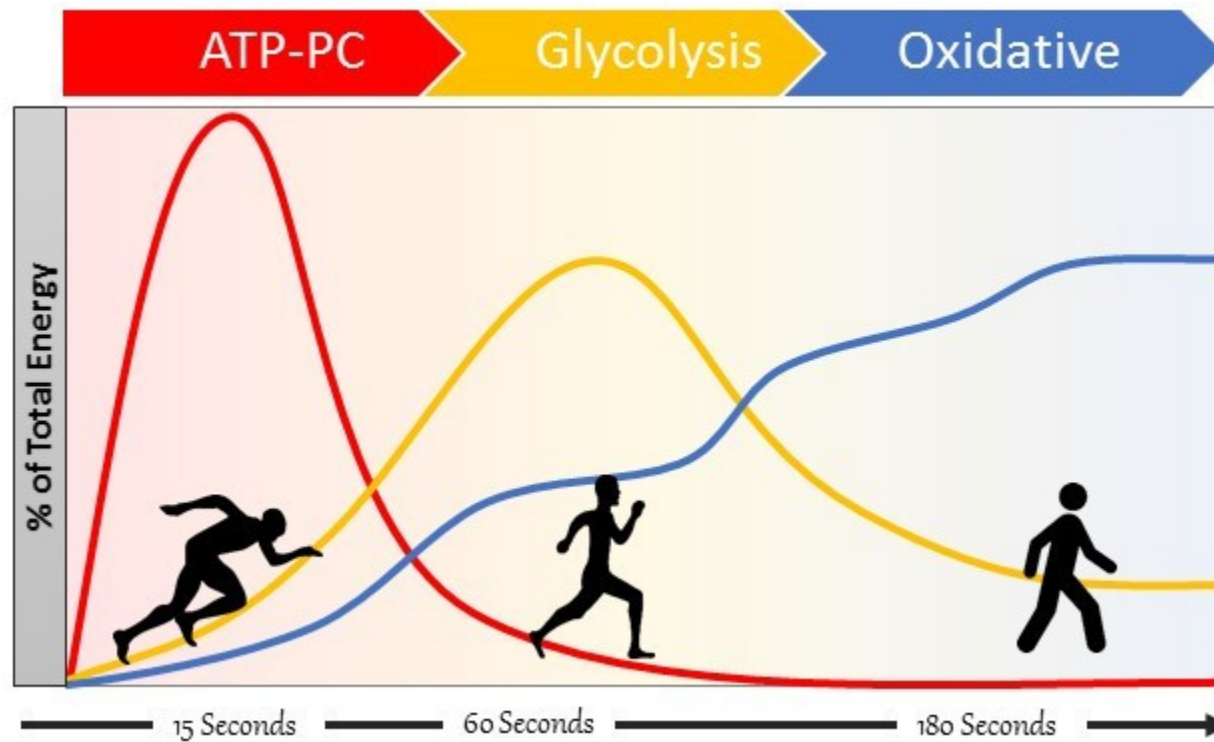
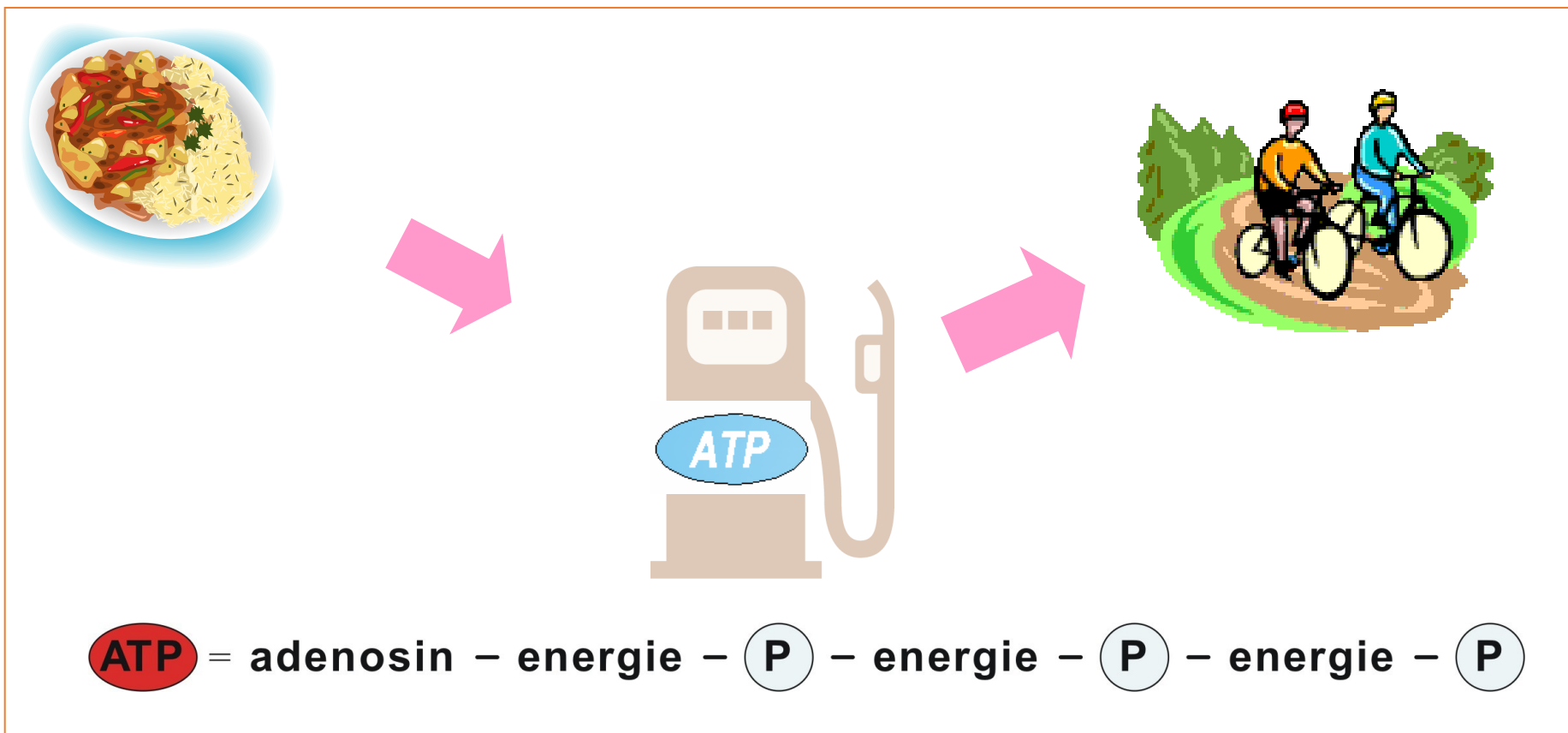


# ZÁKLADNÍ ENERGETICKÉ SYSTEMY



# Energetické krytí



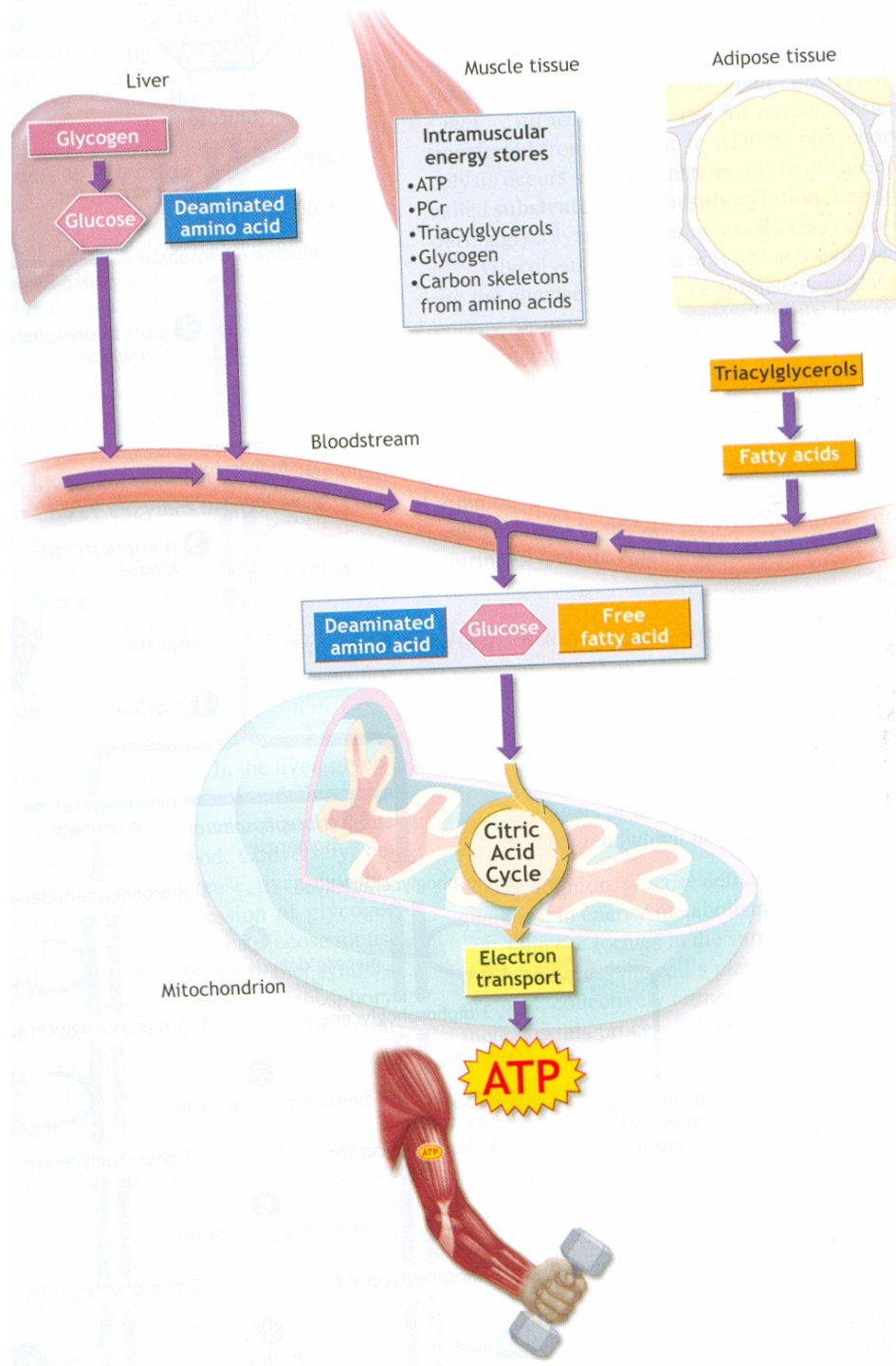
**ATP (adenosintrifosfát)** – přímý zdroj energie pro svalovou činnost. Bez ATP by činnost nemohla probíhat, nedošlo by k zasunutí vláken aktinu mezi vlákna myozinu (viz. Prezentace „svaly“). ATP je poměrně málo (přibližně na 5s intenzivní práce) proto se musí neustále obnovovat (resyntetizovat) (Dovalil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

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

Jejich 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.

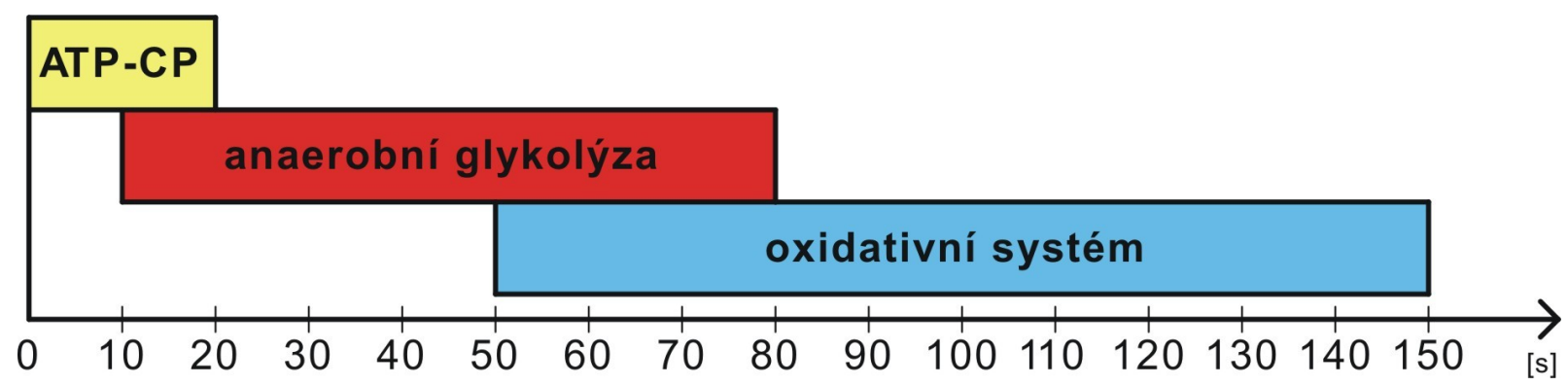
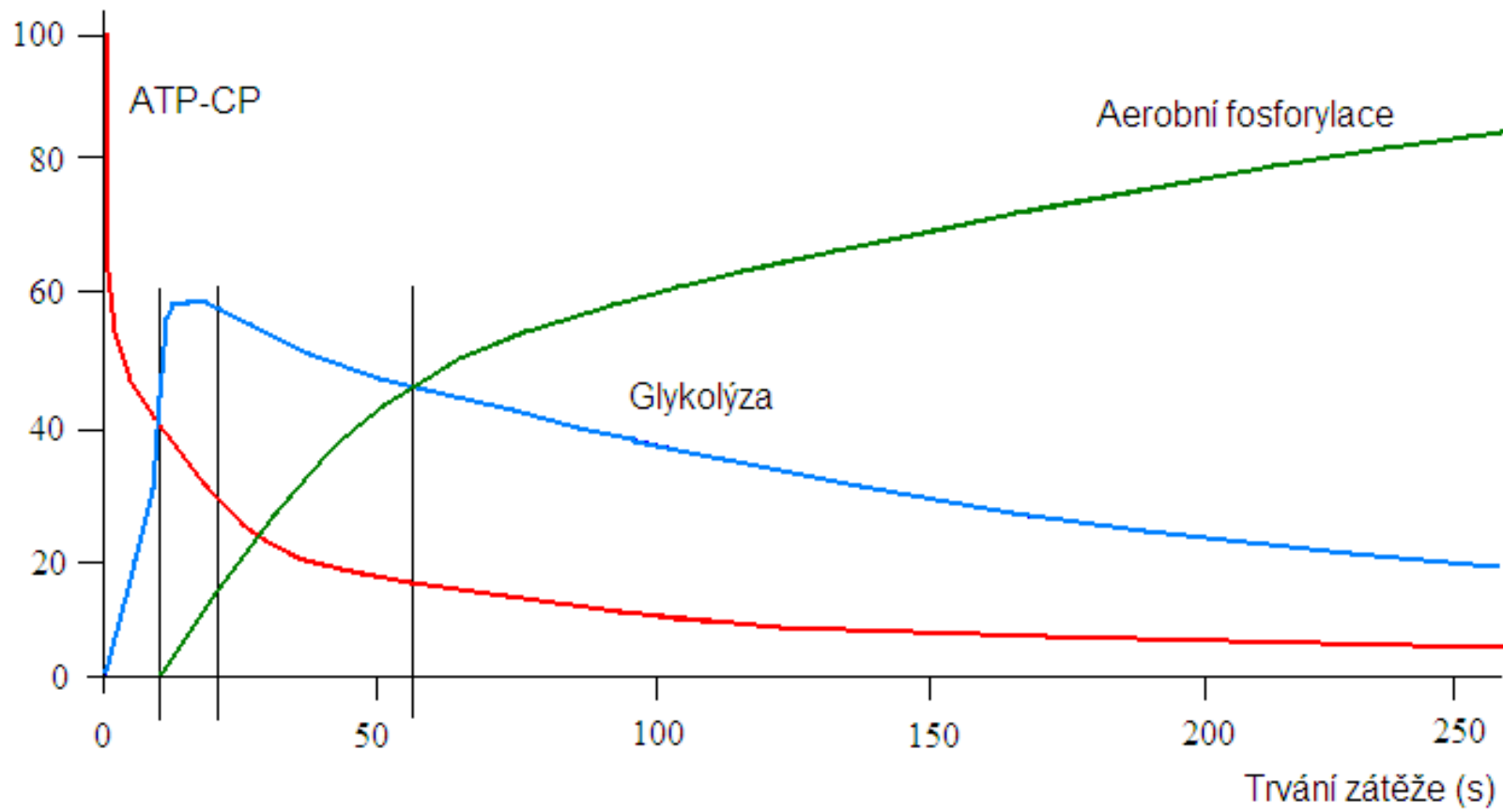
Rychlost obratu (výměna) ATP, vyjádřena v  $\text{mol} \cdot \text{min}^{-1}$ , je největší při maximální intenzitě zátěži (sprint). Trvá-li však zátěž dlouhou dobu, je obrat (výměna) sice menší, ale celkový objem je obrovský. Bylo spočítáno, že maratonec si v průběhu 2,5 hodinového závodu vyrobí až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

Zdroj: (Pastucha et. al, Tělovýchovné Lékařství)

# Základní energetické systémy

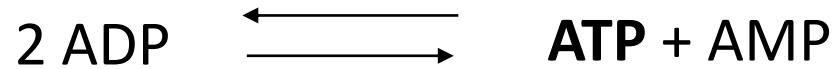
## Buňky generují ATP skrze 3 rozdílné systémy

- 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)

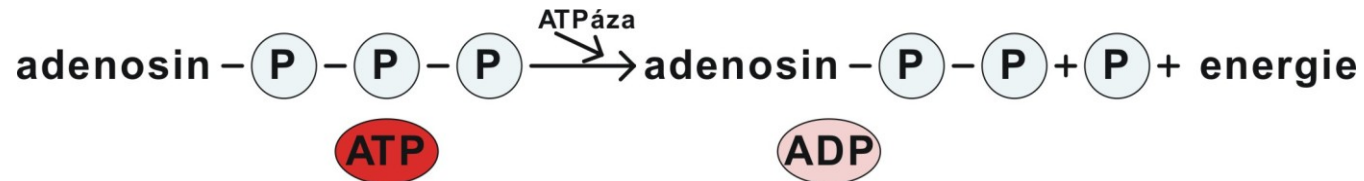


# 1. **ATP CP systém** - **Alaktátové** neoxidativní (anaerobní) způsoby E krytí – také tzv. **Substrate-level metabolism**

Myokinázová reakce, kdy molekula ATP vznikne ze 2 molekul ADP

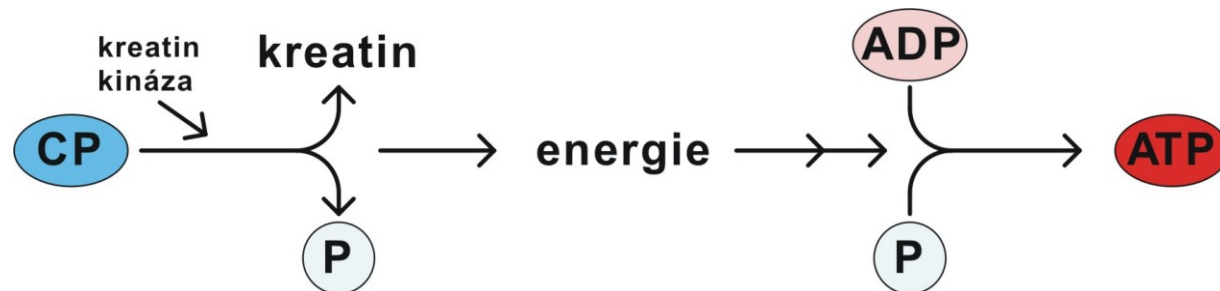


## **Hydrolýza ATP** pomocí ATPázy



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

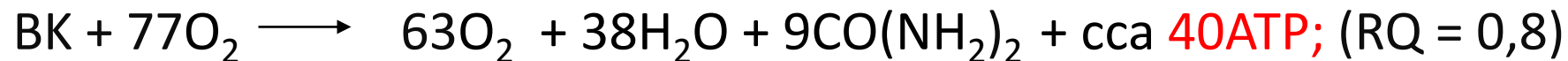
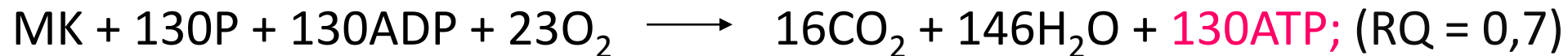
- metabolická acidóza
- hladina LA v krvi

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**

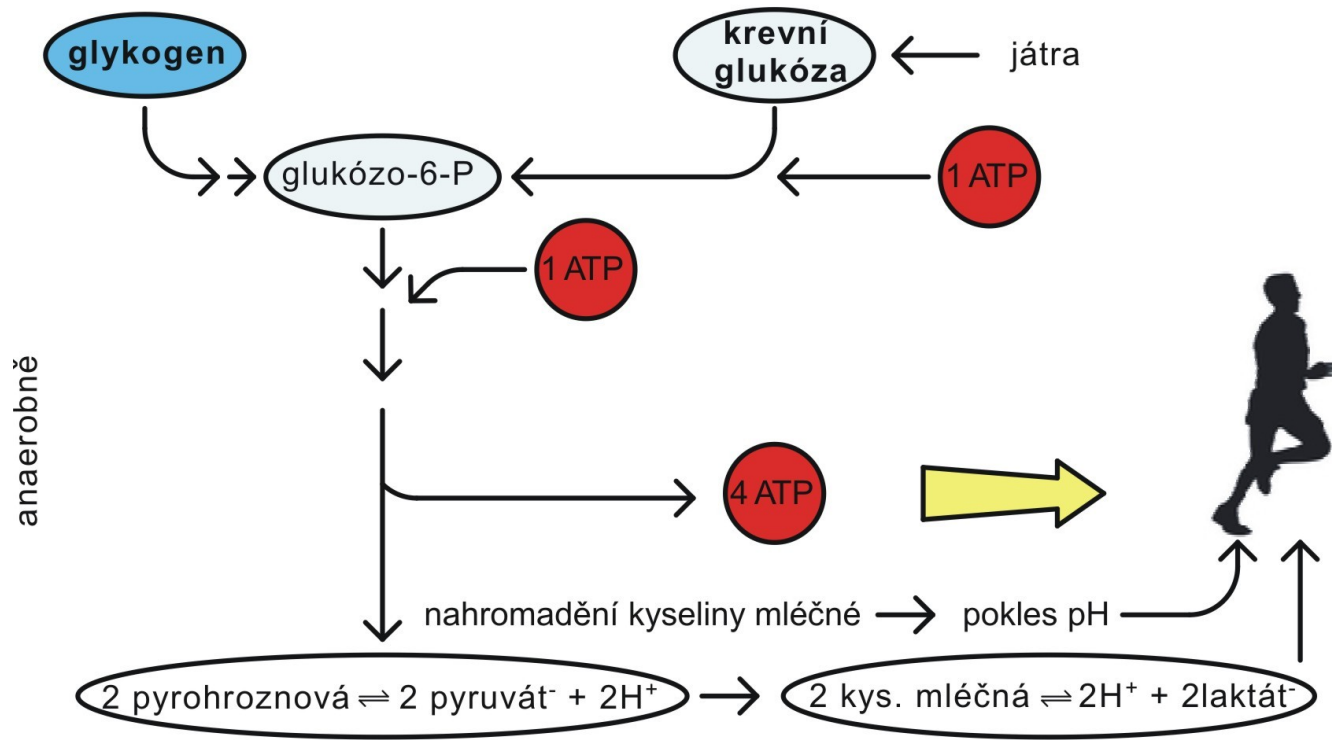
ATP CP systém společně s Glykolytickým systémem, jsou klíčové energetické zdroje pro výkony v délce trvání **v řádu několika sekund až 2 min.**

### 3. Oxidativní způsob (oxidativní fosforylace)

- nedochází k tvorbě laktátu

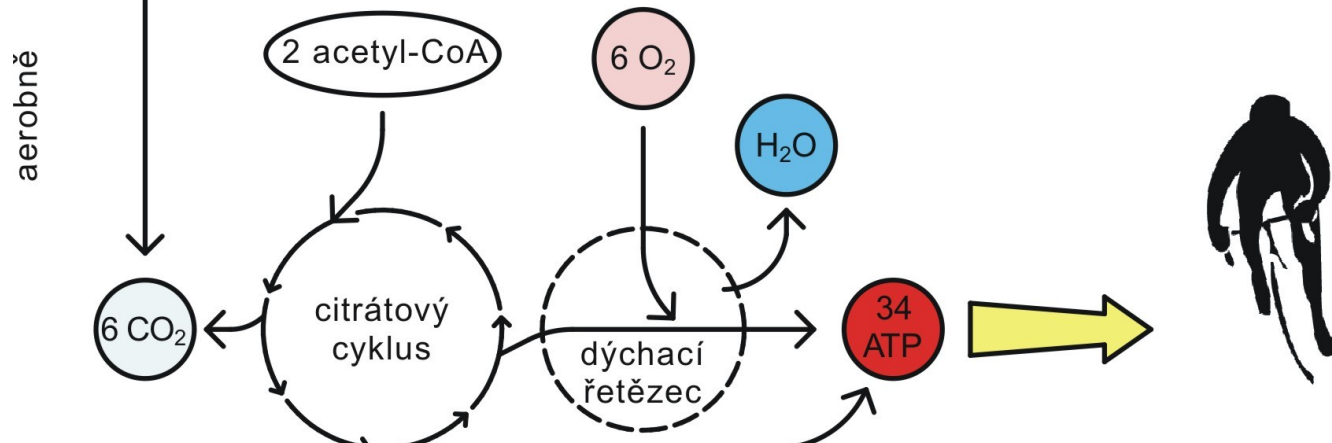


## anaerobní glykolýza



Jedná se o chemickou reakci, při které se ATP obnovuje z glykogenu, resp. glukózy cestou anaerobní (bez přístupu kyslíku). Při těchto pochodech ve svazech 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

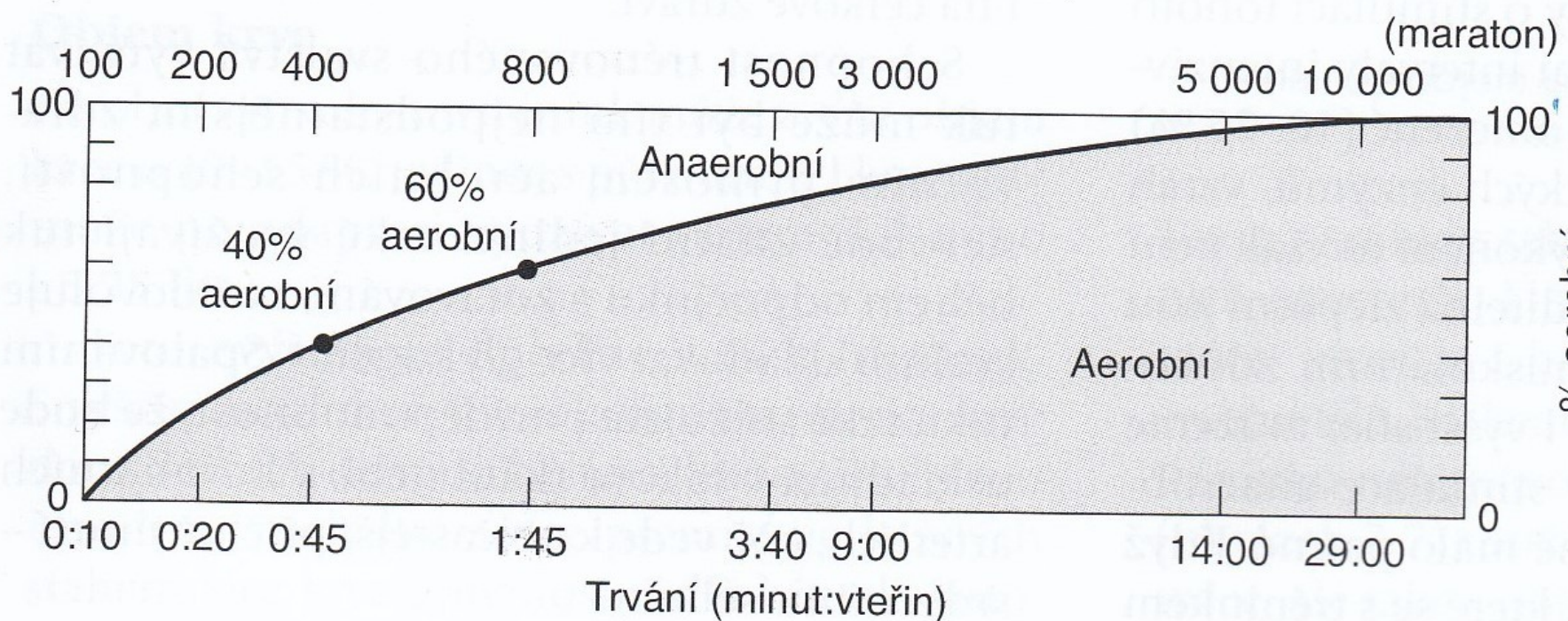
Konečným výsledkem glykolýzy je pyruvát, který může pokračovat jedním ze dvou následujících směrů:

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

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

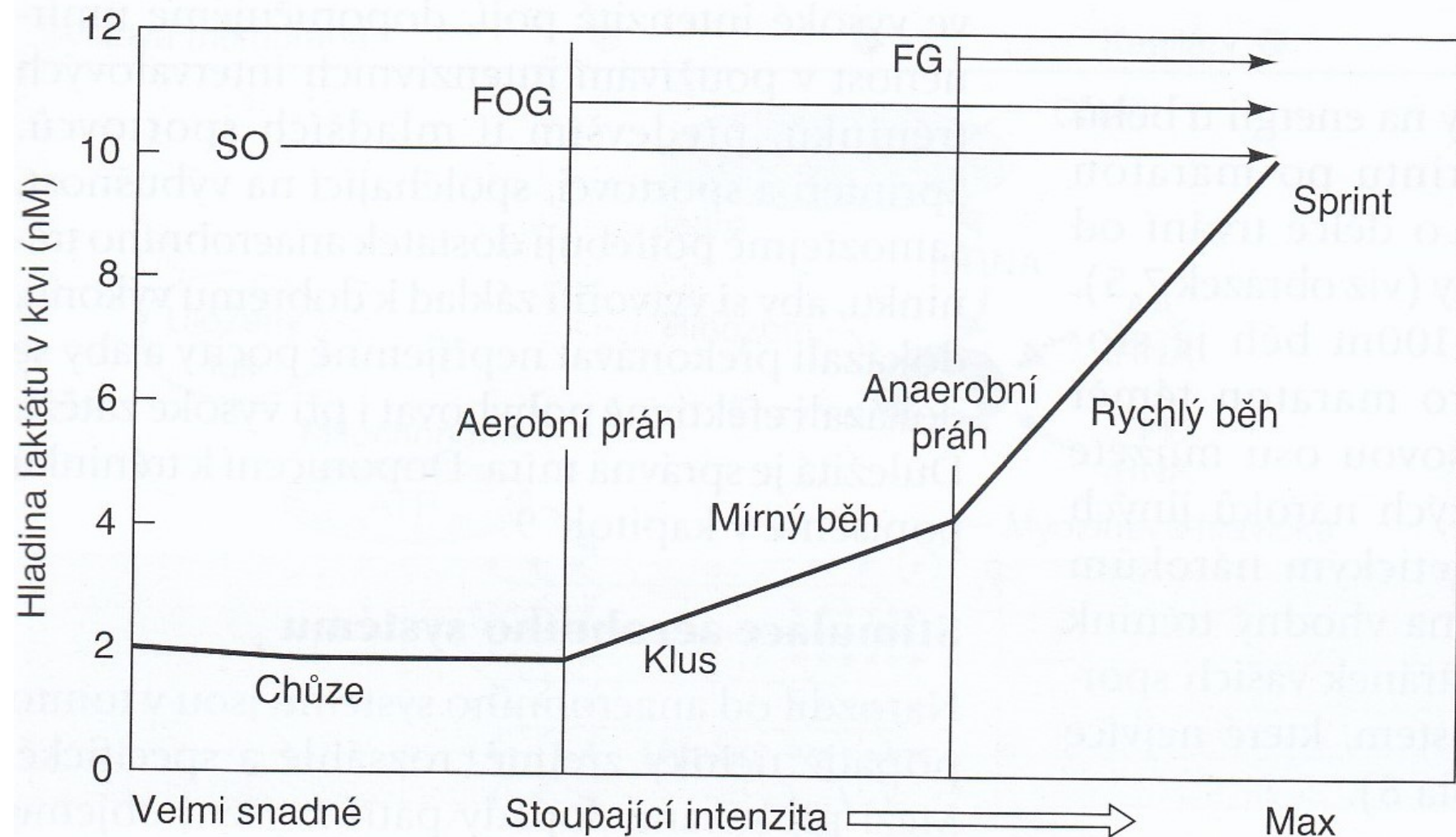
Zdroj: <https://www.fsps.muni.cz/emuni/data/reader/book-5/05.html>

### 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 svaích	4–5 kcal	0,072
<b>SACHARIDY</b>			
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
<b>TUK</b>			
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

intenzita zatížení	trvání výkonu	převážné využití	tvorba laktátu	svalová vlákna
rychlostní (max.)			malá	II B
rychlostně-vytr. (submaximální)	15 – 50 s	ATP, CP, anaerobní	maximální	II B a II A
krátkodobá	do 120 s	anaerobní a aerobní gl.	submax.	II B a II A
střední	do 10 min	aerobní glykolýza	střední a <	II A
dlouhodobá	nad 10 min	aerobní gl., později tuky	malá	I

Anaerobní alaktátové

Anaerobní laktátové

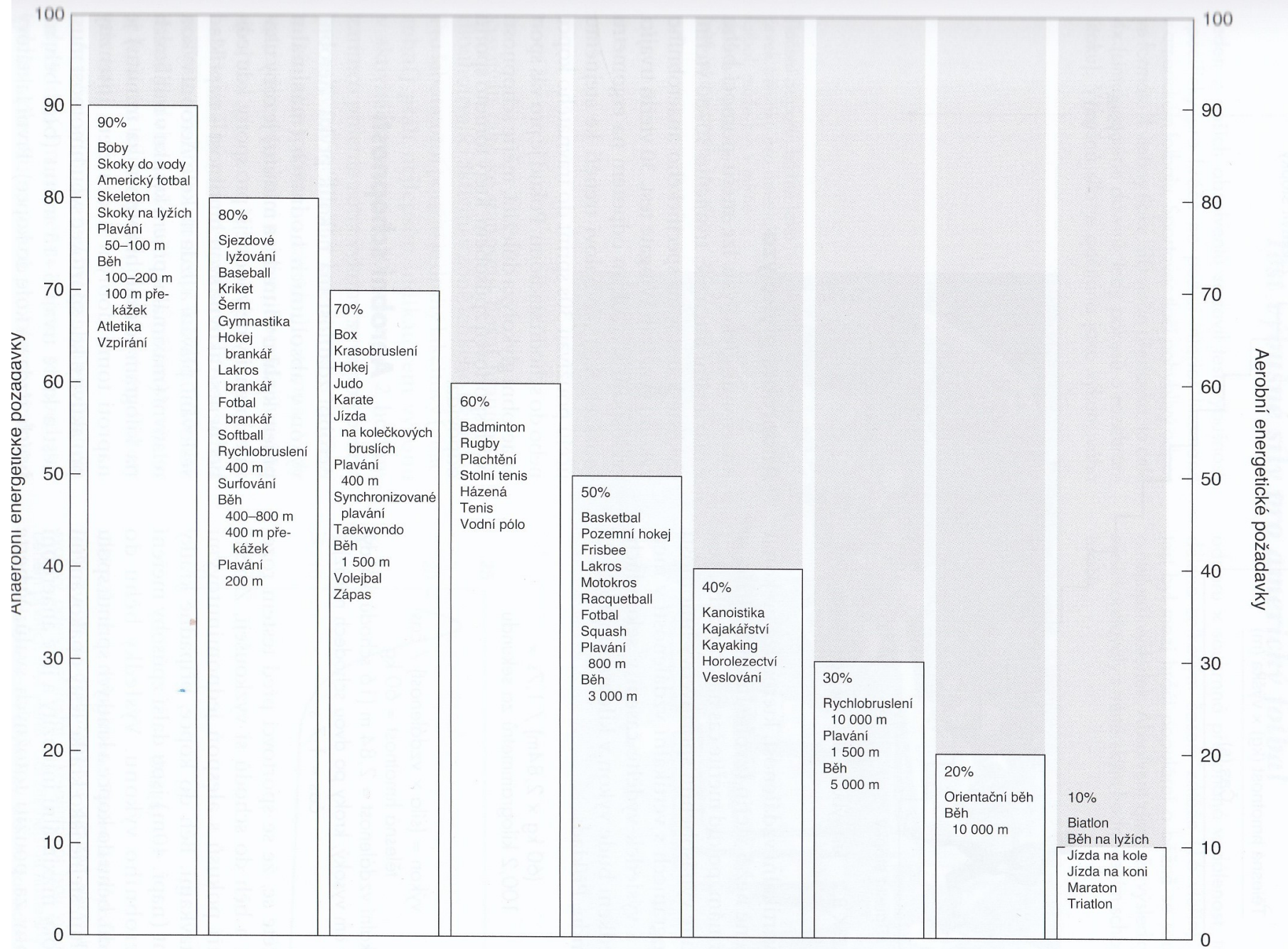
Aerobní alaktátové



**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 <sub>2</sub>
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





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.

# 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

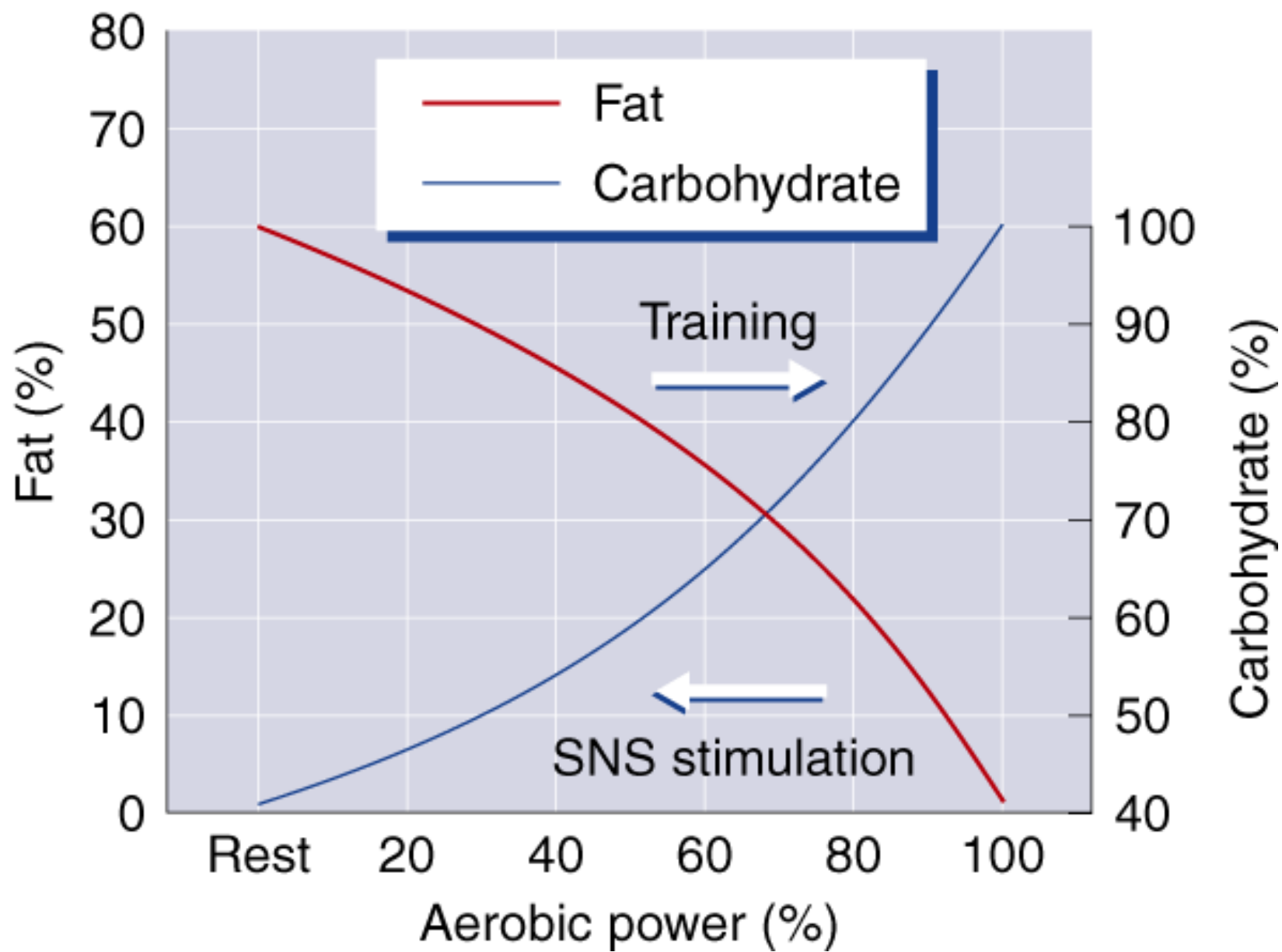
# Obnova energetických zdrojů

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.

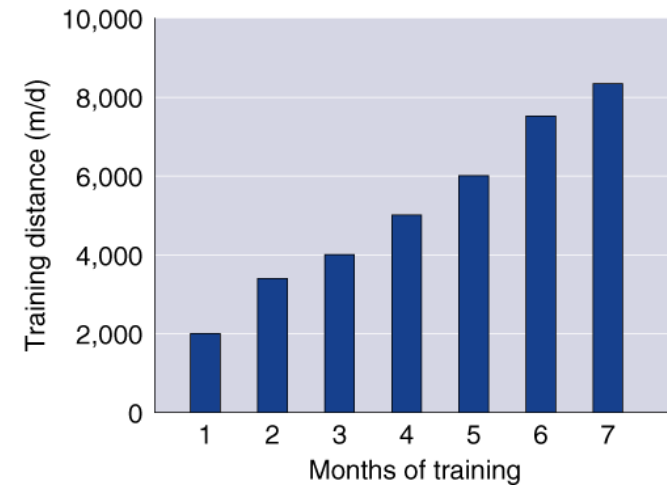
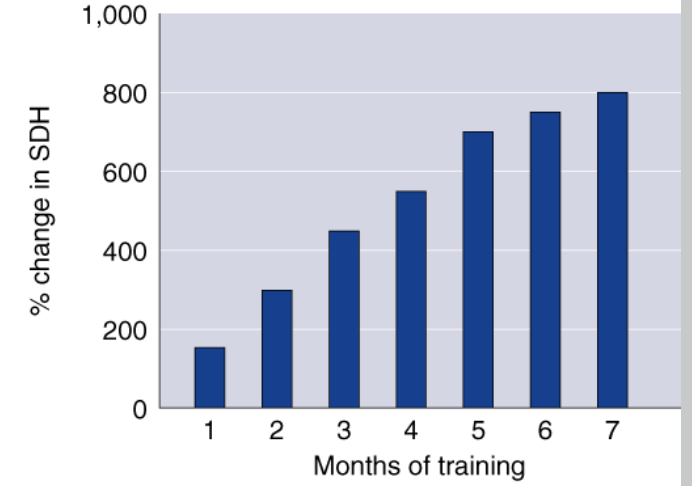
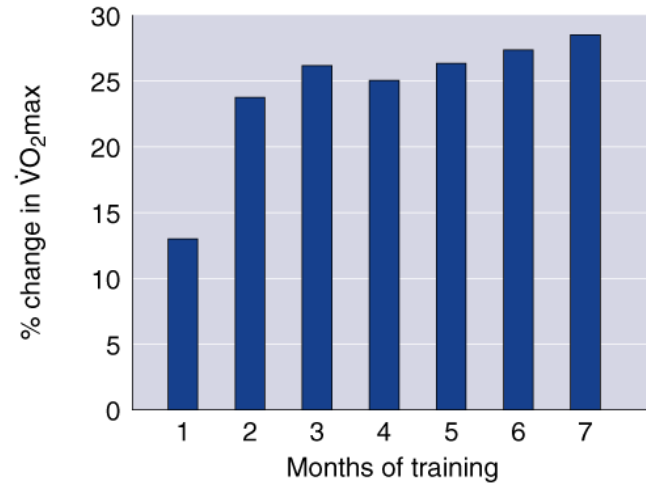
# Metabolické adaptace (aerobní)

- 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 glykogenů 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

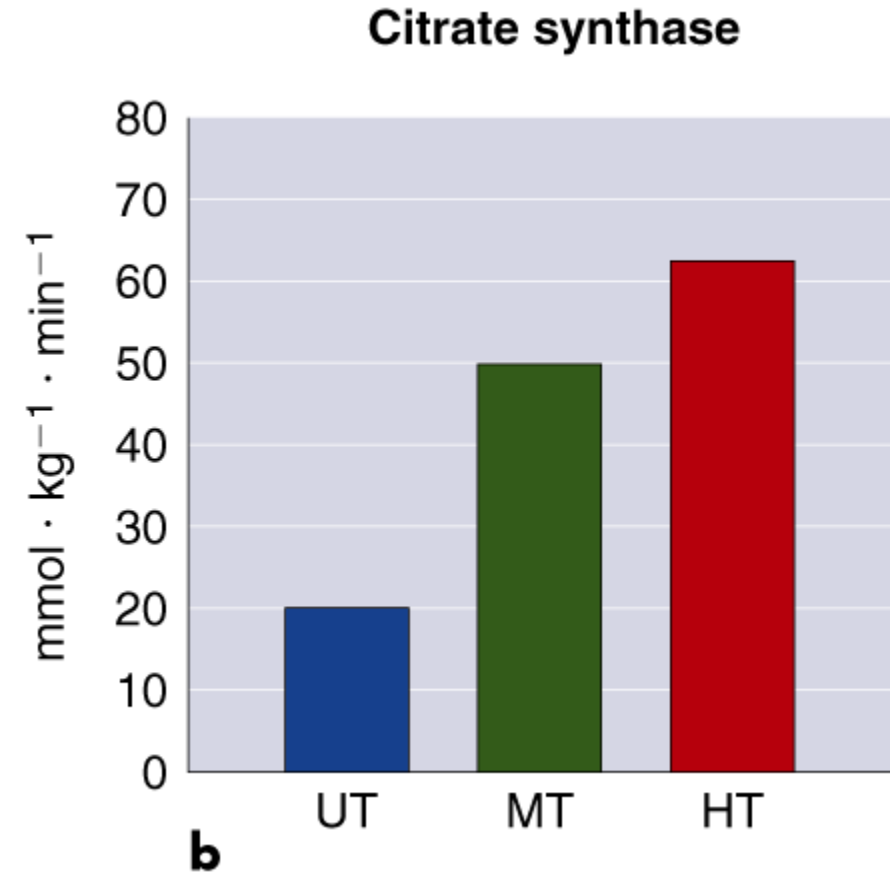
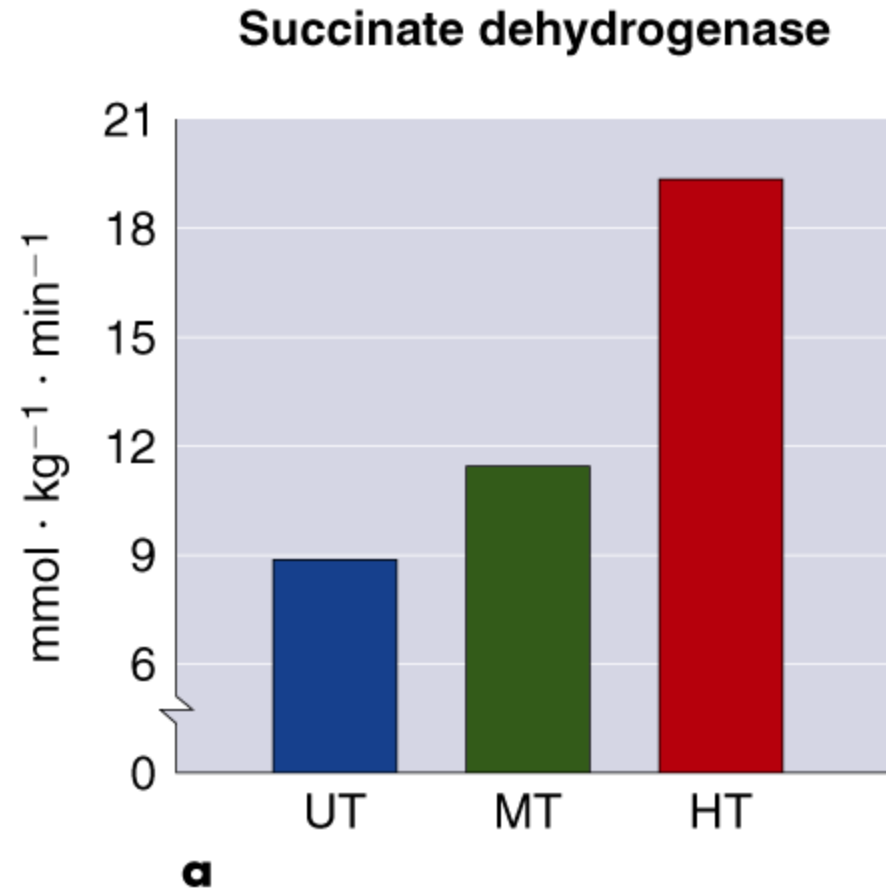




# Adaptace enzymů (SDH)



# Aktivita enzymů SDH a CS



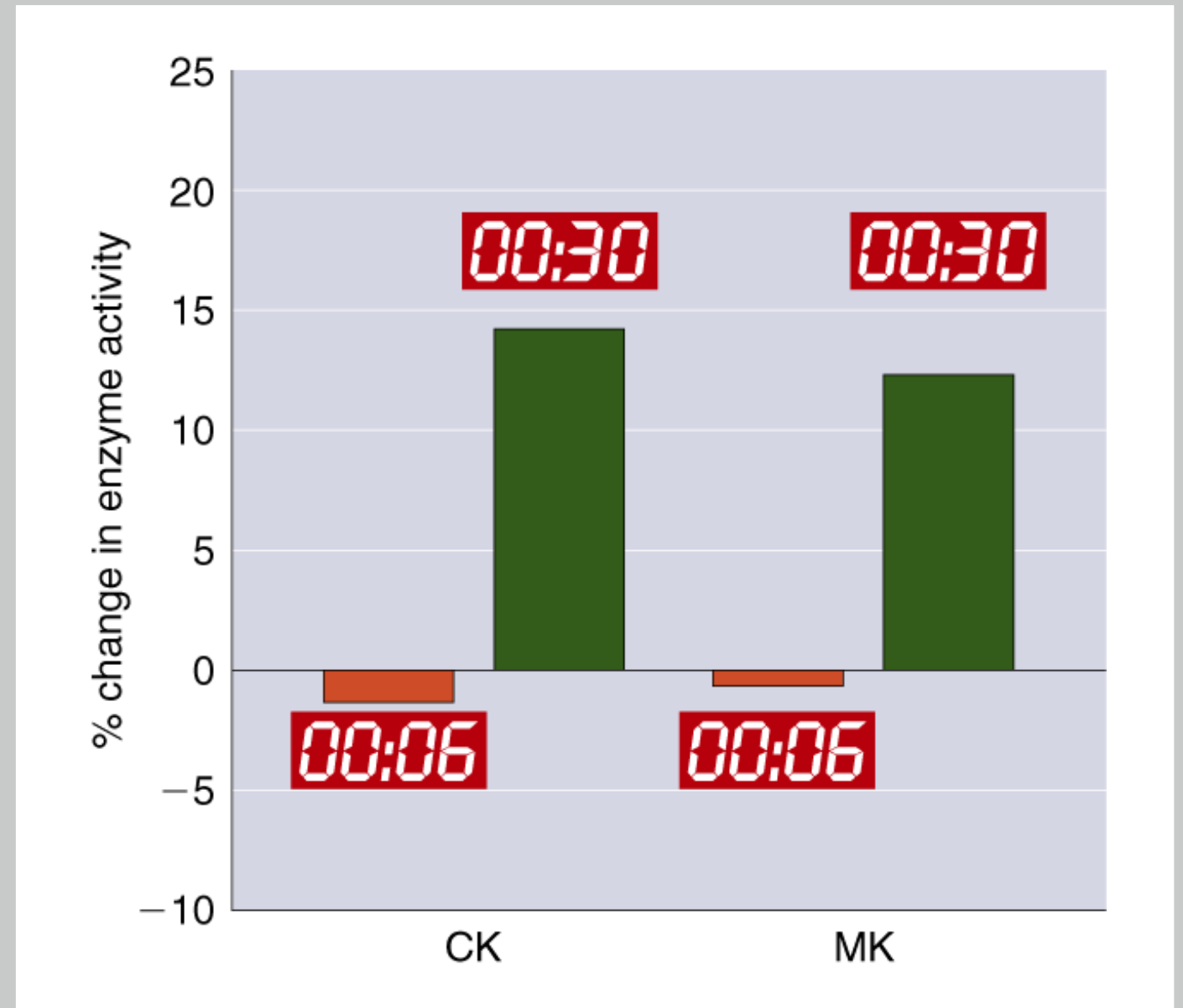


# Metabolické adaptace (anaerobní)

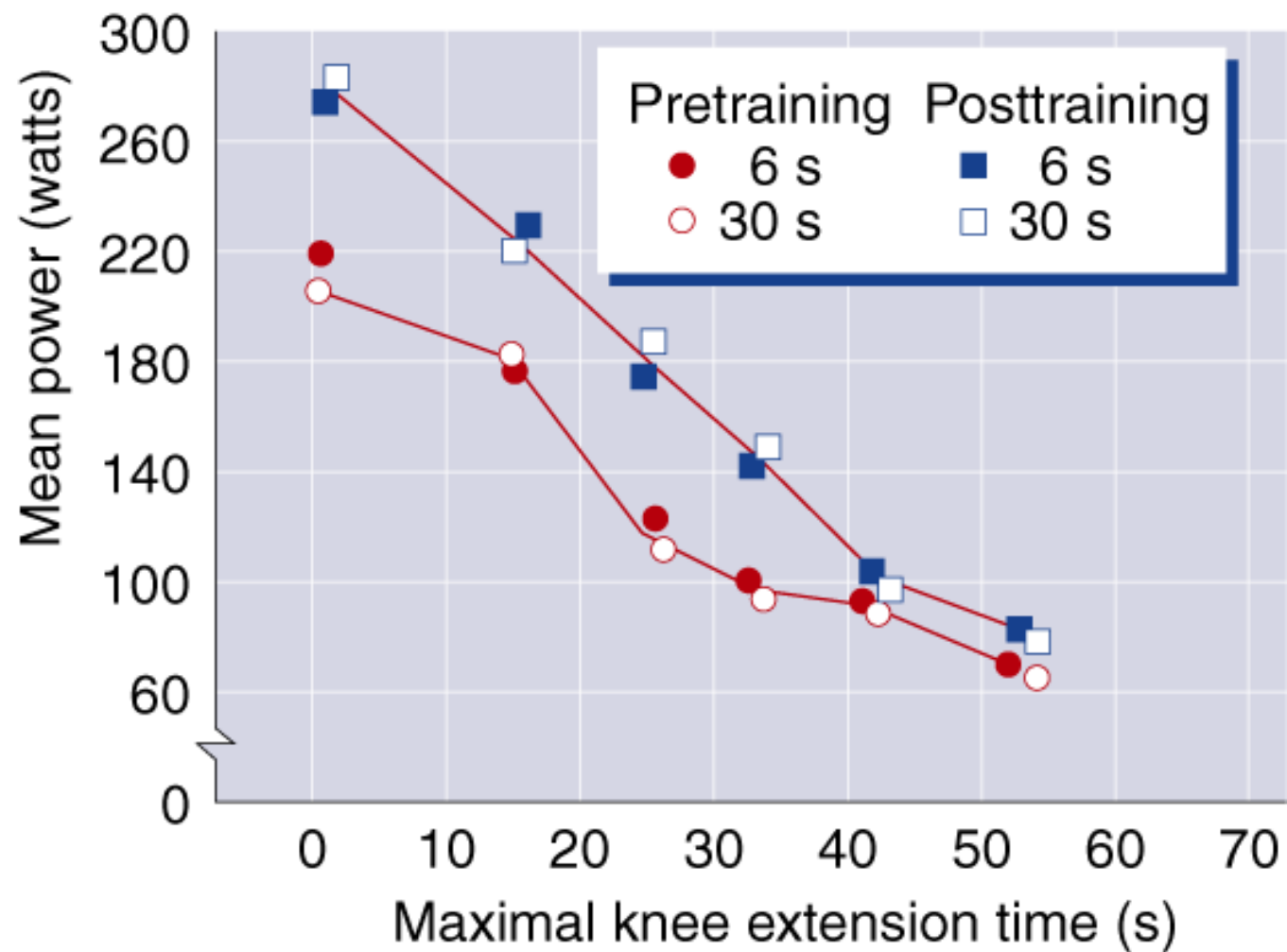
- Větší svalová síla
- Zvýšená tolerance k acidobazické nerovnováze během cvičení vysoké intenzity
- Mírně zvýšená aktivita ATP-CP a glykolytických enzymů
- Zlepšení ekonomiky pohybu
- Zvýšená pufrovací kapacita

# Metabolické adaptace (anaerobní)

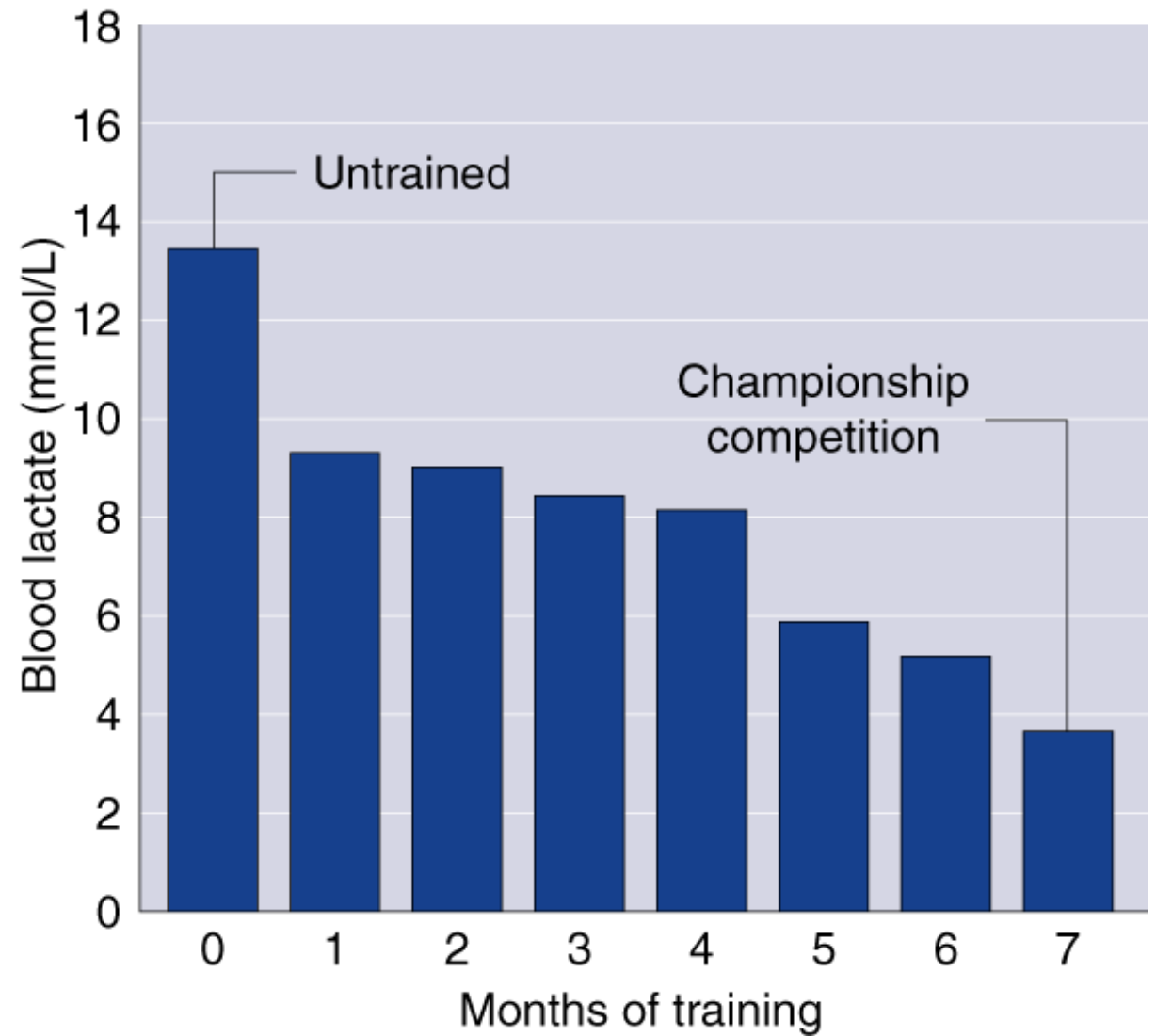
- Aktivita kreatinkinázy a myokinázy během maximálního zatížení
- 6s trvajícím opakovaným zatížením nedošlo ke zvýšení aktivity CK a MK
- 30s zatížením se ale aktivita zvýšila významně
- Nárůst síly byl v obou případech téměř stejný (cca 14 %)



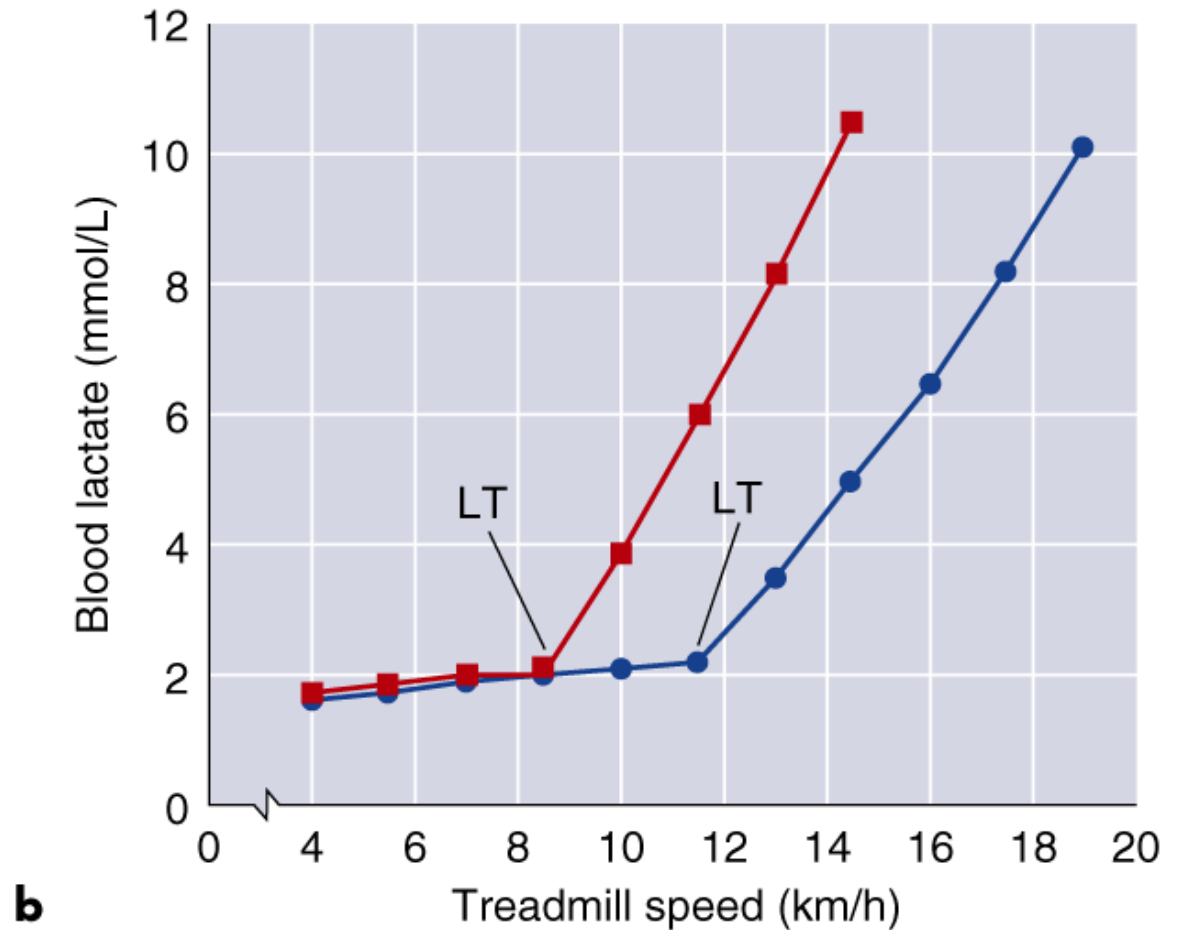
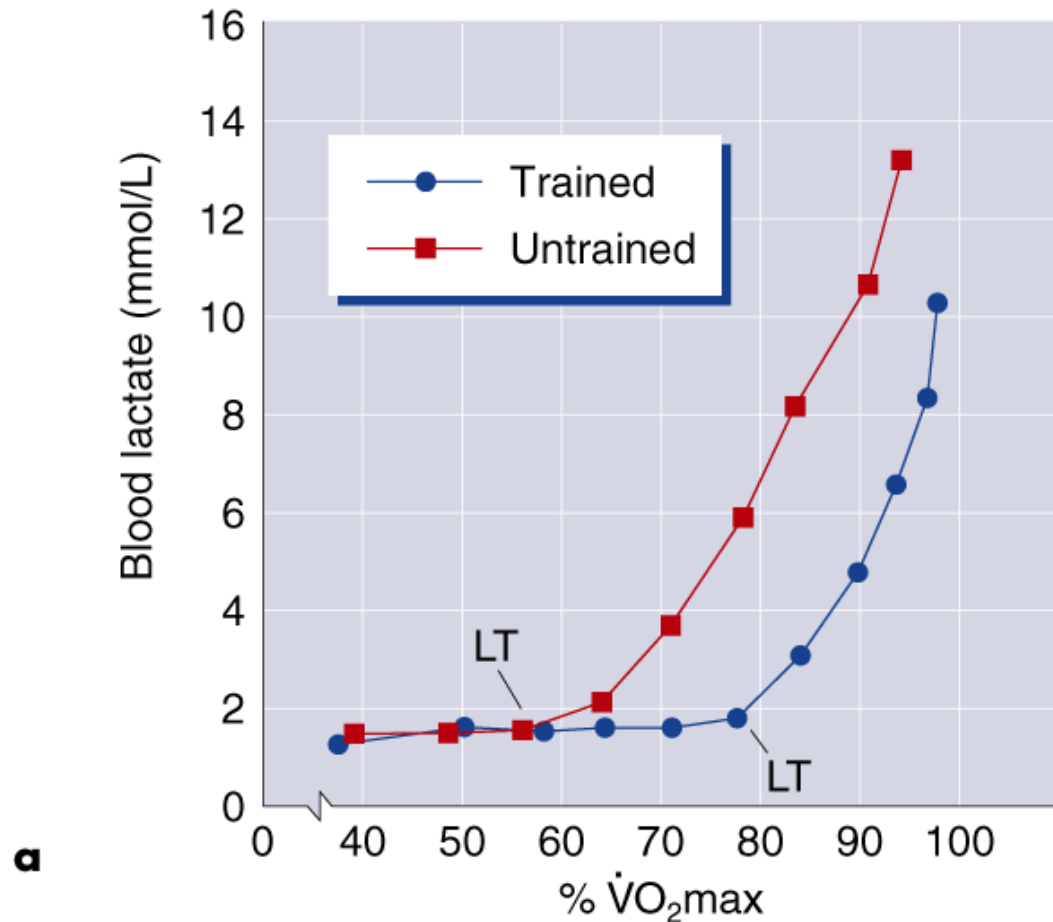
# Výkon během 60s testu max. intenzitou



# 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

# Práce ve skupině

- Vzpomeňte si na některý svůj trénink (popište, co bylo náplní) a napište hlavní zdroj energie a který energetický systém jste při tom stimulovali?
- Napište primární zdroj energie a převažující energetický systém během vašeho soutěžního výkonu.



# 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)

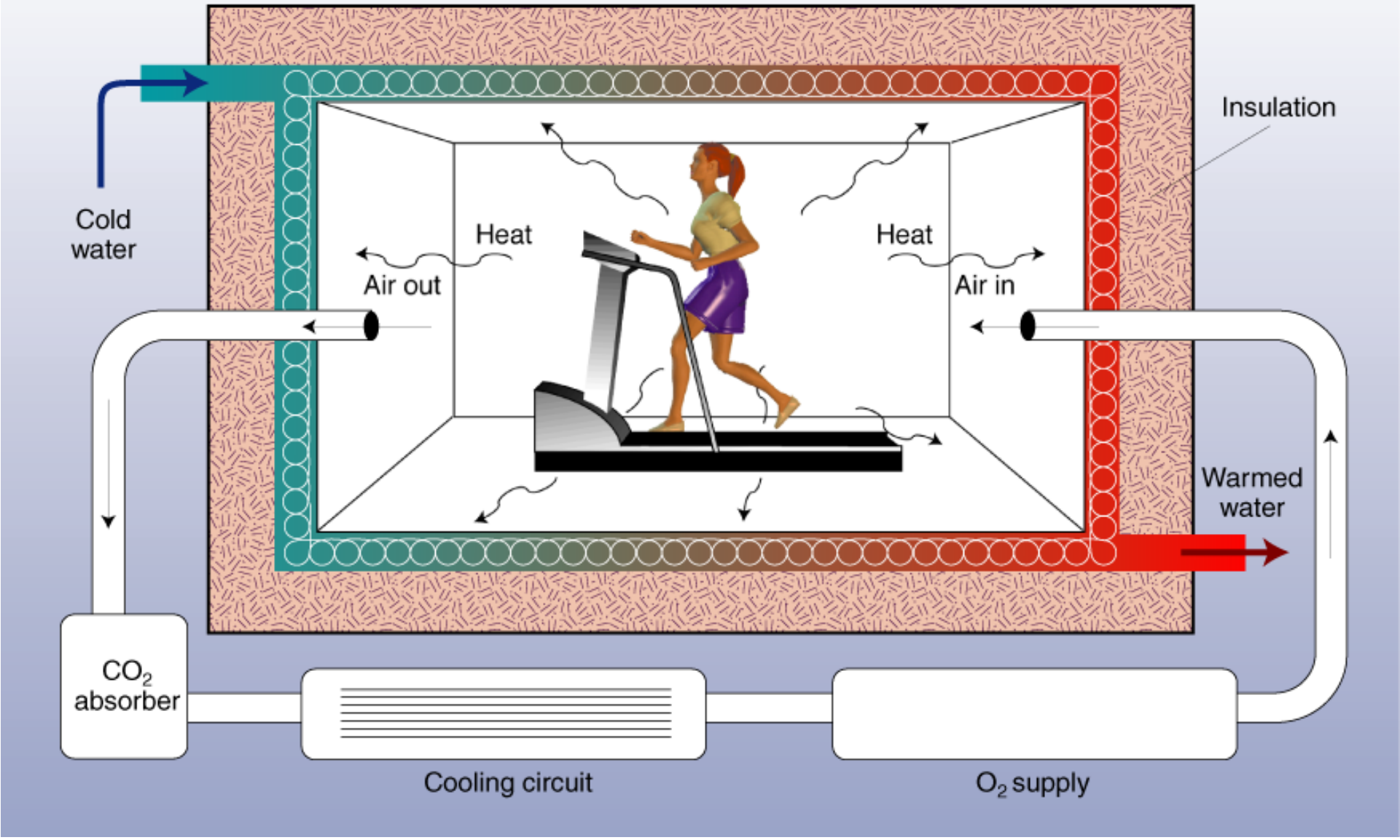
# Kalorimetrie

## 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:

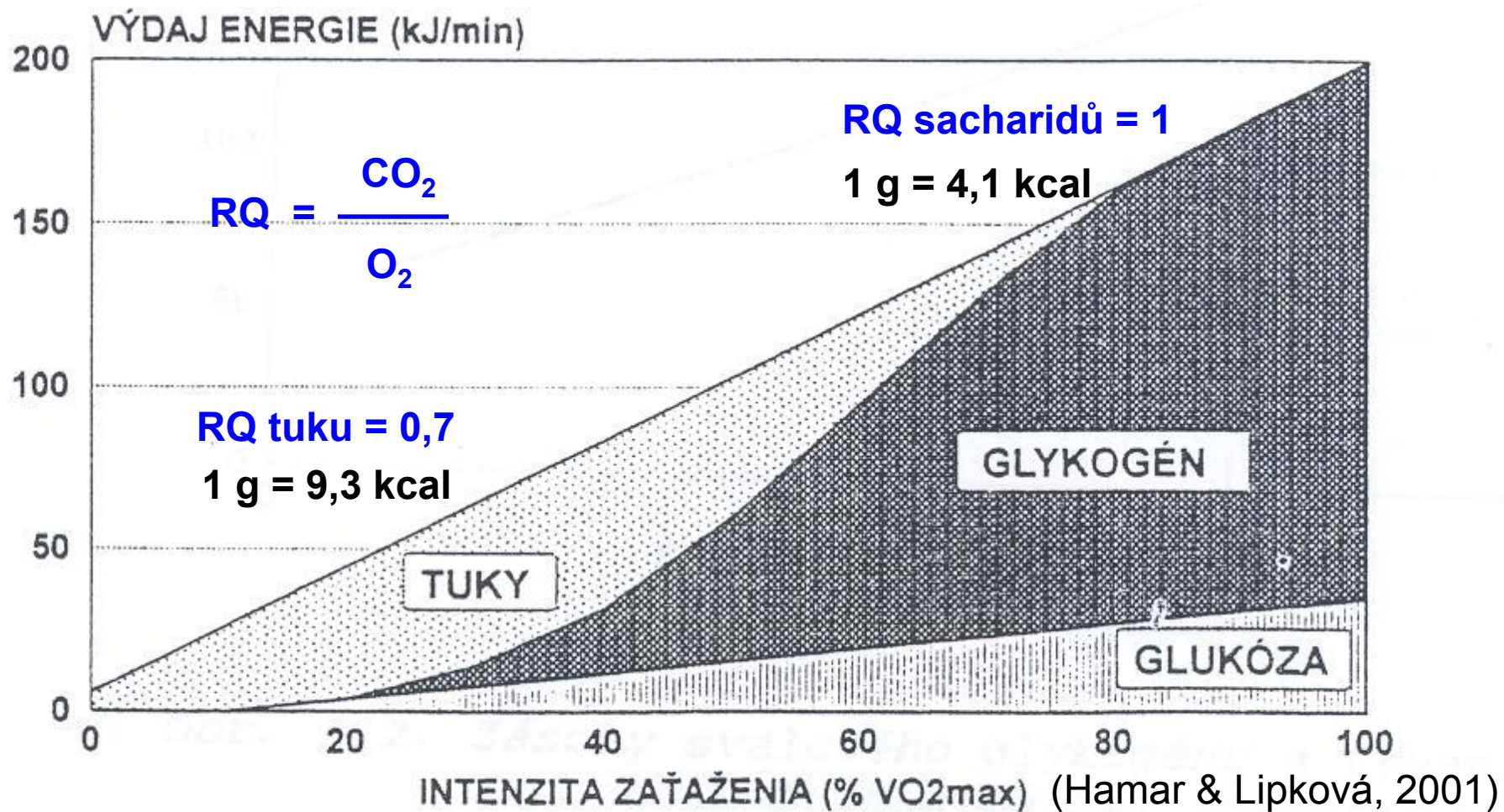
$$\text{Výpočet (kJ)} = \frac{\text{doba činnosti (hod)} * \% \text{ nál.BM} * \text{BM (kJ*} \text{hod}^{-1})}{100}$$

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

<b>Pohybová aktivita/sport</b>	<b>% nál. BM</b>	<b>Pohybová aktivita/sport</b>	<b>% nál. BM</b>
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

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

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