

Mezipředmětová integrace tělesná výchova – biologie – chemie

Biochemie pro učitele tělesné výchovy IV.: metabolismus tuků a bílkovin

(průvodce studiem)

Filip Neuls, Ph.D.

Průvodce studiem

Pohybový výkon má různý charakter a různou délku trvání, která spolurozhoduje o tom, z jakých zdrojů bude čerpána energie pro resyntézu ATP. Připomeňme si, že kreatinfosfát stačí pouze na pár sekund intenzivní svalové činnosti, zatímco sacharidy mohou pokrýt energetickou potřebu většiny běžných sportovních disciplín. Na druhou stranu ale u maratonského běhu, dálkového plavání, cyklistických etapových závodů nebo dálkových běhů na lyžích (laufech) si pouze se sacharidy nevystačíme. Důležitou roli přebírají tuky a částečně i proteiny. Pohled laika na tuky jako na něco nepotřebného a obtěžujícího, co je spojeno s obezitou a nezdravým životním stylem, tady rozhodně neobstojí, neboť jak už bylo naznačeno, tuky jsou např. významným energetickým zdrojem pro vytrvalostní výkony. A co se týká proteinů, ty sice mají v organismu řadu mnohem důležitějších funkcí než být využívány jako energetický zdroj, ovšem pokud je potřeba podávat dlouhodobé fyzicky náročné výkony, i proteiny mohou sloužit jako „palivo“, byť poněkud nákladné.

Cíl textu

Cílem tohoto metodického listu je vysvětlení pojmů a dějů souvisejících se získáváním energie z tuků a proteinů a aplikace těchto poznatků na svalovou práci, resp. na sportovní výkon.

Úvod

Sacharidy představují rychlý zdroj energie pro resyntézu ATP nezbytného při svalové kontrakci. Tento zdroj však může být relativně rychle vyčerpán (za 1–2 hodiny intenzivní práce). Resyntéza ATP při dlouhodobých sportovních výkonech či trénincích tedy nemůže záviset čistě na metabolismu sacharidů. S prodlužujícím se zatížením roste i význam tuků a proteinů (resp. mastných kyselin a aminokyselin) jakožto energetického zdroje.

Efektivní adaptace začínajících učitelů na požadavky školské praxe

1 Metabolismus tuků

Zásoby tuku jsou uloženy zejména v **adipocytech** (tukových buňkách). U dospělého člověka je to bílá tuková tkáň, která obsahuje univakuolární adipocyty (mají uvnitř jednu velkou kapénku tuku). U novorozenců (popř. hibernujících zvířat) najdeme tzv. hnědou tukovou tkáň, jež je tvořena multivakuolárními adipocyty a jež má své důležité uplatnění při termoregulaci. V hnědé tukové tkáni jsou přítomny četné mitochondrie obsahující tzv. „odpřahující proteiny“, které ruší vodíkový gradient, což spolu s nízkou aktivitou enzymu ATP-syntázy znamená, že se v nich netvoří ATP, ale teplo (tzv. netřesová termogeneze).

Zopakujme si, že molekuly **tuků** (triglyceridy, triacylglyceroly, TAG) jsou tvořeny třemi uhlíkatými řetězci **mastných kyselin** (MK) navázanými na tříuhlíkatý alkohol zvaný **glycerol**. Z energetického hlediska představují tuky téměř nevyčerpatelný zdroj.

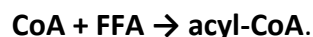
V období sytosti (po jídle) dochází v adipocytech k aktivaci enzymu zvaného **lipoproteinová lipáza** (LPL). Tuto aktivaci zajišťuje hormon slinivky břišní inzulín. LPL má za úkol rozštěpit lipoproteinové komplexy putující krví a TAG v nich obsažené uskladnit do adipocytů.

Při pohybové aktivitě (popř. při hladovění) je aktivován jiný enzym zvaný **hormon-senzitivní lipáza** (HSL). Aktivace tohoto enzymu je jedním z mnoha úkolů stresového hormonu adrenalinu, popř. dalších hormonů uplatňujících se při zatížení. Inzulín tento enzym naopak inhibuje. Působením HSL během zatížení jsou mobilizovány tukové zásoby, svalová buňka tak může získávat energii z tuků. Funkce HSL spočívá v postupném rozštěpení TAG na glycerol a 3 volné MK (neboli **free fatty acids**, FFA):



FFA se v krvi vážou na krevní bílkovinu **albumin** a takto mohou být transportovány do pracujícího svalu.

Pro vstup MK do (svalové) buňky se využívá např. usnadněné difúze pomocí transportních proteinů. Protože se MK zpracovávají aerobní cestou v mitochondriální matrix, je třeba, aby byla také překonána dvojice mitochondriálních membrán. Na vnější membráně dojde k aktivaci MK pomocí **koenzymu A**, který se pojí s MK (za účasti enzymu **acyl-CoA-syntetázy**), čímž vzniká tzv. **acyl-CoA**:



Pro transport acyl-CoA přes vnitřní mitochondriální membránu je třeba **karnitinu** a enzymu **acylkarnitintransferázy** (**translokázy**). Uvnitř mitochondrie pak dochází k degradaci (štěpení) uhlíkatého řetězce MK sledem reakcí označovaných jako beta-oxidace.

Co se týká glycerolu, i ten může být využit jako energetický zdroj. Vstupuje do reakcí anaerobní glykolýzy při vzniku trióz (glyceraldehyd-3P; blíže viz předešlé metodické listy).

1.1 Beta-oxidace mastných kyselin

MK jsou tvořeny různě dlouhým uhlíkatým řetězcem, ve kterém je počet uhlíků obvykle sudý. Energeticky jsou MK velmi bohaté. Např. kyselina stearová, která má 18 atomů uhlíku, dává vzniknout až 146 molekulám ATP. Toto lze vypočítat dle vzorce **8,5n - 7 ATP**, kde n je počet atomů C u MK.

Efektivní adaptace začínajících učitelů na požadavky školské praxe

Beta-oxidace (příloha 1) je procesem lokalizovaným uvnitř mitochondrie, při kterém dochází k postupnému štěpení uhlíkatého řetězce MK. Děje beta-oxidace lze zjednodušeně popsat takto: acyl-CoA prochází enzymaticky řízenými reakcemi, během nichž dochází mj. k dehydrogenacím a následné redukci FAD a NAD (koenzymy, které mohou být oxidovány v dýchacím řetězci za vzniku ATP). Na konci tohoto sledu reakcí jsou pak z uhlíkatého řetězce MK „odstřiženy“ dva uhlíky ve formě **acetyl-CoA** a zbytek MK zkrácený o tyto dva uhlíky znovu prochází cyklem reakcí beta-oxidace. Takto se beta-oxidace opakuje, dokud ještě lze původní MK štěpit na dvouuhlíkaté zbytky. Vytvářený acetyl-CoA vstupuje do reakcí Krebsova cyklu (blíže viz metodický list k aerobnímu metabolismu). Zjednodušený popis procesu získávání energie z tuků:

- 1) adipocyt: adrenalin aktivuje HSL, která štěpí, tuky na glycerol a 3 FFA;
- 2) krev: FFA se vážou na albumin;
- 3) krev → svalové vlákno: přechod FFA z krve do svalu pomocí proteinových přenašečů;
- 4) sarkoplazma → mitochondrie: tvorba acyl-CoA, přechod přes vnější membránu mitochondrie;
- 5) mitochondrie: přechod acyl-CoA přes vnitřní membránu mitochondrie pomocí karnitinu;
- 6) beta-oxidace: tvorba acetyl-CoA;
- 7) Krebsův cyklus: vstup acetyl-CoA do Krebsova cyklu, dehydrogenace a dekarboxylace, redukce NAD, FAD, tvorba GTP;
- 8) dýchací řetězec: oxidace NAD, FAD – tvorba ATP, vznik H₂O.

1. 2 Využití tuků při tělesném zatížení

Základní podmínkou využití tuků jako energetického substrátu pro syntézu ATP během tělesného zatížení je dostatečný přísun O₂. Katabolismus MK tedy probíhá pouze aerobní cestou. Klíčovými faktory jsou intenzita a doba zatížení. Nejvyšší mitochondriální obrat MK nastává cca po 15–20 min tělesné práce při intenzitě na úrovni aerobního prahu (50–60 % VO₂max). Sled mnoha dějů popsaných v předchozích odstavcích dává odpověď na otázku, proč je výraznější zapojení tuků do energetického metabolismu tak časově náročné. Při lepší utilizaci tuků se šetří sacharidové zdroje, čímž se může oddálit únava spojená s nedostatkem sacharidů, resp. hypoglykemií. Vytrvalostní sportovci lépe využívají tuky jako zdroj energie.

Cvičení vytrvalostního typu je vhodné i při opodstatněných snahách o redukci tělesné hmotnosti. Hubnutí by ale mělo být spojeno i s posilováním svalstva, neboť svalová hmota je metabolicky mnohem aktivnější než tuková tkáň, tudíž taková změna poměrů ve složení těla (nárůst svalové hmoty a snížení procenta tělesného tuku) může hrát důležitou roli nejen při redukci tělesné hmotnosti, ale i při následném udržování její žádoucí hodnoty. Nedílnou součástí hubnutí a udržování „zdravé“ tělesné hmotnosti je samozřejmě úprava nutričních zvyklostí.

Efektivní adaptace začínajících učitelů na požadavky školské praxe

2 Metabolismus proteinů

I proteiny se mohou zapojit jako energetické zdroje pro resyntézu ATP za podmínky jejich rozkladu na AK (základní stavební jednotky proteinů) a jejich **deaminace** (odštěpení aminoskupiny $-NH_2$). Aminoskupina je přeměněna na amoniak (pro organismus toxický), který je enzymy změněn na **močovinu** (např. v játrech), jež přechází do krve a odtud do moči. Jde o tzv. **ornitinový cyklus**. Zbytek aminokyseliny po deaminaci je vlastně kratší či delší uhlíkatý řetězec (*carbon skeleton*, „uhlíkatá kostra“), který je pak metabolizován dle toho, zda jde o AK glukoplastickou (sacharidům podobná) či ketoplastickou (tukům podobná). Výsledek je ten, že jsou těmito cestami vytvářeny dvouuhlíkaté zbytky, které vstupují formou **acetyl-CoA** do Krebsova cyklu, popřípadě různé uhlíkaté zbytky aminokyselin do Krebsova cyklu vstupují pomocí jiných jeho meziproduktů (viz přílohu 2). Z AK lze tedy získat energii pro resyntézu ATP stejně jako u tuků pouze aerobní cestou. Je to cesta velmi složitá, nejpomalejší a nejméně ekonomická. Využívají se při ní zejména AK leucin a isoleucin.

Otázka pro tréninkovou praxi: proč u sportovců dochází k metabolizaci proteinů pro získání energie? Tuky představují téměř nevyčerpatelný energetický zdroj, avšak k jejich metabolizaci je vždy potřeba malého množství glukózy, neboť jeden ze vstupních produktů Krebsova cyklu (oxalacetát) pojící se s acetyl-CoA je primárně produkován glukózovým metabolismem. Proto se říká, že tuk je spalován v plamenu cukrů. Pokud poklesne zásoba glukózy (glykogenu) pod určitou mez, musí se organismus spoléhat při resyntéze ATP na vlastní svalové proteiny, aby byla udržena funkčnost Krebsova cyklu. Přibližně 10–15 % energetické spotřeby při běžné dvouhodinové tréninkové jednotce jde na vrub katabolismu proteinů. Sportovci by tudíž měli během tréninku dodržovat adekvátní příjem glukózy a tím šetřit vlastní svalové proteiny, jinak by mohla hrozit ztráta silového a vytrvalostního potenciálu. Náhrada ztracených proteinů se běžně odehrává „přes noc“, avšak pokud jsou porušeny zásady dostatečného doplňování svalového glykogenu, mohou se objevit negativní efekty (např. další spotřebovávání vlastních svalových proteinů v následující tréninkové jednotce). Pokud se tento problém objevuje kontinuálně, dochází k závažným ztrátám síly a vytrvalosti spojeným s poklesem výkonnosti.

2.1 BCAA

Zkratka BCAA, pod kterou si mnozí z vás představí známý potravinový doplněk (suplement), znamená v angličtině **branched-chain amino acids**, tedy aminokyseliny s větveným řetězcem. Tyto AK jsou tři: **leucin**, **isoleucin** a **valin**, přičemž všechny tři patří mezi AK esenciální. Tvoří nedílnou součást svalové tkáně a při častém vyčerpávajícím zatěžování během tréninku či soutěže může z výše popsanych důvodů docházet k jejich odbourávání pro energetický zisk. Největší množství BCAA se vyskytuje v mléčných výrobcích a červeném masu. BCAA jako potravinový doplněk pak může sloužit sportovcům jako ochrana svalové tkáně, urychlovač svalové regenerace, popř. substrát pro nárůst svalové hmoty. Obvykle se v těchto doplňcích objevují leucin, isoleucin a valin v poměru 3:1:1. Právě leucin jako složka s největším podílem je nejdůležitější AK pro syntézu svalových proteinů.

Efektivní adaptace začínajících učitelů na požadavky školské praxe

Použitá a doporučená literatura

Koolman, J., & Röhm, K.-H. (2012). *Barevný atlas biochemie*. Praha: Grada.

Lehnert, M., Botek, M., Sigmund, M., Smékal, D., Šťastný, P., Malý, T., Háp, P., Bělka, J., & Neuls, F. (2014). *Kondiční trénink*. Olomouc: Univerzita Palackého. (<https://publi.cz/books/149/Cover.html>).

Vacík, J. (1999). *Přehled středoškolské chemie* (4th ed.). Praha: SPN.

<http://fbt.cz/>

<https://www.boundless.com/biology/textbooks/boundless-biology-textbook/>

Kontrolní otázky

Co je to beta-oxidace?

Jakým způsobem lze získat energii z tukových zásob?

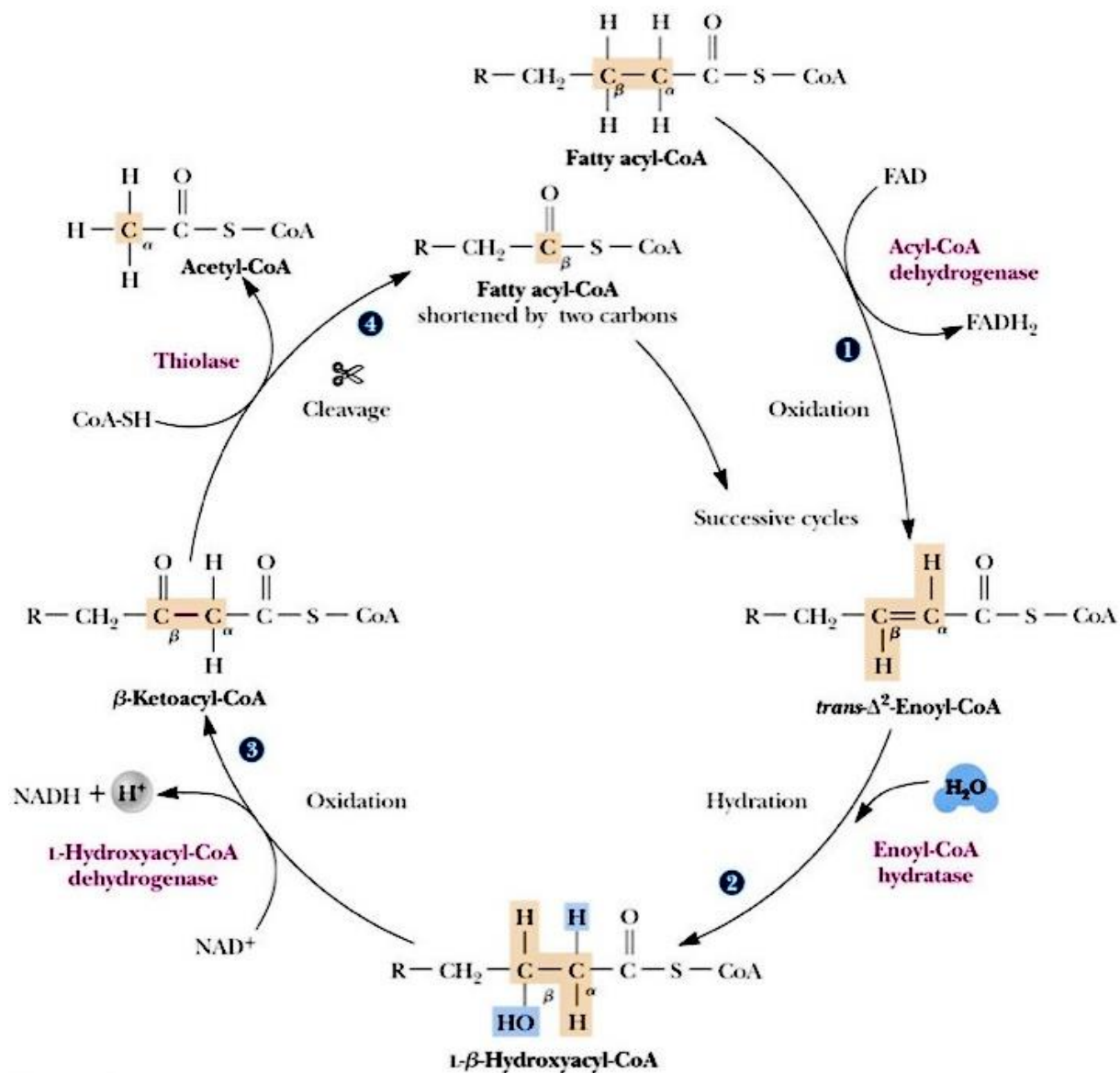
Jakým způsobem se mohou proteiny podílet na energetickém metabolismu buňky?

Samostudium

Zkuste na základě znalostí načerpaných z prezentovaných metodických listů vysvětlit, jaké bude energetické krytí etapového cyklistického závodu, který bude obsahovat rovinaté etapy přes 200 km dlouhé, horské etapy s několika vrcholy nad 2000 m n. m. a časovku jednotlivců na 50 km.

Efektivní adaptace začínajících učitelů na požadavky školské praxe

Příloha 1. Beta-oxidace (zdroj: Brooks/Cole Cengage Learning)



Efektivní adaptace začínajících učitelů na požadavky školské praxe

Příloha 2. Využití aminokyselin jako energetického zdroje (zdroj: www.boundless.com)

