym ideom. Dokumenty prezentujące stanowisko instytucji American Dietetic Association i American College of Sports Medicine w sprawie żywienia sportowców zawierają obecnie znacznie bardziej precyzyjne wskazówki dotyczące czynników żywieniowych, które poprawiają wydajność, na co istotny wpływ ma dostęp do coraz dokładniejszych informacji. Zagrożenia dla zdrowia i ryzyko urazów związane z potencjalnym niedożywieniem, z którym boryka się wielu sportowców, stanowią integralną część nauki o żywieniu w sporcie i zostały szczególnie podkreślone we wspomnianych dokumentach. Upraszczając, nauka ewoluowała od poglądu, że niewłaściwe odżywianie *może* wyrządzić szkodę, do zrozumienia, że z *pewnością* tak się stanie.

Sportowcy prawidłowo praktykujący treningi i program żywieniowy prawdopodobnie odniosą sukces, zachowując dobre zdrowie. Należy jednak pamiętać, że pozornie drobne błędy mogą skutkować urazami, które odbiorą utalentowanemu zawodnikowi jedyną szansę na start w igrzyskach olimpijskich. Ćwiczenia i zaangażowanie w sport mogą i powinny prowadzić do wspaniałych rezultatów i zazwyczaj tak się dzieje. Niniejsza książka opiera się na przesłaniu, że zaangażowanie w sport powinno zapewnić trwałą poprawę zdrowia zamiast dożywotnich problemów w tym obszarze, a dobre nawyki żywieniowe z pewnością pomogą osiągnąć ten cel.

część I

# Składniki odżywcze w diecie sportowców

# Składniki odżywcze dostarczające energii

Zwiększone wydatki energetyczne (tj. zużycie kalorii) stanowią jeden z najbardziej istotnych elementów aktywności fizycznej. Zapotrzebowanie sportowców na składniki odżywcze dostarczające energię (węglowodany, białka i tłuszcze) jest zatem większe niż u osób nieuprawiających sportu. W licznych badaniach wiele uwagi poświęca się opracowaniu strategii żywieniowych, które pozwolą skutecznie zaspokoić zapotrzebowanie energetyczne, zapewniając jednocześnie optymalną dystrybucję substratów energetycznych, co jest niezbędne podczas wysiłku fizycznego o różnym natężeniu i czasie trwania. Wiadomo, że większa intensywność ćwiczeń wymaga proporcjonalnie znaczącego udziału energii pochodzącej z węglowodanów. Ponadto liczne badania dostarczają cennych informacji dotyczących najkorzystniejszych modeli żywienia, zapewniających optymalną regenerację zapasów glikogenu, co gwarantuje odpowiednią dostępność węglowodanów podczas treningu i zawodów sportowych, a także zmniejsza ból mięśni i ułatwia ich regenerację. Współcześnie dysponujemy nieporównanie większymi niż w niedawnej przeszłości zasobami informacji na temat wpływu węglowodanów, białek i tłuszczów na funkcje psychiczne i pracę mięśni.

Popularne współcześnie diety o wysokiej zawartości białek i tłuszczów oraz niskiej zawartości węglowodanów mają poważne, potencjalnie niekorzystne następstwa dla sprawności organizmu sportowca. Rozpo-

wszechnienie tych diet wynika w większym stopniu z częstego występowania nietolerancji i nadwrażliwości pokarmowych niż bezpośredniego korzystnego wpływu na sprawność i kondycję fizyczną. Niezwykle istotne jest, by sportowcy oraz trenerzy rozumieli, że odpowiednio zbilansowana podaż energii i właściwa dystrybucja substratów energetycznych mają kluczowe znaczenie dla sprawności umysłowej i prawidłowej pracy mięśni. W niniejszym rozdziale przedstawione zostaną najistotniejsze dla aktywności fizycznej elementy metabolizmu węglowodanów, białek i tłuszczów oraz krytyczny przegląd prac naukowych dotyczących znaczenia tych substratów w osiągnięciu optymalnej sprawności i wydolności organizmu (zob. tabela 1.1 oraz zalecenia Instytutu Medycyny dotyczące spożycia makroskładników odżywczych przedstawione w Dodatku A).

W fizyce kaloria jest jednostką energii, a 1 kalorie definiuje się jako ilość energii niezbędną do podniesienia temperatury 1 grama wody o 1 stopień Celsjusza. W żywieniu termin „kaloria” oznacza tę wartość pomnożoną przez 1000, jest ona zatem określana jako kilokaloria (kcal). Niezależnie od powyższej różnicy w nomenklaturze żywieniowej terminu „kaloria” powszechnie używa się do określenia liczby kilokalorii. W niniejszej książce terminy „kaloria” i „kalorie” stosowane są wymiennie z terminami „kilokaloria” i „kilokalorie”.

## WĘGLOWODANY

W przekonaniu wielu sportowców węglowodany nie są tak ważne jak białka. Wynika to w dużym stopniu z braku wiedzy, jak istotną rolę podczas wysiłku fizycznego odgrywają i czym są węglowodany. W tabeli 1.2 zawarto podstawowe pojęcia dotyczące tej grupy związków, które mogą pomóc w uporządkowaniu nie-

których niejasności. Część sportowców deklaruje, że unika węglowodanów, ale w odpowiedzi na pytanie o dietę jako produkty wymieniane w pierwszej kolejności podają oni owoce i warzywa, które składają się prawie wyłącznie z węglowodanów. W rzeczywistości istnieją różne rodzaje węglowodanów, a organizm re-

**Tabela 1.1** Podstawowe funkcje substratów energetycznych

<b>Węglowodany (4 kcal/g)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Źródło energii dla pracujących mięśni (ze skrobi, cukrów i glikogenu)</li> <li>• Kontrola poziomu cholesterolu i tłuszczu (z błonnika pokarmowego)</li> <li>• Wspomaganie trawienia (z błonnika pokarmowego)</li> <li>• Absorpcja składników pokarmowych i wody (z cukrów)</li> <li>• Utrzymanie właściwego poziomu cukru we krwi (wszystkie strawne węglowodany; istotne dla funkcjonowania mózgu i opóźnienia zmęczenia)</li> </ul>
<b>Białka (4 kcal/g)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Źródło energii (w przypadku wyczerpania węglowodanów)</li> <li>• Dostarczenie niezbędnych aminokwasów (aminokwasów, które są niezbędne, ale nie są wytwarzane przez organizm)</li> <li>• Niezbędne dla rozwoju nowych tkanek (ważne podczas wzrostu i procesów naprawczych po urazach)</li> <li>• Niezbędne dla podtrzymania funkcji życiowych tkanek (pomagają kontrolować bieżące procesy związane z ich zużyciem)</li> <li>• Podstawowy budulec w powstawaniu enzymów, przeciwciał i hormonów</li> <li>• Bilans płynów (pomagają kontrolować poziom wody w komórkach i w przestrzeni pozakomórkowej)</li> <li>• Transport substancji z krwią (transportują witaminy, składniki mineralne i tłuszcze do wewnątrz i na zewnątrz komórek)</li> </ul>
<b>Tłuszcze (9 kcal/g)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dostarczanie witamin rozpuszczalnych w tłuszczach (witaminy A, D, E i K)</li> <li>• Dostarczanie niezbędnych kwasów tłuszczowych (kwasy tłuszczowe, które są niezbędne, ale nie są produkowane przez organizm)</li> <li>• Energia i paliwo dla mięśni (podczas aktywności fizycznej o niskiej intensywności)</li> <li>• Kontrola sytości (zapewniają uczucie zadowolenia po spożyciu posiłku)</li> <li>• Składnik wielu hormonów</li> </ul>

aguje na nie w różny sposób. Przykładowo zarówno glukoza, jak i otręby należą do grupy węglowodanów, ale jako źródła energii znajdują się na przeciwnych biegunach. Glukoza przenika do krwi stosunkowo szybko i inicjuje szybką oraz intensywną odpowiedź insulinową, podczas gdy potencjalna energia skumulowana w otrębach nigdy nie przedostaje się do krwiobiegu, ponieważ nie ulegają one strawieniu, wpływają natomiast na odpowiedź insulinową przez opóźnianie przenikania do krwi innych źródeł energii. Te różnice sprawiają, że sportowcy nie traktują różnych rodzajów węglowodanów równorzędnie i starają się je starannie dobierać w posiłkach spożywanych przed ćwiczeniami, w ich trakcie i po nich.

Glukoza stanowi główny substrat energetyczny dla mięśni, energia zaś magazynowana jest w formie adenozynotrifosforanu (ATP). Wyczerpanie zasobów glukozy podczas pracy mięśni skutkuje nagłym wstrzymaniem ich aktywności o wysokiej intensywności (często określanym jako „uderzenie w ścianę”). W praktyce żywieniowej sportowców najważniejsze jest zatem, jak skutecznie zapobiegać niedoborom glukozy. Utrzymanie jej właściwego poziomu może nastęrczać trudności, ponieważ w przeciwieństwie do białek i tłuszczów, organizm ludzki ma ograniczoną zdolność magazynowania cukrów.

Obecny we krwi cukier (tzn. glukoza) jest głównym źródłem energii dla mózgu. Obniżenie poziomu cukru we krwi wywołuje uczucie wyczerpania psychicznego, które z kolei skutkuje zmęczeniem mięśni, niezależnie od zgromadzonych w nich zapasów energii. Gdyby jedyne źródłami energii podczas pracy mięśni były glikogen z wątroby oraz glukoza z krwi, ćwiczenia do momentu pojawienia się uczucia wyczerpania (a tym samym zmęczenia mięśni) można byłoby wykonywać nie dłużej niż przez 18 min (przez 16 min energii dostarcza glikogen z wątroby, przez kolejne 2 min jest ona czerpana z glukozy z krwi). Na szczęście, glikogen z wątroby i cukier z krwi nie są jedynymi źródłami energii podczas aktywności fizycznej, ale w czasie bardziej intensywnego wysiłku ich zasoby zużywane są szybciej. Stanowi to wystarczający powód, by zadbać o odpowiedni poziom węglowodanów w diecie sportowców, tak aby uniknąć niedoborów.

Właściwe zaopatrzenie w węglowodany jest szczególnie ważne podczas bardziej intensywnego wysiłku, kiedy wzrasta ich udział w wytwarzaniu energii dla mięśni. Trening o wyższej intensywności może zatem wymagać częstszego spożywania produktów węglowodanowych w celu zaspokojenia tych potrzeb (zob. ryc. 1.1). Mimo licznych badań potwierdzających znaczenie dostatecznej dostępności węglowoda-

**Tabela 1.2** Podstawowe pojęcia charakteryzujące węglowodany

Termin	Definicja
Glukoza	Prosty monosacharyd (cukier) o wzorze cząsteczkowym $C_6H_{12}O_6$ . Stanowi główne źródło energii dla metabolizmu komórkowego i podstawowe paliwo dla centralnego układu nerwowego (mózg). Glukoza jest elementem budulcowym dla większych cząsteczek węglowodanów, takich jak sacharoza (disacharyd), a także celuloza, skrobia oraz glikogen (wielocukry/polisacharydy). Glukoza jest wytwarzana przez rośliny podczas fotosyntezy.
Glikogen	Polisacharyd stanowiący najważniejszy magazyn glukozy w organizmie, występujący głównie w wątrobie i mięśniach. W razie zapotrzebowania na energię z węglowodanów glikogen występujący w mięśniach jest przekształcany w glukozę, która zużywana jest przez komórki mięśniowe, a glikogen obecny w wątrobie przekształcany jest w glukozę zaopatrującą cały organizm, włącznie z centralnym układem nerwowym.
Glikoliza	Proces metaboliczny przebiegający aerobowo (w obecności tlenu) lub anaerobowo (beztlenowo), polegający na rozpadzie glikogenu i glukozy przez serię reakcji do kwasu pirogronowego lub mlekowego, w czasie którego dochodzi do uwolnienia energii dla organizmu w formie ATP. Jest to podstawowe źródło energii podczas krótkotrwałych intensywnych ćwiczeń.
Glukoneogeneza	Proces metaboliczny prowadzący do wytworzenia glukozy z substancji niewęglowodanowych, takich jak mleczan, glicerol oraz aminokwasy glukogenne.
Monosacharyd (cukier prosty)	Najbardziej podstawowa jednostka cukrowa tworząca węglowodany. Monosacharyd jest cząsteczką jednocukrową. Trzy najważniejsze monosacharydy w żywieniu człowieka to glukoza, fruktoza i galaktoza. Do innych często spotykanych jednocukrów należą ryboza i ksyloza.
Disacharyd (dicukier)	Dowolny związek z rodziny węglowodanów składający się z dwóch cząsteczek monosacharydów połączonych wiązaniem. Do popularnych disacharydów należą sacharoza (cukier spożywczy), składająca się z glukozy i fruktozy; laktoza (cukier mlekowy), która składa się z glukozy i galaktozy oraz maltoza (cukier zbożowy), zbudowana z dwóch cząsteczek glukozy.
Polisacharyd (wielocukier)	Złożona cząsteczka zbudowana z wielu powtarzających się podjednostek cukrowych ( $\geq 10$ ), wśród których najbardziej rozpowszechniona jest glukoza. Do popularnych polisacharydów należą skrobia, glikogen i celuloza. Niektóre polisacharydy ulegają trawieniu (np. skrobia), a inne nie ulegają trawieniu (np. błonnik). Strawność zależy od typu wiązania łączącego podjednostki w cząsteczce wielocukru.
Polimery węglowodanowe	Wykorzystywane często w żelach sportowych, polimery węglowodanowe składają się zwykle z cukrów prostych, długołańcuchowych polimerów węglowodanowych oraz polimerów glukozy (maltodekstryny, syrop ryżowy, polisacharydy, oligosacharydy). Zadaniem żelu sportowego jest zgromadzenie większej ilości energii w niewielkim opakowaniu. Żele mogą być dostarczane w formie napoju sportowego, bez wywierania niekorzystnego wpływu na opróżnianie żołądka.
Błonnik pokarmowy	Błonnik pokarmowy, zwany także włóknem pokarmowym, składa się z niestrawnych polisacharydów, zarówno rozpuszczalnych, jak i nierozpuszczalnych w wodzie. Jest niestrawną frakcją pokarmu roślinnego (tzn. nie dostarcza energii), ale która wspomaga proces trawienia i reguluje pracę przewodu pokarmowego. Dieta bogata w błonnik pokarmowy zmniejsza ryzyko wielu przewlekłych chorób, w tym nowotworów i uchyłkowatości jelit.



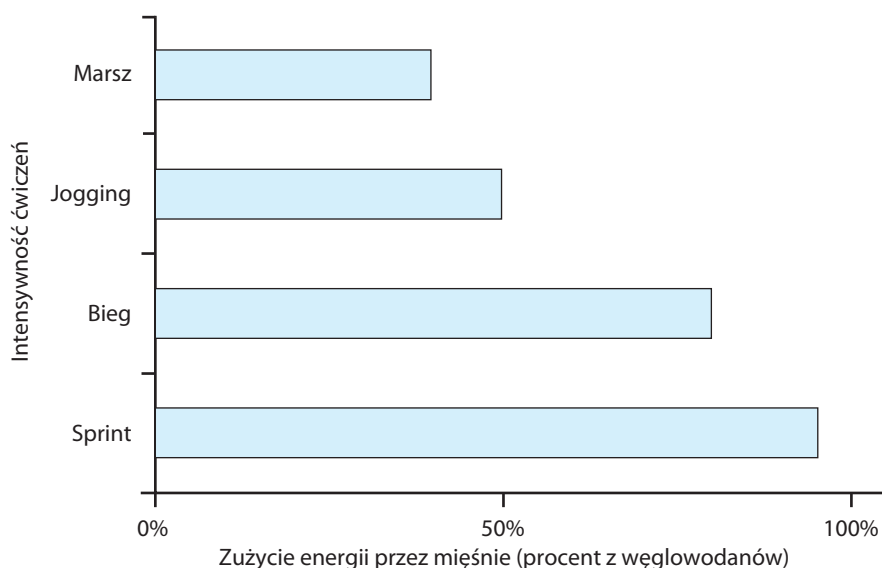
**Tabela 1.2** Podstawowe pojęcia charakteryzujące węglowodany – cd.

Termin	Definicja
Błonnik nierozpuszczalny	Błonnik nierozpuszczalny zwiększa objętość pokarmu i pomaga utrzymać jelita w dobrej kondycji dzięki zdolności wchłaniania dużej ilości wody, często wielokrotnie większej od jego masy. Znajduje się głównie w warzywach i w zewnętrznej warstwie ziarna. Przykładem produktu bogatego w błonnik nierozpuszczalny są otręby pszenne, składające się głównie z celulozy i hemicelulozy.
Błonnik rozpuszczalny	Błonnik rozpuszczalny łatwo rozpuszcza się w wodzie i w jelitach przybierając miękką, podobną do żelu strukturę. Do błonnika rozpuszczalnego zalicza się przede wszystkim pektyny, gumy i śluzy. Jego źródłem są otręby owsiane, fasole, groszek i większość owoców. Rola błonnika rozpuszczalnego związana jest z obniżaniem poziomu cukru we krwi, tym samym zmniejszając ryzyko hiperinsulinemii, otyłości i raka.

nów dla podtrzymania siły mięśniowej i pracy mózgu wielu sportowców nadal uważa, że z punktu widzenia sukcesów sportowych najistotniejszym składnikiem odżywczym jest białko. Nie umniejszając roli białka, dostarczanie właściwej ilości węglowodanów w odpowiednim czasie optymalizuje ograniczone zapasy węglowodanów, zapewnia lepsze zaopatrzenie mózgu w węglowodany, zmniejsza prawdopodobieństwo wyczerpania ograniczonych zapasów i zapewnia wysoką sprawność. Mimo że białko jest niezwykle istotne dla zdrowia i z pewnością odgrywa ważną rolę w utrzymaniu oraz powiększaniu masy mięśniowej, redukcji bólu mięśni czy poprawie regeneracji mięśni, przyjmowanie dużych dawek białka zamiast węglowodanów nie przyczynia się do poprawy wyników sportowych.

## Rodzaje węglowodanów

Węglowodany różnią się między sobą pod względem formy, funkcji i wpływu na zdrowie. Podstawowym budulcem wszystkich węglowodanów są monosacharydy, czyli pojedyncze cząsteczki cukrów prostych. Wszystkie najbardziej znane monosacharydy zawierają sześć atomów węgla, zaś niewielkie różnice w proporcji atomów tlenu i wodoru odpowiadają za znaczne różnice w metabolizmie tych związków. Podstawowym substratem biorącym udział w procesach metabolicznych zachodzących w komórkach ludzkich jest monosacharyd glukoza, a inne monosacharydy przekształcane są w glukozę na drodze przemian biochemicznych. Liczba cząsteczek monosacharydów

**Ryc. 1.1** Intensywność ćwiczeń a zużycie węglowodanów jako źródła energii.

połączonych wiązaniami chemicznymi jest podstawą klasyfikacji węglowodanów (tabela 1.3).

Monosacharydy najczęściej występujące w produktach żywnościowych (glukoza, fruktoza i galaktoza) różnią się rozpuszczalnością, intensywnością smaku słodkiego i reaktywnością z innymi składnikami żywności. Z wyjątkiem fruktozy, która jest obecna na coraz większą skalę w przetworzonych produktach żywnościowych zawierających jako substancję słodzącą wysokofruktozowy syrop kukurydziany, większość monosacharydów dostarczanych z żywnością jest produktem rozpadu disacharydów (tj. cukrów zbudowanych z dwóch połączonych cząsteczek monosacharydów). Należy podkreślić, że wysokofruktozowy syrop kukurydziany zawiera podobne proporcje glukozy i fruktozy jak sacharoza (cukier stołowy) przy większej ilości wolnej fruktozy, niezwiązanej z glukozą. Różnica ta u niektórych sportowców może prowadzić do wystąpienia nadwrażliwości na fruktozę, objawiającej się

biegunką po spożyciu wolnej fruktozy. Istnieją również przesłanki wskazujące, że wolna fruktoza nasila produkcję kwasu moczowego, wywołując ból stawów przypominający dnę moczanową.

Trzy najważniejsze disacharydy to sacharoza, laktoza i maltoza. Każdy z tych związków zawiera inną kombinację monosacharydów (zob. tabela 1.4). Monosacharydy i disacharydy zaliczane są do jednej grupy węglowodanów prostych – lub cukrów – zaś polisacharydy klasyfikuje się jako węglowodany złożone. Niestrawne węglowodany są również węglowodanami złożonymi, często określanymi jako błonnik pokarmowy. Cukry (mono- i disacharydy) charakteryzują się różną intensywnością smaku słodkiego, przy czym najśłodszym cukrem jest fruktoza, a kolejne miejsca zajmują sacharoza, glukoza i laktoza (najmniej słodka). Cukry różnią się także pod względem rozpuszczalności (np. fruktoza rozpuszcza się słabiej w porównaniu z sacharozą) i innych wyczuwalnych za pomocą zmysłów

**Tabela 1.3** Klasyfikacja węglowodanów

<b>Węglowodany proste</b>	<b>Cukry</b>	Monosacharydy (węglowodany zbudowane z jednej cząsteczki)	Glukoza (zwana także dekstrozą) Fruktoza (inne nazwy: lewuloza, cukier owocowy) Galaktoza	Niektóre cukry – lub węglowodany proste – mogą szybko podwyższać stężenie cukru we krwi, powodując nadmierne uwalnianie insuliny, co skutkuje szybkim spadkiem stężenia glukozy. Glukoza i maltoza mają najwyższe współczynniki glikemiczne.
		Disacharydy (węglowodany zbudowane z dwóch cząsteczek)	Sacharoza Laktoza Maltoza	
<b>Węglowodany złożone</b>	<b>Częściowo strawne polisacharydy</b>	Oligosacharydy (od trzech do 20 cząsteczek węglowodanów)	Maltodekstryny Fruktooligosacharydy Rafinoza Stachioza Werbaskoza	Częściowo strawne polisacharydy występują powszechnie w roślinach strączkowych i mimo że mogą wywoływać gazy i wzdęcia, są uznawane za węglowodany korzystne dla zdrowia.
	<b>Polisacharydy</b>	Polisacharydy strawne (węglowodany skrobiowe zawierające powyżej 20 cząsteczek)	Amyloza Amylopektyna Polimery glukozy	Te złożone węglowodany powinny stanowić główne źródło energii z węglowodanów. Polimery glukozy są wytwarzane ze skrobi i często są wykorzystywane w napojach i żelach dla sportowców.
		Polisacharydy niestrawne (węglowodany nieskrobiowe zawierające powyżej 20 cząsteczek)	Celuloza Hemiceluloza Pekтины Gumy Śluzy Polisacharydy glonów Beta-glukany Fruktany	Te złożone węglowodany dostarczają błonnika istotnego dla zdrowia przewodu pokarmowego oraz odporności na choroby.

**Tabela 1.3** Klasyfikacja węglowodanów – cd.

<b>Inne</b>	Inne węglowodany	Mannitol Sorbitol Ksylitol Glikogen Ryboza (cukier pięciowęglowy)	Mannitol, sorbitol i ksylitol (alkohole cukrowe) są spożywczymi substancjami słodzącymi, które nie przyczyniają się do próchnicy zębów. Używa się ich w wielu produktach z powodu zdolności do zatrzymywania wilgoci oraz właściwości stabilizujących żywność, ale są wolno trawione i spożywane w dużych ilościach mogą wywoływać dolegliwości ze strony układu pokarmowego. Glikogen jest głównym materiałem zapasowym u zwierząt, ryboza z kolei stanowi element kodu genetycznego (kwas dezoksyrybonukleinowy, DNA).
-------------	------------------	---	--

**Tabela 1.4** Zależności między mono- i disacharydami

Disacharyd	Zawiera następujące monosacharydy
Sacharoza (cukier trzcinowy lub buraczany)	Glukoza Fruktoza
Laktoza (cukier mleczny)	Glukoza Galaktoza
Maltoza (cukier słodowy)	Glukoza Glukoza

własności fizycznych, co decyduje o ich zastosowaniu w produkcji żywności. Sportowcy mają obecnie do wyboru rozmaite napoje i żele, które zawierają mono- i disacharydy w różnych proporcjach oraz, w przypadku żeli, różne rodzaje polimerów węglowodanowych. Producenci tego rodzaju preparatów próbują w taki sposób dobrać składniki, aby osiągnąć jak najkorzystniejszą kompozycję pod względem smaku, tekstury, tolerancji przez układ pokarmowy, opróżniania żołądka, wymiany elektrolitów, efektywności dostarczania energii podczas pracy mięśni oraz poprawy wydajności organizmu.

## Metabolizm węglowodanów

Organizm ludzki jest w stanie zmagazynować w przybliżeniu 350 g (1400 kilokalorii) węglowodanów w mięśniach w formie glikogenu, dodatkowo 90 g (360 kilokalorii) glikogenu w wątrobie oraz niewielką ilość glukozy krążącej we krwi (około 5 g, 20 kilokalorii). Im większa masa mięśniowa, tym większa wydajność magazynowania glikogenu, ale także wyższe potencjalne zapotrzebowanie na ten związek.

Ponadto znacznie większe zapasy glikogenu wiążą się z magazynowaniem proporcjonalnie większej ilości płynów; na jeden gram glikogenu przypadają trzy dodatkowe gramy wody. W niektórych dyscyplinach sportowych wyższy poziom płynów związany z glikogenem jest uznawany za zjawisko korzystne (na przykład w przypadku maratończyka, który w upalny dzień potrzebuje większego zapasu wody w organizmie, by zrównoważyć utratę płynów z potem), a w innych może stanowić problem (w przypadku gimnastyka, dla którego jak najwyższy stosunek siły do masy jest niezbędny przy wykonywaniu ćwiczeń akrobatycznych, obciążenie związane z dodatkowym zapasem wody może oznaczać nadmierny balast; równocześnie aby szybko uwolnić energię mięśniową zmagazynowaną w ATP, potrzebny jest glikogen). Sportowcy powinni zatem optymalizować zapasy glikogenu w sposób najbardziej korzystny dla dyscypliny, którą uprawiają.

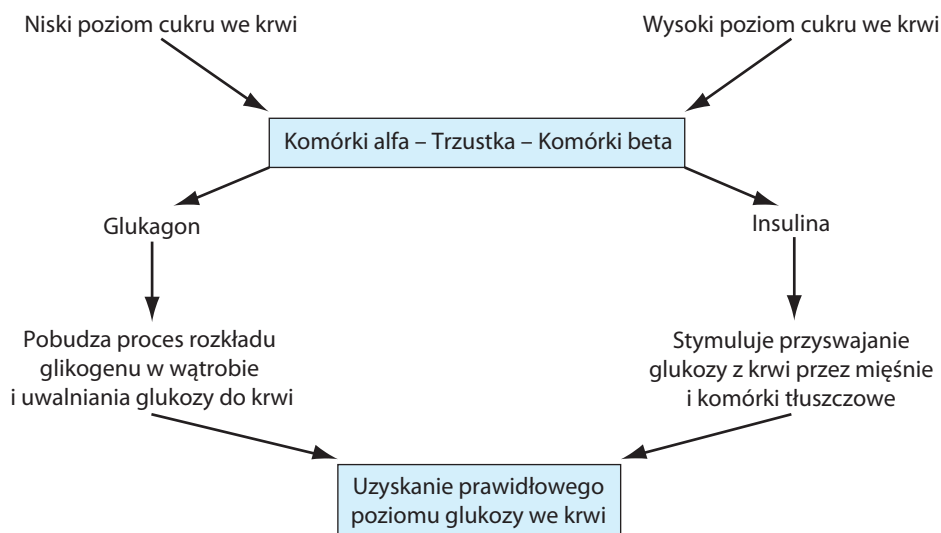
W organizmie ludzkim istnieją mechanizmy związane z wydzielaniem insuliny i glukagonu utrzymujące poziom glukozy we krwi w stosunkowo wąskim zakresie (70–110 miligramów na decylitr). Insulina i glukagon są hormonami trzustki, które przez działanie synergistyczne regulują poziom cukru we krwi. Nadmierne uwalnianie insuliny wywołuje hipoglikemię (niski poziom cukru we krwi), co skutkuje nadmierną produkcją tłuszczu; jeżeli produkcja hormonu jest zbyt niska lub insulina działa nieefektywnie, dochodzi do hiperglikemii (wysoki poziom cukru we krwi) i cukrzycy. Rycina 1.2 ilustruje mechanizm regulacji poziomu glukozy we krwi przez hormony trzustki.

Insulina wydzielana jest przez komórki beta, zaś glukagon jest produkowany przez komórki alfa trzustki. Bodźcem stymulującym wyrzut insuliny jest wysoki poziom glukozy we krwi (im wyższy poziom glukozy, tym silniejsza jest odpowiedź insulinowa), niemniej jednak trzustka w sposób ciągły wydziela niewielkie

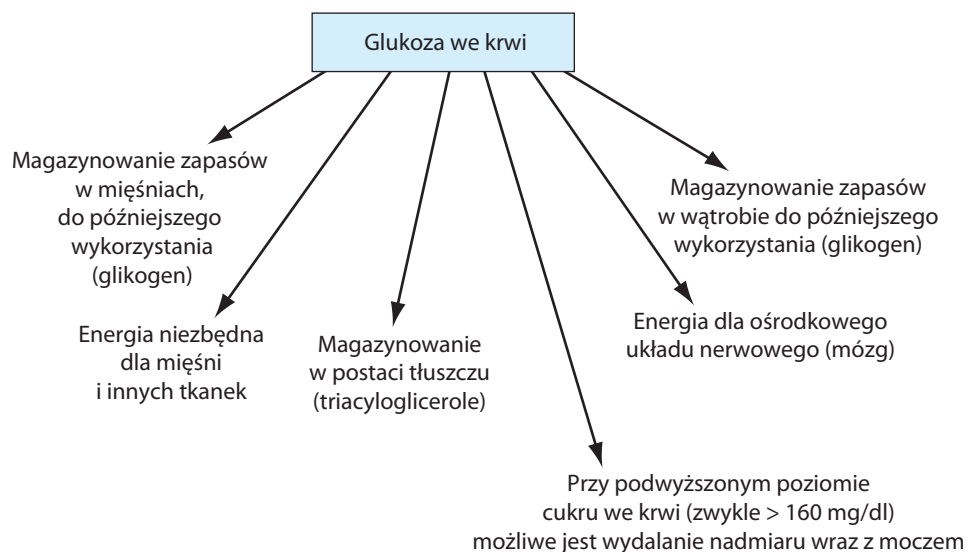
ilości insuliny, nawet jeżeli poziom glukozy we krwi jest prawidłowy, co sprawia, że glukoza stale dostarcza na jest do komórek mózgu i mięśni. Insulina obniża poziom glukozy we krwi przez oddziaływanie na błonę komórkową komórek mięśniowych i tłuszczowych, dzięki czemu glukoza z krwi przedostaje się do wnętrza komórek. Działanie to powoduje przeniesienie glukozy z krwi do komórek, co tłumaczy obniżenie poziomu glukozy we krwi pod wpływem insuliny; ponadto, proces ten służy zaopatrzeniu komórek w niezbędne substraty energetyczne. Rycina 1.3 ilustruje możliwe losy glukozy z krwi w ustroju.

Przy niskim poziomie glukozy we krwi między posiłkami i w czasie ćwiczeń wydzielany jest glukagon, który rozkłada glikogen z wątroby i transportuje powstałą glukozę do krwi. Niższy poziom glukozy we krwi skutkuje zwiększoną produkcją glukagonu. Glukagon może również stymulować glukoneogenezę (wytwarzanie glukozy z substancji niecukrowcowych). Przykładowo podczas glukoneogenezy alanina, aminokwas pochodzący z białek szkieletowych, jest przekształcana w wątrobie w glukozę. Około 60% glukozy uwalnianej do krwi z rezerw wątroby pochodzi z glikogenu wątrobowego, a pozostała część jest syntetyzowana z mleczanu, pirogronianu, glicerolu i aminokwasów, włączając alaninę<sup>1</sup>. Tempo przenikania glukozy z wątroby do krwi podczas ćwiczeń zależy od intensywności wysiłku fizycznego, przy czym bardziej

glukagon, który rozkłada glikogen z wątroby i transportuje powstałą glukozę do krwi. Niższy poziom glukozy we krwi skutkuje zwiększoną produkcją glukagonu. Glukagon może również stymulować glukoneogenezę (wytwarzanie glukozy z substancji niecukrowcowych). Przykładowo podczas glukoneogenezy alanina, aminokwas pochodzący z białek szkieletowych, jest przekształcana w wątrobie w glukozę. Około 60% glukozy uwalnianej do krwi z rezerw wątroby pochodzi z glikogenu wątrobowego, a pozostała część jest syntetyzowana z mleczanu, pirogronianu, glicerolu i aminokwasów, włączając alaninę<sup>1</sup>. Tempo przenikania glukozy z wątroby do krwi podczas ćwiczeń zależy od intensywności wysiłku fizycznego, przy czym bardziej



Ryc. 1.2 Rola trzustki w normalizacji poziomu glukozy we krwi.



Ryc. 1.3 Możliwe szlaki metaboliczne związane z przemianami glukozy.

intensywne ćwiczenia powodują szybsze uwalnianie tego cukru<sup>2</sup>. Niższe stężenie insuliny we krwi w powiązaniu z wyższym stężeniem epinefryny (tj. adrenaliny) i glukagonu podczas długotrwałego wysiłku stymuluje uwalnianie glukozy z wątroby.

W regulacji poziomu glukozy oprócz insuliny i glukagonu uczestniczą dwa inne hormony. Adrenalina jest hormonem stresu, który inicjuje niezwykle gwałtowny rozpad glikogenu wątrobowego, powodując szybki wzrost poziomu glukozy we krwi. Kortyzol, uwalniany przez nadnercza, również jest hormonem stresu, który pobudza katabolizm białek mięśniowych. Uwalniane w ten sposób glukogenne aminokwasy<sup>3</sup> mogą zostać wykorzystane w procesie glukoneogenezy, co w efekcie końcowym prowadzi do wzrostu poziomu glukozy we krwi. Obydwa hormony są uwalniane pod wpływem stresu związanego z wykonywaniem ćwiczeń, a ich stężenie jest zależne od poziomu glukozy we krwi. Zapasy glikogenu w wątrobie są kontrolowane przez adrenalinę, zaś poziom białek mięśniowych jest regulowany przez kortyzol. Z tego względu jest to mocny argument, że sportowcy powinni spożywać węglowodany podczas ćwiczeń. Jest to także ważna wskazówka dla trenerów, by przed zawodami i w ich czasie starali się zachować spokój, ponieważ stresujące zachowanie wobec zawodnika nasila u niego stres psychologiczny, co wiąże się ze zwiększoną produkcją adrenaliny, a tym samym szybszym spadkiem stężenia glikogenu wątrobowego.

Glukoza znajdująca się w krwiobiegu pochodzi przede wszystkim z węglowodanów dostarczanych w pożywieniu, wśród których najważniejszą rolę odgrywa skrobia. W procesie trawienia węglowodany złożone (skrobie) rozkładane są do monosacharydów (glukoza, fruktoza i galaktoza), które następnie są wchłaniane bezpośrednio do krwiobiegu. U niektórych osób występuje niedobór laktazy, rozkładającej cukier mleczny na składniki jednocukrowe (glukoza i galaktoza), w następstwie czego niestrawiona laktoza przedostaje się do przewodu pokarmowego. Dysfunkcja ta, określana jako nietolerancja laktozy, wywołuje wzdęcia, bóle brzucha, biegunkę oraz odwodnienie. Nadmiar glukozy magazynowany jest w wątrobie i mięśniach w postaci glikogenu, ale tylko do osiągnięcia punktu wysycenia. Wątroba może magazynować maksymalnie 87–100 g glikogenu (348–400 kilokalorii), zaś mięśnie magazynują średnio około 350 g (1400 kilokalorii) lub więcej, w zależności od masy ciała. Nadwyżka glukozy dostarczana do komórek po wysyceniu magazynów glikogenu jest gromadzona w postaci tłuszczu (zarówno przez komórki mięśniowe, jak i tłuszczowe). Glikogen wątrobowy odpowiada głównie za stabilizację poziomu glukozy we krwi, natomiast glikogen mięśniowy, metabolizowany w warunkach

tlenowych lub beztlenowych, jest przede wszystkim źródłem energii dla pracujących mięśni.

Utrzymanie właściwego poziomu cukru we krwi przy wyczerpanych zapasach glikogenu wątrobowego nie jest łatwe, nawet jeśli istnieje duży zapas glikogenu w mięśniach. Glukoza we krwi stanowi główne źródło energii dla ośrodkowego układu nerwowego (OUN). Zbyt niski poziom cukru we krwi wiąże się z osłabieniem aktywności OUN, co jest połączone ze zwiększoną drażliwością i zmniejszeniem zdolności do koncentracji. U sportowców niski poziom cukru we krwi może być związany ze zmęczeniem psychicznym, co skutkuje zmęczeniem mięśni. Podczas niewielkiego nawet wysiłku rezerwy cukrów zawarte w wątrobie w postaci glikogenu oraz we krwi (glukoza) szybko się wyczerpują, zatem spożywanie węglowodanów podczas wysiłku ma kluczowe znaczenie dla podtrzymania funkcji psychicznych, a w efekcie końcowym także funkcji mięśni. W uproszczeniu sportowcy, którzy dopuszczają do spadku poziomu cukru we krwi poniżej normy, doświadczają zmniejszenia wydajności sportowej z powodu osłabienia funkcji OUN, nawet jeżeli mięśnie mają wystarczającą ilość paliwa.

## Glikoliza

Adenozynotryfosforan (ATP) jest wysokoenergetycznym związkiem wykorzystywanym w metabolizmie komórkowym. Tkanki mają ograniczone możliwości magazynowania łatwo dostępnego ATP, zatem podczas wysiłku konieczna jest szybka produkcja tego związku. Organizm ludzki jest mało wydajny w przekształcaniu energii uzyskanej w wyniku spalania dostarczonego paliwa w energię mechaniczną; utrata energii uzyskanej w wyniku spalania (ATP) w formie ciepła wynosi około 60–80%, a tylko 20–40% jest wykorzystywane do poruszania mięśni. Organizm nie jest w stanie przyswoić nadmiaru ciepła metabolicznego (temperatura ciała nie może znacząco wzrosnąć), zatem zdolność do magazynowania łatwo dostępnego ATP (w formie fosfokreatyny) jest ograniczona. W przeciwnym razie ilość ciepła wyprodukowanego przez organizm wzrastałaby gwałtownie do poziomu uniemożliwiającego chłodzenie, co skutkowałoby przegrzaniem i śmiercią. Ograniczona zdolność magazynowania łatwo dostępnego ATP może być zatem uważana za mechanizm obronny. Im wyższa intensywność wysiłku fizycznego, tym szybciej musi nastąpić odtworzenie ATP. W stanie równowagi, podczas mało intensywnej aktywności, ATP jest produkowane w odpowiedniej ilości aerobowo, w procesie utleniania węglowodanów i tłuszczów. Podczas bardziej intensywnej aktywności fizycznej zapotrzebowanie na ATP osiąga poziom, który nie może być zaspokojony



na drodze procesów aerobowych<sup>4,5</sup>. Tabela 1.5 zawiera przegląd procesów metabolicznych, w wyniku których wytwarzana jest energia.

Glikoliza to proces gwałtownego rozpadu glikogenu do glukozy, który skutkuje powstaniem dużej ilości ATP. Glikoliza może zachodzić w obecności tlenu (glikoliza tlenowa/aerobowa) lub w warunkach beztlenowych (glikoliza beztlenowa/anaerobowa), co sprawia, że glikogen stanowi bardzo uniwersalne źródło energii. W odróżnieniu od glikolizy beztlenowej podczas glikolizy tlenowej możliwa jest produkcja większej ilości ATP bez wytwarzania kwasu mlekowego. Glikolizę beztlenową określa się zatem jako szlak kwasu mlekowego. Podczas intensywnej aktywności, kiedy niemożliwe jest dostarczenie do organizmu wystarczającej ilości tlenu, by zaspokoić potrzeby energetyczne, głównym szlakiem produkcji ATP staje się glikoliza beztlenowa. Niemniej jednak bardzo intensywny trening beztlenowy jest procesem samoograniczającym się, ponieważ gromadzenie się kwasu mlekowego pozwala na kontynuowanie aktywności maksymalnie przez 1,5–2 minuty. Jest to proces umożliwiający regenerację, typowy dla sportów wymagających intensywnej aktywności. Przykładowo w gimnastyce artystycznej typowy układ trwa 1,5 minuty; następnie gimnastyk może odpocząć i przygotować się do kolejnego intensywnego wysiłku. Podobnie podczas gry w hokeja zawodnicy często się zmieniają (gracz prawie nigdy nie przebywa na lodowisku bez przerwy dłużej niż 2 minuty), co umożliwia każdemu z uczestników regenerację mięśni.

Kwas mlekowy, powstający podczas beztlenowej glikolizy, oczekuje na dostarczenie odpowiedniej ilości

tlenu, by powrócić do obiegu; jest zatem formą magazynowanej energii. Po zmniejszeniu intensywności ćwiczeń, kiedy w organizmie sportowca znajduje się wystarczająca ilość tlenu, ulega on przekształceniu do kwasu pirogronowego i zostaje wykorzystany w procesie produkcji ATP na drodze przemian tlenowych. *Uwaga:* w stanie odwodnienia podczas bardzo intensywnej aktywności fizycznej organizm sportowca jest bardziej narażony na powikłania związane z wysoką produkcją kwasu mlekowego niż w sytuacji prawidłowego nawodnienia, kiedy całkowita ilość płynu (objętość krwi) absorbująca kwas mlekowy uwalniany z komórek jest większa, a tym samym bardziej oporna na zmiany pH (tj. zmiany względnej kwasowości). Potocznie można powiedzieć, że „sposobem na zanieczyszczenia jest rozcieńczenie”.

## Glukoneogeneza

Glukoneogeneza to proces syntezy glukozy ze związków niebędących węglowodanami. Glukoza obecna we krwi jest niezbędna do prawidłowego funkcjonowania ośrodkowego układu nerwowego, wspomaga metabolizm tłuszczu oraz stanowi źródło energii dla komórek. Z uwagi na ograniczoną zdolność organizmu do magazynowania glukozy utrzymanie minimalnego stężenia tego cukru w organizmie możliwe jest dzięki przekształcaniu w glukozę związków innych niż węglowodany. Istnieją trzy podstawowe mechanizmy glukoneogenezy.

1. Triacyloglicerole stanowią najważniejszą formę zapasową tłuszczów w organizmie człowieka. Są zbudowane z trzech cząsteczek kwasów tłuszcz-

**Tabela 1.5** Metaboliczne procesy wytwarzania energii

Proces	Charakterystyka	Czas trwania
Fosfokreatyna (PCr)	Beztlenowe wytwarzanie ATP ze zmagazynowanej fosfokreatyny.	Wykorzystywany podczas wysiłku o maksymalnej intensywności.
Glikoliza anaerobowa (szlak kwasu mlekowego)	Produkcja ATP w wyniku rozpadu glikogenu w warunkach beztlenowych; produktem ubocznym jest kwas mlekowy.	Wykorzystywany podczas wysiłku o dużej intensywności, który przekracza możliwości organizmu sportowca w zakresie zaopatrzenia w tlen; w tym procesie produkcja ATP może być kontynuowana przez maksymalnie 2 minuty.
Glikoliza aerobowa	Produkcja dużych ilości ATP w wyniku rozpadu glikogenu w warunkach tlenowych.	Wykorzystywany podczas wysiłku o dużej intensywności, który wymaga dużej ilości ATP, nieprzekraczającej jednak możliwości organizmu sportowca w zakresie zaopatrzenia w tlen.
Szlak tlenowy (metabolizm aerobowy)	Produkcja ATP w wyniku rozpadu węglowodanów i tłuszczów w warunkach tlenowych.	Wykorzystywany podczas długotrwałego wysiłku o niskiej intensywności, który wymaga dużej ilości ATP, bez wytwarzania produktów ubocznych ograniczających pracę organizmu.

czowych i jednej cząsteczki glicerolu. Produktem rozpadu triacylogliceroli jest wolny glicerol (substancja trójwęglowa), a w wyniku połączenia dwóch cząsteczek glicerolu w wątrobie powstaje cząsteczka glukozy (substancja sześciowęglowa). Glicerol to jedyny tłuszcz prosty w diecie człowieka, który jest metabolizowany podobnie jak węglowodany.

2. W wyniku katabolizmu białek mięśniowych dochodzi do uwolnienia szeregu wolnych aminokwasów, z których były zbudowane mięśnie. Niektóre aminokwasy są glukogenne, tj. zdolne do przemiany w glukozę; proces ten zachodzi w wątrobie. Jeżeli podczas pracy mięśni poziom cukru we krwi jest niski, po 40 min intensywnych ćwiczeń dochodzi do wzrostu poziomu wolnej alaniny (glukogennego aminokwasu) o 60–96% lub więcej<sup>6</sup>. Wynika stąd, że jeżeli podczas aktywności fizycznej w organizmie sportowca nastąpi spadek poziomu cukru we krwi, szybko rozpoczyna się proces rozpadu mięśni.
3. Produktem ubocznym anaerobowej glikolizy jest kwas mlekowy, który jest następnie usuwany z komórki w celu utrzymania właściwego pH. Wytworzony kwas mlekowy może zostać ponownie przekształcony w kwas pirogronowy, w wyniku czego w obecności tlenu powstaje ATP. Alternatywnie z dwóch cząsteczek kwasu mlekowego powstaje w wątrobie cząsteczka glukozy. Przekształcenie kwasu mlekowego w glukozę nazywane jest cyklem Corich (mleczan jest usuwany z mięśni, glukoza powraca do mięśni). Mleczanu (nazwa często używana zamiennie z kwasem mlekowym) nie należy zatem uznawać za związek szkodliwy, ponieważ podtrzymuje on funkcję komórek i może być wykorzystywany jako źródło energii.

## Zużycie węglowodanów podczas aktywności fizycznej

Niski poziom węglowodanów podczas ćwiczeń skutkuje szybkim zmęczeniem. Zasoby węglowodanów (tj. zapas glikogenu) i dostępnej wolnej glukozy są ograniczone (ok. 350 kilokalorii glikogenu w wątrobie; 1400 kilokalorii glikogenu w mięśniach; ok. 40 kilokalorii we krwi). Aby podtrzymać aktywność na odpowiednim poziomie, sportowcy powinni zatem rozpoczynać trening z właściwym zasobem glikogenu lub podjąć inne działania zabezpieczające jego zapasy przed wyczerpaniem. Nawet jeżeli w mięśniach znajdują się odpowiednie zapasy glikogenu, niski poziom tego substratu w wątrobie prowadzi do hipoglikemii

i zmęczenia psychicznego, zaś to ostatnie wpływa na zmęczenie mięśni.

Im wyższa intensywność ćwiczeń, tym ważniejsza jest rola węglowodanów jako substratu energetycznego w diecie sportowców. Jednakże nawet przy aktywności fizycznej o niskiej intensywności (są to przede wszystkim ćwiczenia aerobowe), podczas której zużywana jest głównie energia pochodząca z tłuszczów, do całkowitego spalania tłuszczów oraz utrzymania właściwego poziomu cukru we krwi niezbędny jest określony poziom węglowodanów. Wszystkie odmiany aktywności fizycznej są, w różnym stopniu, zależne od węglowodanów. Ich udział w całkowitym zapotrzebowaniu na energię podczas ćwiczeń zależy od kilku czynników. Zapotrzebowanie na węglowodany zwiększają następujące czynniki:

- intensywna aktywność fizyczna,
- długotrwała aktywność fizyczna,
- wykonywanie ćwiczeń w skrajnych warunkach temperaturowych (gorąco lub zimno),
- ćwiczenia na dużej wysokości n.p.m.,
- wiek (zapotrzebowanie jest większe u chłopców niż u dorosłych mężczyzn).

Czynniki, które ograniczają względny wydatek energetyczny z węglowodanów:

- trening wytrzymałościowy,
- dobre warunki tlenowe,
- adaptacja do temperatury,
- płeć.

Szeroko rozpowszechnione jest błędne przekonanie, że najskuteczniejszy sposób spalania tłuszczu polega na aktywności fizycznej o niskiej intensywności (do ok. 65%  $\dot{V}O_2\text{max}$ ). Istotnie wiele popularnych programów treningowych odwołujących się do tej koncepcji koncentruje się na ćwiczeniach aerobowych o niskiej intensywności jako najskuteczniejszej metodzie spalania tkanki tłuszczowej. Tymczasem proporcja i objętość spalanej tkanki tłuszczowej to dwie różne kategorie, których nie należy mylić. Kiedy siedzimy, czytając ten tekst, najprawdopodobniej zdecydowaną większość niezbędnej energii uzyskujemy z tłuszczu. Jednak całkowita objętość spalonego w ten sposób tłuszczu jest niewielka. (W przeciwnym razie siedzenie przed telewizorem byłoby doskonałą metodą rozpoczęcia programu redukcji tkanki tłuszczowej). Wraz ze zwiększaniem intensywności ćwiczeń zmniejsza się proporcjonalny udział tłuszczów jako źródła energii, natomiast udział węglowodanów wzrasta, przy czym intensywność spalania tłuszczów utrzymuje się na stałym poziomie. Podczas intensywnej aktywności fizycznej całkowite zapotrzebowanie na energię w jednostce czasu jest znacznie wyższe niż w trakcie umiarkowa-

nie intensywne ćwiczeń, ponadto objętość spalanej tkanki tłuszczowej jest większa (mimo proporcjonalnie mniejszego udziału tłuszczów w zaspokajaniu całkowitego zapotrzebowania na energię). Aby obniżyć zawartość tkanki tłuszczowej i uzyskać optymalny skład ciała, sportowcy powinni zatem generować maksymalny wysiłek w jednostce czasu (zob. rozdz. 12).

Rozważmy poniższy przykład:

- Joe przez 60 min wykonywał lekkie (tzn. aerobowe) ćwiczenia, podczas których spalił 300 kilokalorii, z czego 80% (240 kilokalorii) pochodziło z tłuszczu.
- Jack przez 60 min ćwiczył bardziej intensywnie i spalił 500 kilokalorii, z czego 60% (300 kilokalorii) pochodziło z tłuszczu.
- Jack spalił o 200 kalorii więcej, w tym o 60 kalorii pochodzących z tłuszczu więcej niż Joe, mimo że Joe zużył proporcjonalnie więcej kalorii pochodzących z tłuszczu.

Ektywność wytwarzania energii z węglowodanów przy zużyciu jednostki tlenu jest znacznie wyższa niż w przypadku innych źródeł, dlatego dla sportowców są one bardzo istotnym rodzajem paliwa. Ilość energii wytworzona z węglowodanów przy użyciu jednego litra tlenu wynosi około 5 kalorii, podczas gdy tłuszcze dostarczają tylko 4,7 kalorii. Ponadto glikoliza aerobowa zaopatruje mięśnie w ATP szybciej i w większych ilościach niż utlenianie tłuszczów. Większa wydajność energetyczna węglowodanów może tłumaczyć szybkie pojawianie się zmęczenia mięśni podczas intensywnej aktywności fizycznej w sytuacji, gdy zapasy glikogenu są prawie całkowicie wyczerpane. Organizm sportowca nie jest wówczas w stanie wygenerować wystarczającej ilości ATP, aby zaspokoić zapotrzebowanie pracujących mięśni stosownie do obciążenia.

## Teorie zmęczenia ośrodkowego

Najważniejszym etapem zaopatrywania mięśni podczas pracy w energię jest przekształcenie difosforanu adenozy (ADP) w ATP. Zbyt niska podaż węglowodanów skutkuje obniżeniem tempa przemiany ADP w ATP, co uniemożliwia intensywną pracę mięśni. Dodatkowo zahamowanie procesu przekształcania ADP w ATP powoduje gromadzenie się ADP, co również przyczynia się do zmęczenia mięśni<sup>7</sup>.

Inne czynniki związane z ośrodkowym układem nerwowym także mogą powodować zmęczenie mięśni<sup>8</sup>. Czynniki te, objęte wspólnym terminem teorii zmęczenia ośrodkowego, uruchamiają mechanizmy, dzięki którym przez barierę krew-mózg przedostaje

się większa niż zazwyczaj ilość jednego z aminokwasów (tryptofanu), co zwiększa produkcję serotoniny (5-HT). Neuroprzekaznik 5-HT wywołuje uczucie zrelaksowania oraz, w wyższych stężeniach, senność i ospałość. Może to prowadzić do zmęczenia mięśni, które często jest efektem zmęczenia psychicznego.

- **Czynnik 1:** Cukier jest podstawowym źródłem energii dla mózgu, niezbędnym do podtrzymania jego funkcji. Obniżenie poziomu cukru we krwi stanowi sygnał do wyprodukowania dodatkowej ilości tego składnika w procesie zwanym glukoneogenezą (tzn. wytwarzania glukozy z substancji innych niż węglowodany). Przy niskim poziomie cukru we krwi i niewielkich zasobach glikogenu w mięśniach rozpad mięśni staje się ważnym źródłem substratów dla glukoneogenezy. Skutkuje to nasileniem katabolizmu aminokwasów rozgałęzionych (BCAA), co powoduje redukcję stężenia BCAA w krwiobiegu<sup>9</sup>. BCAA i tryptofan konkurują o te same przenośniki białkowe, które umożliwiają im przejście przez barierę krew-mózg. Kiedy poziom BCAA jest wysoki, wnikanie tryptofanu do mózgu znajduje się pod kontrolą. Jeżeli jednak poziom BCAA we krwi obniża się (co następuje, gdy są one katabolizowane z wytworzeniem energii), tryptofan wiąże większą pulę przenośników białkowych, w wyniku czego do mózgu wnika większa ilość tego aminokwasu. Tryptofan nasila produkcję 5-HT. Można temu zapobiec, utrzymując właściwy poziom glukozy we krwi i w mięśniach, co powstrzymuje glukoneogenezę.
- **Czynnik 2:** Konsumpcja produktów spożywczych bogatych w tryptofan (takich jak indyk czy mleko) może zwiększyć objętość tryptofanu przenikającego barierę krew-mózg, a w konsekwencji nasilać produkcję 5-HT. Wzrost poziomu 5-HT jest przyczyną przedwczesnego zmęczenia<sup>10</sup>.
- **Czynnik 3:** Tłuszcze konkurują z tryptofanem o te same przenośniki białkowe. Wysokie spożycie tłuszczu powoduje, że preferencyjnie wiąże się on z przenośnikami białkowymi, pozostawiając większą pulę niezwiązanego tryptofanu, który może przeniknąć barierę krew-mózg. Powoduje to nasilenie produkcji 5-HT, co może prowadzić do przedwczesnego zmęczenia<sup>10</sup>.

Wynikający stąd logiczny wniosek, że spożycie BCAA i węglowodanów zahamuje produkcję 5-HT, a tym samym zmniejszy zmęczenie psychiczne i fizyczne, nie znajduje potwierdzenia w badaniach, ponieważ trudno jest rozróżnić efekty ośrodkowe i mięśniowe<sup>11</sup>. Dodatkowo może nakładać się wpływ innych substancji,

np. kofeiny, której spożycie, jak wykazano w badaniach, opóźnia zmęczenie przez przejściowe pobudzenie ośrodkowego układu nerwowego<sup>12</sup>. (Informacje dotyczące kofeiny i jej wpływu na sprawność znajdują się w rozdziale 4, poświęconym środkom ergogenicznym).

## Zapotrzebowanie na węglowodany

Według zaleceń Instytutu Medycyny dzienna porcja węglowodanów powinna wynosić 130 g (520 kcal), co odpowiada minimalnemu średniemu zużyciu glukozy przez mózg<sup>13</sup>. Wskazane jest spożycie węglowodanów w ilości stanowiącej 45–65% wszystkich spożywanych kalorii (co często określane jest jako akceptowalny zakres rozkładu makroskładników, AMDR), a dzienna wartość (DV) węglowodanów na etykietach produktów żywnościowych opiera się na zalecanym spożyciu, wynoszącym 60% całkowitego zapotrzebowania energii. Ogólnie zalecane jest, by cukry (mono- i disacharydy) stanowiły nie więcej niż 25% wszystkich spożywanych węglowodanów.

Zalecane spożycie błonnika (z niestrawnych i częściowo niestrawnych polisacharydów) wynosi 38 g dziennie dla dorosłych mężczyzn i 25 g dziennie dla dorosłych kobiet. Spożywanie odpowiedniej ilości błonnika pomaga w utrzymaniu prawidłowego poziomu cukru we krwi (przez kontrolowanie szybkości wchłaniania), zmniejsza ryzyko chorób serca i obniża ryzyko zaparć. Różnice w zaleceniach dla kobiet i mężczyzn dotyczące spożycia błonnika wynikają z faktu, że spożycie pokarmu i energii przez kobiety jest zazwyczaj niższe niż u mężczyzn.

Sugeruje się, że jedynym węglowodanem niezbędnym do funkcjonowania organizmu jest witamina C, sześciowęglowy związek przypominający glukozę, który przez większość zwierząt może być z niej pozyskiwany na drodze przemian enzymatycznych. Z danych historycznych wynika, że zawartość węglowodanów w pożywieniu naszych przodków była bardzo niska, a mimo to zdołali oni przeżyć. Liczne badania wykazały natomiast, że węglowodany są czynnikiem, który ma decydujący wpływ na wydolność fizyczną sportowca, można zatem wnioskować, że sam fakt biologicznego przeżycia człowieka oraz jego kondycja i dobry stan fizyczny to zupełnie różne kwestie. W diecie osób uprawiających sport węglowodany są niezbędne, niezależnie od rodzaju treningu (aerobowy lub anaerobowy). Zapotrzebowanie sportowców na węglowodany zależy od kilku czynników. Spożycie odpowiedniej ilości węglowodanów zapewnia:

- pozyskanie energii pokrywającej znaczną część zapotrzebowania kalorycznego;

- uzupełnienie zasobów glikogenu;
- regenerację mięśni po wysiłku fizycznym;
- łatwo przyswajalne źródło energii podczas treningu i zawodów;
- szybkie i łatwo dostępne źródło energii między posiłkami, niezbędne do utrzymania właściwego poziomu cukru we krwi; oraz
- dostarczenie energii podtrzymującej poziom cukru we krwi podczas aktywności fizycznej.

Tradycyjny sposób określania wartości kalorycznej diety polega na wyznaczeniu ilości skonsumowanych węglowodanów w stosunku do całkowitego spożycia przy zastosowaniu odpowiednich współczynników (dla węglowodanów 4 kcal/g, białka 4 kcal/g i tłuszczów 9 kcal/g). Według zaleceń dla ogólnej populacji węglowodany powinny dostarczać 50–55% całkowitego zapotrzebowania energetycznego, a referencyjna (rekomendowana) wartość spożycia (DRI – *dietary reference intake*) wynosi 130 g dziennie (520 kcal dziennie) dla dorosłych kobiet i mężczyzn. W przypadku sportowców zalecana ilość wynosi 55–65% całkowitego zapotrzebowania energetycznego, przy założeniu, że całkowita liczba kalorii pozostaje na właściwym poziomie. Innym, niewątpliwie lepszym sposobem wyznaczania zapotrzebowania jest określenie ilości węglowodanów, które należy skonsumować, wyrażone w gramach na kilogram masy ciała. Zalecane dzienne spożycie węglowodanów dla sportowców uprawiających sporty wytrzymałościowe mieści się w zakresie 7–8 g (według niektórych zaleceń do 10 g) na kilogram masy ciała<sup>17,18</sup>. Aktualne zalecenia dotyczące spożycia węglowodanów przez sportowców są następujące:

- Węglowodany w diecie sportowca powinny zaspokajać większą część zapotrzebowania energetycznego związanego z programem treningowym oraz efektywną odbudową zapasów glikogenu mięśniowego w przerwach między aktywnością fizyczną.
- Zaraz po zakończeniu treningu i do 4 godzin po nim sportowcy powinni spożywać 1,0–1,2 g węglowodanów na kilogram masy ciała na godzinę w niewielkich odstępach czasu. (Przykład: sportowiec o masie 70 kg, chcąc skonsumować 1,2 g węglowodanów na kilogram na godzinę w ciągu 4 godzin po treningu, powinien przyjąć 1344 kcal z węglowodanów w ciągu 4 godzin po treningu: 70 kg × 1,2 g × 4 godz. × 4 kcal/g = 1344 kcal).
- Codzienna regeneracja po krótkotrwałym umiarkowanym wysiłku wymaga spożywania 5–7 g węglowodanów na kilogram masy ciała dziennie. (Przykład: sportowiec o masie 70 kg, chcąc przyjąć 6 g węglowodanów na kilogram,



# Metabolizm tlenowy w wysiłku wytrzymałościowym

Czynnikami decydującymi o osiągnięciu najlepszej wydolności fizycznej sportowców trenujących dyscypliny wytrzymałościowe są: optymalizacja magazynowania węglowodanów przed zawodami, stałe dostarczanie węglowodanów podczas zawodów oraz utrzymanie właściwego stanu nawodnienia przed zawodami i w ich trakcie. Badania u sportowców w dyscyplinach wytrzymałościowych wskazują, że zwykle mają oni niedostateczną podaż energii, nadmiernie polegają na białku i tłuszczach oraz nie doceniają znaczenia węglowodanów, potrzebnych do uzyskania optymalnej wydolności. Ponadto sportowcy ci dopiero zaczynają brać pod uwagę czynniki żywieniowe, które po codziennych treningach poprawiają regenerację mięśni. Sportowcy uprawiający sporty wytrzymało-

ściowe często trenują w sposób nieprzypominający zawodów (np. rzadko piją napoje co 5 km podczas treningów, choć stanowi to standard w trakcie długich biegów wytrzymałościowych), co utrudnia im pełną adaptację do warunków podczas ich trwania. W niniejszym rozdziale przedstawiono strategię mającą na celu optymalizację zapasów węglowodanów w ramach przygotowań do treningów oraz zawodów, a także strategię nawadniania, które pozwalają na utrzymanie odpowiedniej objętości krwi i intensywności pocenia się. W tym rozdziale dokonano także przeglądu powszechnie dostępnych produktów nawadniających i energetycznych, aby pomóc sportowcom dobrać najlepsze z nich, odpowiednie do różnych warunków treningów i zawodów.

## Strategie odżywiania

Konkurencje wytrzymałościowe, takie jak kolarstwo szosowe, pływanie długodystansowe, maraton, triathlon i bieg na 10 000 m, wymagają znacznej wytrzymałości, a moc beztlenowa ma stosunkowo niewielkie znaczenie, co zmusza zawodników do osiągnięcia swoich maksymalnych możliwości aerobowych na długich dystansach. Wraz z poprawą jakości treningów, odżywiania i selekcji sportowców uprawiających sporty wytrzymałościowe osiągane są coraz lepsze rekordy. Wskazuje to, że właściwe starania mogą i będą skutkować przesunięciem dotychczasowych granic możliwości w konkurencjach wytrzymałościowych. Zwycięzca Maratonu Bostońskiego w 2011 r., Geoffrey Mutai z Kenii, wygrał, pobijając rekord świata z czasem 2 godzin, 3 minut i 2 sekund (czyli na dystansie ok. 42 km przebiegał 1 km w czasie krótszym niż 3 minuty!). Pomimo niesamowitej prędkości zawodnik musiał utrzymać to tempo na poziomie umożliwiającym pobór wystarczającej ilości tlenu do podtrzy-

mania przede wszystkim tlenowej przemiany materii w mięśniach. Oznacza to, że większość pracy mięśni była wykonywana dzięki spalaniu substancji energetycznych w obecności tlenu. Jest to skuteczny sposób uzyskiwania energii, pozwalający na pracę mięśni sportowca przez długi czas.

Dzięki treningowi aerobowemu sportowiec może rozwinąć wspaniałe możliwości korzystania z tlenu. We włóknach pośrednich (typu IIa), które zazwyczaj zachowują się bardziej jak włókna szybkokurczące się (odpowiadające za siłę) niż włókna wolnokurczące się (odpowiadające za wytrzymałość), gwałtownie wzrasta liczba mitochondriów oraz ilość enzymów biorących udział w metabolizmie tlenowym. Wpływ treningu na zużycie tlenu jest dobrze poznany. W badaniach nad stężeniem mleczanów we krwi wykazano, że wytrenowani sportowcy o wiele lepiej tolerują wysokie stężenie mleczanów we krwi niż osoby niewytrenowane podejmujące wysiłek o takiej samej intensywności. Zmiana



zachowania się włókien pośrednich skutkuje poprawą wytrzymałości tlenowej sportowca. Zwiększona zdolność do wykorzystywania tlenu powoduje zwiększenie zdolności do spalania tłuszczu jako podstawowego źródła energii, co ogranicza udział węglowodanów.

U sportowców uprawiających sporty oparte na metabolizmie tlenowym, takie jak biegi narciarskie i biegi długodystansowe, maksymalny pobór tlenu jest znacznie wyższy ( $> 80$  ml/kg/min) niż u sportowców uprawiających sporty siłowe, takie jak podnoszenie ciężarów i łyżwiarstwo szybkie ( $< 60$  ml/kg/min)<sup>1</sup>. Ponieważ nawet najszczuplejsi sportowcy mają duże zapasy energii zmagazynowanej w tłuszczu, zwiększona zdolność do jego spalania znacznie poprawia wytrzymałość. Węglowodany są jednak niezbędne do całkowitego spalania tłuszczów, więc stanowią źródło energii działające ograniczająco w wysiłku wytrzymałościowym. Jest to spowodowane stosunkowo niskimi zapasami węglowodanów u sportowców. Wyraźnie widać to na przykładzie wyników badań, które wskazują, że u sportowców stosujących dietę wysokotłuszczową czas maksymalnej wytrzymałości wynosi 57 minut, natomiast przy normalnej diecie mieszanej ich wytrzymałość wzrasta do 114 minut, a przy diecie wysokowęglowodanowej – do 167 minut<sup>2</sup>.

W miarę poszerzania wiedzy o wzajemnych powiązaniach między sportem a odżywianiem uwagę zwraca się na te składniki odżywcze, które dawniej rzadko były uwzględniane. Jeden z nich, cholina (i jej prekursor – betaina), jest obecnie postrzegany jako potencjalny problem dla osób stale aktywnych. Cholina, ważna dla syntezy neuroprzekaźnika acetylocholin, bierze udział w sygnalizacji komórkowej, transporcie lipidów i obniżaniu stężenia homocysteiny. Aktualne badania wskazują, że wysiłek wytrzymałościowy może powodować przemijające obniżenie stężenia wolnej choliny krążącej we krwi<sup>3</sup>. Jak wynika z tabeli 14.1, bieg maratoński powoduje stały znaczny spadek ilości krążącej choliny.

Coraz więcej sportowców unika obecnie wielu pokarmów często spożywanych w przeszłości w nadmiernych ilościach (np. wątroby, jajek). Ponieważ jednak właśnie one są najlepszym źródłem choliny w diecie, sportowcy trenujący sporty wytrzymałościowe, którzy je ograniczają, zwiększają ryzyko niedoboru tego związku w dwojaki sposób (większe zapotrzebowanie i mniejsze spożycie). Tabela 14.2 zawiera podsumowanie dotyczące żywności stanowiącej dobre źródło choliny oraz wskazuje suplementy, które mogą ją dostarczać. Jak wynika z tej tabeli, sportowcy dyscyplin

**Tabela 14.1** Wpływ wysiłku wytrzymałościowego na stężenie choliny we krwi

Badanie	Płeć grupy badanej	Aktywność	Czas trwania (min)	Intensywność (% $\dot{V}O_2$ )	Stężenie wyjściowe <sup>t</sup> / przed <sup>tt</sup> wysiłkiem vs. po wysiłku (nmol/ml)	p (istotność statystyczna)
Buchman i wsp., 1999	23 M + K	Maraton	Nie podano	Maksymalny wysiłek	19,2 <sup>t</sup> vs. 7,0	0,005
Buchman i wsp., 2000	6 M + K	Maraton	156–348	Maksymalny wysiłek	9,6 <sup>t</sup> vs. 7,0	0,09
Burns i wsp., 1988	10 M	Jazda na rowerze	120	70% (105 min) + maksymalny wysiłek (15 min)	Nie podano	$> 0,05$
Conlay i wsp., 1986	17*	Maraton	Nie podano	Maksymalny wysiłek	10,1 <sup>tt</sup> vs. 6,2	$< 0,001$
Deuster i wsp., 2002	13 M	Marsz z obciążeniem	~ 110	70%	8,5 <sup>tt</sup> vs. 6,5	$> 0,05$
Piérard i wsp., 2004	21 M	Kurs walki	7200	~ 35%	Spadek o 2,95% <sup>t</sup>	$< 0,01$
Spector i wsp., 1995	10 M	Jazda na rowerze	72	70%	8,5 <sup>t</sup> vs. 10,0	$> 0,05$
Von Allwörden i wsp., 1993	4 M, 6 K	Jazda na rowerze	120	35 km/h	12,08 <sup>tt</sup> vs. 10,04	$< 0,01$

**Tabela 14.1** Wpływ wysiłku wytrzymałościowego na stężenie choliny we krwi – cd.

Badanie	Płeć grupy badanej	Aktywność	Czas trwania (min)	Intensywność (% $\dot{V}O_2$ )	Stężenie wyjściowe <sup>t</sup> / przed <sup>t</sup> wysiłkiem vs. po wysiłku (nmol/ml)	p (istotność statystyczna)
Von Allwörden i wsp., 1993	10 M, 4 K	Bieg przełajowy	30–60	Maksymalny wysiłek	14,51 <sup>tt</sup> vs. 14,95	> 0,05
Weber i wsp., 2000	14 M	Marsz z obciążeniem	240	38%	8,14 <sup>tt</sup> vs. 7,98	> 0,05

\* Niektórzy uczestnicy nie ukończyli biegu.

Przedrukowano za zgodą z: J.T. Penry i M.M. Manore, 2008, „Choline: An important micronutrient for maximal endurance-exercise performance?”, *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 8(2): 191–203.

**Tabela 14.2** Zawartość choliny i betainy w wybranych pokarmach i suplementach

Pokarm lub suplement	Całkowita zawartość choliny (mg)	Całkowita zawartość betainy (mg)
Wątroba kurczaka (60 g), smażona	176	13
Duże jajko, ugotowane na twardo	158	0,4
Kotlet schabowy (125 g), smażony na małej ilości tłuszczu	112	3
Pierś z kurczaka (125 g), pieczona	75	9
Piwo (480 ml)	47	38
Chude mleko (240 ml)	37	4
Średni ziemniak o białym mięszu, pieczony w łupinie	22	0,3
Tofu twarde (60 g), z nigari	16	0,2
Szpinak (60 g), świeży	13	385
Chleb razowy (30 g), kromka	7	98
Twinlab Choline Cocktail (dwuwinian choliny), 240 ml, gotowy	1500	0
Twinlab (dwuwinian choliny), 1 tabletki	300	0
Jarrow Lecithin Mega-PC 35, 1 żel	114	0
Ultima Replenisher, 600 ml, gotowy	1	0
Twinlab Betaine HCl, 1 tabletki	0	648
Centrum, 1 multiwitamina	0	0

**Uwaga:** zawartość choliny w powszechnie dostępnych pokarmach opracowano na podstawie bazy danych USDA ([www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/Data/Choline/Choline.pdf](http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/Data/Choline/Choline.pdf); 23 czerwca 2007), natomiast zawartość choliny w uwzględnionych w tabeli suplementach – na podstawie ulotek.

Przedrukowano za zgodą z: J.T. Penry i M.M. Manore, 2008, „Choline: An important micronutrient for maximal endurance-exercise performance?”, *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 8(2): 191–203. Opracowano na podstawie: J.C. Howe, J.R. Williams i J.M. Holden, 2004, *USDA database for the choline content of common foods* ([www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/Data/Choline/Choline.pdf](http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/Data/Choline/Choline.pdf)) oraz ulotek suplementów uwzględnionych w tabeli.

wytrzymałościowych będący wegetarianami mieliby trudności z uzyskaniem wystarczającej ilości cholicy, aby zaspokoić rekomendowaną wartość spożycia (DRI), wynoszącą 425 mg na dobę u dorosłych kobiet i 550 mg u dorosłych mężczyzn. Sportowcy uprawiający wyczerpujące sporty wytrzymałościowe mogą zwiększyć wytrzymałość, stosując suplementację<sup>1</sup>. Logicznym zaleceniem dla tych sportowców niebędących wegetarianami jest codzienne spożywanie jednego lub dwóch jaj (doskonale źródło cholicy), a dla wegetarian – poważne rozważenie spożycia suplementów zawierających cholinę.

Niedawno większą uwagę poświęcono również białku pochodzącemu z diety. Coraz więcej dowodów jednoznacznie wskazuje na to, że po treningu wytrzymałościowym lub pojedynczej krótkotrwałej aktywności o charakterze wytrzymałościowym zwiększa się rozpad mięśni szkieletowych. U sportowców spożywających pokarmy bezpośrednio po wysiłku wytrzymałościowym występuje korzystna synteza białek mięśni szkieletowych<sup>4</sup>. Okres po wysiłku wytrzymałościowym jest niezwykle ważny dla sportowców, co oznacza, że istotne jest odpowiednie planowanie. W okresie po zakończeniu wysiłku fizycznego węglowodany należy spożywać w ilości 1,2 g na kilogram masy ciała na godzinę przez kilka godzin, a dodanie do nich pewnej ilości białka wysokiej jakości wydaje się przydatne przy odzyskiwaniu sprawności fizycznej<sup>5</sup>. Co więcej, wiele wstępnych dowodów wskazuje na to, że ilość i czas spożycia białka są ważne z punktu widzenia wykorzystania ich przez tkanki. Ustalono ogólną zalecaną dawkę białka, wynoszącą 1,2–1,7 g na kilogram masy ciała na dobę, i została ona powszechnie przyjęta przez kilka towarzystw. Taka ilość stanowi około dwukrotność wartości zalecanej dla osób niebędących sportowcami (0,8 g na kilogram masy ciała na dobę)<sup>6,7</sup>. Nadmierny wzrost ani spadek spożycia białka nie są jednak korzystne, nawet jeśli całkowita spożyta ilość jest zgodna z zaleceniami. Korzystając z wartości podanej w wytycznych, wynoszącej maksymalnie 30 g białka w przeliczeniu na jeden posiłek, można łatwo przekroczyć ilość białka możliwą do odpowiedniego zmetabolizowania naraz, ale nadal zgodną z wytycznymi dotyczącymi spożycia dziennego.

Rodzaje spożywanych białek i aminokwasów również mogą mieć wpływ na wytrzymałość organizmu. W niedawno przeprowadzonym badaniu wykazano, że dodanie do diety niewielkiej ilości aminokwasu beta-alaniny (łącznie 6 g w czterech oddzielnych 1,5-gramowych porcjach w roztworze dekstrozy) spowodowało znaczną poprawę wytrzymałości i metabolizmu tlenowego u mężczyzn studentów<sup>8</sup>. Chociaż jedno badanie nie jest rozstrzygające, inne badania oceniające białko serwatkowe (które charakteryzuje się do-

skonałym składem aminokwasów) wykazały podobny korzystny wpływ na regenerację i wydolność mięśni. Nawet mleko, zawierające białko dobrej jakości i inne wartościowe czynniki odżywcze, wydaje się korzystnie wpływać na zwiększenie możliwości podejmowania wysiłku fizycznego w sposób porównywalny do zwykłych węglowodanowych i elektrolitowych napojów sportowych<sup>9</sup>. (Mimo to działanie mleka na przewod pokarmowy w trakcie wysiłku wytrzymałościowego nie jest tak dobrze tolerowane jak w przypadku standardowych napojów sportowych). Nadal jednak wyniki dotyczące białka i wytrzymałości są kontrowersyjne, ponieważ wielu wysoko cenionych naukowców zastanawia się, w jaki sposób poziom białka przekraczający obecnie zalecaną ilość mógłby spowodować zwiększenie możliwości wysiłkowych<sup>10</sup>.

Czynnikiem bardziej wpływającym na poprawę reakcji układu odpornościowego na bieg wytrzymałościowy od rodzaju węglowodanów dostarczanych z posiłkiem przed wysiłkiem fizycznym może być ich ilość (ogólnie rzecz biorąc, lepiej spożywać większą ich ilość)<sup>11</sup>. Niemniej jednak podczas wysiłku fizycznego znacznie lepsze są mieszane źródła węglowodanów (np. glukoza łącznie z fruktozą zamiast samej glukozy); wraz ze zwiększeniem spożycia oksydacja glukozy stabilizuje się, natomiast oksydacja mieszanych węglowodanów nadal się zwiększa<sup>9</sup>.

Ważnym aspektem żywienia jest również to, jak dobrze sportowiec adaptuje się do treningu. Coraz więcej dowodów przemawia za tym, że rozpoczęcie treningu wytrzymałościowego trwającego od 3 do 10 tygodni z okresami, w których zapasy glikogenu mięśniowego są stosunkowo niskie lub ograniczone jest spożycie węglowodanów podczas wysiłku fizycznego, może szybciej poprawić zdolność komórek do wykorzystywania tlenu (a tym samym pomóc spalić tłuszcz jako substrat). Ponieważ dostępność tłuszczów jest znacznie większa niż dostępność węglowodanów (z zapasów glikogenu), lepszą adaptację komórek sportowcy mogą osiągnąć szybciej dzięki poprawie metabolizmu tłuszczów niż dzięki wysiłkowi wytrzymałościowemu<sup>12</sup>.

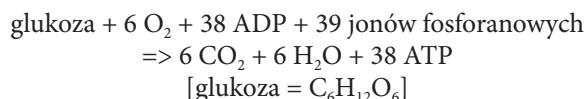
Podczas wysiłku wytrzymałościowego nie należy zapominać o przyjmowaniu napojów jako podstawowej substancji ergogenicznej. Badanie przeprowadzone wśród kenijskich zawodowych biegaczy długodystansowych wykazało, że przy swobodnym picciu napojów według własnego uznania pozostają oni dobrze nawodnieni (ocena na podstawie pomiarów masy ciała, osmolalności moczu, całkowitej ilości wody w organizmie i dziennego picia napojów) w ciągu całego dnia oraz między kolejnymi dniami<sup>13</sup>. W rezultacie żaden biegacz nie wykazywał objawów przegrzania w żadnym okresie badania.

Należy jednak uważać, aby nie koncentrować się nadmiernie na potencjalnie korzystnych czynnikach. Mężczyźni, którym podawano doustnie 1 g (1000 mg) witaminy C na dobę, mieli znacznie zmniejszoną wytrzymałość, być może dlatego, że suplement ten zapobiegał rozwinięciu kluczowych zmian adaptacyjnych komórek do wysiłku fizycznego, co pozwoliłoby na poprawę możliwości treningowych<sup>14</sup>. Dostarczenie natomiast wystarczającej ilości każdego składnika odżywczego i energii ma decydujące znaczenie zarówno dla wydolności, jak i zdrowia. Restrykcyjne odżywianie się zawodowych biegaczek długodystansowych stanowi najważniejszy pojedynczy czynnik ryzyka niskiej

masy kostnej, a im dłużej trwa ograniczenie energetyczne, tym większe są problemy związane z regeneracją mięśni i tolerancją glukozy<sup>15,16</sup>. Wielu sportowców trenujących sporty wytrzymałościowe nie spożywa wystarczającej ilości składników odżywczych lub nie ma odpowiedniej podaży energii, co pozwoliłoby na jak najlepsze wykorzystanie treningów i zmniejszenie ryzyka urazu. We wszystkich badaniach oceniających triathlon Ironman, symulowany rajd przygodowy i ultrawytrzymałościowe zawody kolarskie wykazano istotne nieprawidłowości odżywiania się uczestniczących w nich sportowców<sup>17-19</sup>.

## Tlenowe szlaki metaboliczne

Tlenowe szlaki metaboliczne pozwalają na uzyskanie energii ze źródeł energetycznych (węglowodanów, białka i tłuszczów) w obecności tlenu. W tabeli 14.3 podano średnie zapasy energii. Kontrolowane uwalnianie energii podczas metabolizmu tlenowego umożliwia magazynowanie dużej ilości energii zawartej w glukozie w postaci ATP. W trakcie reakcji chemicznej całkowitego utlenienia glukozy wytwarza się energia, dwutlenek węgla oraz woda:



W metabolizmie beztlenowym pirogronian ulega przekształceniu w mleczan. W mitochondriach (często nazywanych fabrykami energetycznymi komórek)

w obecności wystarczającej ilości tlenu pirogronian może jednak ulec utlenieniu z uwolnieniem energii. Sześciowęglowa glukoza jest przekształcana w dwie cząsteczki pirogronianu (cząsteczka trójwęglowa). Po przedostaniu się pirogronianu do mitochondriów ulega on dalszej przemianie w dwuwęglową cząsteczkę – acetylo-koenzym A (powszechnie oznaczany skrótem acetylo-CoA)<sup>20</sup>. Acetylo-CoA może być również tworzony na drodze beta-oksydacji kwasów tłuszczowych znajdujących się w mitochondriach. Podczas tego procesu węgiel jest oddzielany z długich łańcuchów węglowych kwasów tłuszczowych w postaci cząsteczek dwuwęglowych, które tworzą acetylo-CoA. Nowo utworzony acetylo-CoA z pirogronianu podczas beta-oksydacji kwasów tłuszczowych może zostać utleniony do dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>) w cyklu kwasów trikarboksylowych [ang. *tricarboxylic acid cycle*, TCA; cykl

**Tabela 14.3** Teoretyczne średnie zapasy energii

	Masa (kg)	Energia (kcal)	Czas trwania wysiłku (min)
Glikogen wątrobowy	0,08	306	16
Glikogen mięśniowy	0,40	1529	80
Glukoza we krwi	0,01	38	2
Tkanka tłuszczowa	10,5	92 787	4856
Białko	12,0	48 722	2550

**Uwaga:** istnieje coraz więcej dowodów na to, że triacyloglicerole w mięśniach stanowią ważne źródło energii podczas wysiłku wytrzymałościowego. Wydaje się jednak, że ich ilość wzrasta w warunkach, w których zachodzi konkurencja z magazynowaniem glikogenu. Znalezienie skutecznego sposobu na zwiększenie stężenia zarówno triacylogliceroli, jak i glikogenu w mięśniach będzie miało korzystny wpływ na wytrzymałość.

Opracowano za zgodą na podstawie: M. Gleeson, 2000, *Biochemistry of exercise. W: Nutrition in sport*, red. R.J. Maughan (Oxford: Blackwell Science), 29.

# ŻYWIENIE W SPORCIE

*Dostosuj dietę tak, aby uzyskać optymalne rezultaty treningowe*

*„W książce Żywienie w sporcie omówiono praktyczne wskazówki poparte dowodami naukowymi, które umożliwią poprawę wydolności fizycznej niezależnie od uprawianej dyscypliny sportowej”.*

**Beth Van Fleet** – zawodowa siatkarka plażowa, srebrna medalistka turnieju Norceca Beach Volleyball Circuit

*„Każdy sportowiec stosujący się do zawartych w książce zaleceń Dana Benardota może efektywniej trenować i rywalizować. W publikacji opisano wiele niezbędnych i praktycznych informacji, które pomogą całej drużynie i każdemu sportowcowi osiągać lepsze wyniki”.*

**Bob Larsen** – wyróżniony w galerii sław USTFCCCA, współprzewodniczący Grupy Zadaniowej ds. Rejestru Trenerów USATF (USATF Coaches Registry Task Force)

*„Podstawowym celem niniejszej książki jest zatem dostarczenie sportowcom i tym, którzy z nimi pracują, wiedzy, jak najlepiej dostosować żywienie do uprawianej dyscypliny sportu oraz w jaki sposób można uniknąć najczęstszych problemów zdrowotnych i urazów związanych z aktywnością fizyczną. Właściwe żywienie może znacznie wpłynąć na wydłużenie czasu kariery sportowca oraz poprawić jego zdrowie, osiągnięte wyniki sportowe i samopoczucie”.*

Ze Wstępu

## W publikacji omówiono:

- wytyczne dotyczące odpowiedniego czasu spożywania posiłków i rodzaju składników odżywczych pozwalających na utrzymanie bilansu energetycznego przez cały dzień
- optymalne proporcje i ilość składników odżywczych, witamin oraz substancji mineralnych w każdej dyscyplinie sportu
- najnowsze badania dotyczące środków ergogenicznych
- strategię pozwalającą unikać zaburzeń żołądkowo-jelitowych podczas aktywności fizycznej i zredukować stan zapalny wywołany wysiłkiem
- wpływ podróżowania, dużych wysokości i wieku na potrzeby żywieniowe oraz wydolność fizyczną
- strategię umożliwiającą utrzymanie odpowiedniej równowagi wodno-elektrolitowej
- wytyczne dla poszczególnych dyscyplin sportowych mające na celu zwiększenie siły i wytrzymałości

## Publikacja jest skierowana m.in. do:

- mniej i bardziej zaawansowanych sportowców
- lekarzy medycyny sportowej
- dietetyków sportowych
- trenerów
- wykładowców oraz studentów wychowania fizycznego



www.edraurban.pl