

Energetické zdroje pro PA



MUDr. Martin Komzák, Ph.D.

Energetické zdroje pro svalovou kontrakci:

závisí na intenzitě a délce zátěže:

- ✱ ATP-ADP-AMP: 2-3 sekundy
- ✱ CP: cca do 10 sekund
- ✱ Glykogen - glukóza - laktát
- ✱ Mastné kyseliny z triglyceridů: z intramyocytárních zásob.
- ✱ AMK: významné pouze pro vícehodinové zátěže

Sacharidy (cukry)

- ✦ Hlavní energetický zdroj pro zátěž desítek sekund, nebo pro velmi intenzivní zátěž. Trávením vzniknou jednoduché cukry, které všechny nakonec játra přepracují na glukózu $C_6H_{12}O_6$
- ✦ Jediný zdroj (kromě zásob makroergních fosfátů na cca 10 a méně sec), který může být metabolizován aerobně i anaerobně za vzniku ATP. Do střední intenzity zátěže je jimi kryta polovina a více energetických požadavků.
- ✦ Intermitentní zátěž je charakteristická obrovským využitím laktátu v mitochondriích

V krvi máme glukózu - 5 gramů (v
játrech 150g ve svalech 400 g): kde se tam vzala ?

- ✱ Z potravy, rozložením složitých cukrů už ve střevě. To že někdo tráví hůře ví každý, co je postprandiální dysmetabolický syndrom ví málokdo.
- ✱ Z jater. Z glykogenu, z jiného monosacharidu, z aminokyseliny, spíše vzácně tříuhlíkatého zbytku glukózy a mastné kyseliny.
- ✱ Nemůže přímo pocházet z glykogenu svalového - sval „odloupnutou“ glukózu ze svalového glykogenu **neumí** přečerpat zpět do krve. Trik kudy na to: laktát

Využití tuků k energetické úhradě zátěže u vytrvalce dle Ahlborga

DÉLKA ZÁTĚŽE	%FFA z celkov. EE
40 minut	37%
90 minut	37%
180 minut	50%
240 minut	62%

Laktát

- ✦ Není odpadním metabolitem a nezakyselíme se jím - je akceptorem vodíkových protonů a symportován z buňky s H^+
- ✦ Není příčinou regulačních změn nazývaných anaerobní práh – to, že stoupá v té intenzitě zátěže tam, kde klesá naše schopnost udržet výkon, je koincidence a není moc jasné zda to používat paušálně i u pacientů.
- ✦ Rozdělovat zátěž na tu, která zatíží metabolismus anerobně a tu zdravou, aerobní je zcestné

Při kontinuálně zvyšované zátěži začínající dostatečně nízko pod ANP platí u pacienta se sníženou koron. rezervou na zátěžích vyšších než ANP proti zátěži pod ANT

- ✳ tepová frekvence stoupá, ale pomaleji
- ✳ spotřeba kyslíku stoupá, ale pomaleji
- ✳ minutová ventilace stoupá strměji
- ✳ laktacidémie stoupá vysoko nad 4 mmol/l
- ✳ v ischemických oblastech myokardu nastává proarytmogenní kombinace s acidózou přitékající krve
- ✳ snadno se dostaneme do oblasti supramaximální zátěže - pacient adaptován na anaerobní metabol., ještě chvíli toleruje zvyšování zátěže, ale spotřeba kyslíku nestoupá
- ✳ nouzová redistribuce u něj nastává velmi brzy, takže AT má v nápadně nízkém procentu své tepové rezervy.

Hlavní komponenty energetického výdeje za 24 hodin průměrného mladého muže

✳️ **Klidový metabolismus:** 60 – 75 %

✳️ metabolismus během spánku

- **bazální** metabolismus

✳️ metabolismus v klidném **bdělém stavu**

✳️ **Přímá termogeneze a mechanická práce tělesnou aktivitou:** 15 – 30 %

✳️ **Termický účinek stravy :** do 10 %

✳️ **Pozátěžová regulační termogeneze** do 5 %

Hlavní komponenty energetického výdeje za 24 hodin vrcholového sportovce - vytrvalce

- ✱ **Klidový metabolismus: 35 %**
 - ✱ **metabolismus během spánku**
 - bazální metabolismus
 - ✱ **metabolismus v klidném bdělém stavu**
- ✱ **Přímá termogeneze a mechanická práce tělesnou aktivitou: 50 %**
- ✱ **Termický účinek stravy: 5 %**
- ✱ **Pozátěžová regulační termogeneze: do 10%**

Energetické zásoby mladého štíhlého muže v klidu

- ✳ makroergní fosfáty 7 kcal
- ✳ svalový glykogen 1600 kcal
- ✳ triacylglyceroly svalu 14800 kcal
- ✳ triacylglyceroly tuk. tk. (6 kg TAG) 52 500 kcal
- ✳ glykogen + glukóza depot mimo sval 326 kcal

Vliv diety na energetický zdroj při zátěži: Christiansen & Hansen 1939 – test na vytrvalcích

- ✦ Na 90 procentech sacharidů v dietě byli schopni 4 hodin zátěže s podílem tuku napřed 20 , na konci 60 procent
- ✦ Na smíšené dietě vydrželi stejnou zátěž 3 h, s kontribucí 70 procent tuku na konci zát.
- ✦ Na dietě tuk – bílkovina po 3 dnů před testem vydrželi stejnou zátěž jen hodinu, ale tuk přispíval k 70 – 90 procentům energ. výdeje

Jak je to interpretováno dnes

- ✱ Problematika musí zahrnovat citlivost inzulínového receptoru a genetické vlivy
- ✱ Pozvolný přechod k nízkoglykemizující stravě umožňuje odklon od vysokosacharidové ke smíšené dietě
- ✱ Vytrvalostní zátěž s krátkými odpočinky (45 min 60% $VO_2\text{max}$ + 15 min. přestávku) vydrží vytrvalec bez problému 6 hodin v euglykémii, jestliže před tím jedl. Nalačno bude mít hypoglykémie.

Využití tuků v zátěži – intracelulární aspekty

- ✱ při zátěži nad 85 procent maximální aerobní kapacity klesá utilizace mastných kyselin FA - a to i tehdy, když jsou umělym zásahem nabídnuty do plazmy.
- ✱ Musí tedy existovat nitrobuněčná regulace jejich využití a hledá se další klíčový bod regulace, jiný než malonyl - CoA (ten stoupá typicky když se do buňky dostává víc glukózy přes inzulínovou signální dráhu).
- ✱ Nicméně základní regulace platí: usnadněním dodávky glukózy klesá utilizace tuků.
- ✱ Podíl tuků jako energetického zdroje je u vytrvalostně adaptovaného svaly vyšší i při stejné dodávce glukózy.

Energetický obrat krátkodobé zátěže

- ✦ Na čem je závislý? Na činném průřezu svalu a z větší části nikoliv na energetických, ale na biomechanických faktorech a neuromuskulární koordinaci.
- ✦ Výkon krátkodobý není tolik ovlivněn utilizací substrátů, ale spíše periferní únavou
- ✦ V této souvislosti se tradičně, ale ne zcela právem, hovoří o laktátu

Aerobní využití laktátu v zátěži

- ✱ La- putuje do sousedních buněk a je za jistých podmínek využíván i vzdálenými svaly.
- ✱ Tento proces ale z větší části neprobíhá pomocí difúze - ta je pro disociovaný La- příliš pomalá. Je zajišťována bílkovinnými nosiči - monokarboxylátovými přenašeči (MCT).
- ✱ Jsou to společné nosiče pro pyruvát, laktát, ketoglutarát, hydroxybutarát a acetoacetát.

Které buňky jsou vybaveny rychlým transportem laktátu do krve ?

- ✱ Selský rozum (i učebnice) říkají že rychlá glykolytická vlákna
- ✱ Množí se ale důkazy, že v savčím svalu je pravděpodobně transportní kapacita pro usnadněnou difúzi přes bílkovinné přenašeče vyšší pro rychlá oxidativní vlákna než pro vlákna rychlá glykolytická.
- ✱ Seniorům ubývají více vlákna rychlá glykolytická, SILOVÝM tréninkem zvyšují svoji VYTRVALOST. Zdá se, že zlepšeným aerobním metabolismem laktátu.

Aerobní využití laktátu v zátěži

- ✱ Laktát putuje do sousedních buněk a je za jistých podmínek využíván i vzdálenými svaly.
- ✱ Tento proces ale z větší části neprobíhá pomocí difúze - ta je pro disociovaný La- příliš pomalá. Je zajišťována bílkovinnými nosiči - monokarboxylátovými přenašeči (MCT).
- ✱ Jsou to společné nosiče pro pyruvát, laktát, ketoglutarát, hydroxybutarát a acetoacetát.

Laktát a únava

✱ LA silně v buňce dissociuje a je odčerpáván podstatně rychleji, než odpovídá jeho vzestupu v krvi

✱ Pokles výkonnosti svalu koreluje s vzestupem koncentrace vodíkových protonů

(Proč: Návrhy: 1) zhoršením přechodu příčných můstků mezi dvěma polohami ke kontrakci, 2) snižuje max. rychlost zkrácení myofibril, 3) inaktivuje myofibrilární myozinovou ATPázu, 4) zpomaluje aerobní glykolýzu, přes vápník hned dvěma cestami

Výsledky posledních let – in vitro modelace za co nejfyziologičtějších podmínek (teplota, parc. tlaky plynů)

✱ Max. rychlost zkrácení myofibril asi není závislá
na proton loadu (na množství dissoc. laktátu)




✱ Je zpochybňován i efekt protonů na max. sílu

✱ Intracelulárně asi není proton loadem ovlivněna
role vápníku.

✱ Začíná se více zdůrazňovat role SID



Praktické aspekty pro sport

-  Sport délky do hodiny: není třeba měnit předem dietu ani doplňovat zásoby. Benefit z jídla během závodu je menší než zhoršení perfuze svalů z překrvení splachniku.
-  Vícehodinový závod: strategie klasická: zvýšit sacharidy v dnech před závodem, vyvarovat se těžkého tréninku, aby se nezničily zásoby glykogenu. Glukózy dostanete do oběhu do 50 g/hod. Glukózové nápoje: 150-300 ml á 15 – 20 min, s obsahem 4 – 8 váhových procent glukózy a jejich polymerů, + Na v množství 0,5 – 0,7 g/l.
-  Hypertonický roztok glukózy není obvykle vstřebán a může způsobit dehydrataci

Glykogenová superkompenzace: pro zátěž od 45 min do maratonu (sporná pro kratší délky závodu)

- ✦ cca 6 dní před: zatěžovat ty svaly které používá daný sport, ale za vysokotukové a nízkosacharidové diety. Intenzita tréninku mírná až střední, délka větší. Poprvé asi jen po 1 – 2 dny, poté maximálně 4 dny
- ✦ asi 3 dny před závodem přepnout na vysokosacharidovou dietu, nezatěžovat se
- ✦ rizik stejně mnoho jako benefitů