



bp+bk2123 TST

Doc. PhDr. Ladislav Bedřich, CSc.

blok: 2.

1. ENERGETICKÝ METABOLISMUS SVALOVÝCH VLÁKEM

2. ENERGETICKÉ SYSTÉMY (ATP-CP, LA, O₂)

Dělení svalů z funkčního hlediska

- **Posturální svaly** udržují základní polohu těla, jsou tedy v neustálém napětí a mají tendenci ke zkrácení
- **Fázické svaly** jsou vykonavateli pohybů. Snadněji se unaví, mají tendenci k oslabování (hypotonii)

Obě skupiny svalů se navzájem ovlivňují a musí být v rovnováze, jinak může docházet ke svalovým dysbalancím. **Svalové dysbalance** mohou vyústit do závažných degenerativních a nevratných změn svalové tkáně se zmnožením vaziva, k patologickým změnám šlach a kloubů. K těmto změnám může dojít u sportovců s trvalejším a intenzivnějším zatěžováním jen určitých svalových skupin. Proto jsou nezbytná **kompensační (vyrovnávací) cvičení**

Ve všech kosterních svalech jsou všechny typy vláken, v různém poměru.

Energetický metabolismus různých typů svalových vláken
(McArdle, Katch, Katch, 2007, Powers & Howley 2007)

typ I
červené
vlákno

SO slow oxidative

pomalé oxidativní vlákno

- aerobní lipolýza, glykolýza, laktátolýza
- pomalá unavitelnost – odolnost proti únavě vysoká
- bohaté krevní zásobení - vysoký obsah myoglobinu – velká oxidační kapacita - vázanost O₂
- energie primárně štěpením tuků, dominantní zdroj triacylglyceroly
- kontrakce po impulsu až 70-140 ms s větší silou
- (statická a pomalá činnost)

uplatnění: vytrvalostní zátěž nižší intenzity = AE

TYOLOGIE SVALOVÝCH VLÁKEN

rychlá.: typ IIa FOG + IIx FG

pomalá: typ I SO

typ IIa
červené vlákno

FOG

fast oxidative glykolytic

rychlé oxidativní

- převážně aerobní i anaerobní glykolýza, částečně ATP-lýza (produkce LA)
- středně rychlá unavitelnost
- přechodný typ mezi Ia - IIx
- obsahují velké množství glykogenu a kreatinofosfátu
- spalují především sacharidy ATP štěpením glykogenu, 2min., - tvorba LA
- rychlá kontrakce s velkou silou (silové a rychlostní aktivity)
- po impulsu 50-100 ms

uplatnění: při zátěžích střední až submaximální intenzity provázející aerobní i anaerobní způsob úhrady energie



typ IIX

bílé vlákno

FG fast glycolytic

rychlé glykolytické

- anaerobní glykolýza a ATP-lýza (produkce LA)
- rychle unavitelné
- nízký obsah myoglobinu – malé krevní zásoben
- největší dynamická síla
- nejvyšší kapacita glykolytická = mohutná, rychlá, krátká kontrakce po krátkou dobu (10-40 ms)
- energie výhradně z ATP a CP (ANA-alaktát., 10-15 s)

**Silové a rychlostní výkony maximální intenzity
s dominancí anaerobního energetického metabolismu**



Podíl typů vláken na složení svalů elitních atletů (%)

<i>Disciplína</i>	I	Ila a Iix(b)
<i>Vytrvalostní běžci</i>	70-80	20-30
<i>Sprinteři</i>	25-30	70-75
<i>Nesportovci</i>	47-53	47-53

svalová vlákna a metabolismus

intenzita pohybového zatížení – pohybové aktivity:

co je to „vysoká intenzita“

🔴 intenzita 90 % SFmax aktivuje cca 85 % rychlých vláken

100 %

95 %

70 %

10 %

Určuje skladba vláken váš výkonnostní potenciál? ANO (genetika)

Vrcholový sprinter může mít až 75 % rychlých , vytrvalec až 90 % pomalých vláken.

Pomalá a rychlá vlákna nemůžeme přeměnit!

SVALY

kosterní

srdeční

hladké

EXCITABILITA – (vzrušivost, dráždivost) schopnost svalu odpovědět na stimul vytvořením a vedením akčního potenciálu

KONTRAKTILITA - schopnost svalu se stahovat a vyvíjet napětí za současného výdeje energie

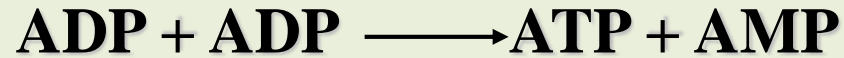
EXTENSIBILITA – (roztažnost, rozšiřitelnost) schopnost svalu být natažen

ELASTICITA - schopnost svalu se vrátit do klidové délky buď po natažení nebo zkrácení

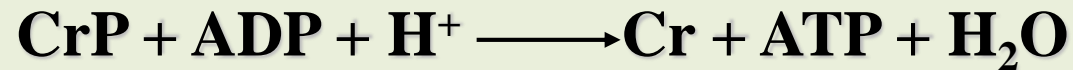
METABOLISMUS SVALU

- *restituce ATP*

MYOKINÁZOVÁ REAKCE

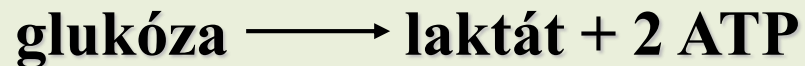


LOHMANNOVA REAKCE



GLYKOLYTICKÁ FOSFORYLACE (anaerobní)

Při odbourávání glukózy bez spotřeby kyslíku je uvolněna energie



OXIDAČNÍ FOSFORYLACE (aerobní)

Při odbourávání látek (*glukóza, laktát, volné mastné kys., aminokyseliny*) za přítomnosti kyslíku je uvolněna energie



DĚLENÍ SVALOVÉ ČINNOSTI

ČINNOST STATICKÁ

převažuje svalová síla ve výdrži s *minimální změnou* svalové délky

ČINNOST DYNAMICKÁ

rytmické *střídání* kontrakce a relaxace se změnou svalové délky, s různou účastí svalového působení

DRUHY DYNAMICKÉ SVALOVÉ ČINNOSTI

ČINNOST SILOVÁ

pohybová činnost se zdůrazněnými *silovými* nároky, trvání kontrakce je delší než trvání relaxace

ČINNOST RYCHLOSTNÍ

pohybová činnost s velmi *rychlým střídáním* kontrakcí a relaxací

ČINNOST OBRATNOSTNÍ

pohybová činnost s dominancí *jemné koordinace* svalové činnosti

ČINNOST VYTRVALOSTNÍ

pohybová činnost s důrazem na *dlouhodobou* svalovou činnost

ENERGETICKÉ SYSTÉMY

Hlavní energetické zdroje pro pohybovou činnost:

🔴 makroergní fosfáty (ATP, CP)

🔴 makroergní substráty-živiny (cukry, tuky, bílkoviny)

- při klidu či málo intenzivní pohybové činnosti je energie poměrně rovnoměrně čerpána ze všech uvedených živin
- při intenzivní svalové činnosti jsou hlavním a i výhradním zdrojem energie cukry
- s přibývajícím dobou činnosti stoupá energetický podíl tuků – výjimečně bílkovin
- Tělo má k produkci ATP 3 systémy – všechny jsou aktivní v jakoukoli danou dobu. Míra, do jaké systémy přispívají k celkovému pracovnímu výkonu, závisí primárně na intenzitě činnosti a sekundárně na délce trvání.

METABOLISMUS

příjem, zpracování a přeměna živin (makroergních substrátů) na energii
aktivita metabolismu je dána především genetikou

2 typy

ANAEROBNÍ O_2

AEROBNÍ O_2

ATP

3 energetické systémy k doplnění ATP

- **FOSFAGENOVÝ SYSTÉM** poskytuje energii velmi krátkou dobu na začátku pohybové činnosti prostřednictvím ATP a rozkladu CP (makroergní fosfátů)
- **ANAEROBNÍ GLYKOLÝZA (rychlá)** využívá sacharidy pro tvorbu ATP při činnostech vysoké intenzity bez nutnosti přítomnosti O_2 . Konečným produktem rychlé glykolýzy je LA.
- **AEROBNÍ GLYKOLÝZA (pomalá)** využívá sacharidy pro tvorbu ATP při činnostech střední a mírné intenzity bez produkce LA. Nutnou podmínkou pomalé glykolýzy je dostatečné množství O_2 .
- **AEROBNÍ-OXIDATIVNÍ SYSTÉM** využívá tuky pro tvorbu ATP při činnostech mírné intenzity, za předpokladu dostatečného množství přítomného O_2 .
 - ☛ Pouze sacharidy mohou být metabolizovány pro energii bez přímého zapojení O_2 .
 - ☛ Všechny energetické systémy jsou aktivní v jakoukoli danou dobu. Míra, do jaké systémy přispívají k celkovému pracovnímu výkonu, závisí primárně na intenzitě činnosti a sekundárně na délce trvání.

FOSFÁGENOVÝ-ATP-CP

makroergní fosfáty ATP 2-3 s, CP 10-15 s
intenzita maximální

0-15 s

Po vyčerpání „rychlých“ zdrojů energie je při dalším zatížení (**resyntéza ATP**) organismus odkázán na energii živin z přijaté stravy = energii obsaženou v sacharidech - pro svalovou práci dostupné ve formě svalového a jaterního glykogenu, v tucích a v bílkovinách

GLYKOLÝZA rozklad sacharidů

Pouze sacharidy mohou být metabolizovány pro energii bez přímého zapojení O_2

1.fáze **ANAEROB-GLYKOLÝZA** rychlá

LA

intenzita vysoká - maximální

15 s-2 min

2-3 min

2.fáze **AERO-GLYKOLÝZA** pomalá
střední + mírná intenzita

-zásoba sval. glykogenu 60-90 min (střední intenzita)
- tuků-nízká intenzita trvající nepřetržitě několik dní
spalování tuků pod 75 % SFmax

> 3 min

AEROBNÍ-OXIDATIVNÍ
mírná intenzita

METABOLISMUS

příjem, zpracování a přeměna živin (makroergních substrátů) na energii
aktivita metabolismu je dána především genetikou

2 typy

ANAEROBNÍ O₂

AEROBNÍ O₂

ATP

3 energetické systémy k doplnění ATP

FOSFÁGENOVÝ-ATP-CP

makroergní fosfáty ATP 2-3 s, CP 10-15 s
intenzita maximální

0-15 s

Po vyčerpání „rychlých“ zdrojů energie je při dalším zatížení (**resyntéza ATP**) organismus odkázán na energii živin z přijaté stravy = energii obsaženou v sacharidech - pro svalovou práci dostupné ve formě svalového a jaterního glykogenu, v tuků a v bílkovinách

GLYKOLÝZA rozklad sacharidů

Pouze sacharidy mohou být metabolizovány pro energii bez přímého zapojení O₂

1.fáze ANAE-GLYKOLÝZA rychlá

LA

intenzita vysoká - maximální

15 s-2 min

2-3 min

2.fáze AE-GLYKOLÝZA pomalá
střední + mírná intenzita

-zásoba sval. glykogenu 60-90 min (střední intenzita)
- tuků-nízká intenzita trvající nepřetržitě několik dní
spalování tuků pod 75 % SFmax

> 3 min

AEROBNÍ-OXIDATIVNÍ
mírná intenzita

1. ATP-CP systém

- 🔥 **ATP** schopný dodat velké množství energie v krátkém čase, doba možné práce cca 2-3 s
- 🔥 **neustálá obnova ATP** (resyntéza) s pomocí **CP** (štěpí se bez účasti O₂) regenerace ATP z CP - doba možné práce cca 10-20 s, pak výrazně klesá
- 🔥 čím vyšší zásoby CP ve svalech, tím delší vysoce intenzivní AnaE činnost (příjem kreatinu pro zlepšení výkonnosti ve sprintu či vzpírání)


2. LA systém

Anaerobní glykolýza (glykolytický či laktátový LA) =
= štěpení cukrů (glukózy, glykogenu) bez účasti O₂

- aktivace systému při maximálním úsilí
- dominance od cca **6 s** až do cca **60-70 s**
- využíváno je štěpení sacharidů = rychlá dodávka energie.
- tvorba LA (acidóza) **glukóza + ADP => laktát + ATP**
- Glukoneogeneze = reakce, při kterém se v játrech a méně v ledvinách (v ledvinách především při dlouhodobém hladovění) syntetizuje glukóza, která je nezbytným palivem v organismu. Hlavními substráty pro glukoneogenezi jsou glukogenní aminokyseliny, laktát a glycerol z tuků

3. O₂ - AE (oxydativní systém)

- 🔥 resyntéza ATP štěpením cukrů a tuků na CO₂ a H₂O za účasti O₂
- 🔥 OXIDACE GLUKÓZY - AE rozklad glukózy (dominuje po cca 60-70 s)
laktát + kyslík + ADP => ATP + oxid uhličitý + voda
- 🔥 OXIDACE TUKŮ (LIPOLÝZA) - AE rozklad tuků (volných mastných kyselin) dominuje po vyčerpání glykogenu **po cca 90 minutách**
- 🔥 spalování tuků vyžaduje **intenzitu pohybové činnosti pod 75 % SFmax**
- 🔥 vyšší požadavky na dodávku O₂=zvýšení ventilace, průtok krve=vyšší srdeční výkon
- 🔥 ! dehydratace, přehřátí!

- 
- **Stála hladina glukózy v krvi**
 - Při nedostatku glukózy se ji tělo snaží vyrábět z různých prekurzorů procesem nazývaným **glukoneogeneze**
 - nadměrná zátěž - svaly pracují za nedostatečného zásobení kyslíkem – na **kyslíkový dluh**. Důsledkem je hromadění **laktátu**
 - **zásoby glykogenu vyčerpány - krevní glukóza nepostačuje**, svaly začnou využívat energii převážně **oxidací tuků – lipolýzou**, která nevytváří LA
 - Při produkci energie z tuků nelze udržet vysoké pracovní tempo. Vyčerpání glykogenových zásob a pomalejší oxidace tuků = tzv. **hypoglykémie**.

Přibližný poměr ES v závislosti na trvání výkonu

- ▶ Podle matematických modelů založených na výkonech elitních atletů dochází k **vyrovnání aerobního a anaerobního metabolismu** po cca **55-70 s** (Ward-Smith 1999).
V praktických studiích se objevují výsledky od 50 až do 100 s
- ▶ Novější výzkumy se kloní spíše k rychlejšímu nástupu aerobního metabolismu, jiné naopak zdůrazňují anaerobní podíl (těch se obvykle drží naše sportovní literatura)
- ▶ **Rozdíly v měření vyplývají z dosavadní nedokonalosti laboratorních metod a individuálních rozdílů v podílu rychlých a pomalých vláken** (např. při běhu na 1000 m vytváří sprinter aerobně pouze 61% energie, průměrný člověk 66 % a vytrvalec 70 %).

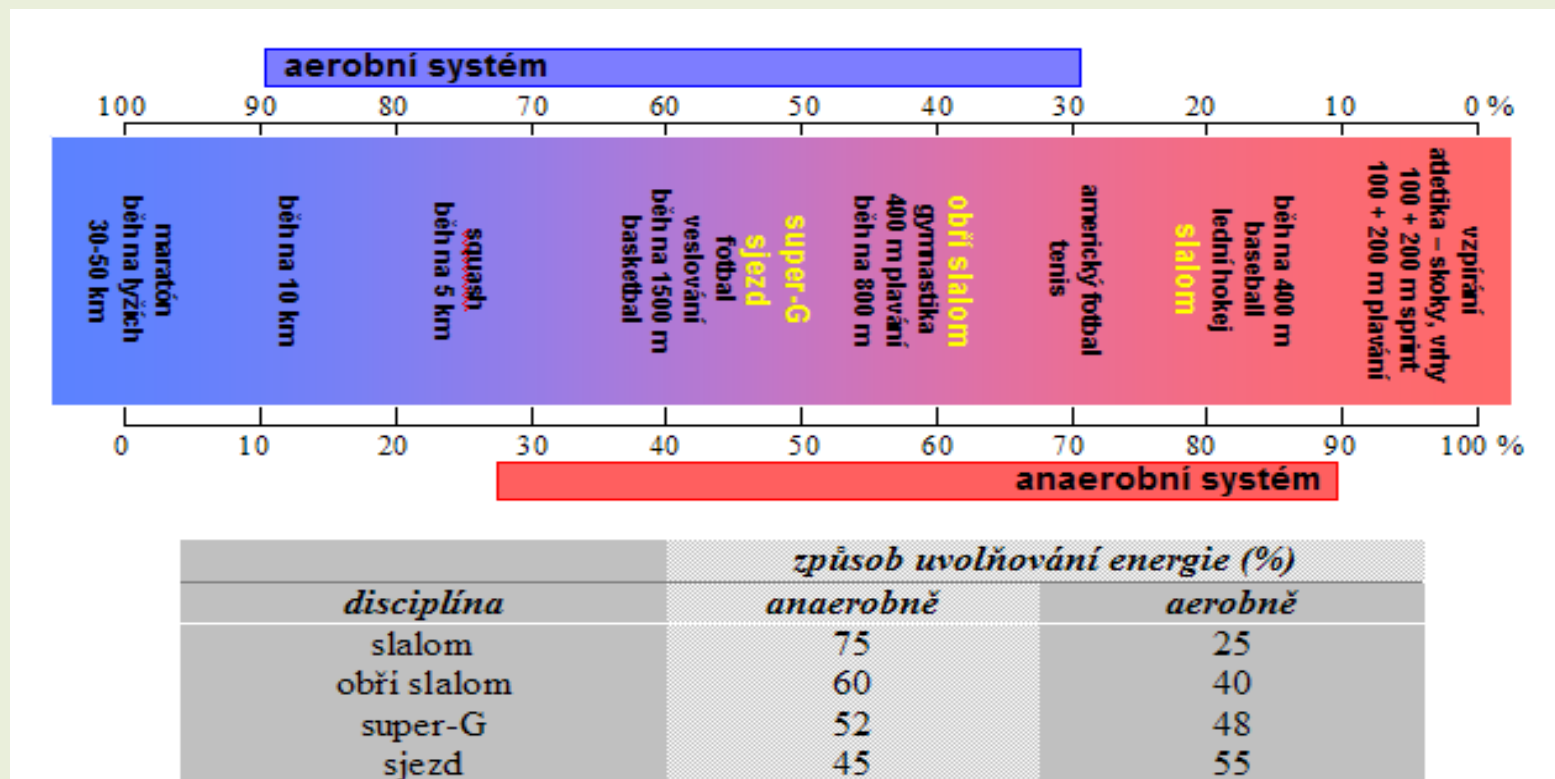
Poměr zapojení anaerobního a aerobního metabolismu v průběhu času při maximální intenzitě pohybu

Délka trvání	ATP-CP	LA	O ₂
5 s	85	10	5
10 s	50	35	15
30 s	15	65	20
1 min.	8	62	30
2 min.	4	46	50
4 min.	2	28	70
10 min.	1	9	90
30 min.	1	5	95
1 hod.	1	2	98
2 hod.	1	1	99

ZPŮSOBY ZÍSKÁVÁNÍ ENERGIE

🕒 **ANAEROBNÍ:** na začátku zátěže, při náhlém zvýšení intenzity svalové práce nebo při vysoké intenzitě svalové práce způsobem **anaerobní alaktátovým** – energie je uvolněna z ATP a CP (kreatinfosfát) bez účasti anaerobní glykolýzy a tvorby laktátu (ATP-CP systém) a způsobem **anaerobně laktátový** energie získána z anaerobní glykolýzy s tvorbou laktátu.

🕒 **AEROBNÍ:** způsob získávání ATP je dominantní při tělesných aktivitách vytrvalostního charakteru trvajícího déle než 2–3 minuty. Úroveň aerobních schopností je ovlivněna **dědičností (80 %)**. Aerobní schopnosti jsou limitujícím faktorem výkonnosti ve vytrvalostních disciplínách a o její úrovni nás informuje spotřeba kyslíku (VO₂) – maximální množství kyslíku přijaté organismem



Obr. 1: Podíl metabolických systémů na energetickém zajištění sportovního výkonu v %

Aerobní a anaerobní způsob získávání energie

sport	Aerobně %	Anaerobně %
fotbal	50	50
lední hokej	10-20	80-90
maraton	90	10
sprint 100 m	5	95
dálkové plavání	70	30

TYP ZÁTĚŽE:

- KONTINUÁLNÍ
- INTERVALOVÁ se střídáním intenzity zatížení

TRVÁNÍ VÝKONU:

- TRVÁNÍ VÝKONU (např. 10s. , 1 hod. apod.)
- ZÁPASU (např. 3x 2min)
- UTKÁNÍ (např. 2x 45min)

INTENZITA ZATÍŽENÍ:

- NÍZKÁ – hodiny (3-20 h)
- STŘEDNÍ ◦ krátkého trvání – minuty (3-7min)
◦ dlouhého trvání – desítky minut (7min – 3h)
- SUBMAXIMÁLNÍ ◦ desítky sekund (40-60s)
◦ minuty (1-3min)
- MAXIMÁLNÍ – sekundy 15-50s
- SUPRAMAXIMÁLNÍ – sekundy (do 15s)

METABOLICKÉ KRYTÍ

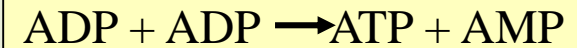
- ATP-CP systém
- ANAEROBNÍ GLYKOLYTICKÁ (glykolytická fosforylace)
- AEROBNÍ GLYKOLÝZA, OXIDATIVNÍ FOSFORYLACE

ZDROJE ENERGIE:

- ATP a CP
- GLYKOGEN (svalový, jaterní)
- VOLNÉ MASTNÉ KYSELINY

ADAPTACE NA ZÁTĚŽ

ČINNOST SILOVÁ



hypertrofie vláken IIX, ↑ aktivita myokinázy

ČINNOST RYCHLOSTNÍ

↑ obsahu a utilizace ATP a CP, hypertrofie vláken IIX

ČINNOST RYCHLOSTNĚ–VYTRVALOSTNÍ (~2min)

↑ aktivita glykolytického systému, ↑ utilizace glykogenu v II,

↑ pufrovací kapacity

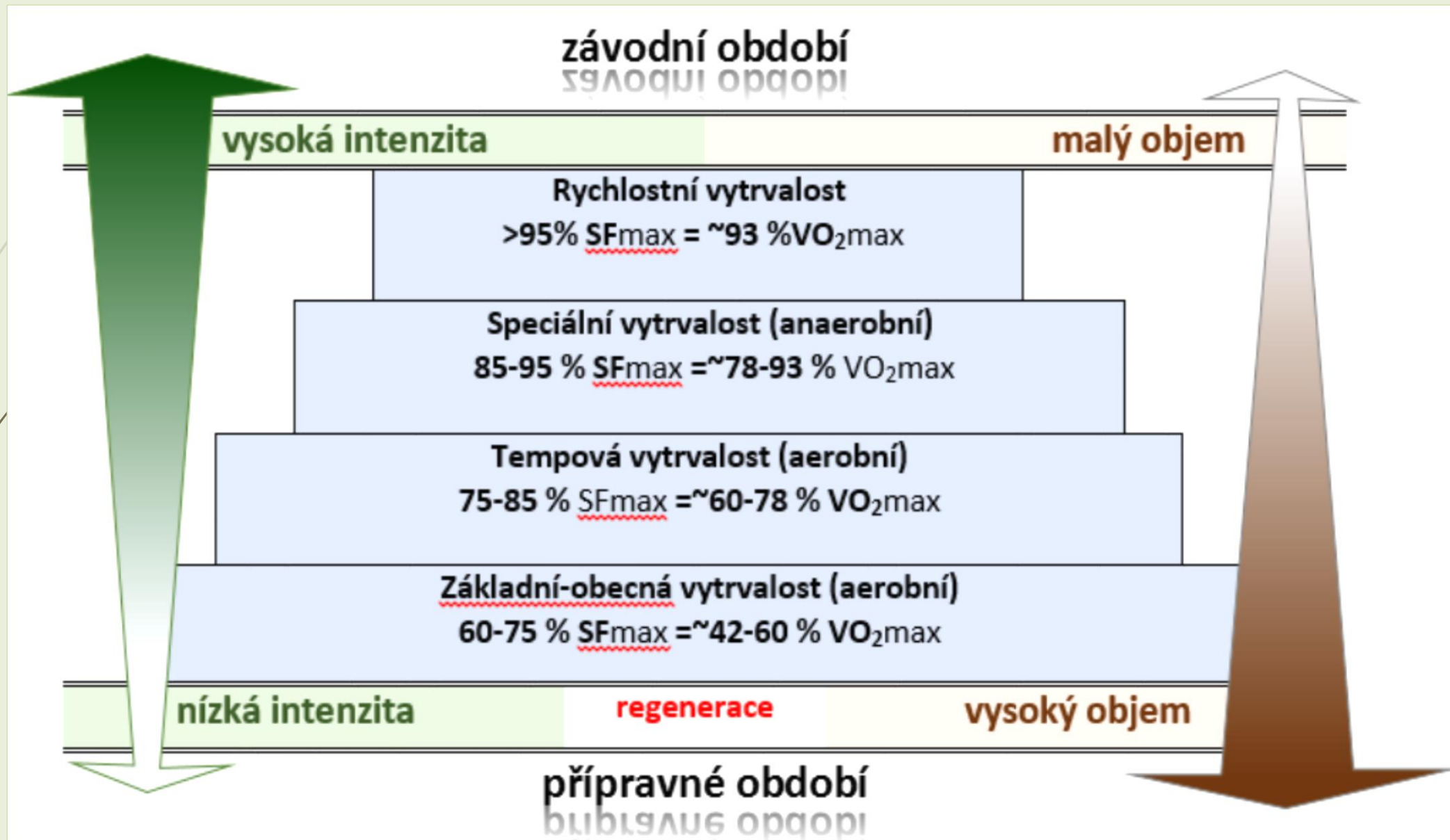
ČINNOST VYTRVALOSTNÍ

↑ mitochondrií, ↑ aktivita enzymů dýchacího řetězce,

↑ kapilarizace, hypertrofie I, možná konverze z II → I(?),

↑ hladiny svalového glykogenu o 100%, ↑ aktivita lipázy

Základní tréninkový model





TEPOVÁ – SRDEČNÍ FREKVENCE

- TF se měří na perifériích – SF na srdci
- Nevhodné měřit na krku na krkavici → umístěny tzv. baroreceptory → podrážděním dochází ke zpomalení tepové frekvence
- Klidová SF - u netrénovaných cca 70 tepů/min
 - u vysoce trénovaných 30-40 tepů/min
- Maximální může dosahovat až 210 tepů/min

Srdce přečerpá nejméně 8.000 l krve každý den

(bez provádění jakékoliv namáhavější práce)

Celkový objem krve se pohybuje mezi 6 až 8 % celkové hmotnosti těla. U **70 kg** muže činí asi **5,5 l**, u žen přibližně **4,5 l**. Tento objem krve je srdcem v klidovém stavu přečerpán přibližně za 1 min. Objem levé komory činí u dospělého muže průměrně **78 ml a při frekvenci 70 tepů/min** to znamená asi **5,5 l/min**



Malý a velký krevní oběh

- * krev se rozděluje ve velkém oběhu do jednotlivých tkání
- * **mozkem projde za minutu cca 0,72 l krve**, játry a trávicím ústrojím 1,32 l, **kosterním svalstvem 1,2 l**, **ledvinami 1,1 l**, **srdečním svalem 0,28 l** a **kůží a ostatními tkáněmi 0,88 l**
- * Zásobování mozku je zajišťováno přednostně stejně tak i srdečního svaly (při šoku může být prokrvení ledvin a trávicího traktu potlačeno ve prospěch srdce a mozku)
- * při aktivní fyzické zátěži výrazně stoupá prokrvení kosterního svalstva na úkor trávicího ústrojí
- * plícemi prochází za minutu celý objem 5,5 l
- * ledviny přefiltrují více než 1.500 l krve/24 h

Řízení tréninku dle SF

Karvonenův vzorec zohledňující individuální odlišnosti v rozsahu SF.

* srdeční rozpětí:

$$SR = SF \text{ max} - SF \text{ klid} = 190 - 60 = 130 \text{ [tepů/min.]}$$

Požadovaná intenzita 80 % SFmax:

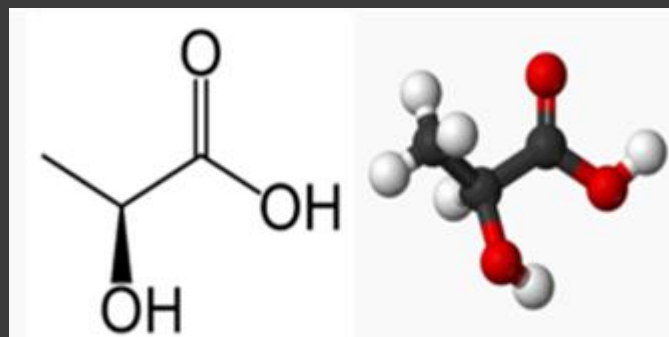
$$\begin{aligned} TSF &= SF \text{ klid} + (SF \text{ max} - SF \text{ klid}) \cdot 0,8 = \\ &= 60 + [(190 - 60) \cdot 0,8] = \\ &= 60 + 104 = 164 \text{ [tepů/min.]} \end{aligned}$$

SF aktuální (zjištěná) = 145 tepů/min.)

$$\begin{aligned} \% SF \text{ max} &= [(SF \text{ aktuální} - SF \text{ klid}) \cdot 100] / SF \text{ max} - SF \text{ klid} = \\ &= [(145 - 60) \cdot 100] / 190 - 60 = \\ &= 65 \text{ [%]} \end{aligned}$$

Kyselina mléčná

Laktát = sůl kyseliny mléčné



kysele chutnající, lehce rozpustná,
bezbarvé krystaly tvořící kyselina
s chemickým vzorcem **CH₃-CHOH-COOH**

- vzniká mléčným kvašením cukrů, např. v mléce, sýrech, kyselém zelí
- používá se např. v pekařství, pivovarnictví, koželužství, k přípravě limonád, při barvení a zušlechťování textilií (pohmat, lesk), opticky neaktivní
- používá se také kvůli svým antiseptickým vlastnostem v mastech, ústních vodách a jako prostředek k ošetřování vlasů

Sůl kyseliny mléčné (a i její anion a estery) se nazývá laktát **CH₃-CHOH-COO-**.

Laktát

- v těle se neustále vytváří malé množství
La klidový 0,5–1,5 mmol/l - jako při AE zatížení
- nejvydatnější získávání energie anaerobním způsobem při intenzivních zatíženích mezi 15-60 s, $\dot{V}O_2\text{max}$ 70%
- koncentrace La ve svalech vždy vyšší než v krvi/
do krve se zpožděním (5-20 min.)
- **La odbourávají:**
 - játra – 50 %
 - nezatěžované svalstvo - 30 %
 - srdce – 10 %
 - ledviny – 10 %

rychlost odbourávání La:

- netrénovaný **0,3** mmol /min.
- trénovaný **0,5** mmol/min.
měření - ušní lalůček, prst

hodnocení intenzity zatížení:

- aerobní : **do 2** mmol/l La
- aerobně- anaerobní : **3 – 7** mmol/l La
- anaerobní : **> 7** mmol/l La

Spotřeba kyslíku

- **maximální spotřeba kyslíku VO_{2max}** = schopnost organismu kyslík přijímat, transportovat a využívat
- rozvoj VO_{2max} závisí na intenzitě a na objemu zátěže
- špičkové výkony : **muži 78 ml/kg.min**
ženy 68 ml/kg.min
- běžná populace: muži 45
ženy 35
- pokud dlouhodobě VO_{2max} klesá = pravděpodobná chyba v celkovém dávkování a účinnosti tréninku

Rychlost běhu podle hodnot $VO_2 \max$

$$v \text{ [km/h]} = [3,99 + VO_2\max \text{ (ml/min/.kg)}] / 3,656$$

Příklad:

$VO_2 \max$ [ml /min/kg]	50- 52,5	52,5- 55	55- 57,5	57,5- 60	60- 62,5	62,5- 65	65- 67,5	67,5- 70	70- 72,5
80 %									
km/hod	11,8	12,4	12,8	13,4	14	14,6	15,1	15,6	16,2
100 m [s]	30,3	29	28,1	26,8	25,7	24,7	23,8	23,1	22,3
1 km/min.	5:03	4:50	4:41	4:28	4:17	4:07	3:58	3:50	3:43