

UČEBNÍ TEXTY UNIVERZITY KARLOVY V PRAZE

# VÝŽIVA SPORTOVců A SPORTOVNÍ VÝKON

**Zdeněk Vilikus  
a kolektiv**

**KAROLINUM**

# Výživa sportovců a sportovní výkon

## Zdeněk Vilikus a kolektiv

---

Recenzovali:

doc. MUDr. Josef Chrástek, CSc.

RNDR. Petr Fořt, CSc.

Hlavní autor a pořadatel:

doc. MUDr. Zdeněk Vilikus, CSc.

Spoluautoři:

Ing. Ivan Mach, CSc.

doc. MUDr. Petr Brandejský, CSc.

Vydala Univerzita Karlova v Praze

Nakladatelství Karolinum

jako učební text pro 1. lékařskou fakultu UK

Sazba DTP Nakladatelství Karolinum

Druhé vydání

© Univerzita Karlova v Praze, 2015

© Zdeněk Vilikus, 2015

Text neprošel jazykovou ani redakční úpravou nakladatelství

ISBN 978-80-246-3152-3

ISBN 978-80-246-3168-4 (online : pdf)



Univerzita Karlova v Praze  
Nakladatelství Karolinum 2015

[www.karolinum.cz](http://www.karolinum.cz)  
[ebooks@karolinum.cz](mailto:ebooks@karolinum.cz)



# OBSAH

Předmluva .....	9
<b>1. ÚVOD – Z HISTORIE SPORTOVNÍ VÝŽIVY (Z. Vilikus)</b> .....	11
<b>2. VÝŽIVA U RYCHLOSTNÍCH A VYTRVALOSTNÍCH SPORTOVců</b> (Z. Vilikus) .....	13
<b>2.1 Energetické substráty při zátěži různé délky trvání</b> .....	13
Rychlostní zátěž .....	14
Rychlostně-vytrvalostní zátěž .....	14
Krátkodobá vytrvalostní zátěž .....	16
Střednědobá vytrvalostní zátěž .....	16
Dlouhodobá vytrvalostní zátěž .....	18
Velmi dlouhá vytrvalostní zátěž .....	20
<b>2.2 Nutriční podpora u vytrvalostních sportovců</b> .....	22
<b>2.3 Výživa před vytrvalostním výkonem</b> .....	24
<b>2.4 Sacharidová superkompenzace</b> .....	25
<b>2.5 Výživa během vytrvalostního výkonu</b> .....	26
<b>2.6 Výživa po vytrvalostním výkonu</b> .....	27
<b>2.7 Doplnky stravy u vytrvalostních sportovců</b> .....	28
Karnitin .....	28
Kofein .....	31
Bikarbonát .....	32
Ketokyseliny .....	34
Větvené aminokyseliny .....	36
Mastné kyseliny se středně dlouhým řetězcem .....	36
<b>2.8 Doplnky stravy u rychlostních sportovců</b> .....	37
Karnosin .....	37
Koenzym Q <sub>10</sub> .....	38
<b>3. VÝŽIVA U SILOVÝCH SPORTOVců (Z. Vilikus)</b> .....	40
<b>3.1 Energetické substráty při silové zátěži</b> .....	40

<b>3.2</b>	<b>Doplňky stravy u silových sportovců</b> . . . . .	41
	Bílkoviny a aminokyseliny . . . . .	41
	Kreatin . . . . .	46
	Ketokyseliny . . . . .	49
	Glutamin . . . . .	50
	Arginin . . . . .	51
	Větvené aminokyseliny . . . . .	52
	Konjugovaná kyselina linolová . . . . .	53
	Chrom . . . . .	54
	Hydroxy-methylbutyrát . . . . .	56
	Vitamin B <sub>12</sub> . . . . .	57
	Kyselina listová . . . . .	57
<b>4.</b>	<b>VITAMINY (Z. Vilikus)</b> . . . . .	58
<b>5.</b>	<b>MINERÁLY (I. Mach, Z. Vilikus)</b> . . . . .	62
	Železo . . . . .	62
	Hořčík . . . . .	63
	Zinek . . . . .	63
<b>6.</b>	<b>VÝŽIVA U PŘETĚŽOVANÝCH KLOUBŮ (I. Mach, Z. Vilikus)</b> . . . . .	65
<b>6.1</b>	<b>Farmakoterapie</b> . . . . .	65
<b>6.2</b>	<b>Suplementy podporující zdraví kloubů</b> . . . . .	65
<b>6.3</b>	<b>Osteoartróza a suplementace SYSADOA</b> . . . . .	66
<b>6.4</b>	<b>Nenasycené mastné kyseliny</b> . . . . .	69
<b>6.5</b>	<b>Látky s antioxidačním účinkem</b> . . . . .	70
	Selen . . . . .	71
	Wobenzym . . . . .	71
<b>7.</b>	<b>DOPING (P. Brandejský)</b> . . . . .	73
<b>7.1</b>	<b>Skupiny zakázaných látek</b> . . . . .	74
	Stimulancia . . . . .	74
	Narkotika . . . . .	74
	Anabolické steroidy . . . . .	75
	Diuretika . . . . .	75
	Hormony . . . . .	76
<b>7.2</b>	<b>Zakázané metody</b> . . . . .	77
	Krevní doping . . . . .	77
	Umělé nosiče kyslíku a plazmaexpandery . . . . .	77
	Farmakologické, fyzikální a chemické manipulace . . . . .	78
<b>7.3</b>	<b>Skupiny látek podléhající určitým omezením</b> . . . . .	78
<b>7.4</b>	<b>Antidopingová opatření</b> . . . . .	79

Orgány dopingové kontroly . . . . .	79
Předcházení doping . . . . .	80
Postih za doping . . . . .	80
Provádění dopingových kontrol . . . . .	81
Oznámení výsledků a disciplinární řízení . . . . .	82
Poznámky pro lékařskou praxi . . . . .	82
<b>8. ENERGETICKÝ METABOLISMUS (Z. Vilikus)</b> . . . . .	84
<b>8.1 Složky energetického metabolismu</b> . . . . .	84
<b>8.2 Trojpoměr živin</b> . . . . .	86
<b>9. MĚŘENÍ ENERGETICKÉHO METABOLISMU (Z. Vilikus)</b> . . . . .	88
Přímá energometrie . . . . .	88
Nepřímá energometrie . . . . .	88
Výpočty jednotlivých složek metabolismu . . . . .	90
Výpočet energetického výdeje při zátěži . . . . .	90
<b>10. PITNÝ REŽIM (Z. Vilikus)</b> . . . . .	92
Vodní bilance . . . . .	92
Dehydratace . . . . .	93
Hyponatremie vyvolaná sportem . . . . .	93
Kontrola hydratace . . . . .	94
Pot . . . . .	94
Iontové nápoje . . . . .	95
Vhodné složky nápoje pro pitný režim během výkonu . . . . .	95
Nevhodné složky nápoje pro pitný režim během výkonu . . . . .	96
Křeče a pitný režim . . . . .	96
Pitný režim před výkonem . . . . .	97
Pitný režim během výkonu . . . . .	97
Pitný režim po výkonu . . . . .	98
Teplota nápoje . . . . .	98
<b>11. VÝŽIVA PRO ZDRAVÍ (Z. Vilikus)</b> . . . . .	99
<b>11.1 Tuhy, mastné kyseliny</b> . . . . .	99
<b>11.2 Cholesterol</b> . . . . .	103
<b>11.3 Trans-nenasycené mastné kyseliny</b> . . . . .	103
Vláknina . . . . .	104
<b>12. NUTRIČNÍ STAV SPORTOVCE A JEHO HODNOCENÍ</b> (Z. Vilikus) . . . . .	106
Programy k vyhodnocování nutriční hodnoty stravy . . . . .	106
Metodika . . . . .	107

Hodnocení – příklad .....	107
Vlastní softwarová aplikace .....	110
<b>13. ZÁKLADY KLINICKÉ ANTROPOLOGIE (Z. Vilikus) .....</b>	<b>111</b>
<b>13.1 Somatometrie – metodika a hodnocení .....</b>	<b>111</b>
Antropometrické ukazatele .....	111
<b>13.2 Tělesné složení – metodika a hodnocení .....</b>	<b>115</b>
<b>13.3 Somatotyp – metodika a hodnocení .....</b>	<b>118</b>
Metodika .....	119
Endomorfie .....	121
Mezomorfie .....	121
Ektomorfie .....	122
<b>13.4 Význam určení somatotypu .....</b>	<b>123</b>
<b>14. PRESKRIPCE POHYBOVÝCH AKTIVIT (Z. Vilikus) .....</b>	<b>129</b>
<b>14.1 Metodika, výpočty, energetická bilance .....</b>	<b>129</b>
<b>14.2 Využití sport-testeru při preskripci pohybové aktivity .....</b>	<b>135</b>
<b>15. DOPLŇKY STRAVY PRO SPORTOVCE – KATEGORIZACE A PRINCIPY POUŽITÍ (I. Mach) .....</b>	<b>136</b>
<b>15.1 Doplnky stravy – legislativní minimum pro sportovního lékaře .....</b>	<b>136</b>
Rozdělení doplňků stravy do skupin .....	140
Jak by měl sportovní lékař sportovci nabídnout doplněk stravy? .....	143
<b>15.2 Komplexní potravinový koš .....</b>	<b>143</b>
<b>15.3 Jaký je smysl doplňování stravy sportovců? .....</b>	<b>144</b>
<b>15.4 Konsenzuální prohlášení MOV o sportovní výživě z roku 2010 .....</b>	<b>146</b>
Stručný komentář autorů k prohlášení MOV o sportovní výživě .....	149
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>151</b>
<b>SEZNAM TABULEK A OBRÁZKŮ .....</b>	<b>171</b>
<b>SEZNAM ZKRATEK .....</b>	<b>173</b>
<b>REJSTŘÍK .....</b>	<b>176</b>



# PŘEDMLUVA

Milí studenti,

tato skripta vznikla na základě předmětu **Komplexní výživa u sportovců (i nesportovců) a sportovní výkon**, který jsme začali vyučovat na Ústavu tělovýchovného lékařství 1. lékařské fakulty Univerzity Karlovy v Praze v roce 2007. Předmět měl u posluchačů velmi příznivý ohlas a byl mezi 241 volitelnými předměty vyhodnocen kolegiem děkana v roce 2010/2011 jako druhý nejžádanější. To nás pochopitelně velmi potěšilo, a tak jsme se rozhodli našim přednáškám dát i písemnou podobu ve formě těchto skript. Je pravda, že studentům, kteří projeví po přednášce zájem, jsme prezentaci ochotně zkopirovali na flash-kartu. Ale z vlastní zkušenosti víme, že text se nejlépe čte ve vytištěné podobě, nehledě na to, že prezentace má jen heslovitou formu a také se do ní nevejde tolik informací.

Ve skriptech najdete kapitoly o výživě u vytrvalostních a silových sportovců, o výživě u přetěžovaného pohybového aparátu, o pitném režimu, o měření energetického metabolismu, o hodnocení nutričního stavu sportovce, o preskripci pohybové aktivity, ale také třeba o dopingů a zdravotních rizicích při jeho aplikaci.

Naše skripta jsou určena především studentům medicíny, proto u čtenářů předpokládáme určitou znalost biochemie. Chemické vzorce některých látek, které jsou v textu uvedeny, by měly přispět k lepšímu pochopení toho, jak se daná látka zapojuje do metabolismu sportovce a jaký bude její účinek. Uvědomujeme si při tom, jak jen malý rozdíl v chemické struktuře znamená velmi rozdílný účinek na zdravotní stav či výkon lidského organismu.

Odborníci na výživu se často hlásí k jednomu ze dvou nesmiřitelných táborů. V jednom z nich se nacházejí zarytí odpůrci doplňků stravy, kteří tvrdí, že doplňky nemají žádný účinek na zdraví člověka, tím méně na jeho fyzickou zdatnost či sportovní výkonnost. Ve druhém z nich jsou zastánci

dalšího extrémů, kteří přisuzují doplňkům stravy mnohem větší význam a účinnost, než ve skutečnosti mohou mít. Když si však projdete současnou světovou odbornou literaturu, zjistíte, že chcete-li zůstat objektivní, nemůžete zastávat ani jedno extrémní stanovisko. Pravda je totiž někde uprostřed. V seznamu světové literatury najdete skoro u každého potravního doplňku studie, které prokázaly jeho účinnost, ale zrovna tak i studie, které ji popírají. Když však některá meta-analýza (review) hodnotí souhrnně výsledky různých studií a z celkového počtu např. 22 randomizovaných a placebem kontrolovaných prací jich 16 dojde k statisticky významnému zvýšení svalové síly a vzpěračského výkonu, pak takový doplněk stravy zřejmě účinný je, ať se nám to líbí, nebo ne. Právě z těchto důvodů uvádíme (možná až příliš) rozsáhlý seznam moderní odborné literatury. Studenti i ostatní čtenáři mají tak jednak možnost utvořit si vlastní názor a jednak jim tím poskytujeme studijní materiál, který si snadno najdou na internetu (pomocí Google Scholar) nebo v lékařské knihovně.

Doufáme, že se učební texty setkají se stejně příznivým ohlasem jako naše přednášky.

V Praze dne 9. 9. 2011

*Autoři*

# 1. ÚVOD – Z HISTORIE SPORTOVNÍ VÝŽIVY

Snahy o zvýšení fyzické síly, bojového ducha, sportovního výkonu prostřednictvím přijaté potravy provázejí člověka již od starověku. První zmínky o takových pokusech sahají do 5.–4. století př. n. l.<sup>[252]</sup>. Válečníci, zápasníci, gladiátoři či starověcí atleti věřili například tomu, že když snědí jelení játra, budou rychlejší, snědí-li lví srdce, budou silnější, odvážnější a statečnější<sup>[197]</sup>. Z dnešního pohledu jsou tyto představy jistě nevědecké a naivní. První zmínky o doplňcích stravy založené na vědeckých základech se objevují až v první polovině 20. století v souvislosti s novými poznatky o fyziologii svalové práce, o energetických zdrojích při zátěži a specifických rolích jednotlivých živin v souvislosti s fyzickou zátěží<sup>[131]</sup>.

V roce 1924 zjistil Levine<sup>[176]</sup> u prvních dvaceti běžců Bostonského maratonu extrémní únavu, stupor a neschopnost koncentrace současně s velmi nízkou hladinou krevní glukózy. O rok později byly aplikovány vysoké dávky sacharidů týmž běžcům stejného maratonu a podařilo se tak ve většině případů předejít hypoglykémii a s ní spojeným nežádoucím příznakům<sup>[100]</sup>. Výzkumy skandinávské školy zátěžové fyziologie ve 30. letech se staly základem pro vysokosacharidovou dietu u vytrvalců. Skandinávská škola prohloubila v 60. letech poznatky o svalovém glykogenu<sup>[22]</sup>, prokázala zlepšení vytrvalostního výkonu vlivem zvýšení zásob svalového glykogenu<sup>[15]</sup> a položila tak základ dodnes používané sacharidové superkompenzace. Sacharidová superkompenzace později doznala různých modifikací: 1. v tom smyslu, aby příliš vysoký příjem sacharidů ve druhé fázi nevedl k nadváze<sup>[261]</sup>, 2. v tom smyslu, aby nehrozil opačný extrém přílišné únavy z hypoglykémie v první fázi: Applegate<sup>[10]</sup> navrhl v roce 1988 sacharidovou „superkompenzaci“ bez sportovní aktivity. Vysokosacharidová dieta však u některých sportovců vedla k zažívacím obtížím vzhledem k nutnosti konzumovat velký objem zbytkové stravy. Tato skutečnost byla mj. impulsem k vývoji tzv. sacharidových energetických gelů obsahujících glukózové

a sacharózoové polymery, jejichž cílem bylo dodání vysokého množství sacharidů před závodem formou bezsezbytkových potravních doplňků s vysokým obsahem rychle využitelné energie<sup>[132]</sup>. Dalším doplňkem podobného složení se staly energetické tyčinky. Koncem 80. let se zaměřila pozornost na tzv. větvené aminokyseliny (branched-chain amino acids – BCAA) jako na možný energetický zdroj během vytrvalostního výkonu<sup>[9, 11]</sup>.

Teprve v roce 1944 zjistil Pitts<sup>[242]</sup>, že zvýšený příjem proteinů nevede ke zvýšení vytrvalostního výkonu. V 50. letech byl zjištěn pozitivní vliv vyššího příjmu bílkovin na rozvoj svalové hmoty u silových sportovců<sup>[162]</sup>. V 50. a 60. letech sportovci zvyšovali příjem bílkovin konzumací libového hovězího masa a mléčných výrobků. V 70. a 80. letech již využívali přípravky s proteinovými koncentráty a aminokyselinami<sup>[14]</sup>. V 80. a 90. letech se zaměřila pozornost na jednotlivé aminokyseliny (arginin, ornitin), které by teoreticky mohly zvyšovat produkci růstového hormonu<sup>[109]</sup>. V 90. letech se dostal do popředí zájmu, mimo jiné, taurin a jeho anabolické účinky<sup>[317]</sup>. V téže době sportovci začali užívat nápoje obsahující aminokyseliny již během posilování, tedy nejen 1–2 hodiny po skončení silového tréninku<sup>[11]</sup>.

V 90. letech se staly předmětem zájmu sportovní výživy triacylglyceroly o střední délce řetězců (medium-chain triglycerides – MCT), které jsou dosud zkoumány především jako potenciálně výhodný zdroj energie při vytrvalostních výkonech a jako potravní doplněk šetřící svalový glykogen<sup>[32, 166]</sup>.

Již koncem 30. let minulého století byly testovány vitaminy na Tour de France údajně s pozitivním účinkem na výkon<sup>[131, 197]</sup>. Přestože se výsledky o účinnosti vitaminů na výkon ve 40. letech nepotvrdily, sportovci je hojně užívali a dosud užívají. Po éře aplikace megadávek multivitaminů<sup>[68]</sup> však nastává spíše trend aplikovat vitaminy podle specifických požadavků na sportovní výkon<sup>[318]</sup>.

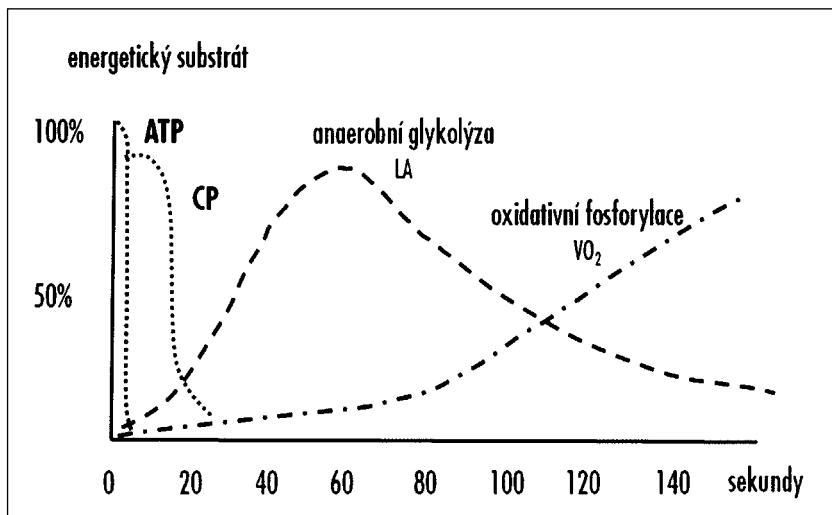
Nedávné studie v oblasti sportovní výživy poskytly vědecký podklad sportovcům pro užívání některých mikronutrientů, např. antioxidantů<sup>[19, 54, 267]</sup>.

## 2. VÝŽIVA U RYCHLOSTNÍCH A VYTRVALOSTNÍCH SPORTOVců

### 2.1 Energetické substráty při zátěži různé délky trvání

Při prodlužující se délce trvání sportovní zátěže se velmi podstatně mění zdroje, které jsou v organismu využívány ke krytí zvýšených energetických nároků. Velmi názorně tyto změny zobrazují grafy podle Keula (obr. 1 a 5).

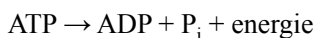
Nejlépe si můžeme ukázat různé druhy zátěže podle intenzity a délky trvání i podle převažujícího zdroje energie na běžecské zátěži, která má cyklický charakter (stále se opakující dynamický stereotyp) a která je všem dostatečně známá.



Obr. 1 Zdroje energie při zátěži různé délky trvání

## Rychlostní zátěž

Jsou to např. sprinty na 100 a 200 m. Doba jejich trvání u špičkových atletů je cca 10 a 20 sekund. Jako zdroj energie jsou využívány makroergní fosfáty – adenosintrifosfát (ATP) a kreatinfosfát (CP). Dříve se považovaly tyto zátěže za tzv. **alaktátovou zónu**. (Dnes víme, že anaerobní glykolýza s tvorbou laktátu se zapojuje do metabolických procesů už během prvních sekund zátěže, ale nejde o proces dominantní.) Rychlostní zátěž lze opakovat téměř ve stejné kvalitě po krátké několikaminutové přestávce. Za tuto dobu se zásoby ATP a CP kompletně obnoví. ATP je jediný bezprostřední zdroj energie pro svalovou kontrakci a je ve svalu obsažen v koncentraci cca 5 mmol, tj. cca 3,5 g na 1 kg svalů. Při zhruba 20 kilogramech svalové tkáně u sportovce vážícího 70 kg je v organismu celkem asi 70 g ATP. Tyto zásoby vydrží jen na několik sekund intenzivní zátěže. **Hydrolyza ATP na adenosindifosfát (ADP)** poskytuje energii pro téměř všechny energetické procesy v těle:

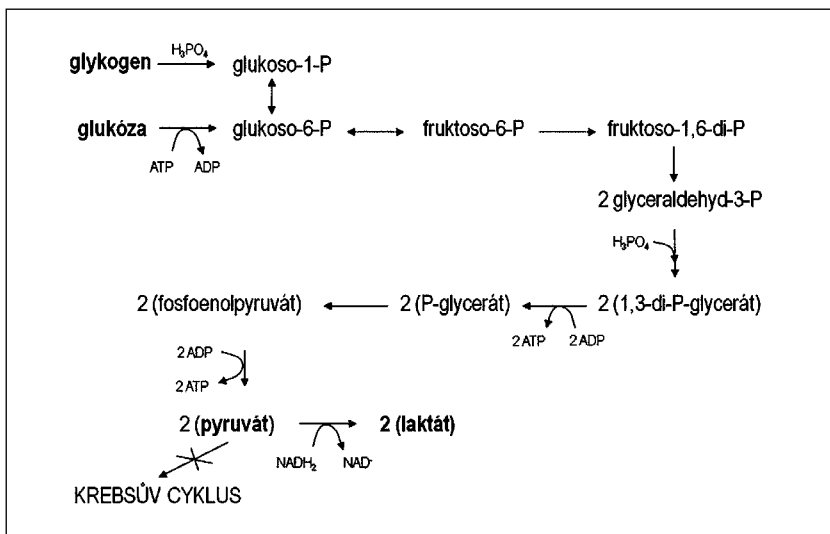


**Obnova ATP z CP** umožňuje velmi rychlou resyntézu ATP ( $440 \mu\text{mol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$  svalu), která probíhá ve svalech již v průběhu rychlostní zátěže. Při delším trvání zátěže se však musí zapojit do procesu získávání energie další energetické substráty a procesy.

## Rychlostně-vytrvalostní zátěž

Je to např. běh na 400 m. Doba trvání je cca 45–60 sekund. Jako zdroj k obnově ATP je vedle CP využívána především glukóza. Vzhledem k vyšší intenzitě zátěže a krátké době trvání se ještě nestačí rozvinout spalování glukózy s plným využíváním molekulárního kyslíku. Glukóza se spaluje formou anaerobní glykolýzy za vzniku kyseliny mléčné. **Anaerobní glykolýza** (obr. 2) má sice mnohem menší energetickou výtěžnost než oxidativní fosforylace (jen 2 mmol ATP z 1 mmol glukózy), ale nastupuje rychleji. Při této stále ještě velmi intenzivní zátěži již není možné běžet po celou dobu zcela na maximum, neboť rychlost resyntézy ATP ze sacharidových zdrojů je výrazně, tj. asi 10krát pomalejší ( $40 \mu\text{mol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$  svalu) než z CP.

Anaerobní glykolýza je reakce, při které dochází ke štěpení glykogenu, resp. glukózy na kyselinu mléčnou – laktát. Ke štěpení glukózy je třeba její molekuly aktivovat fosforylací (spotřebují se 2 molekuly ATP). Při přeměně difosfoglycerátu (di-P-glycerát) na fosfoglycerát (P-glycerát) a fos-



Obr. 2 Anaerobní glykolýza

fosfoenolpyruvátu na pyruvát se uvolní energie odpovídající 4 ATP. Čistý výtěžek je tedy jen 2 ATP. Nevýhodou anaerobní glykolýzy je malá efektivita a vznik kyseliny mléčné, která brání dalšímu pokračování sportovního výkonu. Její výhodou je naopak to, že je velmi pohotová a že ji může organismus využít v situaci, kdy se oxidativní fosforylace ještě nestačila uplatnit (začátek sportovního výkonu, sprinty), ale také v situaci, kdy intenzita oxidativní fosforylace již dosáhla maxima a organismus sportovce již není schopen ji zvýšit (intenzita zátěže je nad úroveň anaerobního prahu, závěrečný finiš apod.).

Energetickým substrátem pro anaerobní glykolýzu je zásobní polysacharid glykogen. Ten se nachází jednak v samotných kosterních svalech (celkem cca 250–350 g) a jednak v játrech (cca 80 g). Makromolekula glykogenu je tvořena dlouhými rozvětvenými polysacharidovými řetězci 200–600 molekul glukózy a není tedy transportabilní přes buněčné membrány. Z molekuly glykogenu jsou proto postupně odštěpovány jednotlivé molekuly glukózy za spotřeby jedné molekuly ATP (tzv. debranching enzymy a fosforylázou) ve formě glukoso-6-fosfátu. Ten se mění na fruktoso-6-fosfát a ten za spotřeby jedné molekuly ATP na fruktoso-1,6-difosfát.

Labilní fruktoso-1,6-difosfát se snadno rozpadá na dvě molekuly 1,3-difosfoglycerátu. Při jeho oxidaci na dvě molekuly 3-fosfoglycerátu (a následné konverzi na 2-fosfoglycerát) se získají dvě molekuly ATP. Postupnou přeměnou dvou molekul 2-fosfoglycerátu na dvě molekuly pyruvátu se získají další dvě molekuly ATP. Kyselina pyrohroznová se poté bez přístupu molekulárního kyslíku mění na kyselinu mléčnou (laktát nevstupuje do Krebsova cyklu). Když dosáhne anaerobní glykolýza vysokého stupně intenzity, přechází většina vytvořeného laktátu do krve.

Celkově se tedy vytvořily čtyři molekuly ATP. Avšak při aktivaci glukózy na glukoso-6-fosfát a fruktoso-6-fosfátu na fruktoso-1,6-difosfát se spotřebovalo po jedné molekule ATP. Celková bilance je tedy 2 mmol ATP z 1 mmol glukózy. Tato energie je ve svalu poskytnuta k přeměně aktinu a myozinu na vytvoření aktomyozinového komplexu, tedy ke svalové kontrakci. Výhradně glykolytickým odbouráním 1 molekuly glukózy vzniknou dvě molekuly laktátu. Energetická výtěžnost tohoto procesu je jen  $52 \text{ kcal} \cdot \text{mol}^{-1}$  glukózy.

Při rychlostně-vytrvalostní zátěži se velmi intenzivně tvoří kyselina mléčná. Rychlostně-vytrvalostní zátěž lze opakovat ve stejné kvalitě nejdříve po jednom dni odpočinku. Za tuto dobu se kompletně obnoví zásoby makroergních fosfátů a ze svalů se odstraní všechny laktát.

### **Krátkodobá vytrvalostní zátěž**

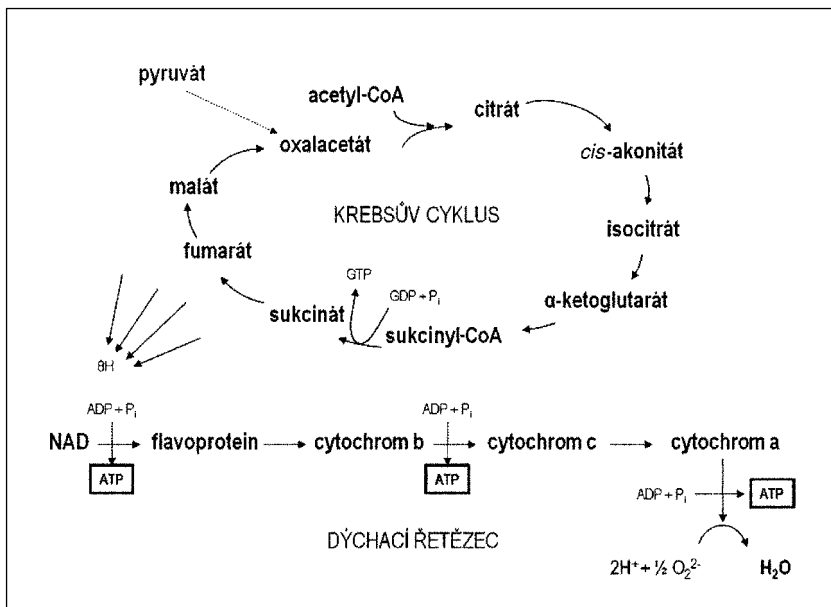
Je to např. běh na 800 m. Doba trvání je 105–120 sekund. Jako zdroj k obnově ATP je využívána především glukóza. Glukóza se spaluje formou anaerobní glykolýzy za vzniku kyseliny mléčné, ale začíná se již uplatňovat účinnější forma spalování glukózy, tzv. oxidativní fosforylace. Asi po dvou minutách zátěže již oxidativní způsob spalování glukózy přesáhne přibližně 50 % a začne převažovat nad anaerobní glykolýzou.

Při krátkodobé vytrvalostní zátěži se stále ještě intenzivně tvoří kyselina mléčná. Krátkodobou vytrvalostní zátěž lze opakovat ve stejné kvalitě nejdříve cca po 1–2 dnech odpočinku. Za tuto dobu se kompletně obnoví zásoby makroergních fosfátů a ze svalů se odstraní všechny laktát.

### **Střednědobá vytrvalostní zátěž**

Jsou to běhy na 1500 m až 5000 m. Doba trvání je 3:30 až 13 min. Jako zdroj k obnově ATP je využívána především glukóza metabolizovaná oxidativní cestou, tedy za využití molekulárního kyslíku. **Oxida-**





Obr. 3 **Oxidativní fosforylace**

Oxidativní fosforylace je reakce, při které dochází k přeměně produktu glykolýzy – kyseliny pyrohroznové – na oxalacetát. Oxalacetát kondenzuje s acetyl-CoA na kyselinu citronovou. Nastává první část oxidativní fosforylace, tzv. Krebsův cyklus neboli cyklus kyseliny citronové. Během cyklu je trikarbonovým kyselinám odňato celkem osm atomů vodíku, které jsou použity k redukci koenzymů (NAD, FAD) dýchacího řetězce. V další nezbytně následující části oxidativní fosforylace, tzv. dýchacím řetězci, dochází postupně k oxidaci redukováných koenzymů (NADH, FADH), při níž je uvolňována převážná část energie oxidativní fosforylace a nastává fosforylace formou nově vzniklých molekul ATP. Výhodou oxidativní fosforylace je vysoká efektivita získávání chemické energie, a také to, že se při ní netvoří kyselina mléčná. Její nevýhodou je naopak skutečnost, že nastupuje pomaleji a že je limitována přísunem kyslíku do tkání, který však dosáhne určitého maxima a sportovní výkon se pak již nedá zvýšit

**ivní fosforylace** (obr. 3) již zcela dominuje nad anaerobní glykolýzou, tvorba laktátu již není tak intenzivní a během zátěže se stačí kyselina mléčná průběžně odbourávat (pokud intenzita zátěže nepřesáhne tzv. anaerobní práh).

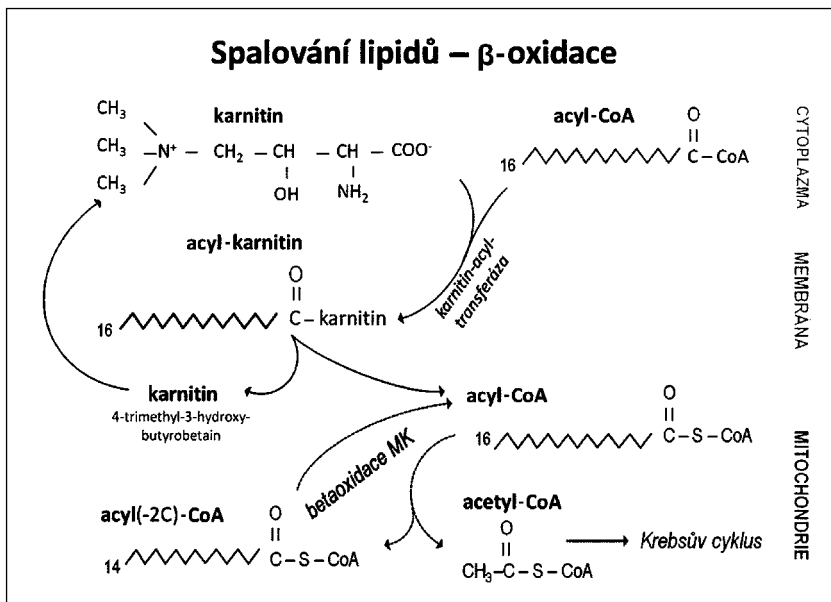
Při oxidativní fosforylaci jedné molekuly glukózy vzniknou dvě molekuly kyseliny pyrohroznové (pyruvátu), která vstupuje do Krebsova cyklu (tj. cyklu trikarbonových kyselin) jako oxalacetát. Na počátku cyklu kondenzuje acetyl-CoA s oxalacetátem na kyselinu citronovou, ta je postupně dehydrogenována za uvolnění osmi atomů vodíku, které jsou poté využity k redukci koenzymů dýchacího řetězce (3 NAD, 1 FAD). Energetická bilance samotného Krebsova cyklu je poměrně malá (uvolní se jen 25 kcal při rozštěpení makroergické vazby succinyl-CoA za vzniku 1 GTP). Krebsův cyklus však probíhá vždy s návazností na dýchací řetězec, v němž dojde oxidací redukováných koenzymů k uvolnění 191 kcal, tedy převážně části energie. Spojením reakcí cyklu trikarbonových kyselin s dýchacím řetězcem se celkem uvolní 216 kcal. Část této energie se využije na tvorbu tepla, část se uskladní ve formě chemické energie jako ATP. Celkem se z 1 mmol glukózy vytvoří 38 mmol ATP.

Při střednědobé vytrvalostní zátěži se tvoří kyselina mléčná zejména při překročení anaerobního prahu a při zrychlení ve finiši, jinak je její tvorba poměrně malá. Střednědobou vytrvalostní zátěž lze opakovat ve stejné kvalitě nejdříve cca po 2–3 dnech odpočinku. Stále se ještě nevyužívají jako energetické zdroje lipidy.

## Dlouhodobá vytrvalostní zátěž

Jako příklad dlouhodobé vytrvalostní zátěže nám poslouží běhy na 5000 m až půlmaratón (21 km). Doba trvání je přibližně 13 až 60 min (viz obr. 3). Jako zdroj k obnově ATP je zpočátku využívána glukóza metabolizovaná oxidativní cestou. Zhruba po 20–30 minutách se paralelně s oxidativní fosforylací začíná uplatňovat lipolýza, která využívá jako energetické substráty tuky (převážně triacylglyceroly), které se štěpí na glycerol a mastné kyseliny. Oxidativní fosforylace zůstává dominantním procesem získávání energie, ale podíl lipolýzy se s prodlužující se zátěží stále zvyšuje.

Mastné kyseliny se naváží na koenzym A a jsou přeneseny do mitochondrií (koenzym A – CoA – je v mitochondriální matrix přítomen ve vysoké koncentraci). Tento komplex pak vstupuje do procesu zvaného  **$\beta$ -oxidace** (obr. 4), při níž se z řetězce mastné kyseliny postupně odštěpují dvouuhlíkaté zbytky za vzniku acetyl-CoA. Z mastné kyseliny s 16 atomy uhlíku tak postupně vznikne celkem osm molekul acetyl-CoA, který se pak dále odbourává v Krebsově cyklu a v dýchacím řetězci. Energetický výtěžek jednoho cyklu  $\beta$ -oxidace, tedy zkrácení řetězce molekuly mastné kyseliny



Obr. 4 Transport mastných kyselin do mitochondrií a  $\beta$ -oxidace

Molekula mastné kyseliny (acylu) neprojde sama mitochondriální membránou. Nejprve se musí navázat na karnitin. Komplex karnitinu a mastné kyseliny je aktivně transportován příslušnou transferázou na vnitřní stranu mitochondrie. Karnitin se vrací zpět do cytoplazmy, zatímco mastná kyselina se opět spojí s koenzymem A. Nyní začíná vlastní  $\beta$ -oxidace. Název je odvozen od chemických změn, které se odehrávají především na  $\beta$ -uhlíku mastné kyseliny. Ten se za vzniku ketoskupiny labilizuje a z mastné kyseliny se odštěpí dvouuhlíkatý zbytek (acetyl-CoA) a řetězec kyseliny se zkrátí na čtrnáctiuhlíkatý. Opakováním tohoto děje se molekula mastné kyseliny zkrátí vždy o dva uhlíky za vzniku jedné molekuly acetyl-CoA. Vznikne tak postupně celkem osm molekul acetyl-CoA. Ty se energeticky využijí v Krebsově cyklu a dýchacím řetězci. Zkrácením mastné kyseliny o jeden dvouuhlíkatý zbytek vznikají opět redukované koenzymy (NADH, FADH), jejichž oxidací v dýchacím řetězci získá organismus celkem 17 molekul ATP.

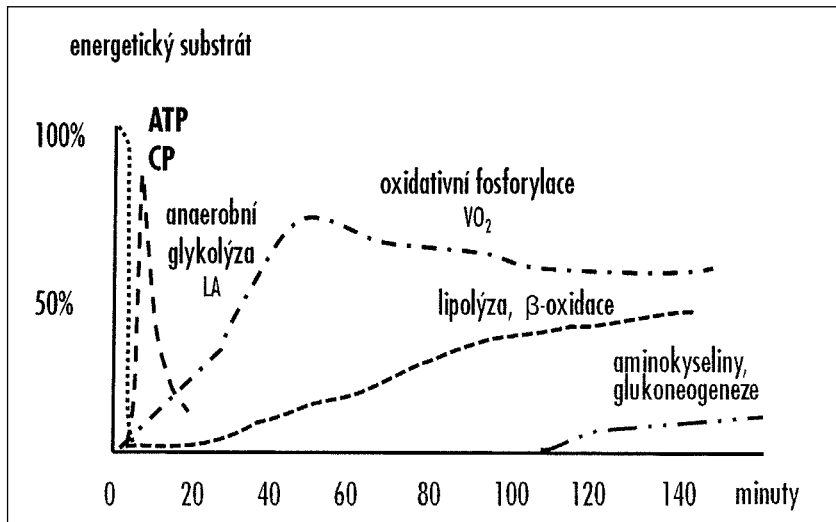
ny o jeden dvouuhlíkatý zbytek, je celkem 17 molekul ATP. Ve srovnání s anaerobní glykolýzou (dvě molekuly ATP) je tedy energetická výtěžnost mnohem vyšší. Ve srovnání s oxidativní fosforylací (38 molekul ATP) je však energetický efekt asi poloviční.

Při dlouhodobé vytrvalostní zátěži je možné běžet po celou dobu lehce pod úroveň anaerobního prahu nebo jej i krátkodobě překročit (velmi dobře trénovaní vytrvalci). Pokud v této fázi dojde k vyčerpání zásob glykogenu, dojde k poklesu výkonu a ke snížení rychlosti běhu. Je tomu tak proto, že rychlost resyntézy ATP z lipidových zdrojů ( $20 \mu\text{mol ATP}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$  svalu) je asi 20krát pomalejší než z CP a asi 2krát pomalejší než ze sacharidových zdrojů. Lipolýzu je možno v této fázi vytrvalostního výkonu podpořit např. doplňkem stravy s triacylglyceroly o středně dlouhých řetězcích mastných kyselin (MCT).

Tvorba laktátu je již velmi malá a během zátěže se stačí kyselina mléčná průběžně odbourávat (pokud intenzita zátěže nepřesáhne při taktickém zrychlení úroveň anaerobního prahu). Dlouhodobou vytrvalostní zátěž lze opakovat ve stejné kvalitě nejdříve po 3–4 dnech odpočinku. Stále se ještě nevyužívají jako energetické zdroje aminokyseliny.

### Velmi dlouhá vytrvalostní zátěž

Jako příklad velmi dlouhé vytrvalostní zátěže nám poslouží maratónský běh (42,5 km) a běh na ještě delší tratě. Doba trvání je cca 2–4 a více hodin.



Obr. 5 Zdroje energie při zátěži různého trvání – pokračování