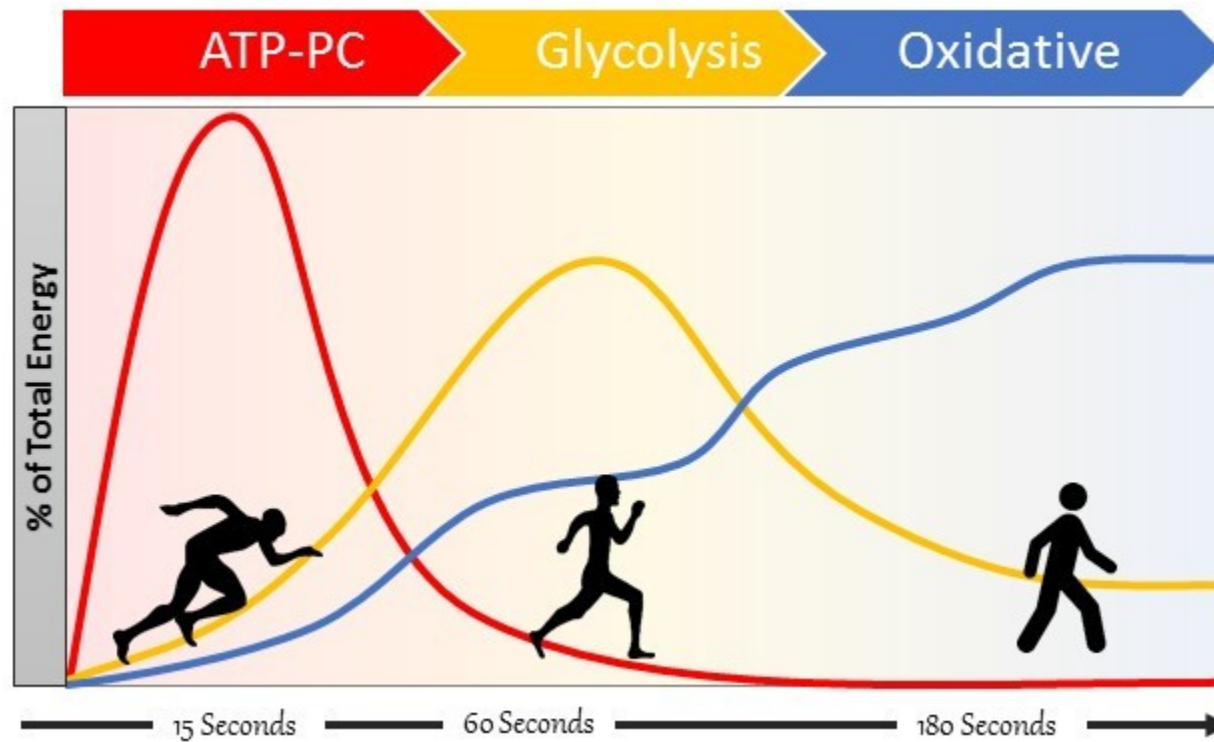
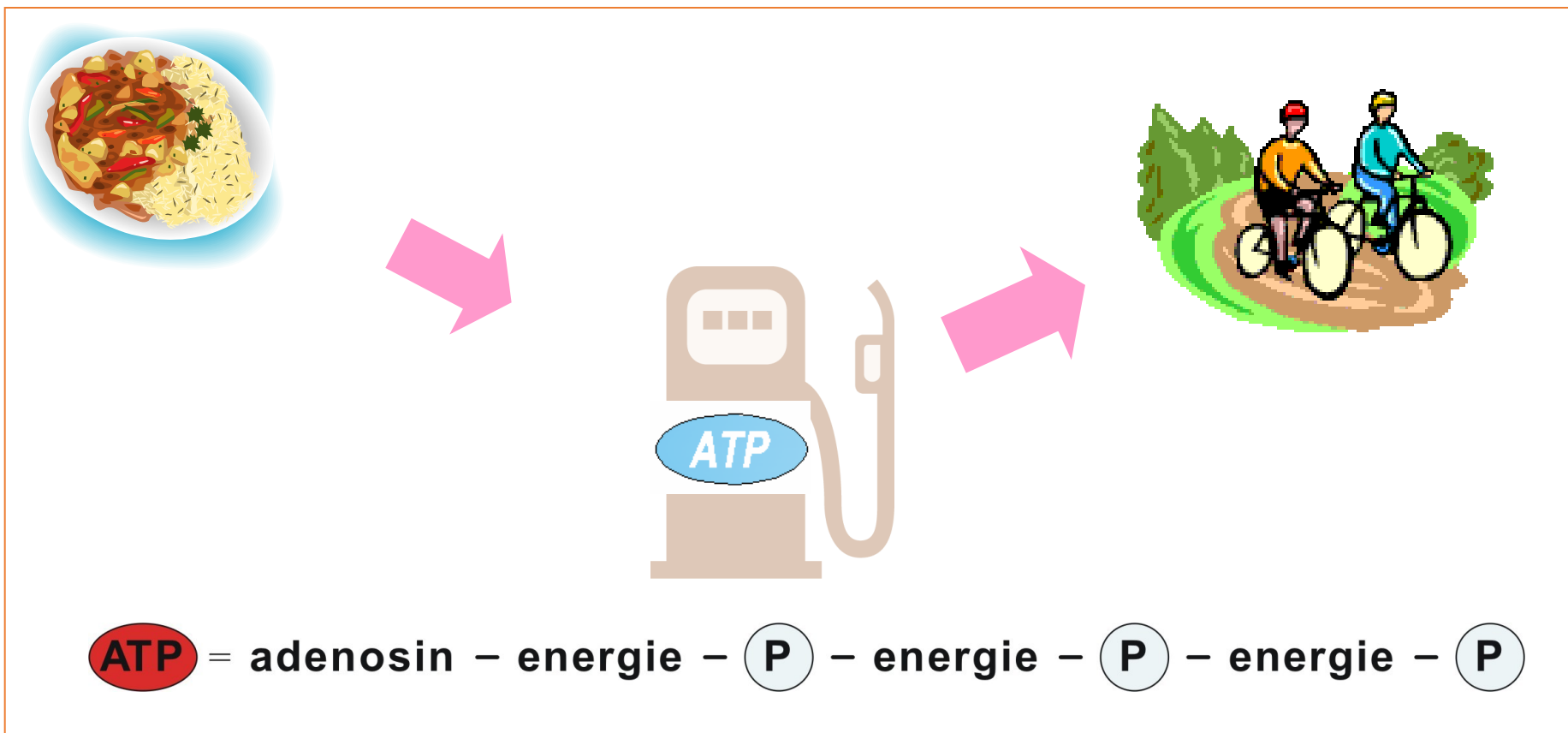


ZÁKLADNÍ ENERGETICKÉ SYSTEMY



Energetické krytí



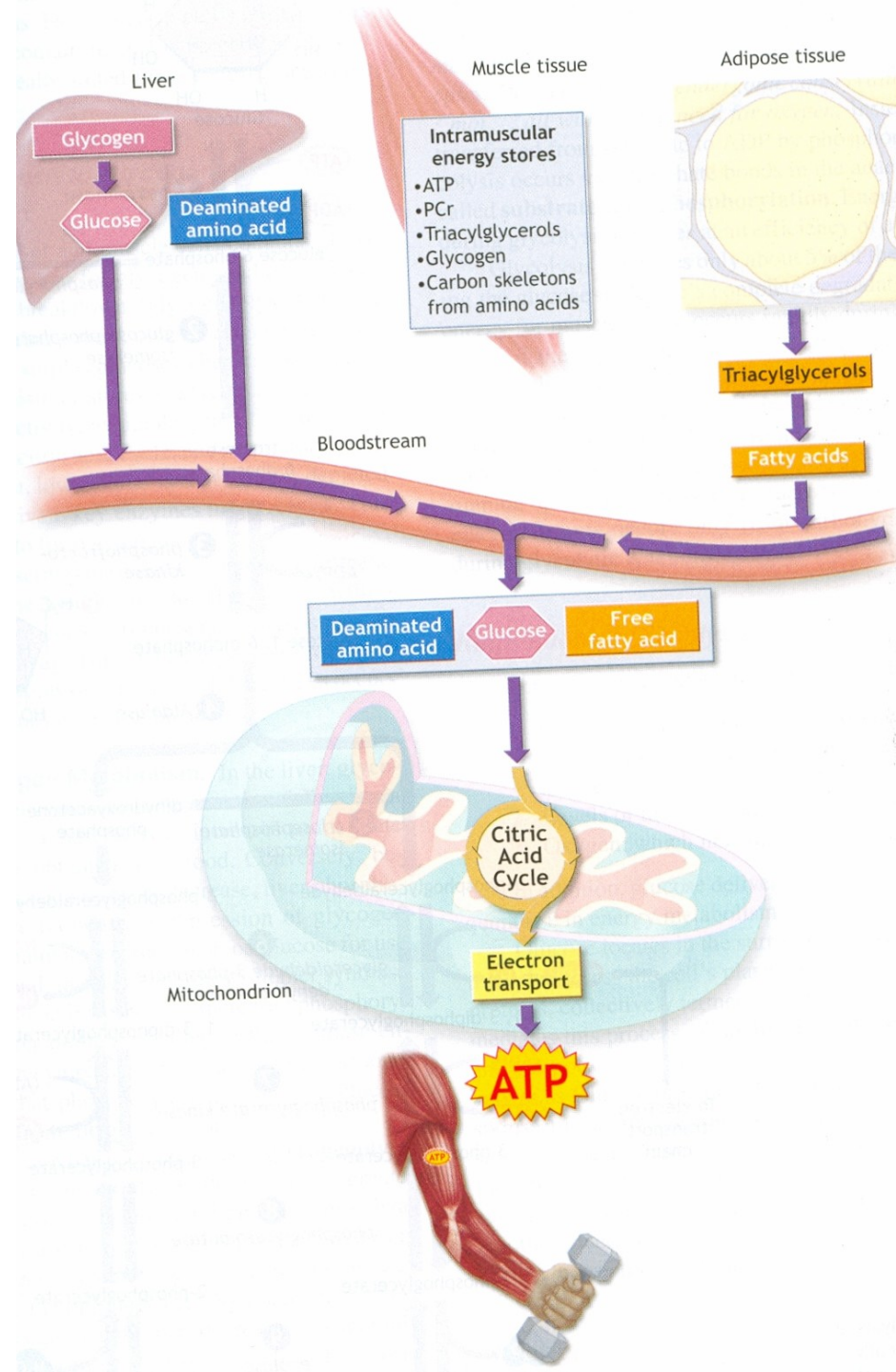
ATP (adenosintrifosfát) – přímý zdroj energie pro svalovou činnost. Bez ATP by činnost nemohla probíhat, nedošlo by k zasunutí vláken aktinu mezi vlákna myozinu (viz. Prezentace „svaly“). ATP je poměrně málo (přibližně na 5s intenzivní práce) proto se musí neustále obnovovat (resyntetizovat) (Dovalil et.al. 2008)

Zdroje energetických rezerv pro tvorbu ATP (játra, svaly, adipocyty)

Jeich transport pomocí krevního řečiště

Resyntéza ATP v Matrix Mitochondrie

Využití molekul ATP pomocí ATPázy myozinových hlavic pro svalovou kontrakci



Exercise Physiology
Mcardle, Catch
2007 str. 147

Zdroje energie pro pohybovou zátěž

Energie v organismu se čerpá z:

- Bezprostředních zdrojů tzv. makroergních **fosfátů** (ATP, ADP, CP)
- Náhradních zdrojů tzv. makroergních **substrátů** (cukrů, tuků, bílkovin)

Makroergní fosfáty adenosintrifosfát (ATP), Adenosindifosfát (ADP) a kreatinfosfát (CP) jsou přítomny v každé buňce.

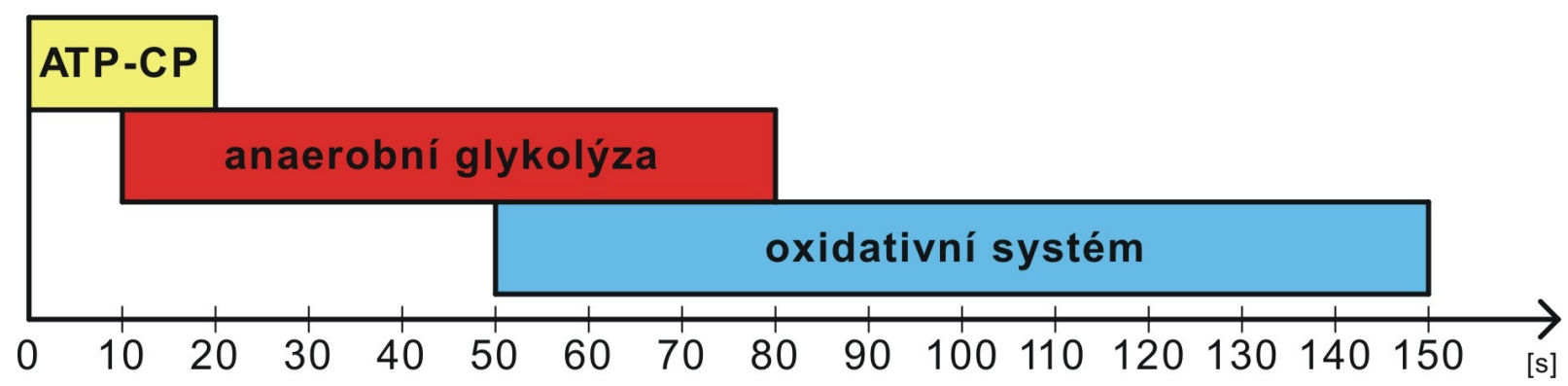
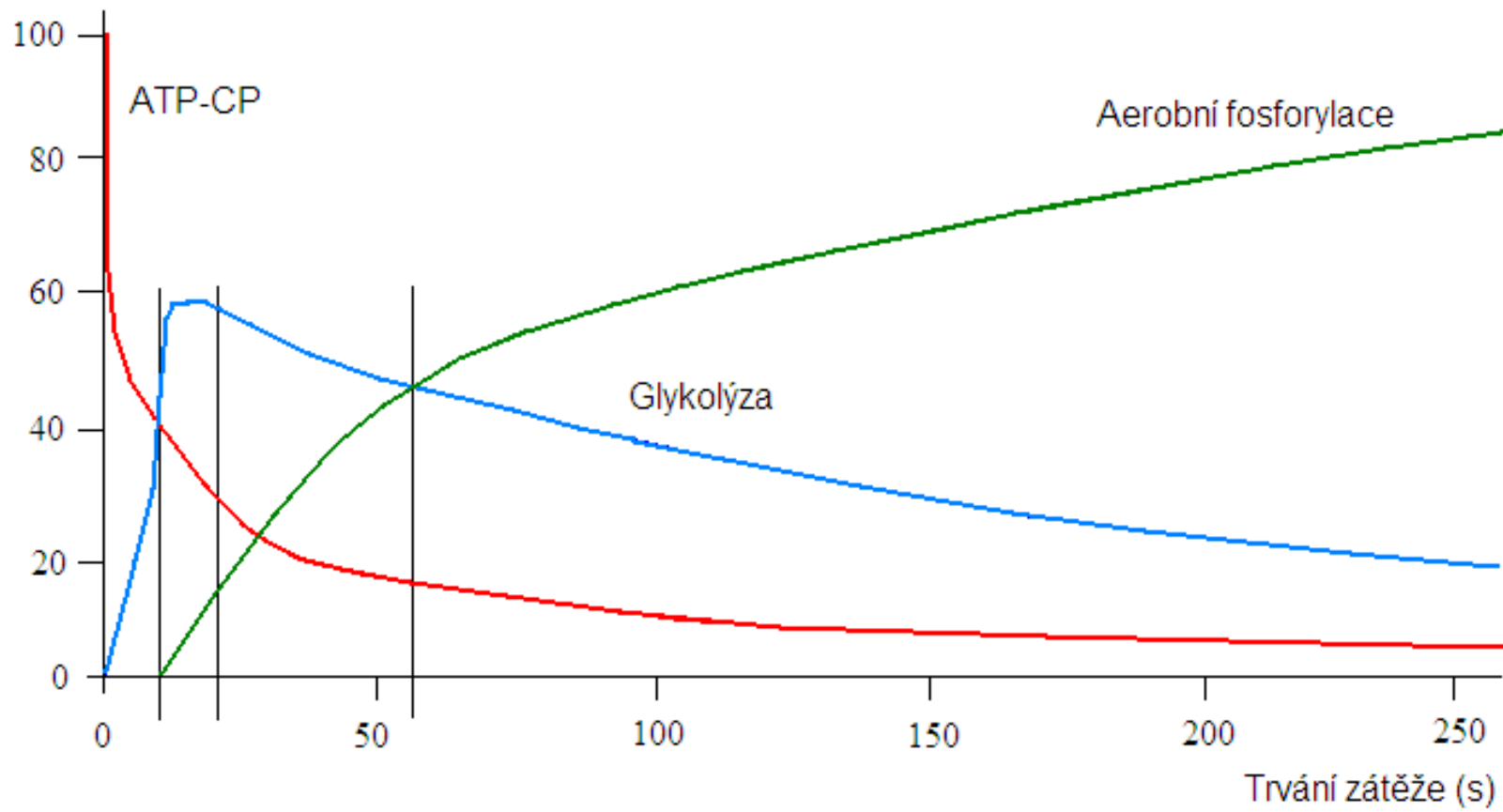
Rychlost obratu (výměna) ATP, vyjádřena v $\text{mol} \cdot \text{min}^{-1}$, je největší při maximální intenzitě zátěži (sprint). Trvá-li však zátěž dlouhou dobu, je obrat (výměna) sice menší, ale celkový objem je obrovský. Bylo spočítáno, že maratonec si v průběhu 2,5 hodinového závodu vyrobí až **80 kg ATP**

Zdroj: (Pastucha et. al, Tělovýchovné Lékařství)

Základní energetické systémy

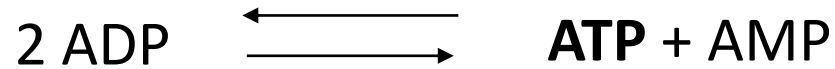
Buňky generují ATP skrze 3 rozdílné systémy

- 1. ATP CP systém** (Alaktátový, neoxidativní (anaerobní), Fosfátový, (Substrate level metabolism.)
- 2. Glykolytický systém** (anaerobní glykolýza, glykolytická fosforylace)
- 3. Oxidativní systém** (oxidativní (aerobní) fosforylace, aerobní glykolýza)

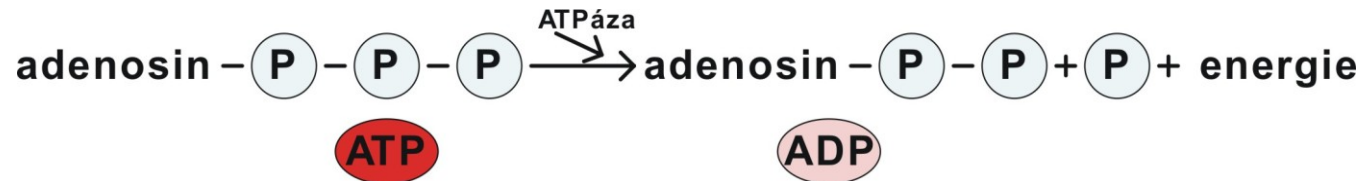


1. **ATP CP systém** - **Alaktátové** neoxidativní (anaerobní) způsoby E krytí – také tzv. **Substrate-level metabolism**

Myokinázová reakce, kdy molekula ATP vznikne ze 2 molekul ADP

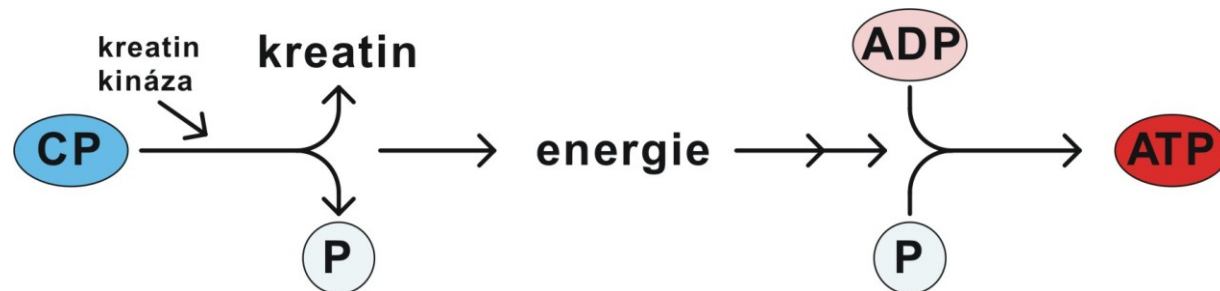


Hydrolýza ATP pomocí ATPázy



1-3 sekundy

ATP CP systém (Phospocreatine, PCr)



3-15 sek. All out sprint

Poznámka

- Koncentrace fosfagenů ve svalech se rychle spotřebovává následkem anaerobního cvičení velké intenzity. Kreatin fosfát se může výrazně snížit (50-70%) během krátké doby (5-30s) cvičení o velké intenzitě a může být téměř zcela spotřebován, přičemž výsledkem je vyčerpání po velmi intenzivním cvičení.
- Doplnění fosfagenu po cvičení může nastat během relativně krátké doby. Kompletní resyntéza ATP se objevuje do 3 až 5 minut, kompletní resyntéza kreatin fosfátu se objevuje do 8 minut.
- Zdroj: <https://www.fsps.muni.cz/emuni/data/reader/book-5/05.html>

2. Glykolytický (laktátový) systém, neoxidativní způsob získávání E. (anaerobní glykolýza, glykolytická fosforylace)



G....glykogen

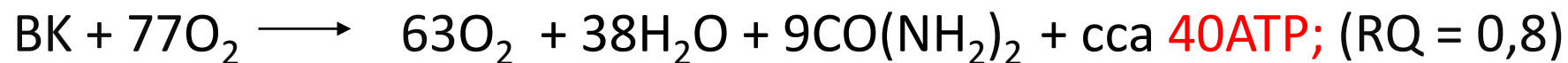
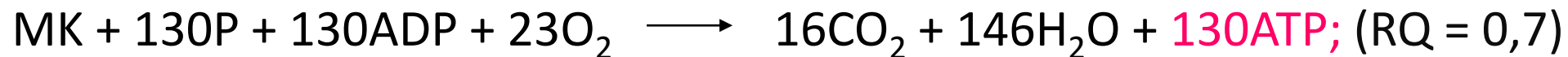
- metabolická acidóza
- hladina LA v krvi

Proces glykolýzy se odehrává skrze glykolytický systém, přes který je glukóza, nebo glykogen štěpen na Pyruvát. Pokud se glykolýza dále odehrává za nepřístupu kyslíku, je Pyruvát konvertován (přeměněn) na **laktát**

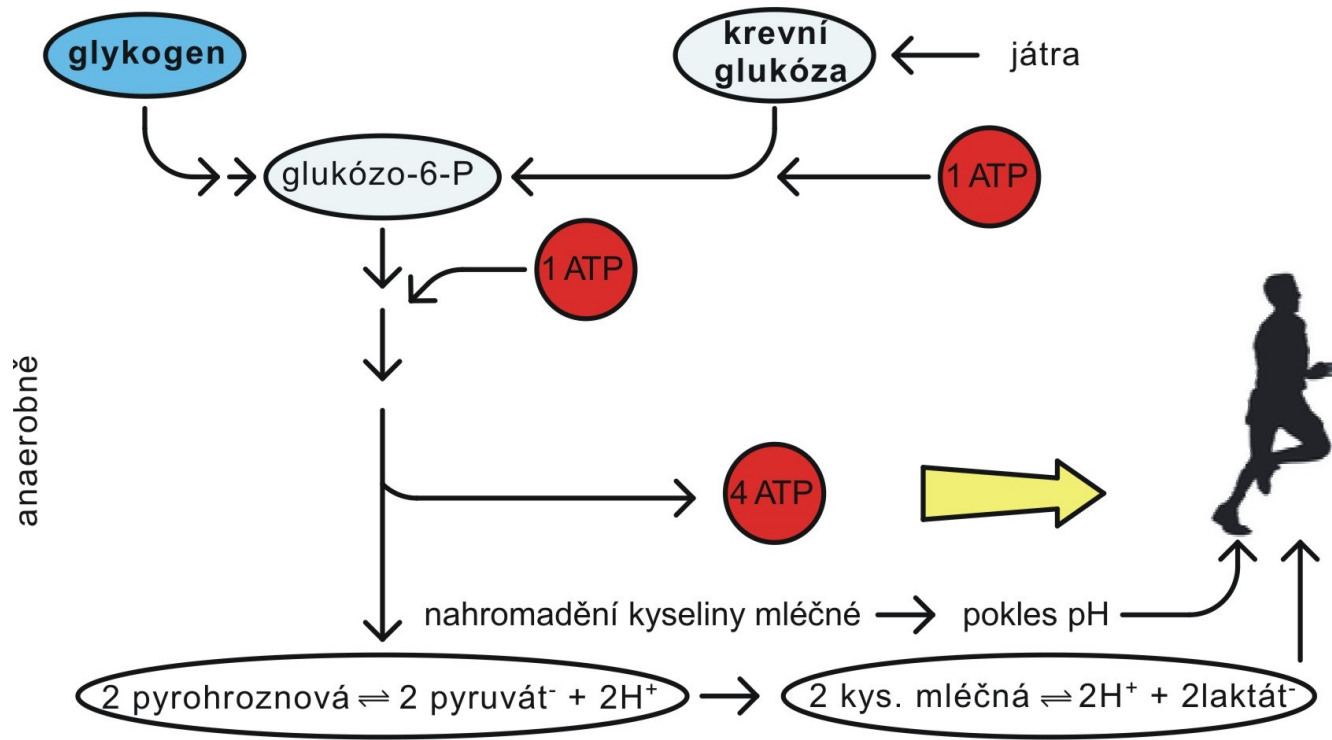
ATP CP systém společně s Glykolytickým systémem, jsou klíčové energetické zdroje pro výkony v délce trvání **v řádu několika sekund až 2 min.**

3. Oxidativní způsob (oxidativní fosforylace)

- nedochází k tvorbě laktátu

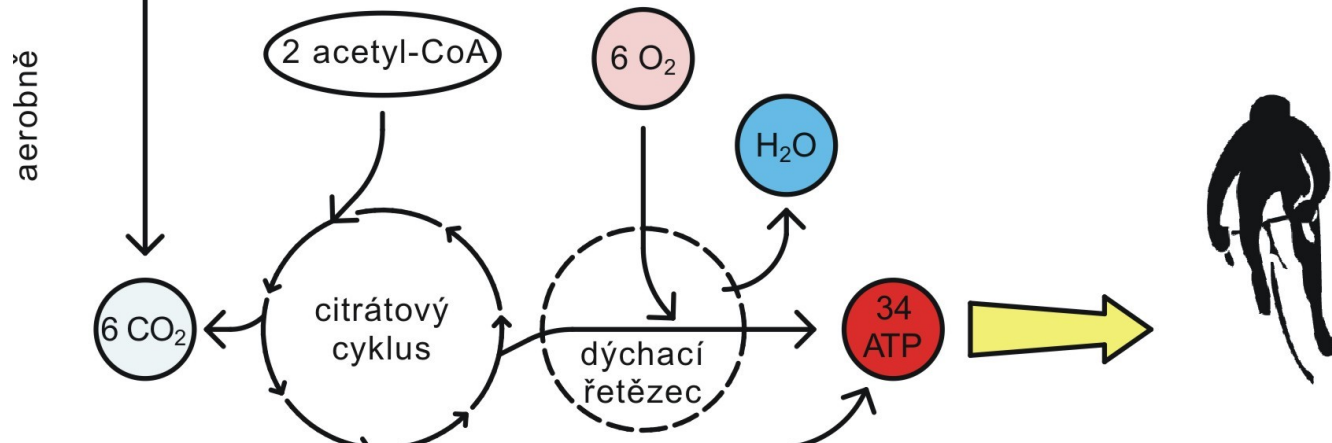


anaerobní glykolýza



Jedná se o chemickou reakci, při které se ATP obnovuje z glykogenu, resp. glukózy cestou anaerobní (bez přístupu kyslíku). Při těchto pochodech ve svalecth vzniká sůl kyseliny mléčné – laktát. Tento energetický systém produkuje 2 molekuly ATP. Glykolýza – Přeměna glukózy na 2 molekuly pyruvátu za čistého výtěžku z molekul ATP a 2 molekul NADH (anaerobní štěpení glukózy na pyruvát a laktát)

oxidace glukózy



Pro aerobní resyntézu ATP se za přístupu kyslíku využívá glykogen, resp. glukóza, která se glykolýzou mění v pyruvát, který se následně v mitochondriích svalových vláken přeměnění (konvertuje) na acetyl CoA. Acetyl CoA vstupuje do Krebsova cyklu a je tak umožněn vznik molekul ATP.

Poznámka

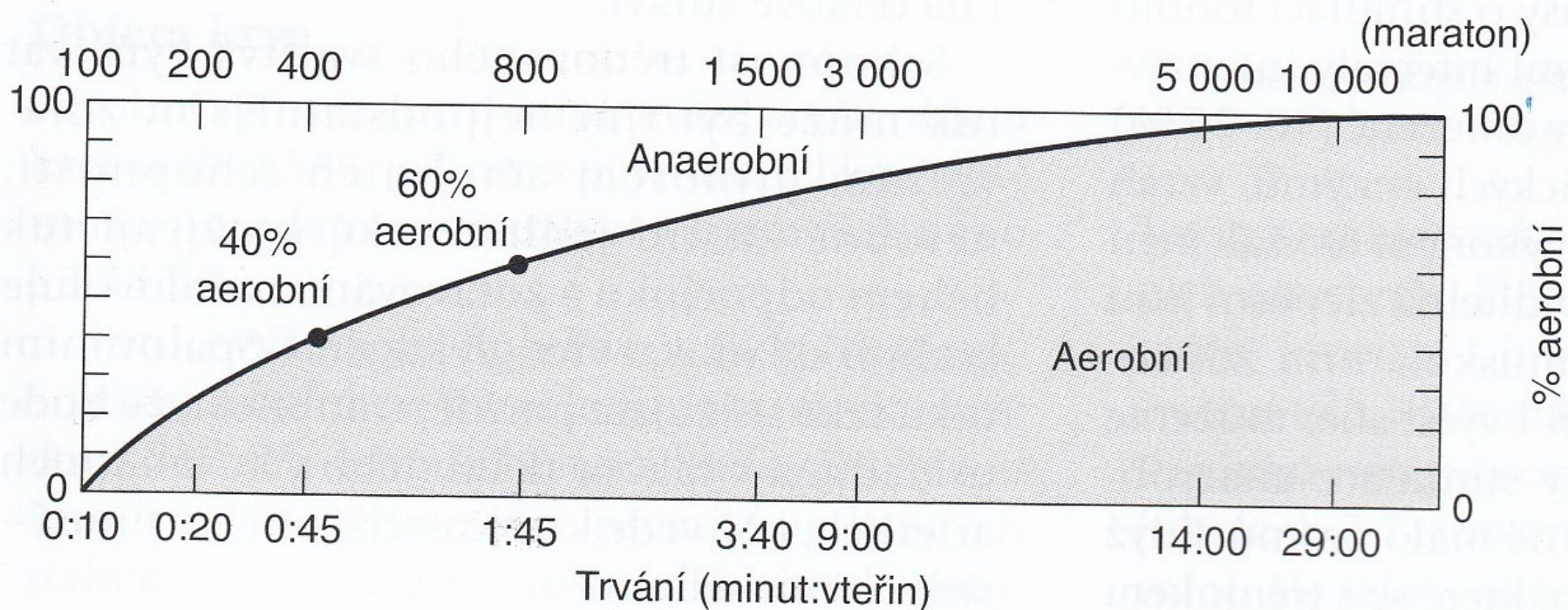
Konečným výsledkem glykolýzy je pyruvát, který může pokračovat jedním ze dvou následujících směrů:

1.pyruvát může být přeměněn na laktát (anaerobní cesta – Glykolytická fosforylace)

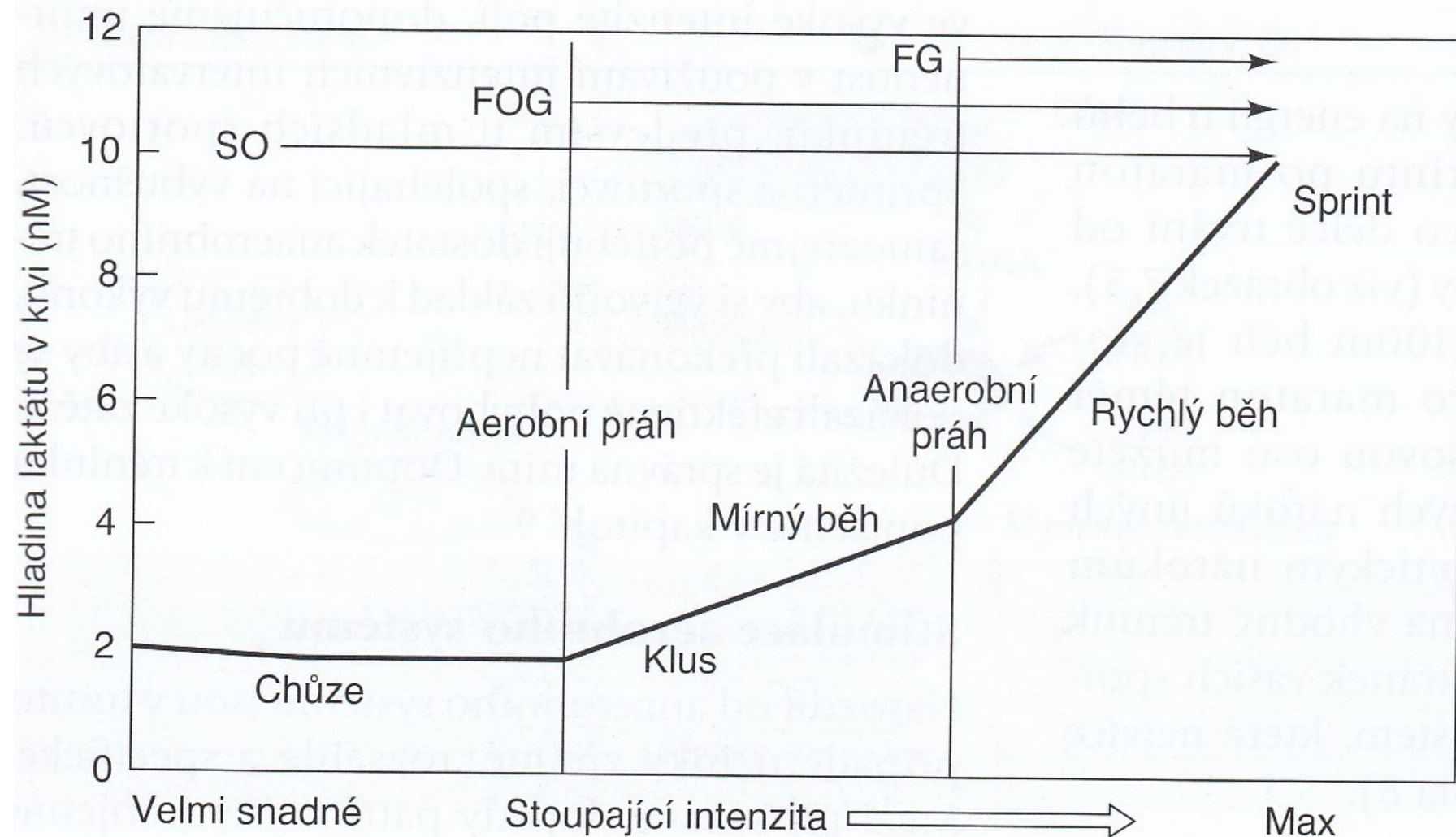
2.pyruvát může být přesunut do mitochondrií (aerobní cesta – Krebsův Cyklus)

Zdroj:<https://www.fsps.muni.cz/emuni/data/reader/book-5/05.html>

Běžeczký závod (délka v metrech)



OBRÁZEK 7.5 Anaerobní a aerobní zdroje energie vztažené k délce a trvání běhu. Kratší závody, například běh na 400 m, jsou převážně anaerobní (60 %), kdežto běh na 800 m je z 60 % aerobní. Pro vzdálenosti přesahující 1500 m (trvání delší než 4 minuty) by se trénink měl soustředit na aerobní zdatnost. Převzato a upraveno se svolením z B.J. Sharkey, 2002, *Fitness & health*, 5th ed (Champaign, IL: Human Kinetics), 372.



OBRÁZEK 7.4 Laktátové prahy
 Když intenzita cvičení roste, aktivujeme nejprve pomalá oxidativní (SO) vlákna, poté rychlá oxidativně glykolytická (FOG) a nakonec rychlá glykolytická (FG). Nad aerobním prahem se začíná v krvi hromadit větší množství laktátu, protože produkuje více kyseliny mléčné, než dokážeme odstraňovat z krevního oběhu. Nad anaerobním prahem se hromadění laktátu v krvi zrychluje kvůli zvýšené aktivaci FG vláken (ta produkují více laktátu) a celkově vyššímu počtu aktivovaných vláken, která tak nemohou vstřebávat a odstraňovat laktát.

Dostupné zdroje energie

| Zdroj | Zásoby | Energie (kcal) | Km* |
|------------------|-----------------------------|--------------------|-----------|
| ATP a CP | Malé množství ve svalech | 4–5 kcal | 0,072 |
| SACHARIDY | | | |
| Svalový glykogen | 20 g/kg svalu | 1 600 kcal | 25,75 |
| Jaterní glykogen | 80 g | 320 kcal | 5,15 |
| Krevní glukóza | 4 g | 16 kcal | 0,257 |
| TUK | | | |
| Svaly | Omezené, závisí na tréninku | 1 500 | 24,14 |
| Tukové tkáně | Různé** | 30 000–70 000 kcal | 483–1 127 |

* Za předpokladu spotřeby přibližně 62kcal/km a spotřebování veškeré energie pracujícími svaly.

** Závisí na hmotnosti těla a procentu tělesného tuku. Při hmotnosti 68 kg a 10% tuku (tedy 6,8 kg tuku) obsahuje přibližně 52 500 kcal.

PCr = kreatinfosfát

Pásma energetické krytí

Anaerobní alaktátové

Anaerobní laktátové

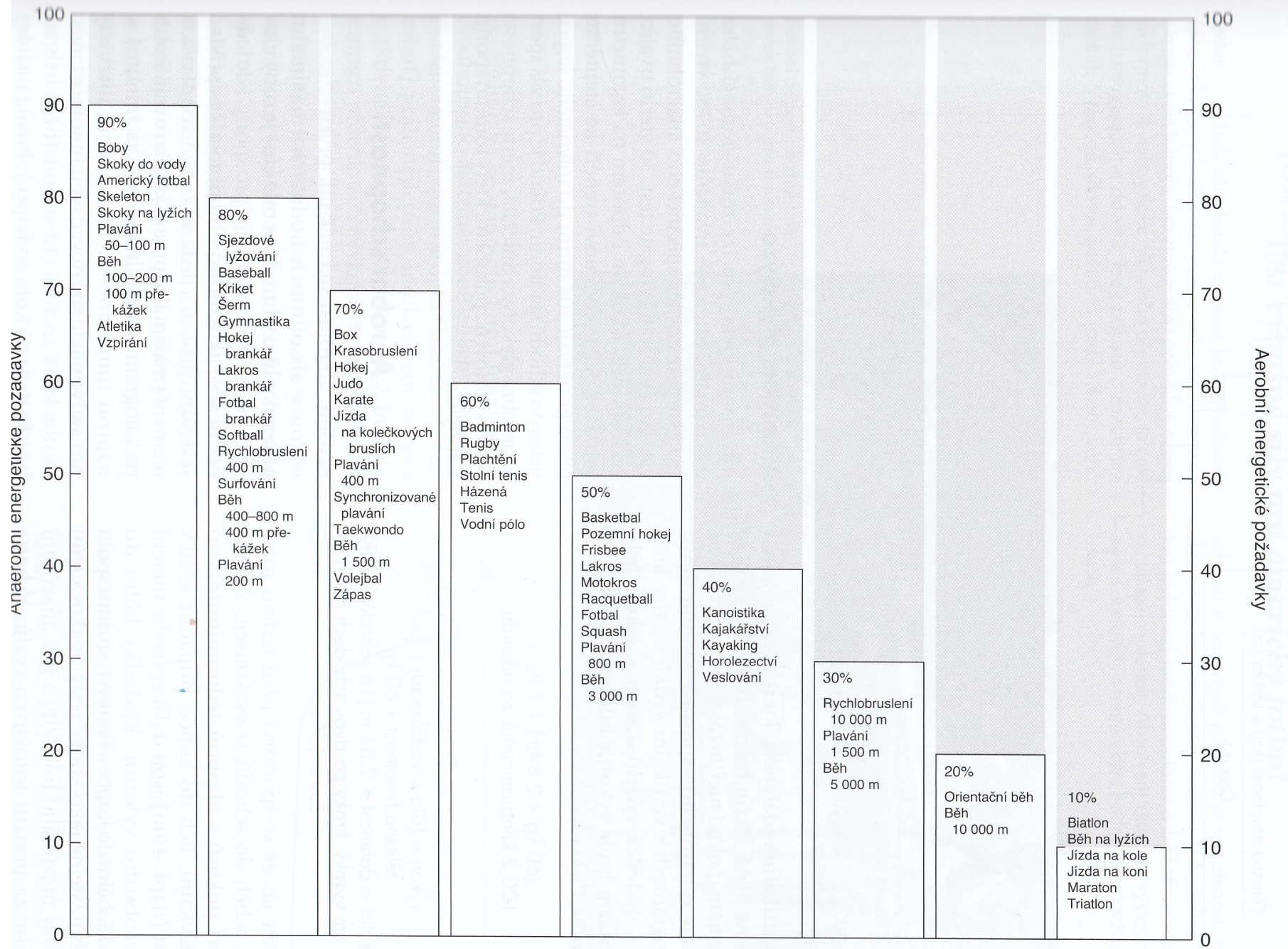
Aerobní alaktátové

Tabulka 9: Podíl energetických systémů (%) na činnosti různé doby trvání a relativně maximální intenzity = po uvedenou dobu co možná nejvyšší (podle Mac Dougall a kol. 1982)

| Doba činnosti | 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 |

Práce ve skupině

- Odhadněte čas zátěže a poměrové zapojení metabolických systémů
 1. Sprint na 100m
 2. Vzpírání – trh
 3. Cyklista na Tour de France
 4. Rychlobruslení 1000m
 5. Běh na 5000m



OBRAZEK 8.1 Anaerobní a aerobní požadavky rozdílných sportů.

řevzato se svolení z B.J. Sharkey, 1986, *Coaches guide to sport physiology* (Champaign, IL: Human Kinetics), 100.

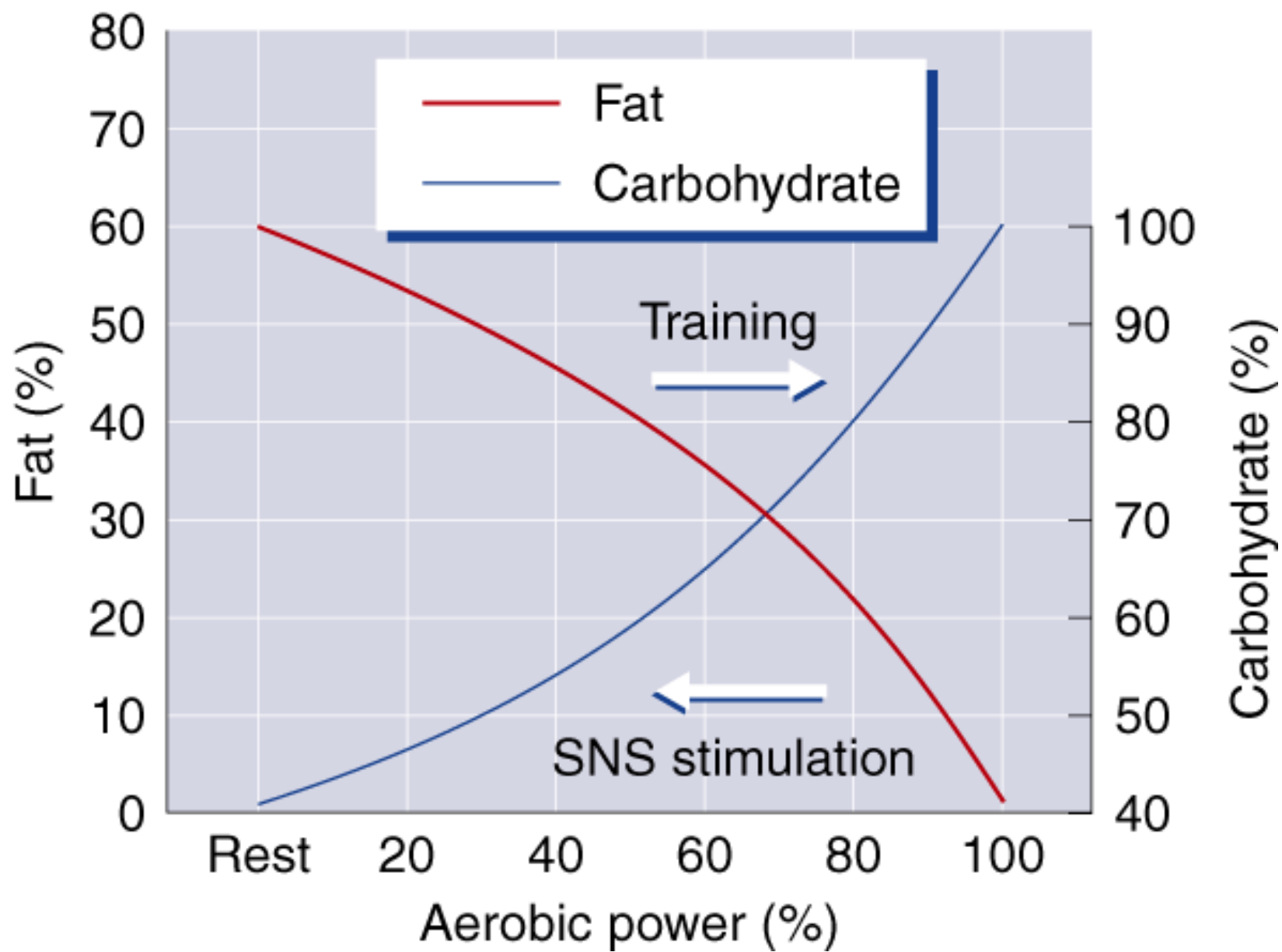
Obnova energetických zdrojů

| Intenzita výkonu | Trvání výkonu | Období superkompenzace |
|------------------|---------------|------------------------|
| Maximální | do 10 sec. | okolo 4 min |
| Submaximální | do 2 min | okolo 20 min |
| Střední | do 15 min | okolo 60 min |
| Mírná | do 5 hod. | 12–24 hod. |

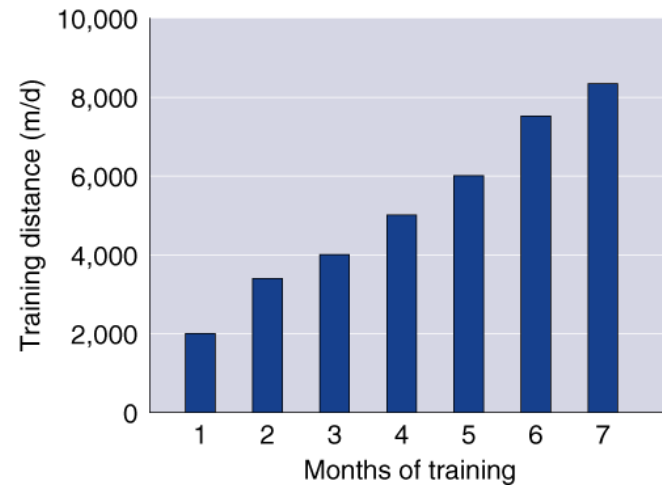
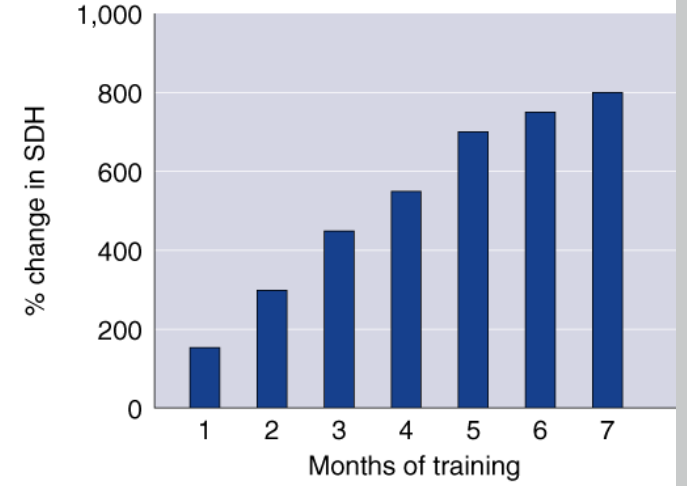
| | Doba | |
|-------------------------------------|------------------------|-----------|
| | minimální | maximální |
| Obnova fosfagenu | 2 min | 3 min |
| Obnova svalového glykogenu | 10 hod. | 46 hod. |
| | Kontinuální zatížení | |
| | 5 hod. | 24 hod. |
| | Intermitentní zatížení | |
| Odstranění laktátu (aktivní obnova) | 30 min | 1 hod. |
| Odstranění laktátu (pasivní obnova) | 1 hod. | 2 hod. |

Metabolické adaptace (aerobní)

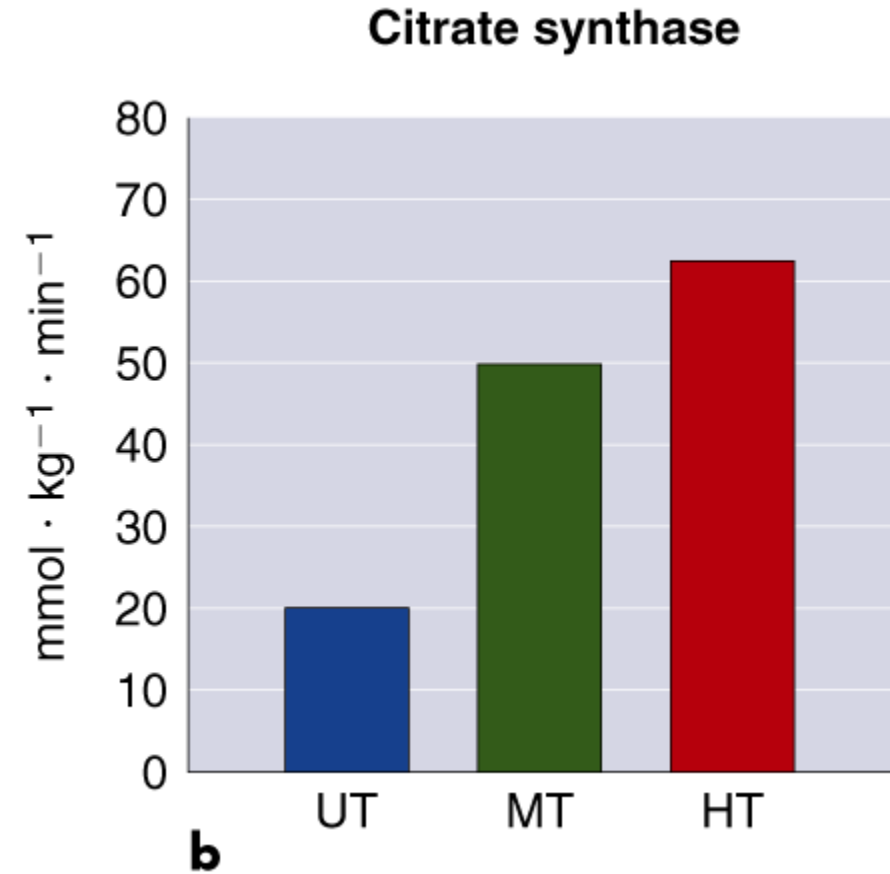
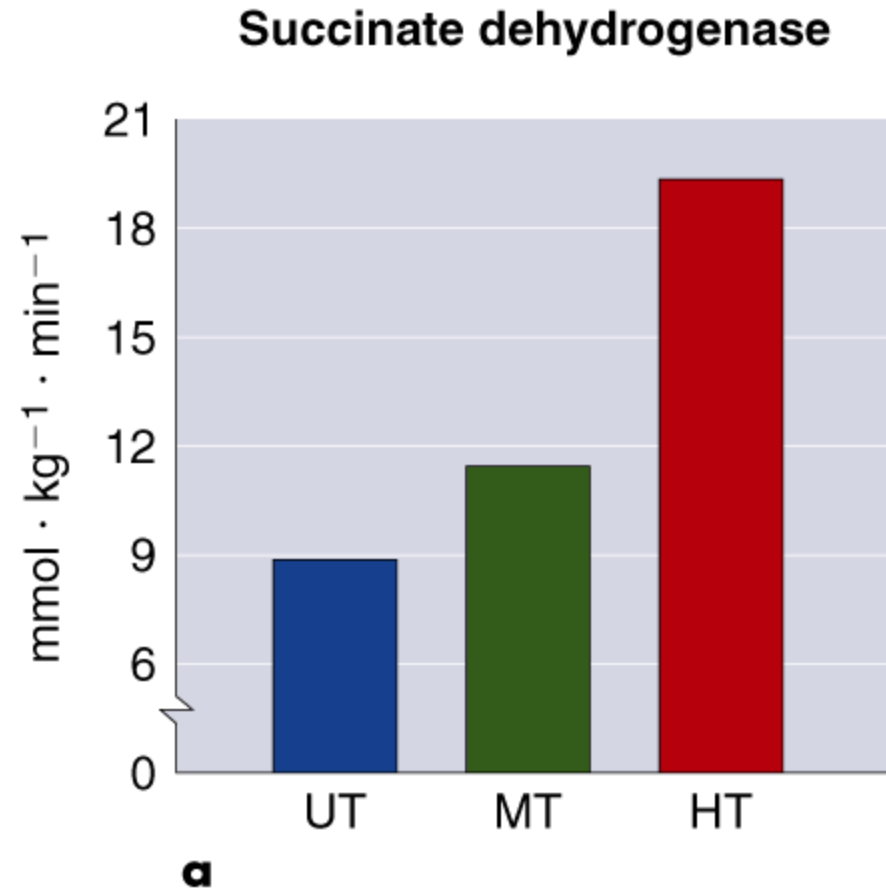
- Vyšší průtok krve
- Zvýšená kapacita svalů produkovat ATP
- Zvýšená aerobní kapacita a vyšší VO_2 max
- Vyšší aktivita mitochondrií a oxidativních enzymů (sukcinátdehydrogenáza, citrátsyntáza)
- Větší zásoba glykogenu a volných mastných kys. (FFA) ve svalech
- Schopnost efektivněji využít FFA (dostupnost, rychlost oxidace)
- Schopnost šetřit glykogen během delšího cvičení
- Magnituda změn je podmíněna geneticky



Adaptace enzymů (SDH)



Aktivita enzymů SDH a CS

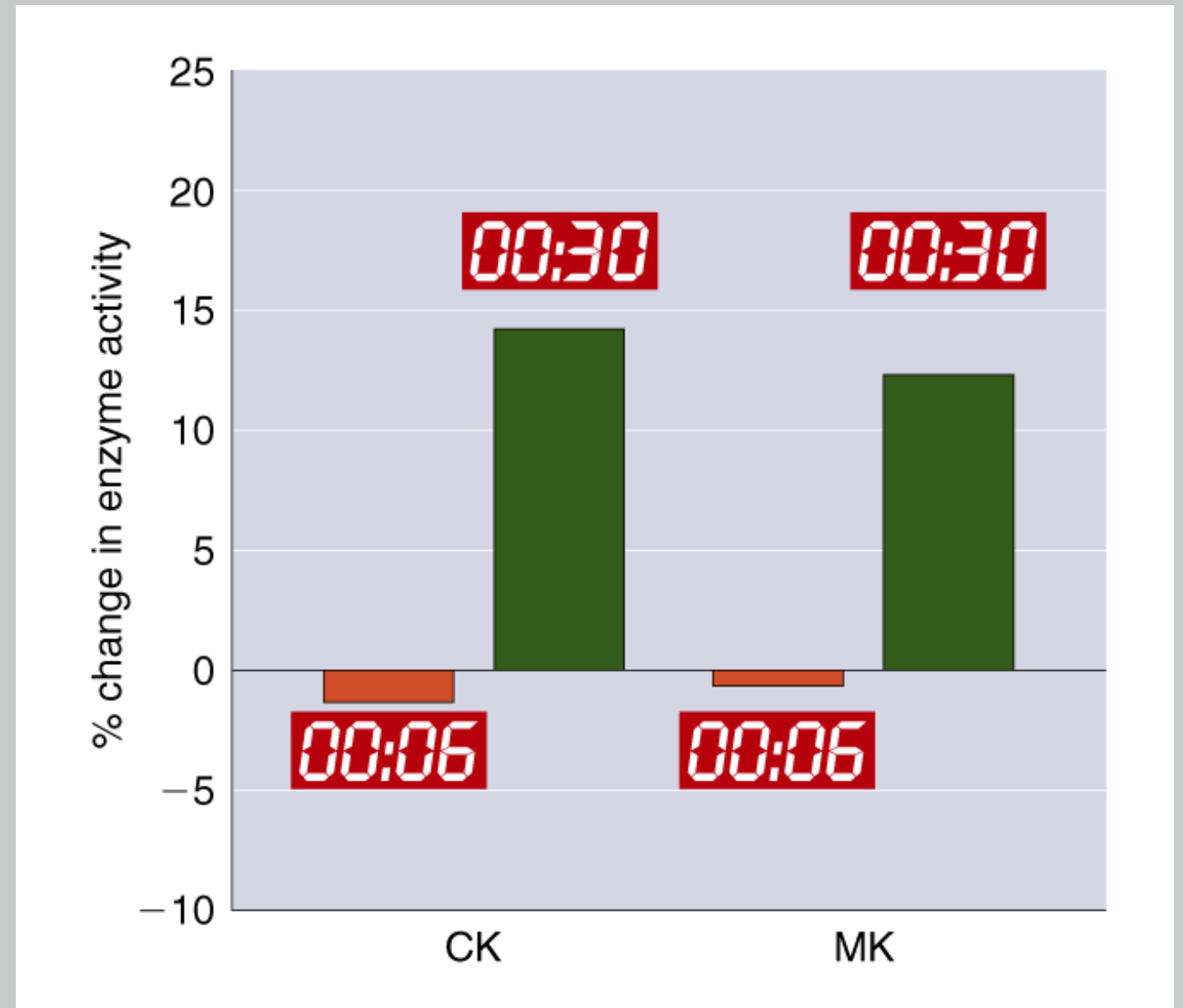


Metabolické adaptace (anaerobní)

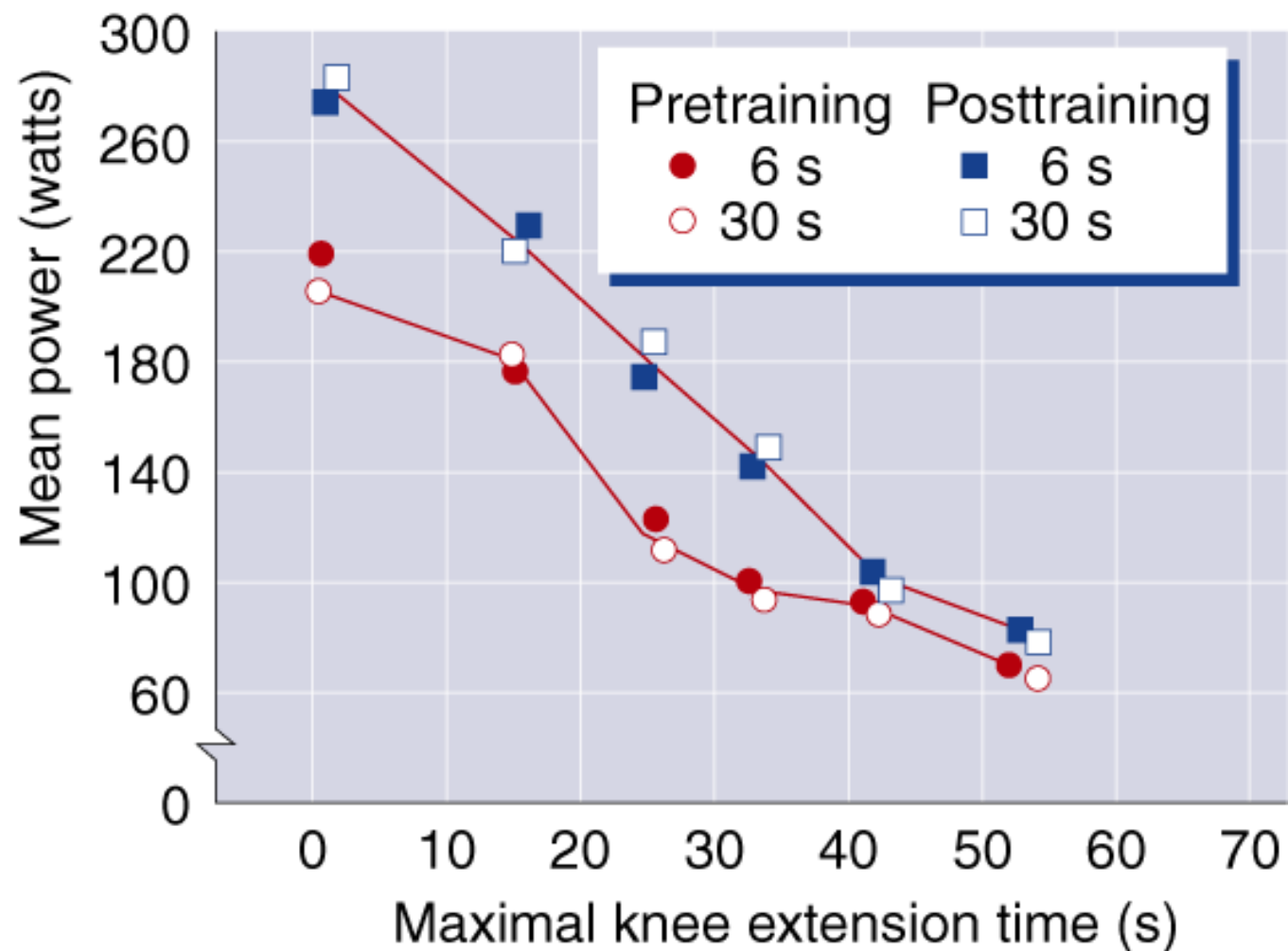
- Větší svalová síla
- Zvýšená tolerance k acidobazické nerovnováze během cvičení vysoké intenzity
- Mírně zvýšená aktivita ATP-CP a glykolytických enzymů
- Zlepšení ekonomiky pohybu
- Zvýšená pufrovací kapacita

Metabolické adaptace (anaerobní)

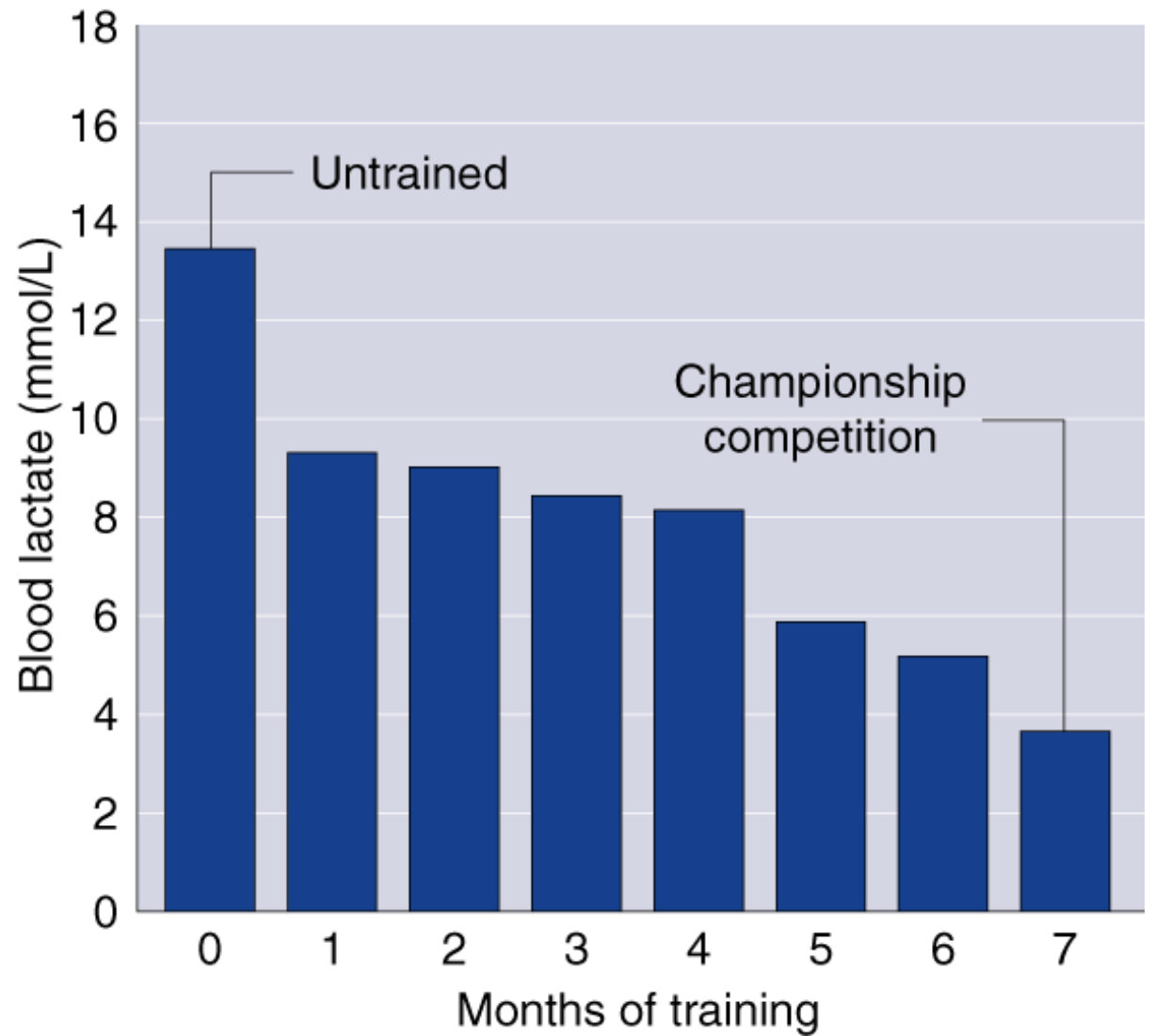
- Aktivita kreatinkinázy a myokinázy během maximálního zatížení
- 6s trvajícím opakovaným zatížením nedošlo ke zvýšení aktivity CK a MK
- 30s zatížením se ale aktivita zvýšila významně
- Nárůst síly byl v obou případech téměř stejný (cca 14 %)



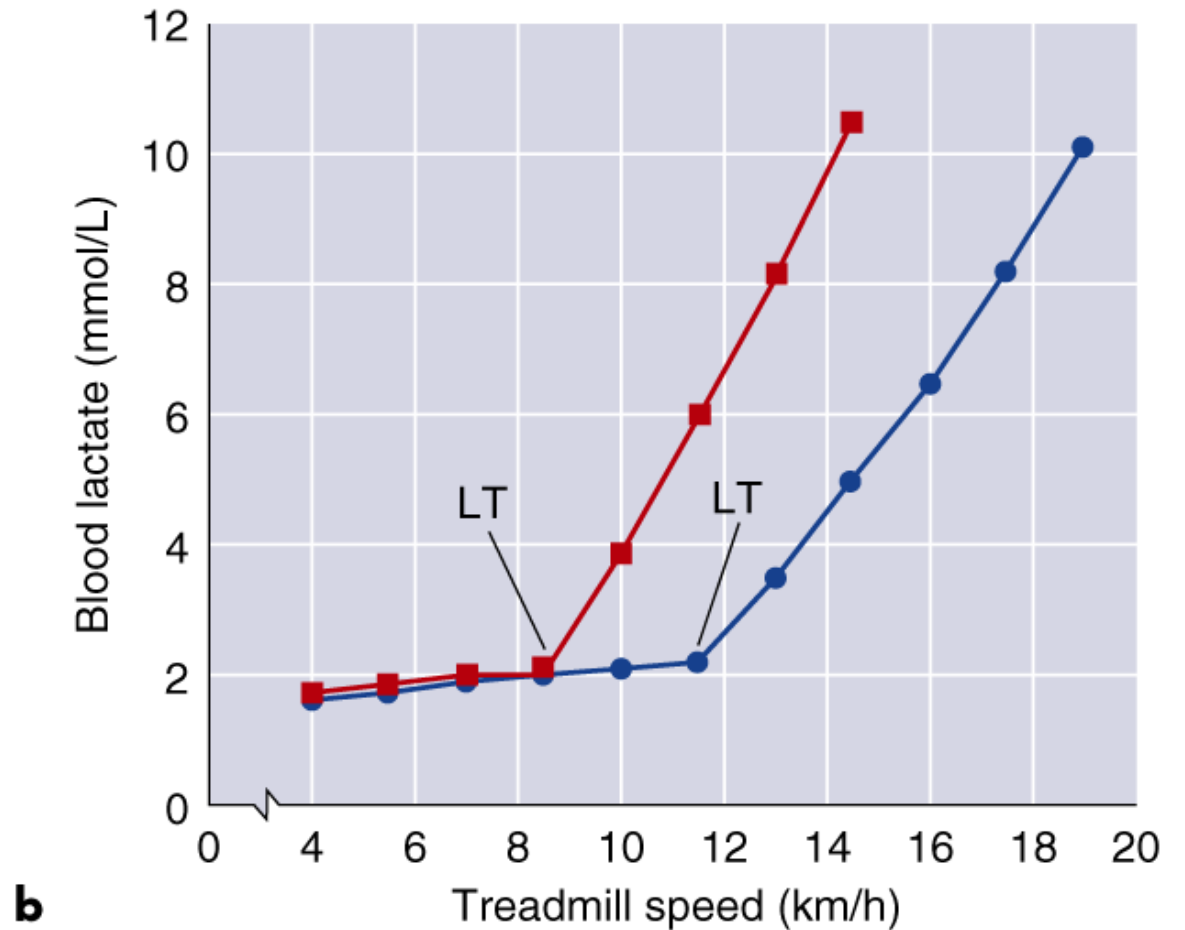
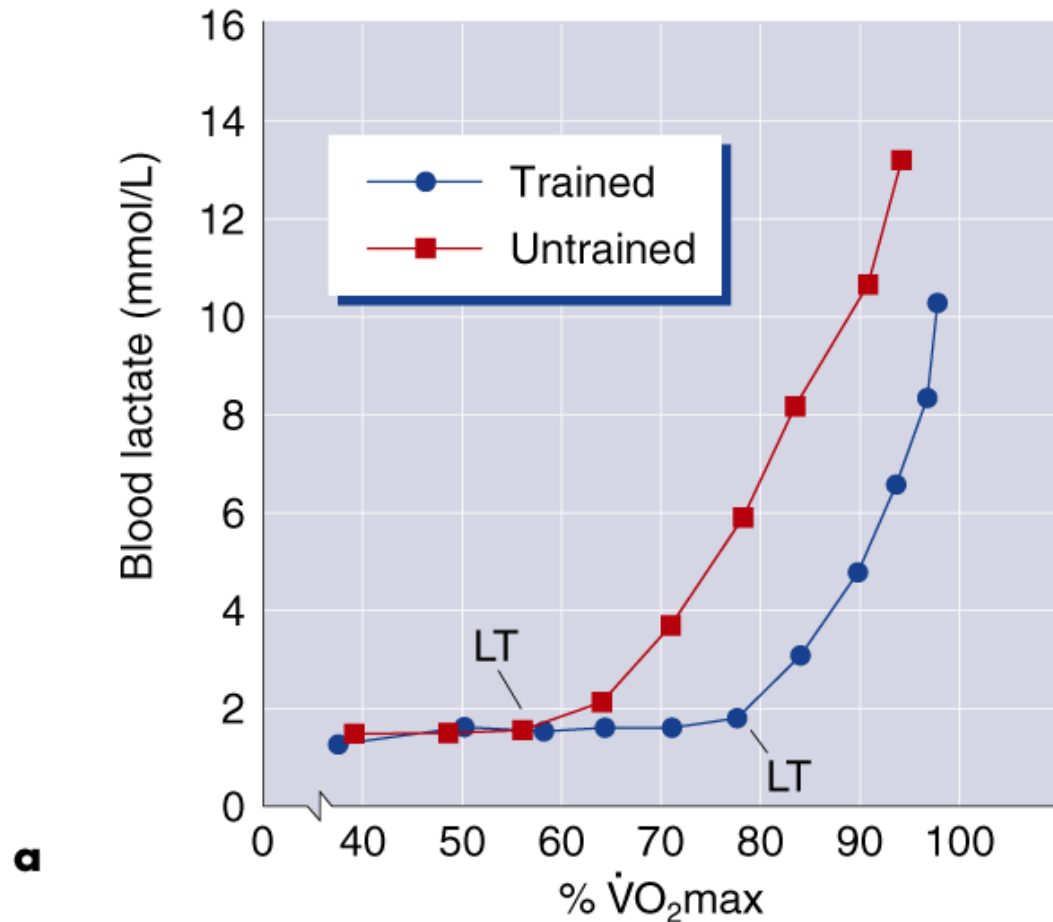
Výkon během 60s testu max. intenzitou



Koncentrace laktátu vlivem tréninku



Posun laktátového prahu vlivem tréninku



Aktivita enzymů u (ne)trénované populace (mmol/g/min)

| Aerobní (oxidativní) enzymy | netrénovaný | anaerobně trénovaný | aerobně trénovaný |
|-----------------------------|-------------|---------------------|-------------------|
| Sukcinát-dehydrogenáza | 8,1 | 8 | 20,8 |
| Malát dehydrogenáza | 45,5 | 46 | 65,5 |
| Karnitin-palmit-transferáza | 1,5 | 1,5 | 2,3 |
| Anaerobní enzymy | netrénovaný | anaerobně trénovaný | aerobně trénovaný |
| ATP-CP systém | | | |
| Kreatinkináza | 609 | 702 | 589 |
| Myokináza | 309 | 350 | 297 |
| Glykolytický systém | | | |
| Fosforyláza | 5,3 | 5,8 | 3,7 |
| Fosfofruktokináza | 19,9 | 29,2 | 18,9 |
| Laktátdehydrogenáza | 766 | 811 | 621 |

Práce ve skupině

- Napište co nejvíce metabolických adaptací na **anaerobní** trénink

- Napište co nejvíce metabolických adaptací na **aerobní** trénink

BAZÁLNÍ METABOLISMUS (BMR)

Potřeba energie pro udržení všech vitálních funkcí

Bazální metabolismus (BM) je nejnižší hodnotou látkové přeměny. Bazální metabolismus má hodnotu 100% a představuje základ, ke kterému se vztahují všechna navýšení daná různými denními aktivitami.

Hodnota náležitého bazálního metabolismu (nál. BM) je hodnotou, která náleží tělesné hmotnosti, výšce, věku a pohlaví sledovaného jedince.

Klidový metabolismus (KM) je metabolismus při tělesném klidu, bez dodržení přísných kritérií bazálního metabolismu. **KM činí přibližně 110-120% nál. BM**

Zdroj: (Pastucha et. al, Tělovýchovné Lékařství)

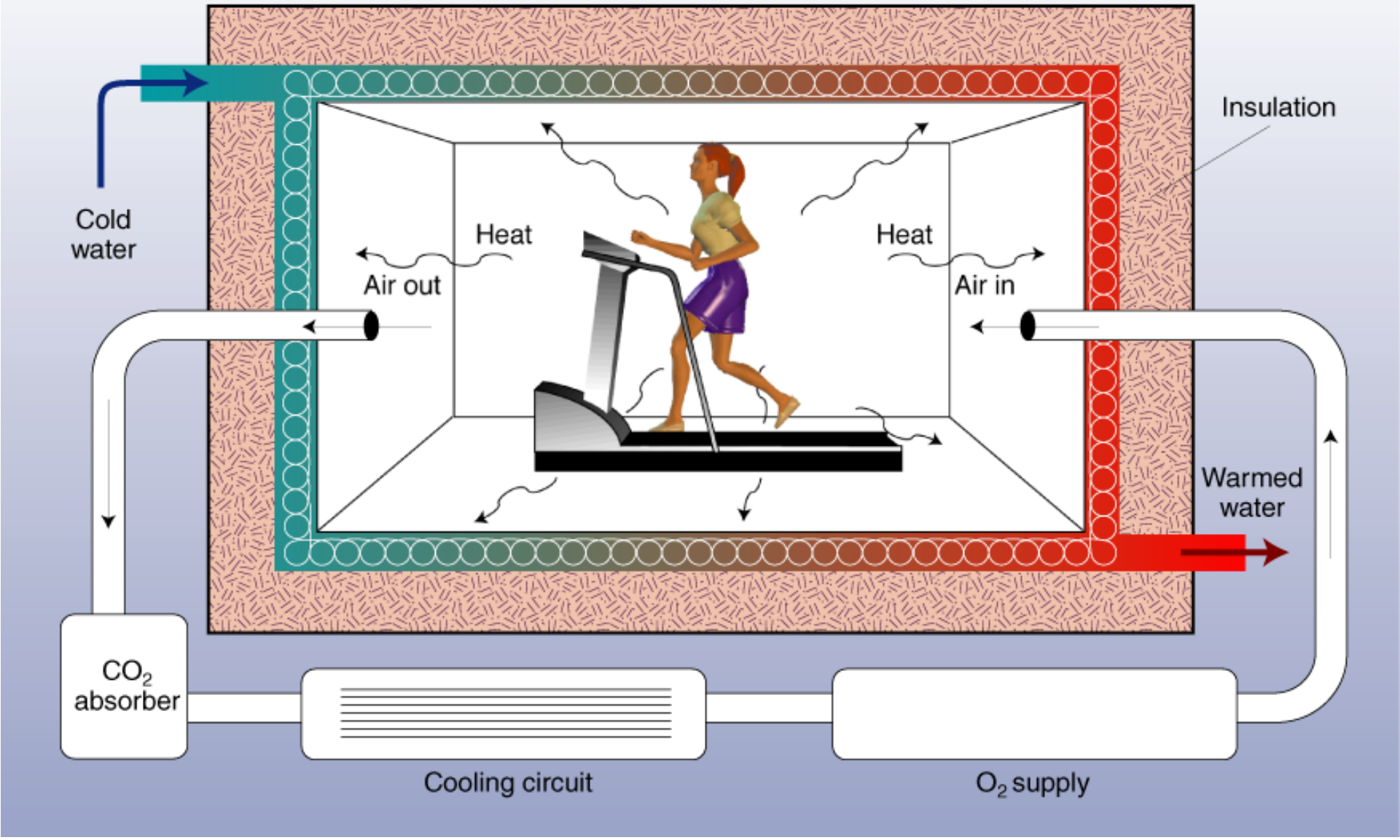
Kalorimetrie

PŘÍMÁ

- měření tělem vydané energie v podobě tepla (jen u lab. zvířat)

NEPŘÍMÁ

- měření podle spotřeby kyslíku
(spotřeba O_2 a intenzita zátěže jsou na sobě přímo závislé)





Výpočet Energetického výdeje

Kalorimetrie (nepřímá energometrie)

- pro praxi se používají tabulkové hodnoty, tzv. náležité hodnoty bazálního metabolismu (nál. BM)
- nál.BM udává průměrný energetický výdej za jednotku času

Vzoreček pro výpočet energetického výdeje:

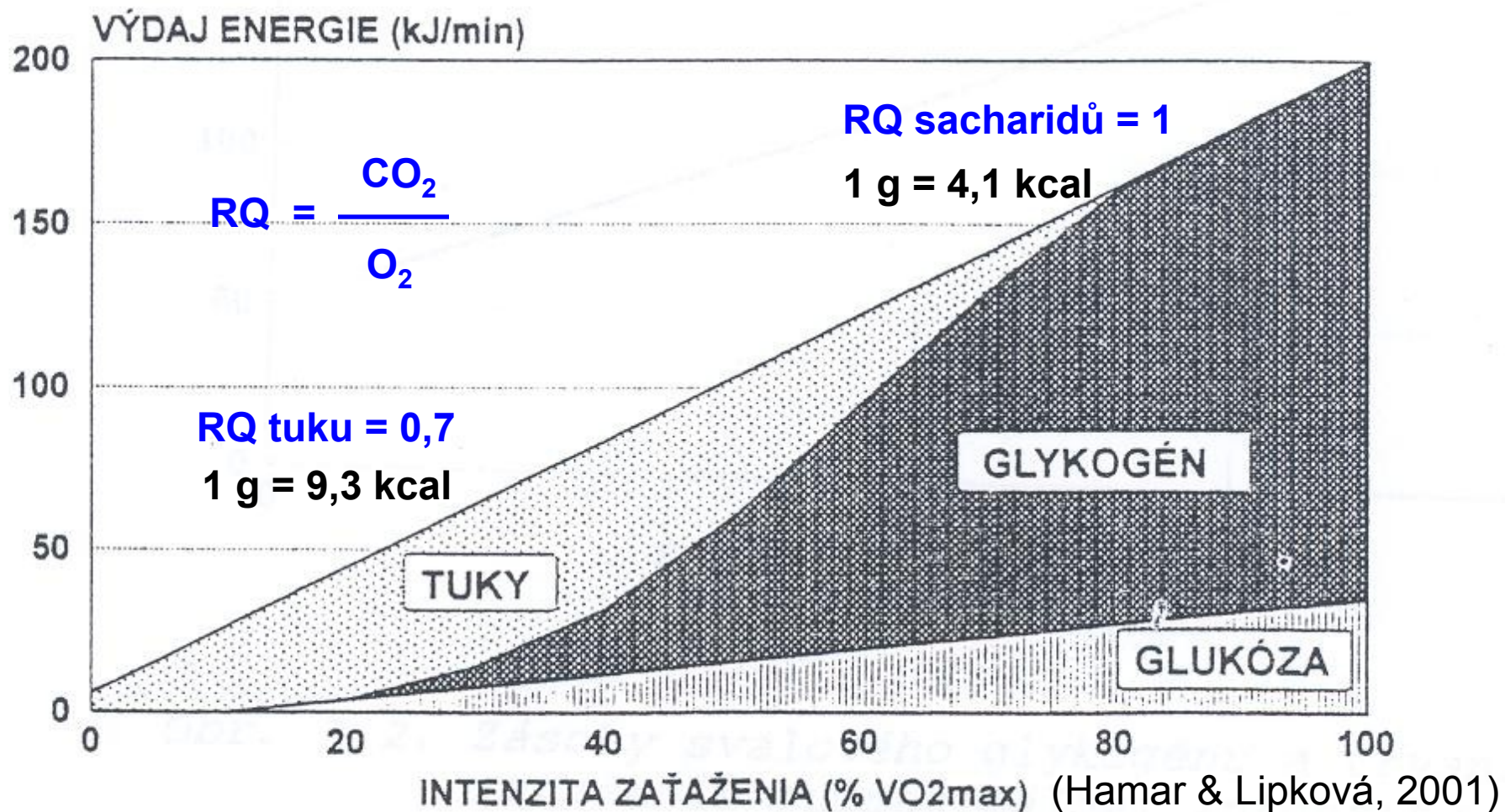
$$\text{Výpočet (kJ)} = \frac{\text{doba činnosti (hod)} * \% \text{ nál.BM} * \text{BM (kJ*hod}^{-1}\text{)}}{100}$$

Tabulka 3 Průměrné zvýšení energetického výdeje u habituálních aktivit (upraveno dle Heller, 2005)

| Pohybová aktivita/sport | % nál. BM | Pohybová aktivita/sport | % nál. BM |
|--------------------------------|------------------|--------------------------------|------------------|
| Chůze 4 km/hod | 290 | Aerobik | 660 |
| Chůze 5 km/hod | 355 | Badminton | 540-790 |
| Chůze 6 km/hod | 445 | Basketbal | 1000 |
| Chůze 7 km/hod | 520 | Fotbal | 1000 |
| Běh 9 km/hod | 860 | Golf | 350-620 |
| Běh 10 km/hod | 950 | Gymnastika | 620 |
| Běh 12 km/hod | 1060 | Lední hokej | 1000 |
| Běh 14 km/hod | 1280 | Vysokohorská turistika | 610 |
| Cyklistika 12 km/hod | 400 | Sjezdové lyžování - rekreační | 1000 |
| Cyklistika 16 km/hod | 580 | Běžecké lyžování - rekreační | 750 |
| Cyklistika 20 km/h | 800 | Protahování | 1000 |
| Cyklistika - závod | 1000 | Squash | 1000 |
| Plavání 1,2 km/hod | 330 | Stolní tenis | 540 |
| Plavání 1,8 km/hod | 530 | Tenis | 825 |
| Plavání 3,0 km/hod | 1000 | Volejbal | 650 |

Zdroje energetického krytí při zvyšující se intenzitě

Respirační kvocient = poměr mezi vydýchaným oxidem uhličitým a spotřebovaným kyslíkem



| RQ (RER) | % kcal | |
|----------|-----------|--------|
| | sacharidy | lipidy |
| 0,71 | 0,0 | 100,0 |
| 0,75 | 15,6 | 84,4 |
| 0,80 | 33,4 | 66,6 |
| 0,85 | 50,7 | 49,3 |
| 0,90 | 67,5 | 32,5 |
| 0,95 | 84,0 | 16,0 |
| 1,00 | 100,0 | 0,0 |

Krokoměry, pedometry, wattmetry



$$1\text{kcal} = 4,2 \text{ kJ}$$

$$1\text{W} = 1\text{J} / \text{s}$$

Spotřeba E na základě vykonané práce (W) lze vyjádřit vztahem

$$\text{Energy (kcal)} = \text{avg power (W)} * \text{duration (t - hours)} * 3,6$$

Výkon je **skalární fyzikální veličina**, která vyjadřuje množství **práce** vykonané za jednotku **času**.

- výsledek rovnice: akcelerace * hmotnost = síla (II. New. zákon)
- síla * kadence/frekvence = **výkon**

Metabolický ekvivalent MET

- Jako 1 MET byla stanovena klidová hodnota VO_2 v sedě, odpovídající přibližně 3,5 ml/kg/min
- Hodnoty kolísají v rozmezí od 0,9 MET (při spaní) až po např. 18,4 MET (při maratónu)
- Zdroj: (Pastucha et. al, Tělovýchovné Lékařství)

Výdej energie při pohybových aktivitách závisí na:

- intenzitě
- délce trvání

$$1\text{ l O}_2 = 20 \text{ kJ} = 5 \text{ kcal}$$

$$1\text{ W} = 1\text{ J} / \text{s}$$