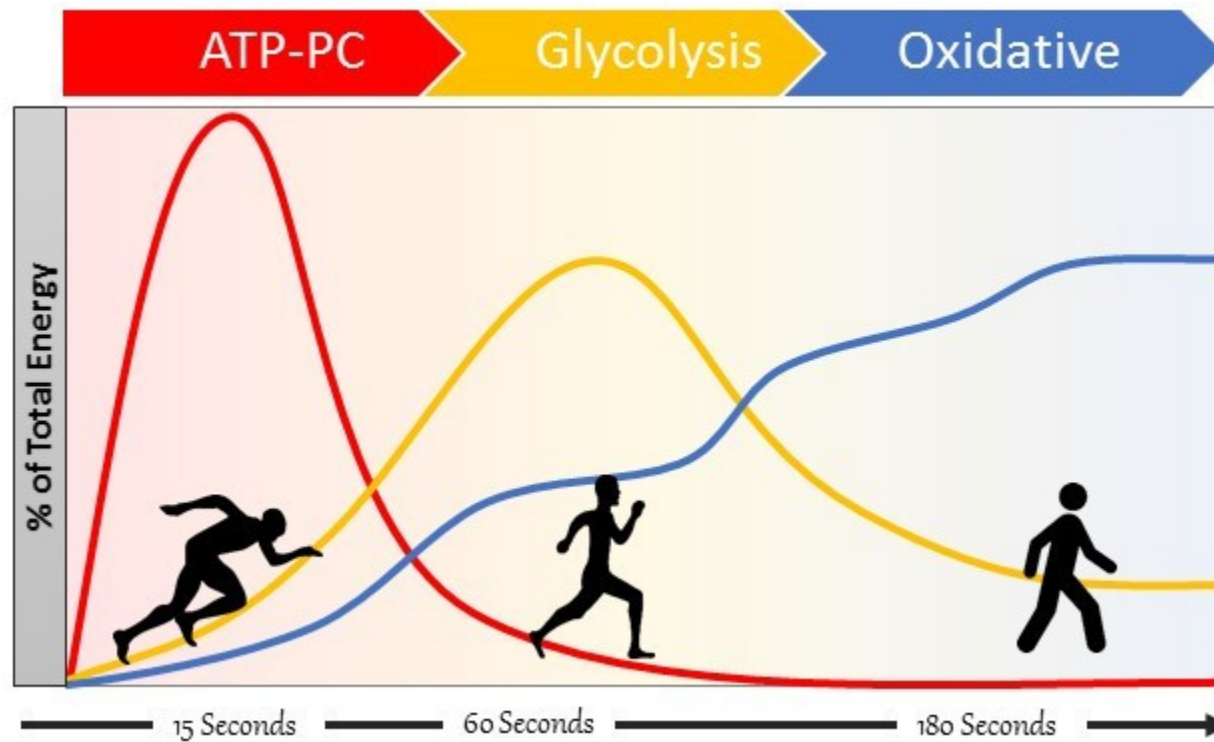


# ZÁKLADNÍ ENERGETICKÉ SYSTEMY

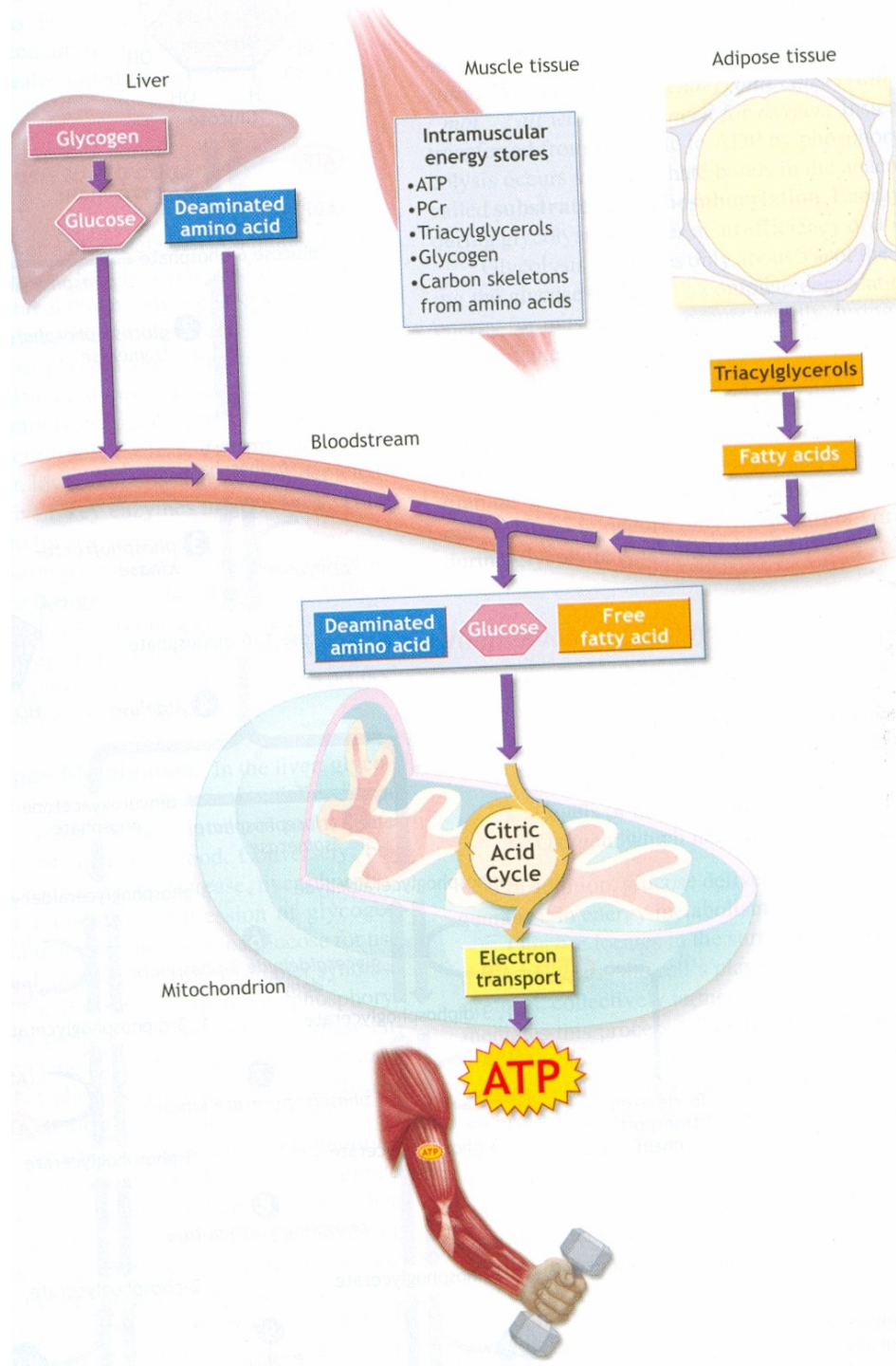


Zdroje energetických rezerv pro tvorbu ATP (játra, svaly, adipocyty)

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.

**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)

Zdroj: (Pastucha et. al, Tělovýchovné Lékařství)

# 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

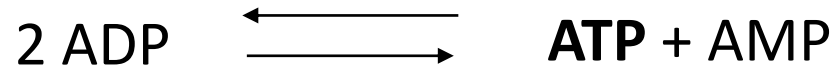
# Základní energetické systémy

## Buňky generují ATP skrze 3 rozdílné systémy

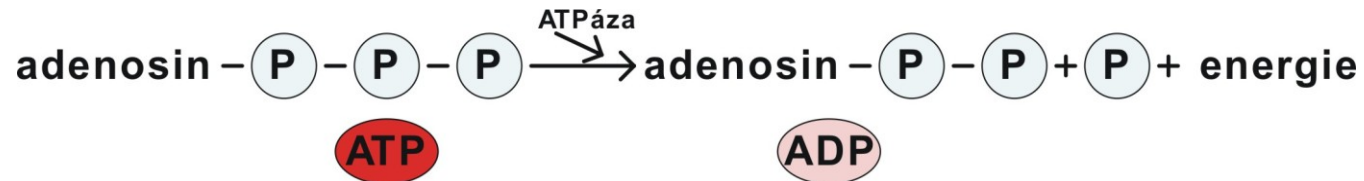
- 1. ATP CP systém** (Alaktátový, neoxidativní (anaerobní), Fosfátový, (Substrate level metabolism.)
- 2. Glykolytický systém** (anaerobní glykolýza, glykolytická fosforylace)
- 3. Oxidativní systém** (oxidativní (aerobní) fosforylace, aerobní glykolýza)

# 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

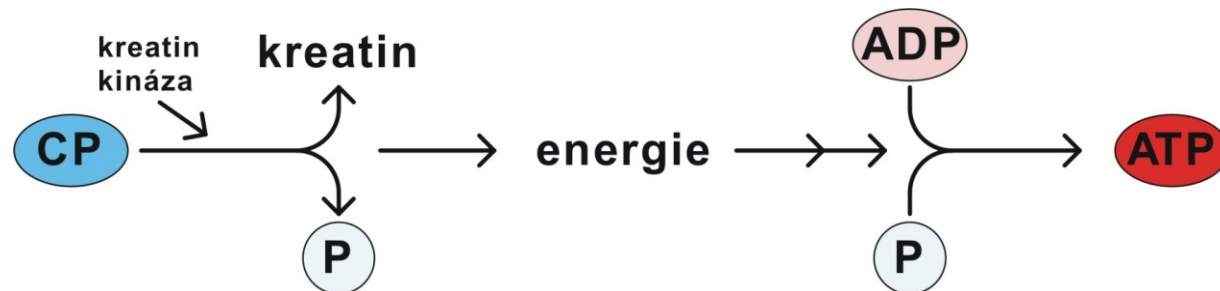


## **Hydrolýza ATP** pomocí ATPázy



1-3 seconds

## **ATP CP systém** (Phospocreatine, PCr)



3-15 sec. An 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

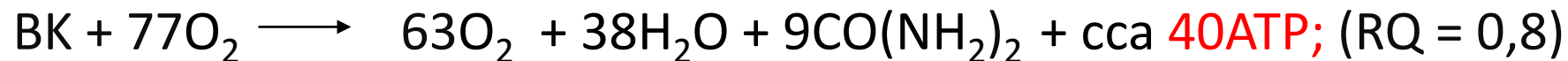
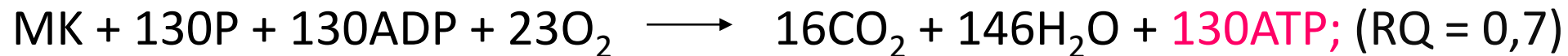
Proces glykolýzy se odehrává skrze glykolytický systém, přes který je glukóza, nebo glykogen štěpen na Pyruvát. Pokud se glykolýza dále odehrává za nepřístupu kyslíku, je Pyruvát konvertován (přeměněn) na **laktát**

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



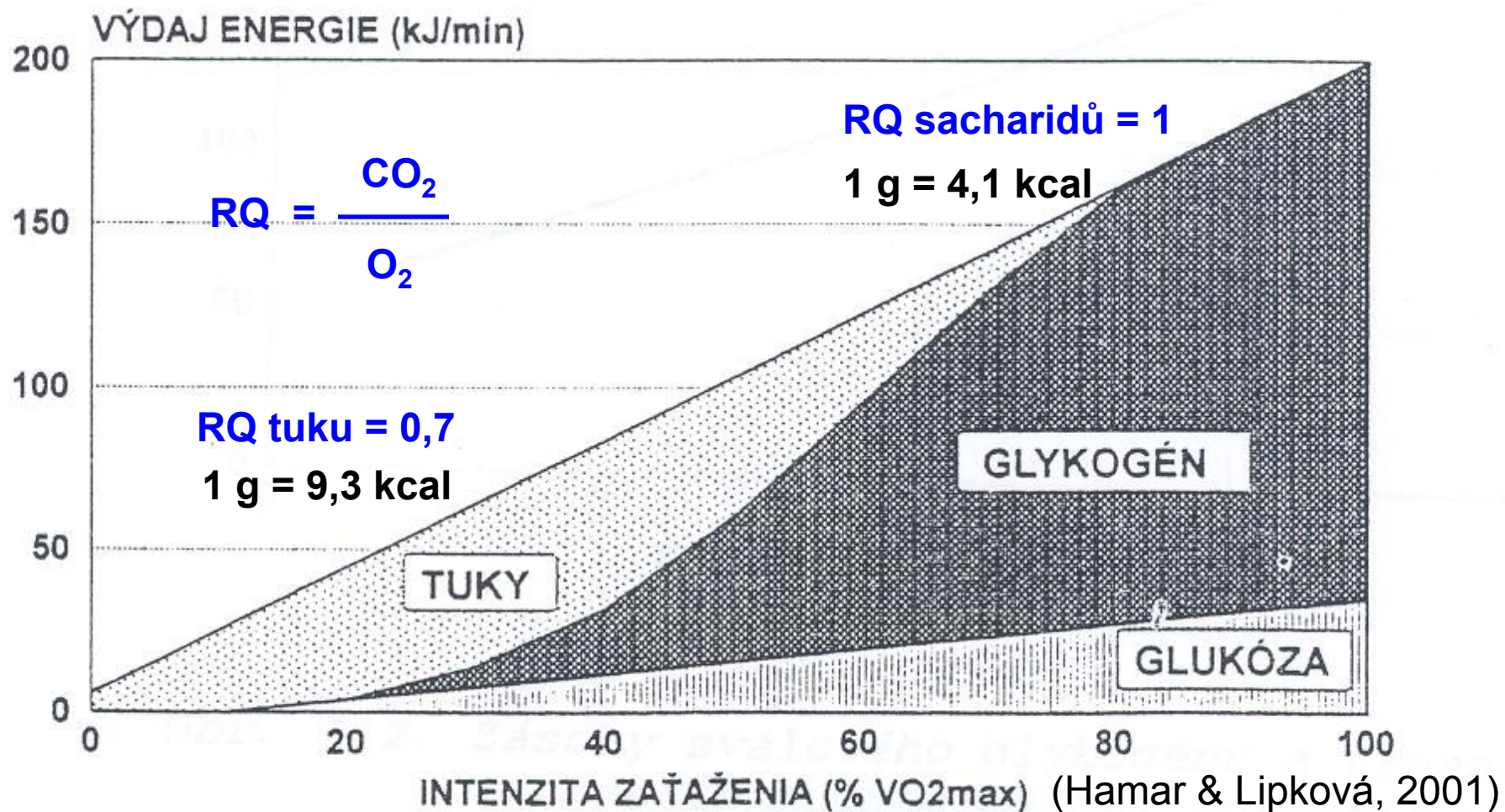
### 3. Oxidativní způsob (oxidativní fosforylace)

- nedochází k tvorbě laktátu

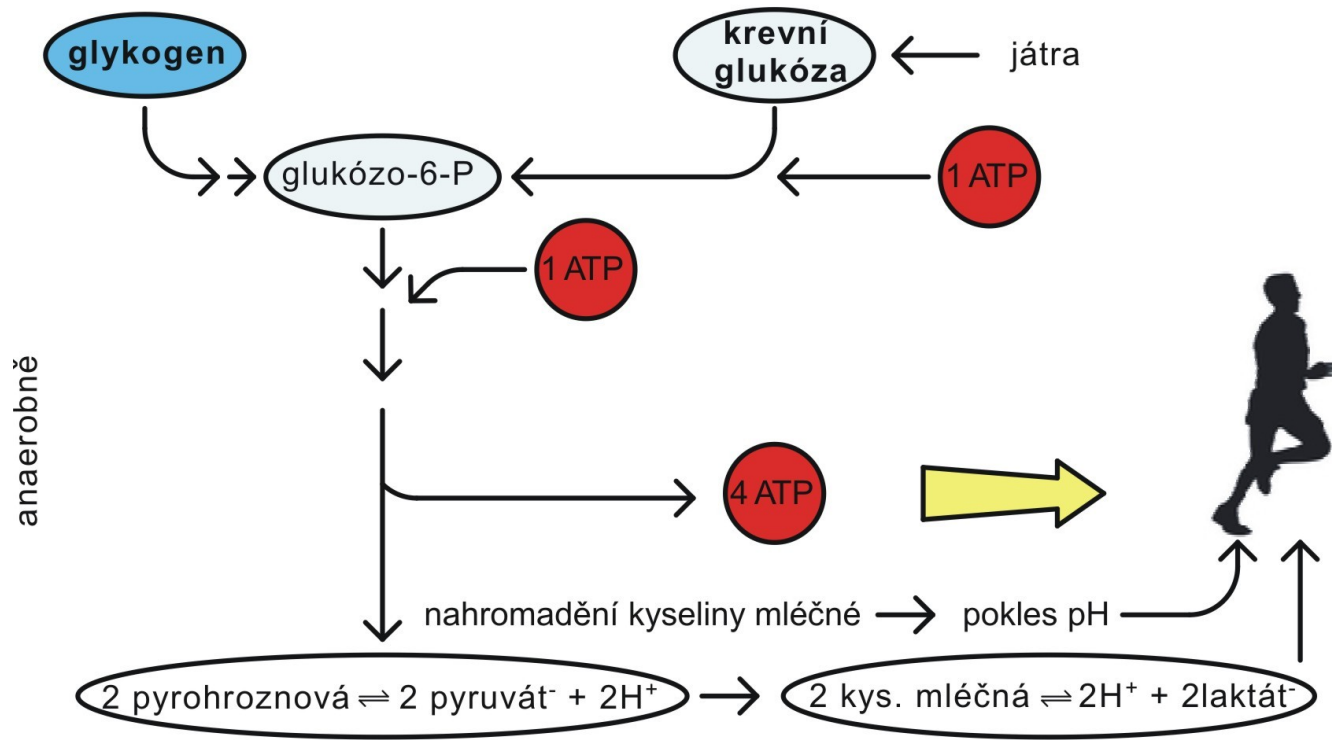


# Zdroje energetického krytí při zvyšující se intenzitě

Respirační kvocient = poměr mezi uvolněným oxidem uhličitým a spotřebovaným kyslíkem na buněčné úrovni

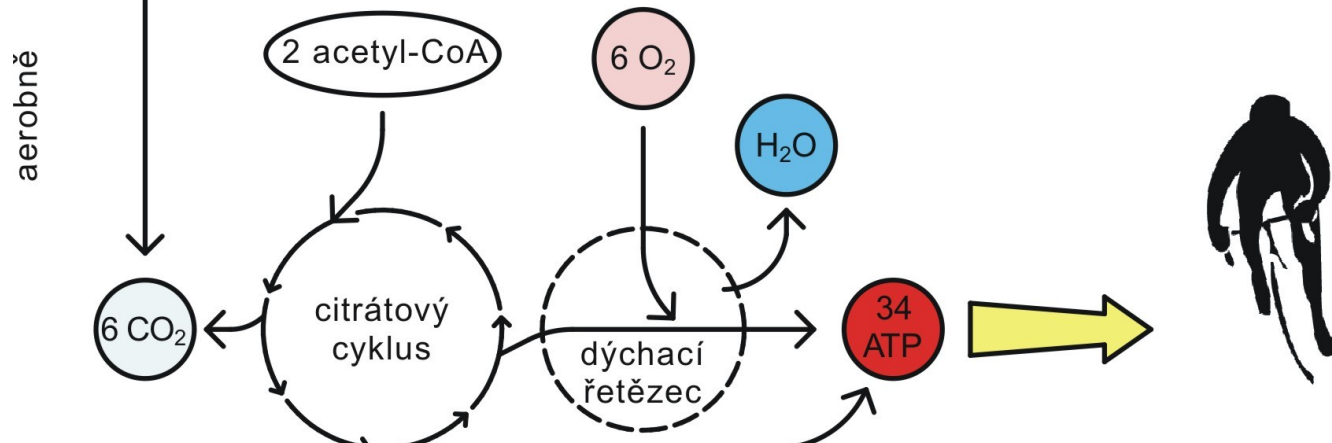


## anaerobní glykolýza



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.

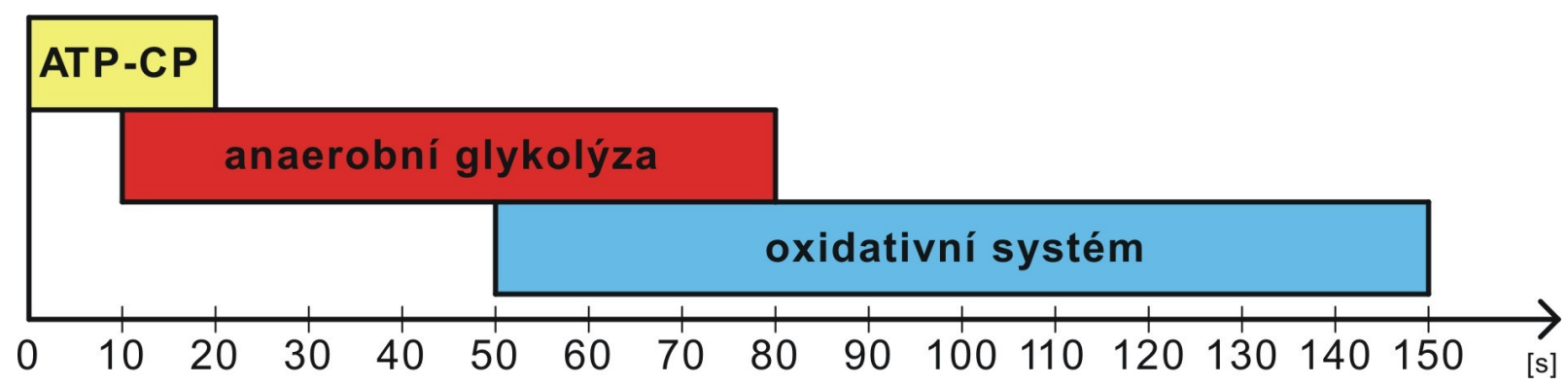
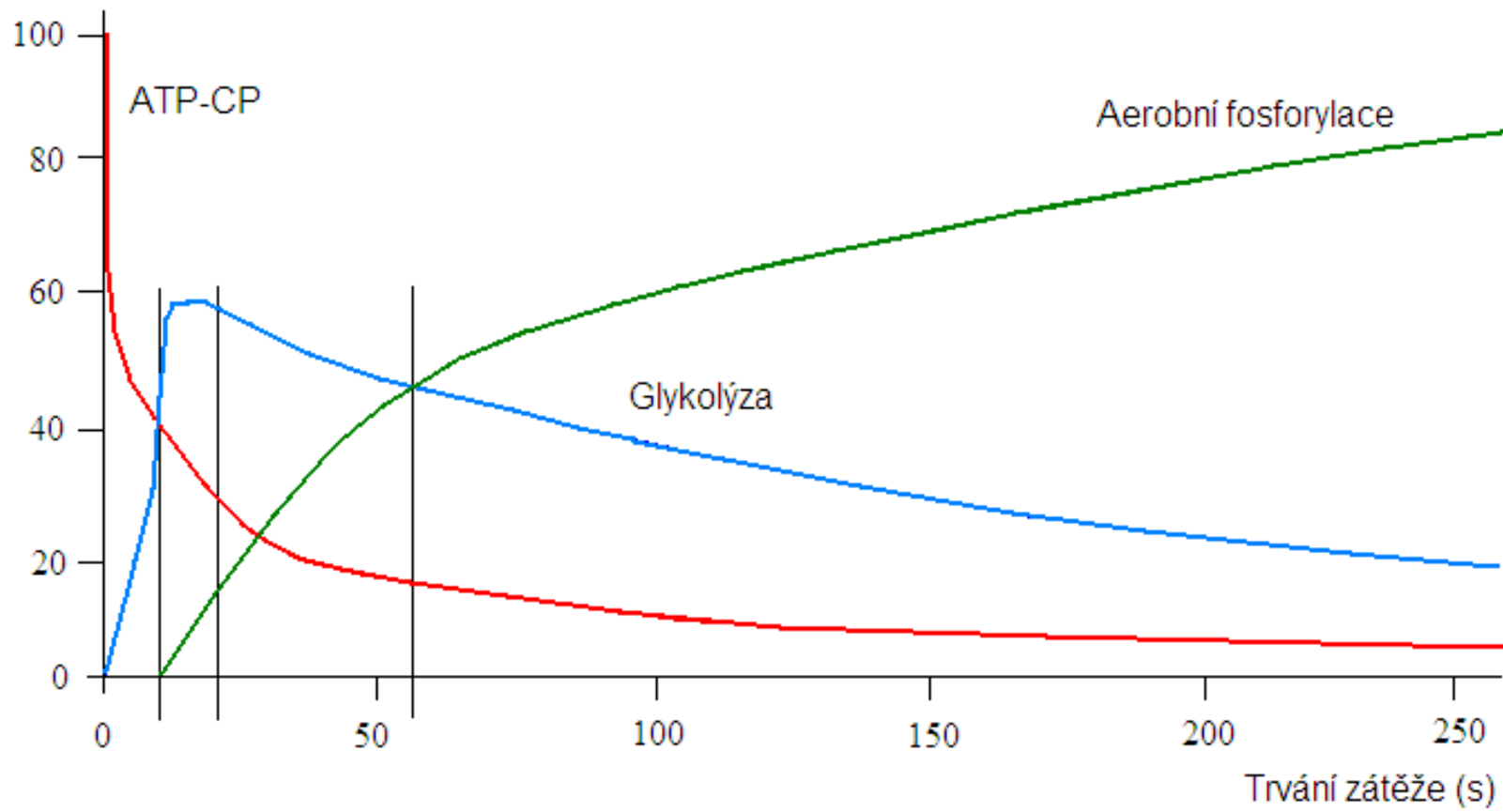
# Poznámka

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>



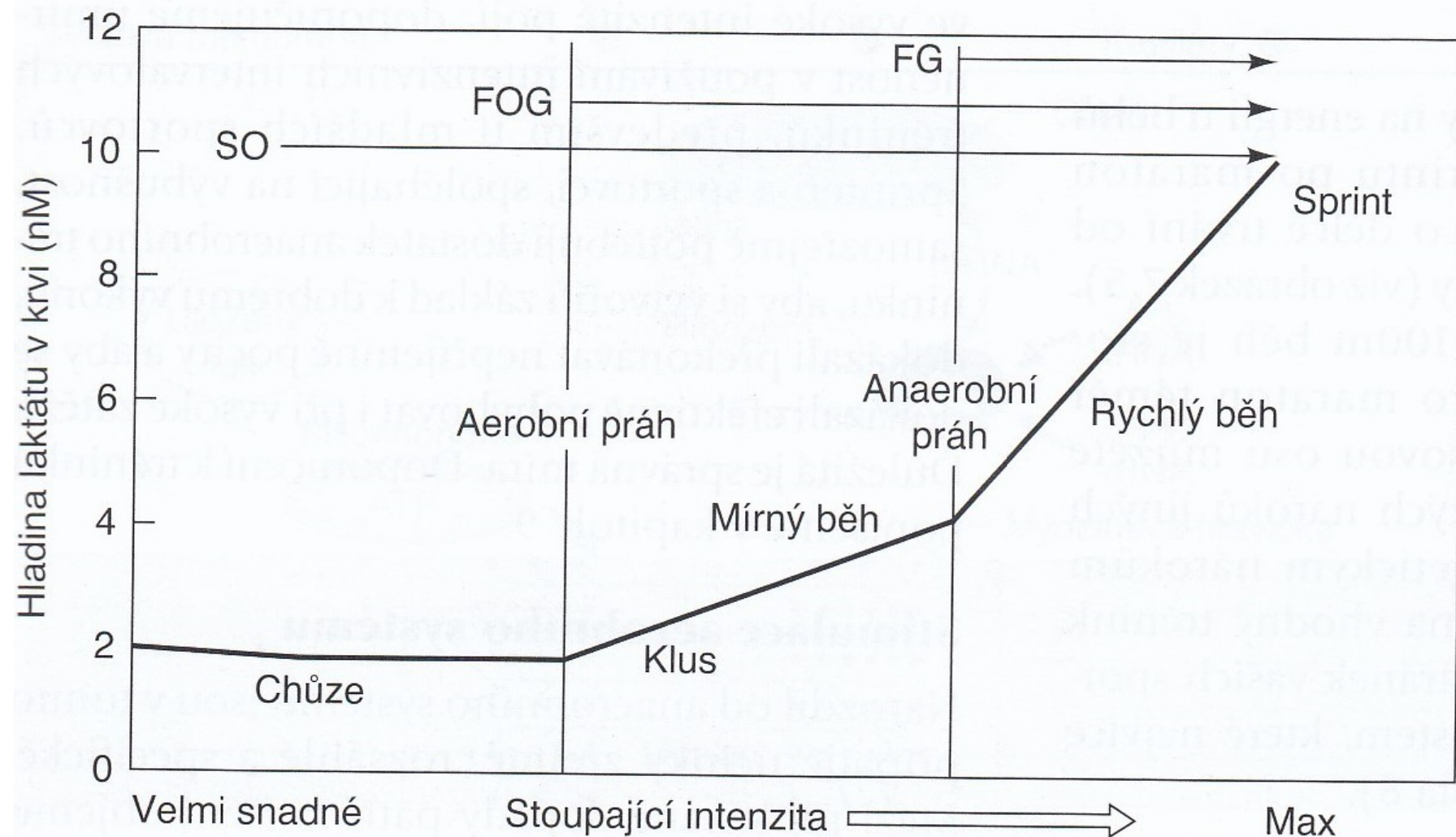
# Pásma energetické krytí

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

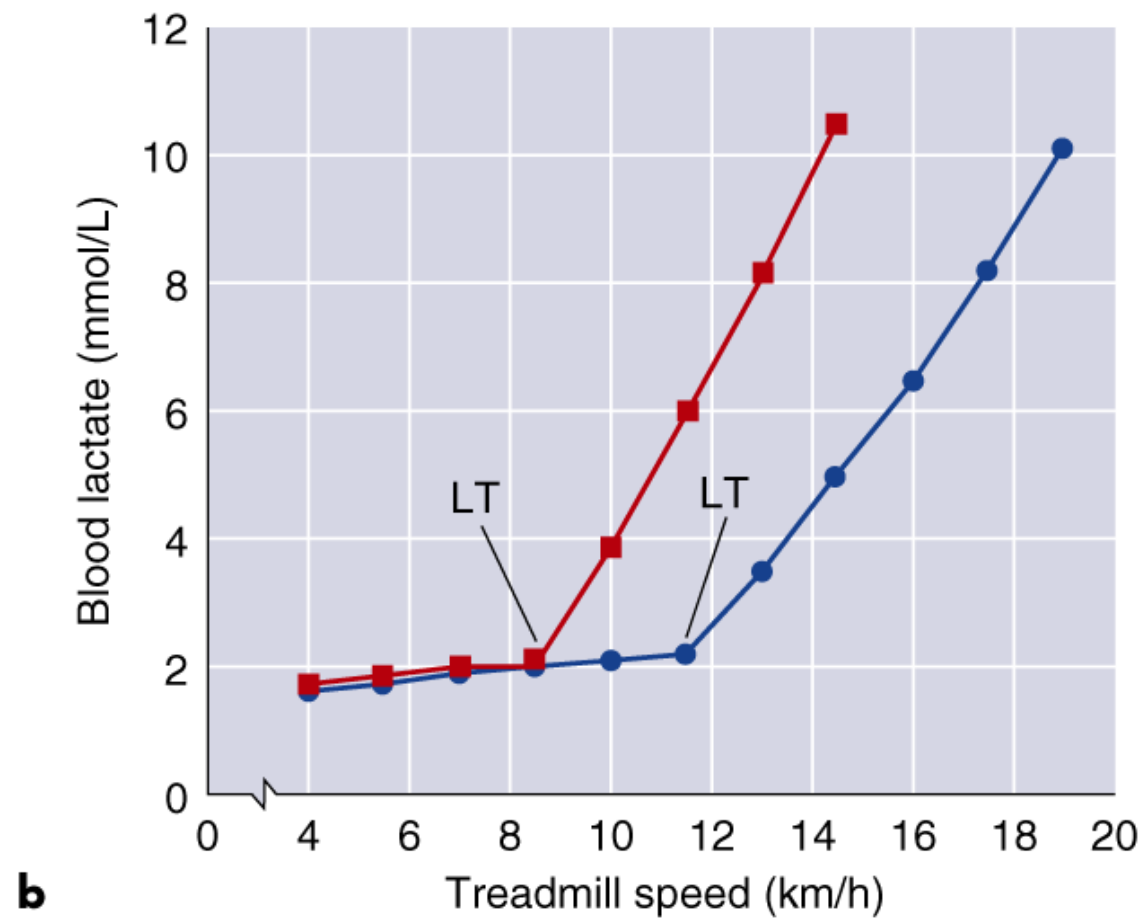
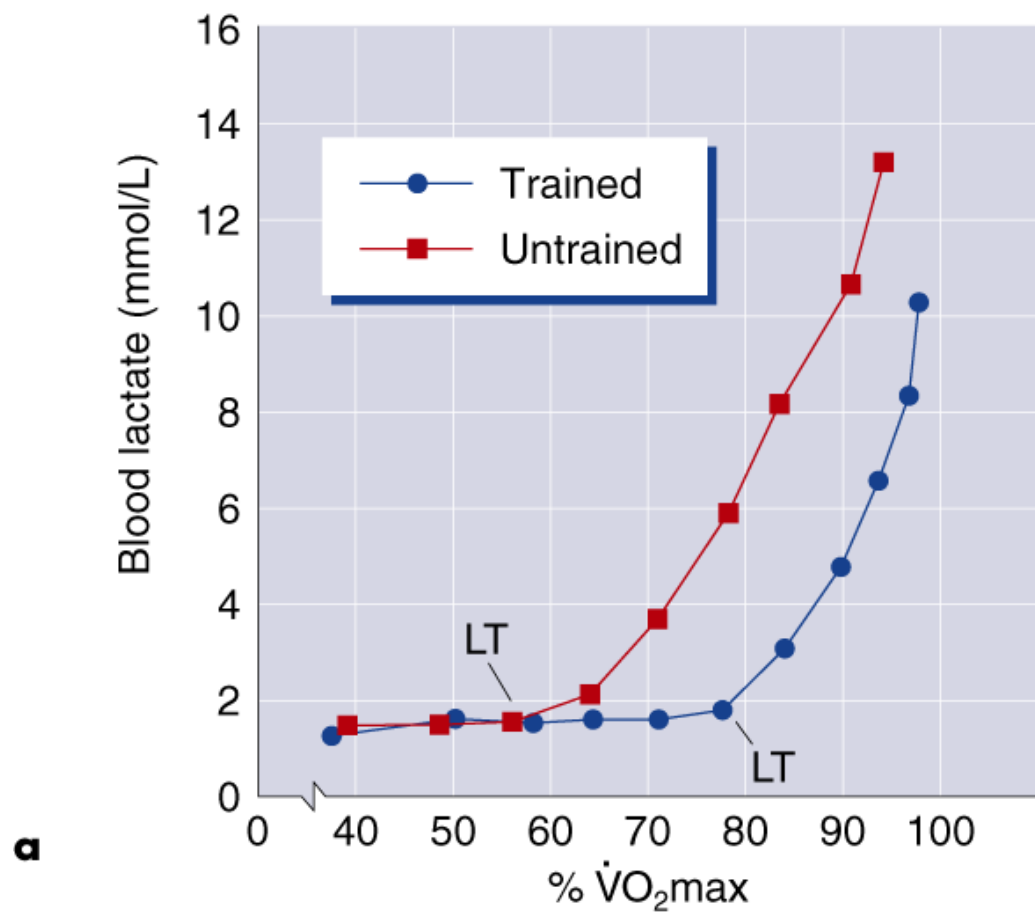
Anaerobní alaktátové

Anaerobní laktátové

Aerobní alaktátové



**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.



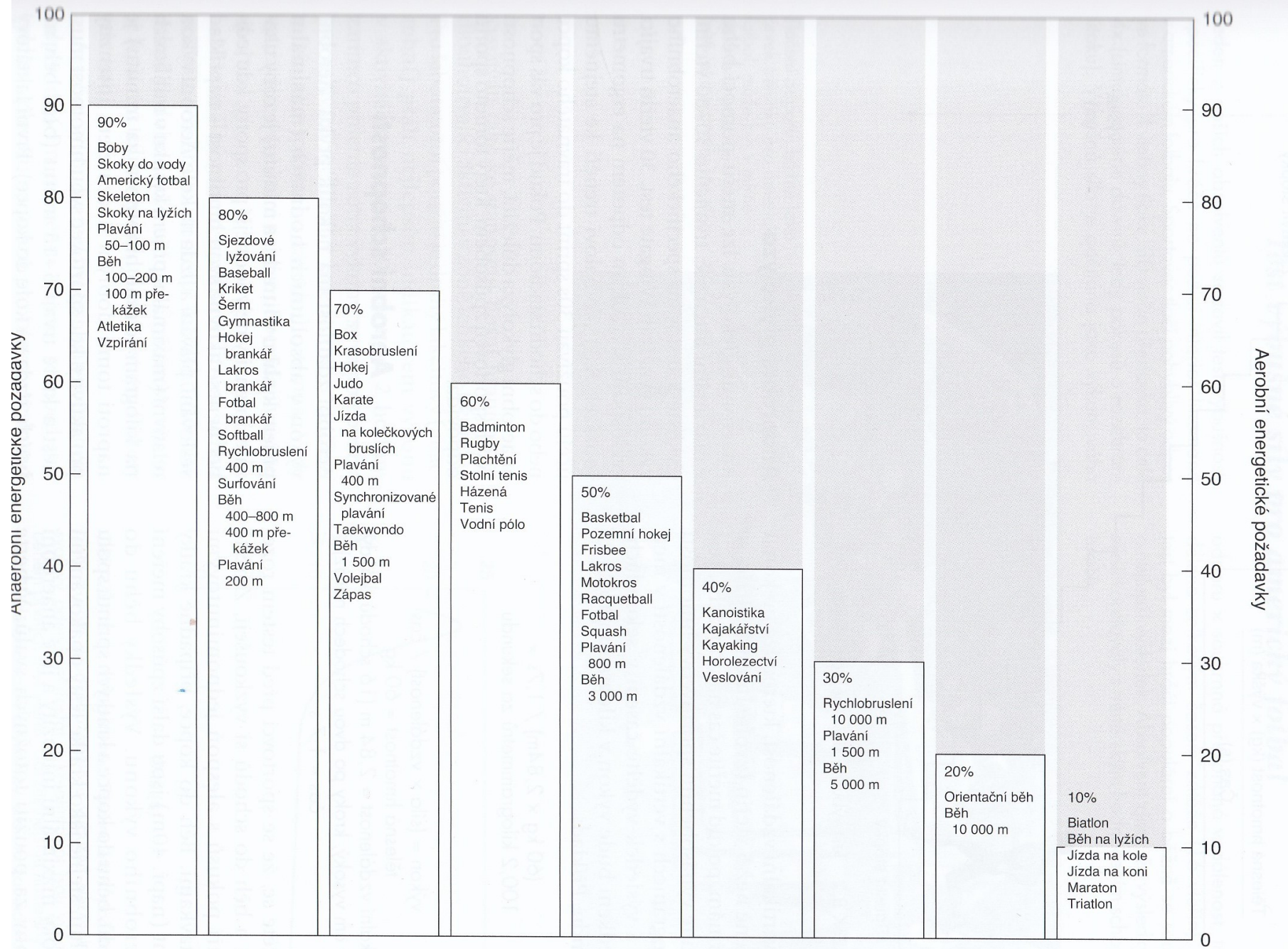


**Tabulka 9:** Podíl energetických systémů (%) na činnosti různé doby trvání a relativně maximální intenzity = po uvedenou dobu co možná nejvyšší (podle Mac Dougall a kol. 1982)

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

<b>Intenzita výkonu</b>	<b>Trvání výkonu</b>	<b>Období superkompenzace</b>
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.

	<b>Doba</b>	
	<b>minimální</b>	<b>maximální</b>
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.



OBRAZEK 8.1 Anaerobní a aerobní požadavky rozdílných sportů.

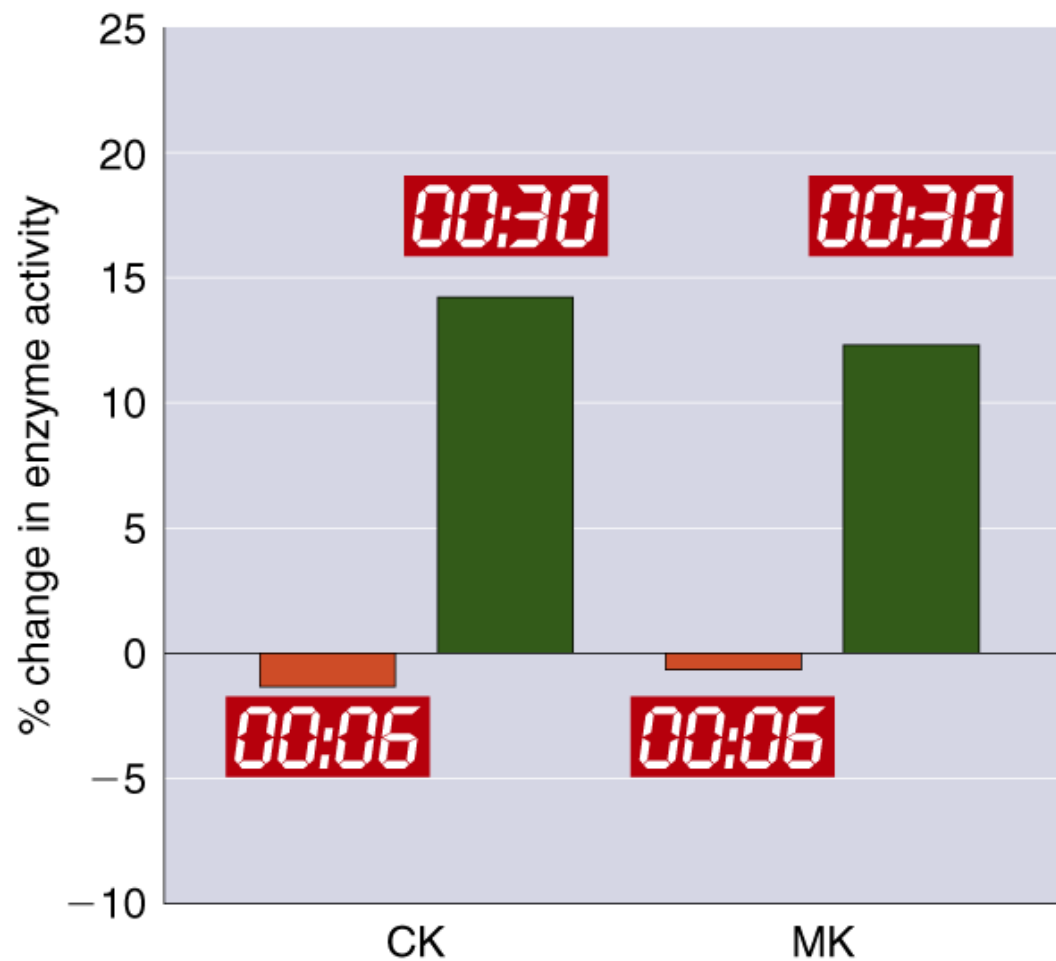
řevzato se svolení z B.J. Sharkey, 1986, *Coaches guide to sport physiology* (Champaign, IL: Human Kinetics), 100.

# Adaptace na anaerobní trénink

- Zvýšení ATP-CP zásob a glykolytických enzymů
- Zvýšení oxidativní kapacity ve svalu (výkony nad 30s)
- Zvýšení pufrovací kapacity (schopnost neutralizovat vznikající acidózu ve svalu)

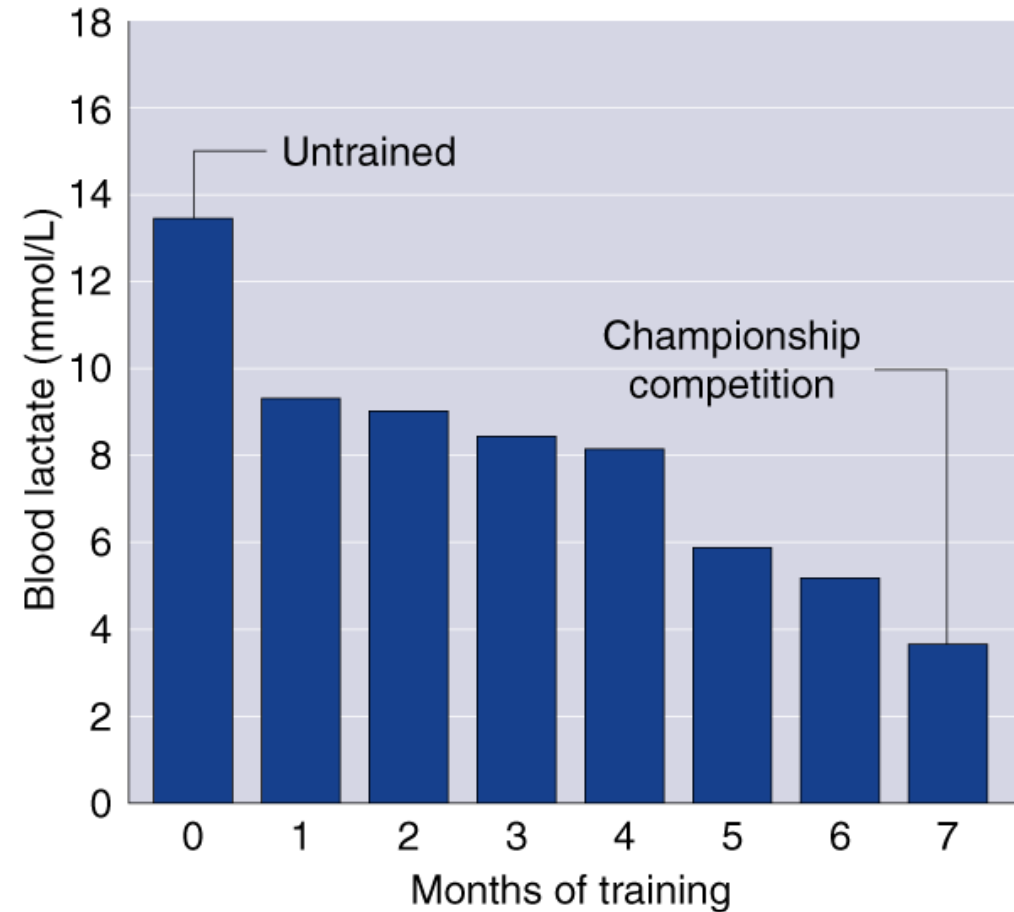
# Adaptace na anaerobní trénink - enzymy

- ATP-CP systém
  - Kreatinkináza (CK)
  - Myokináza (MK)



# Adaptace na anaerobní trénink – enzymy

- Anaerobní fosforylace
  - Laktátdehydrogenáza
  - Fosforyláza
  - Fosfofruktokináza



# Adaptace na aerobní trénink

- Zvýšení množství glykogenu triglyceridů ve svalu
- Zvýšení množství myoglobinu (až o 75-85 %) – váže na sebe O<sub>2</sub>
- Zvýšení efektivity využívání MK jako zdroj E (šetří glykogen)
- Zvýšení počtu mitochondrií a oxidativních enzymů

# Adaptace na aerobní trénink - enzymy

- Karnitintransferáza (regulace  $\beta$ -oxidace MK)
- Sukcinátdehydrogenáza (vnitřní membrána mitochondrie, podílí se na citrátovém cyklu)
- Malátdehydrogenáza (podílí se také na citrátovém cyklu)



# 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

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  $VO_2$  vsedě, 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)

- [https://is.muni.cz/do/fsps/e-learning/fyziologie\\_sport/index.html](https://is.muni.cz/do/fsps/e-learning/fyziologie_sport/index.html)