

# **PATOFYZIOLOGIE TĚLESNÉ ZÁTĚŽE**

**- Některé projevy adaptace na pravidelné cvičení nebo trénink**

Fyzioterapie 2013/2014

FSpS MU Brno

**Množství zevních i vnitřních faktorů,  
které se prolínají a vzájemně plasticky ovlivňují**



**existence člověka**

**Pohyb umožňuje dynamickou existenci člověka  
v dynamicky se měnícím zevním prostředí**

**Reakce jednotlivých systémů a celého lidského organismu  
na jednorázovou zátěž**



**fyziologie zátěže**

# **PATOFYZIOLOGIE ZÁTĚŽE**



**opakované a dlouhodobé působení pohybu na organismus**

**Funkční adaptace některých systémů na opakovaný podnět  
poměrně velmi brzy  
známky adaptace mohou velmi brzy odeznít**

**Funkční adaptace jiných systémů  
velmi pomalá, může trvat mnoho měsíců**

# **PATOFYZIOLOGIE ZÁTĚŽE**

**Cílem adaptace na dlouhodobě opakovaný pohyb**

- zabezpečit pravidelně a více zatěžovaný pohybový systém**
- co nejmenší vychýlení vnitřní rovnováhy (homeostázy) lidského organismu**

**PA probíhá co neekonomičtěji  
s minimem čerpání energetických zdrojů**

**Adaptace na tělesnou zátěž  
mnoho různých vzájemně na sebe navazujících mechanismů  
zasahuje většinu systémů**

# PATOFYZIOLOGIE ZÁTĚŽE

Soubor adaptačních mechanismů



organismus odolný vůči tělesné zátěži

=

**TRÉNOVANOST**

Míra schopnosti zvyšovat trénovanost

=

**TRÉNOVATELNOST**

# **PATOFYZIOLOGIE ZÁTĚŽE**

**Trénovanost i trénovatelnost**

**Genetická složka**

**se podílí na trénovanosti i trénovatelnosti**

**Vliv genotypu proteinového enzymu FTO**  
(*dioxygenáza vázaná na  $\alpha$ -ketoglutarát*)  
kódován genem lokalizovaným na 16. chromozomu

## **Jeho varianty mají vztah k lidské obezitě**

- Riziková genová varianta **FTO 1** – predispozice k obezitě pouze u osob se sedavým životním stylem, u osob se střední nebo vysokou úrovní PA není predispozice k obezitě

### **ČILI**

- a) - **CVIČÍŠ – NEJSI OBÉZNÍ**
- b) - **NECVIČÍŠ – JSI OBÉZNÍ, ZAČNEŠ CVIČIT – NEJSI OBÉZNÍ**

- Riziková genová varianta **FTO 2** – u obézních osob se efekt PA neprojeví

### **ČILI**

**NECVIČÍŠ – JSI OBÉZNÍ, ZAČNEŠ CVIČIT – ZŮSTANEŠ OBÉZNÍ**

# **PATOFYZIOLOGIE ZÁTĚŽE**

**Trénovanost i trénovatelnost**

## **Genetická složka**

**se podílí např. na výsledné úrovni vytrvalostní kapacity  
z více než 50 %**

**Mladí úspěšní sportovci na začátku sportovní dráhy  
většinou dobře trénovaní a dobře trénovatelní**

**S postupem času (*v průběhu stárnutí lidského organismu*)**

**klesá trénovatelnost**

**trénovanost může ještě po jistou dobu přetrvávat**



# **PATOFYZIOLOGIE ZÁTĚŽE**

**Většina mladších závodně nesportujících jedinců  
je ve srovnání se sportující populací**



**hůře trénovaná a většinou i hůře trénovatelná**

**V pozdějším věku ovlivňuje  
výslednou úroveň trénovanosti i trénovatelnosti**



**aktivní životní styl**

**s adekvátní fyzickou a psychickou aktivitou a životosprávou**

**=**

**lepší využití vrozených dispozic**

**ZACHOVÁNÍ ADEKVÁTNÍ ADAPTABILITY AŽ DO POZDÍHO VĚKU**

# PATOFYZIOLOGIE ZÁTĚŽE

**Smysl opakované pohybové aktivity**

- zlepšení zdraví
- dosažení vyšší sportovní výkonnosti

=

**ZVYŠOVÁNÍ TRÉNOVANOSTI**

**Volba správných prostředků ke zvýšení trénovanosti důležitá!!!**

**NESPRÁVNÉ POUŽITÍ**

- proces adaptace zastaví
- nebo vede k negativním efektům

# PATOFYZIOLOGIE ZÁTĚŽE

Adaptace na dlouhodobé cvičení (sportovní trénink) závisí na

- Intenzitě zatížení
- Trvání
- Frekvenci
- Druhu PA

## • Vstupní (iniciální) úroveň zdatnosti

Jedinci s nižší úrovní zdatnosti na začátku programu



větší změna adaptace (tzv. **ZÁKON INICIÁLNÍCH HODNOT**)

# PATOFYZIOLOGIE ZÁTĚŽE

Vstupní (iniciální) úroveň zdatnosti

## ZÁKON INICIÁLNÍCH HODNOT

Lidé se sedavým životním stylem a onemocněním srdce



v důsledku optimálního tréninku  $\uparrow$   $VO_2$  max až o **50 %**

Zdravé osoby



v důsledku optimálního tréninku  $\uparrow$   $VO_2$  max o **10 – 15 %**

Trénovaní sportovci



v důsledku optimálního tréninku  $\uparrow$   $VO_2$  max jen o **1 – 3 %**

# PATOFYZIOLOGIE ZÁTĚŽE

Adaptace na dlouhodobé cvičení (sportovní trénink) závisí na

- Intenzitě zatížení
- Trvání
- Frekvenci
- Druhu PA

## • Genetických faktorech

Intenzivní vytrvalostní **trénink** = nejvyšší hodnoty aerobní kapacity z hlediska možností sportovce.

**Genetické faktory určují hranice aerobní kapacity**

Příklad  **$VO_2 \max$**  (ml/kg/min) - 20 let

Jedinec A – bez tréninku **55**, s vytrvalostním tréninkem **64**

Jedinec B – bez tréninku **40**, s vytrvalostním tréninkem **46**

# PATOFYZIOLOGIE ZÁTĚŽE

Adaptace na dlouhodobé cvičení (sportovní trénink) závisí na

- Intenzitě zatížení
- Trvání
- Frekvenci
- Druhu PA

## • Genetických faktorech

(jednovaječná dvojčata podobnější hodnoty  $VO_2$  max než dvojvaječná)

**Genetické dispozice zodpovědné  
a 50 – 65 % variací hodnot  $VO_2$  max!**

Podobně jako úroveň aerobní kapacity ovlivňuje dědičnost

**i trénovatelnost**

(individuální schopnost odpovědět pozitivně na tréninkovou zátěž)

# PATOFYZIOLOGIE ZÁTĚŽE

Adaptace na dlouhodobé cvičení (sportovní trénink) závisí na

- Intenzitě zatížení
- Trvání
- Frekvenci
- Druhu PA

## • Genetických faktorech

Podobně jako úroveň aerobní kapacity ovlivňuje dědičnost  
i **trénovatelnost**

Příklad **VO<sub>2</sub> max** (ml/kg/min) = bez tréninku 52

jedinec A – optimální trénink – 57

Jedinec B – optimální trénink – 64

# PATOFYZIOLOGIE ZÁTĚŽE

Adaptace na dlouhodobé cvičení (sportovní trénink) závisí na

- Intenzitě zatížení
- Trvání
- Frekvenci
- Druhu PA

## • Věku

Nejvyšší hodnoty  $VO_2$  max mezi **12 a 20 léty**

Potom aerobní kapacita postupně klesá

v průměru asi **o 5 % za dekádu**

dalších 5 % vliv nemocí a klesající pohybové aktivity

Celkem průměrně **10 % za dekádu**

Zpomalení poklesu pravidelným optimálním cvičením



# PATOFYZIOLOGIE ZÁTĚŽE

Nejvyšší hodnoty  $VO_2$  max mezi **12 a 20 léty**

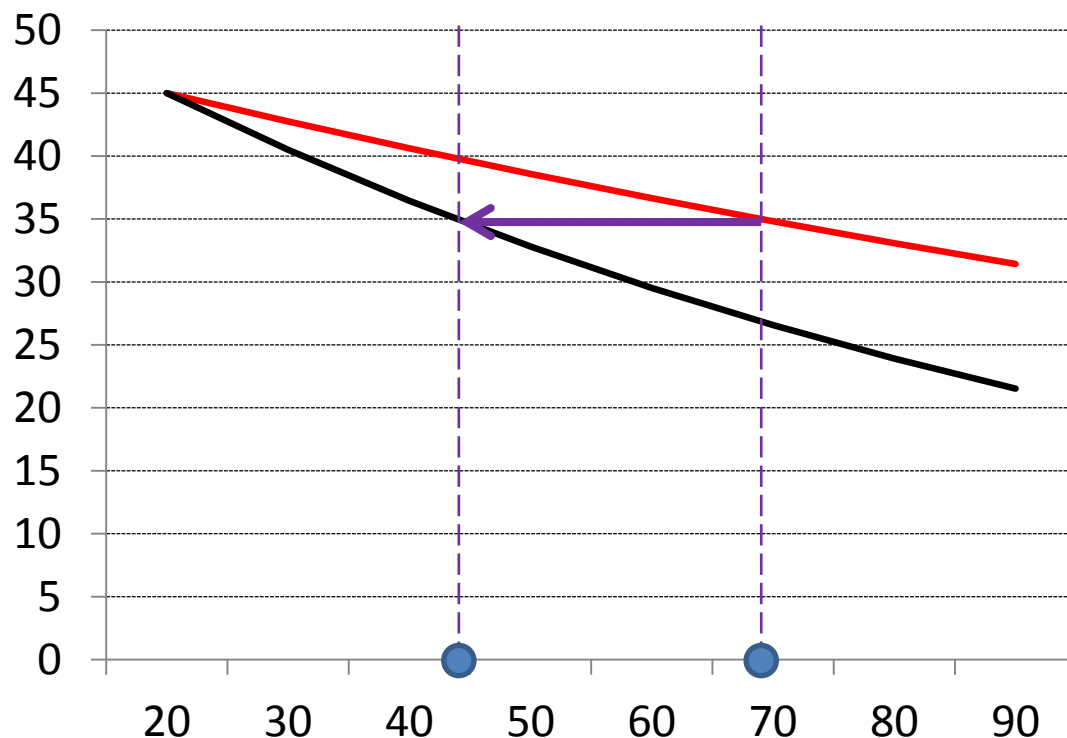
Potom aerobní kapacita postupně klesá

v průměru asi **o 5 % za dekádu**

dalších 5 % vliv nemocí a klesající pohybové aktivity

Celkem průměrně **10 % za dekádu**

$VO_2$ /kg max



MZA : MSŽS =

**74 : 49**

— muž zdravý aktivní

— muž SŽS

věk

# PATOFYZIOLOGIE ZÁTĚŽE

Adaptace na dlouhodobé cvičení (sportovní trénink) závisí na

- Intenzitě zatížení
- Trvání
- Frekvenci
- Druhu PA

## • Pohlaví

Do puberty  $VO_2$  max u chlapců a dívek se významně neliší

Po ukončení puberty aerobní kapacita mužů **↑ rychleji**  
v dospělosti většinou **o 25 – 30 % vyšší**

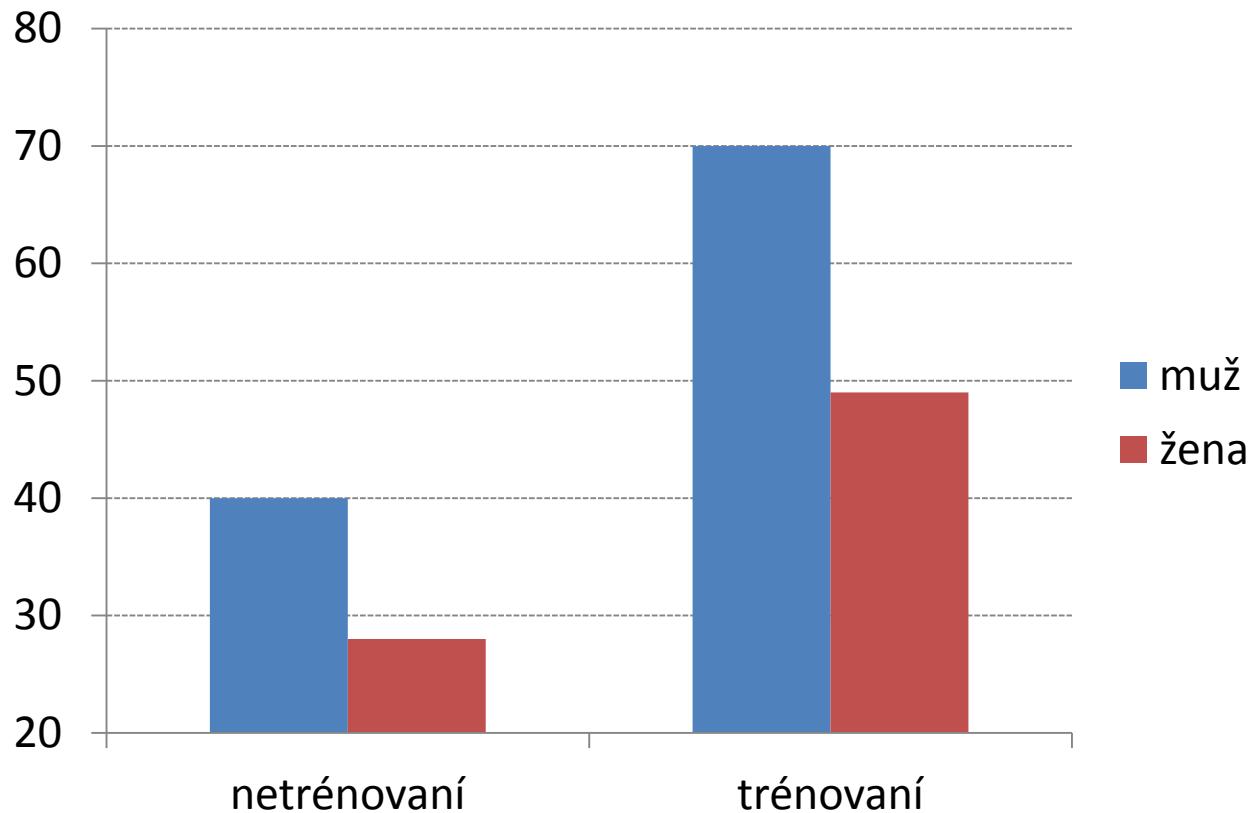
Příčiny

- složení těla
- koncentrace hemoglobinu

# PATOFYZIOLOGIE ZÁTĚŽE

**Muži v dospělosti většinou o 25 – 30 % vyšší**

VO<sub>2</sub>/kg max



# **METABOLICKÁ ADAPTACE**

**Výběr substrátu a způsob jeho využití záleží na celé řadě okolností**

**Cíl:**

**Efektivní a rychlá resyntéza makroergních fosfátů  
při co nejmenším energetickém výdeji**

# METABOLICKÁ ADAPTACE

## Adaptace glykolytického systému (anaerobní glykolýza)

Se zvyšující se intenzitou zátěže se zvyšuje zapojení rychlých svalových vláken a zvyšuje se i intenzita glykolýzy

### Trénink - zvýšení rychlosti a síly

*(většinou formou intervalového nebo intermitentního tréninku – střídání krátkodobých úseků o vysoké a nízké intenzitě zatížení)*



**v podmínkách akcentované glykolýzy**

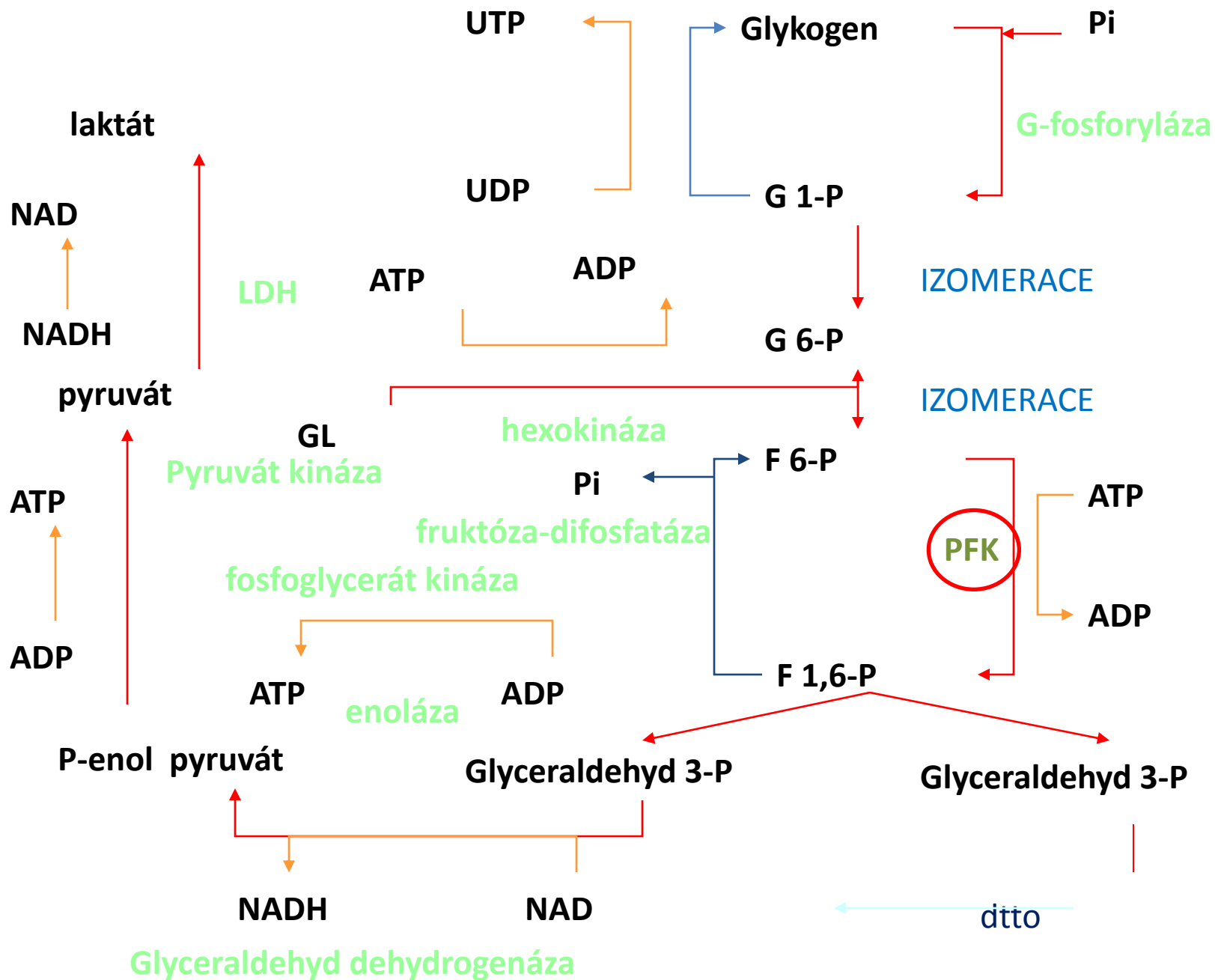
# METABOLICKÁ ADAPTACE.

## Adaptace glykolytického systému (anaerobní glykolýza)

### Cíl:

rychlý zisk relativně malého množství energie

- **zvýšené zásoby makroergních fosfátů**
- **zvýšené zásoby volného kreatinu**
- **zvýšená aktivita glykolytických enzymů** (*klíčovou roli při regulaci anaerobního uvolňování energie sehrává fosfofruktokináza*)
- **zvýšené množství svalového glykogenu**



# METABOLICKÁ ADAPTACE.

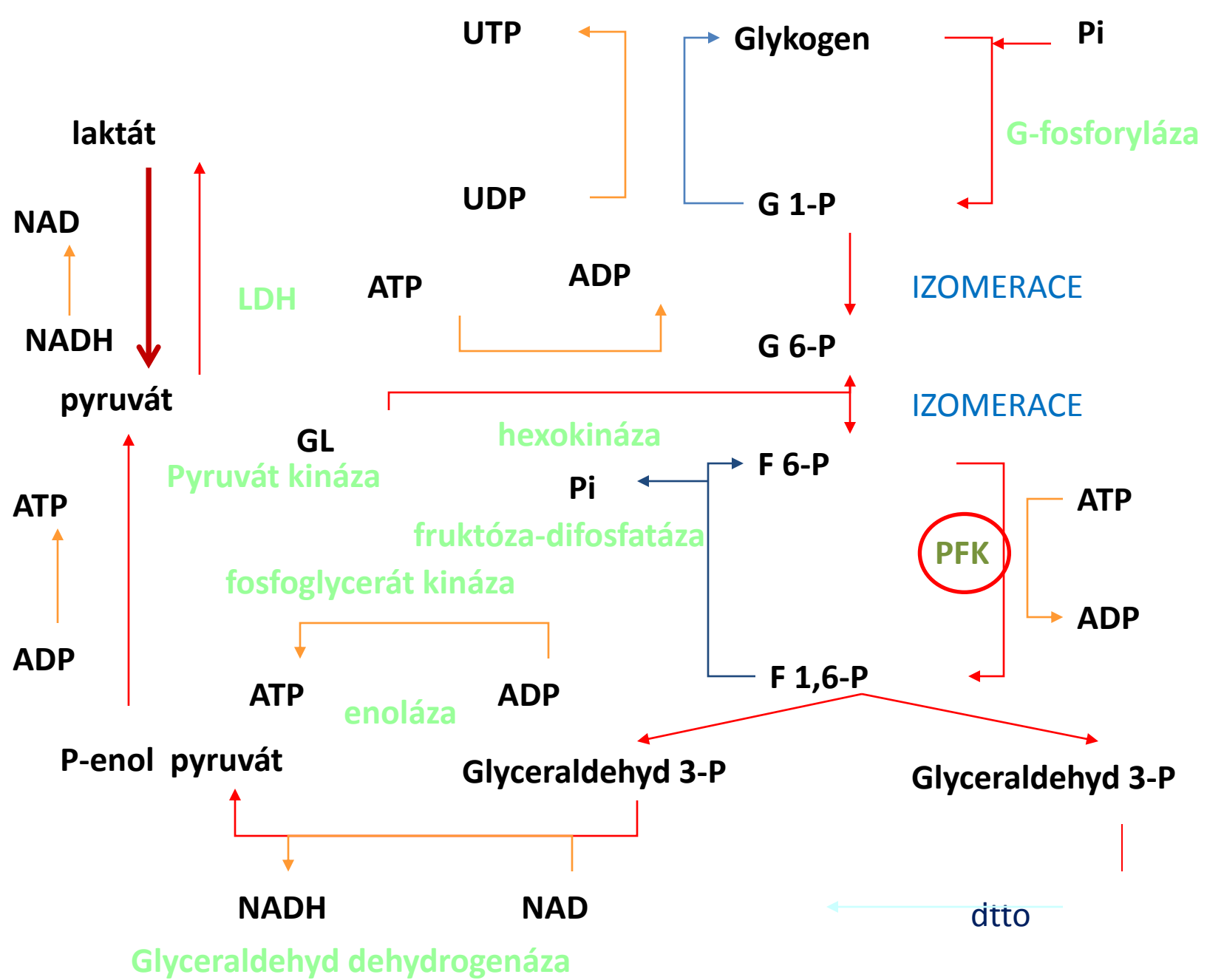
## Adaptace glykolytického systému (anaerobní glykolýza)

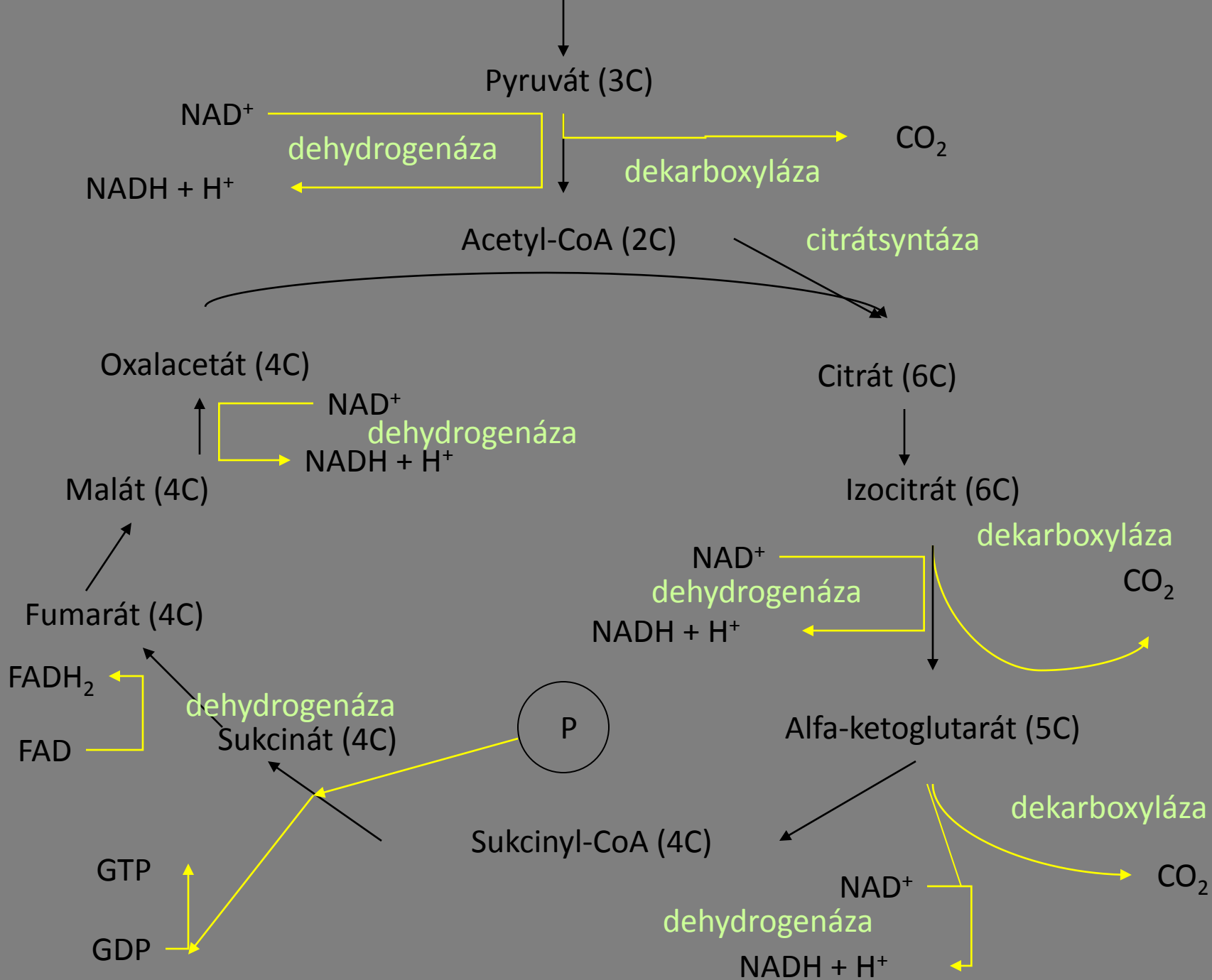
Konečným produktem

**kyselina mléčná a její aniont (laktát)**

- **bud' metabolizuje zpět na pyruvát** (*ten se rozloží v mitochondriích v cyklu kyseliny citrónové na CO<sub>2</sub>, vodu a energii*)







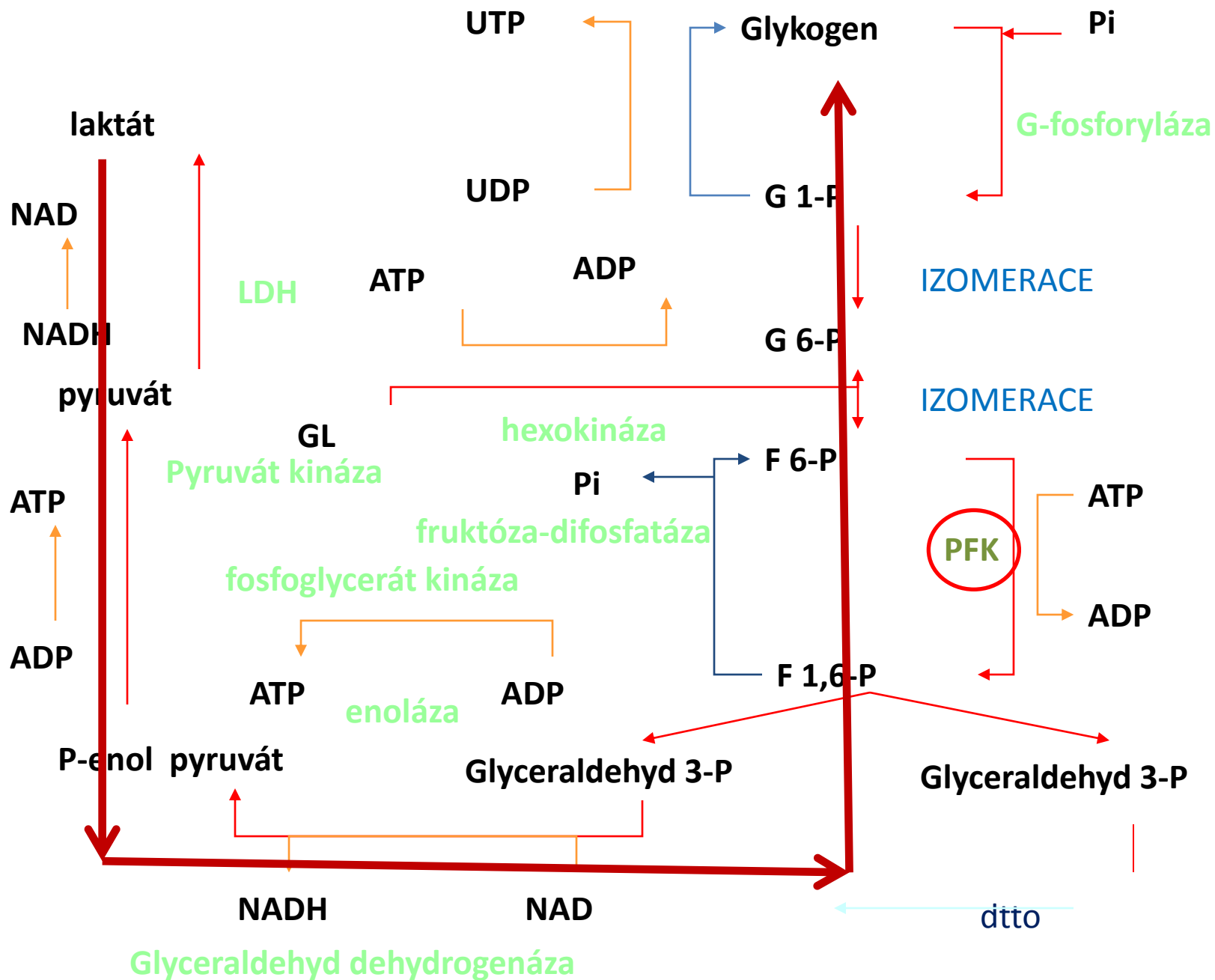
# METABOLICKÁ ADAPTACE.

## Adaptace glykolytického systému (anaerobní glykolýza)

Konečným produktem

**kyselina mléčná a její aniont (laktát)**

- **bud' metabolizuje zpět na pyruvát** (*ten se rozloží v mitochondriích v cyklu kyseliny citrónové na  $CO_2$ , vodu a energii*)
- **nebo se stává zdrojem glukoneogeneze**



# METABOLICKÁ ADAPTACE.

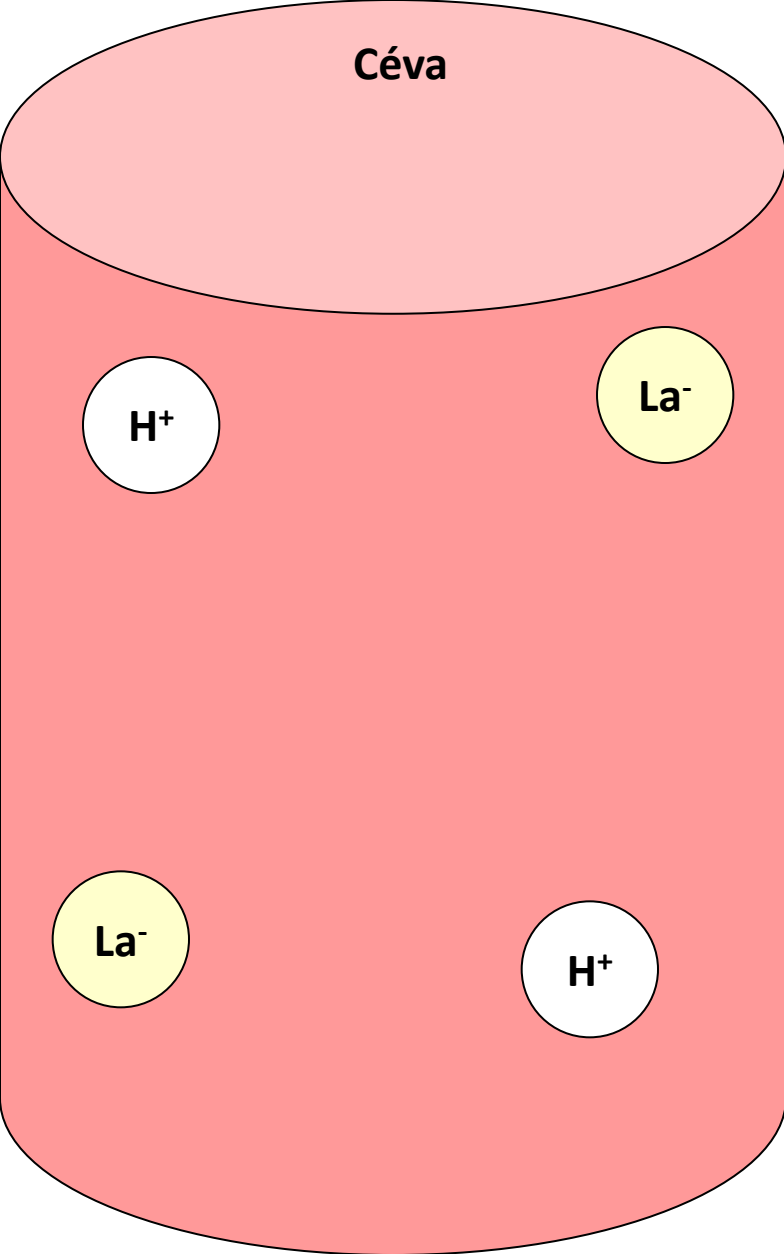
## Adaptace glykolytického systému (anaerobní glykolýza)

Konečným produktem

**kyselina mléčná a její aniont (laktát)**

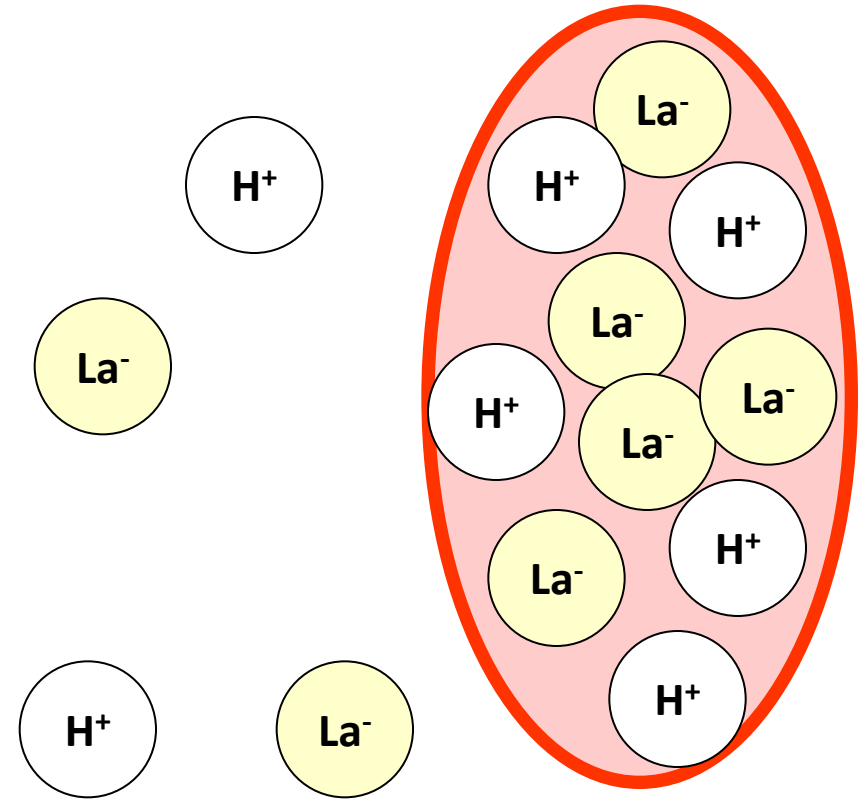
- **bud' metabolizuje zpět na pyruvát** (*ten se rozloží v mitochondriích v cyklu kyseliny citrónové na  $CO_2$ , vodu a energii*)
- **nebo se stává zdrojem glukoneogeneze**
- **nebo je transportován do mezibuněčného prostoru a odtud do vedlejších pomalých svalových vláken nebo do krve**

**Transport laktátu a vodíkového protonu** (*laktát je akceptor vodíku*)  
**do mezibuněčného prostoru a dál do krve**  
**ve směru koncentračního gradientu**

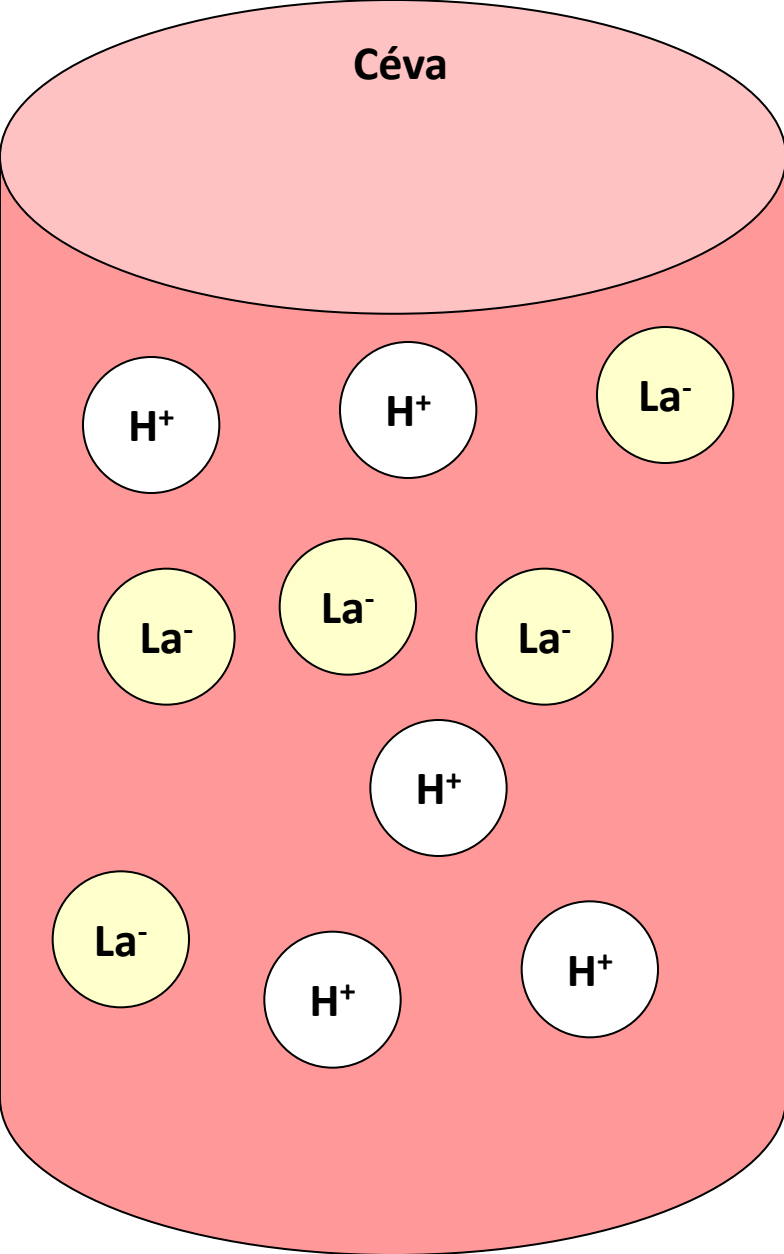


**Intercelulární tekutina**

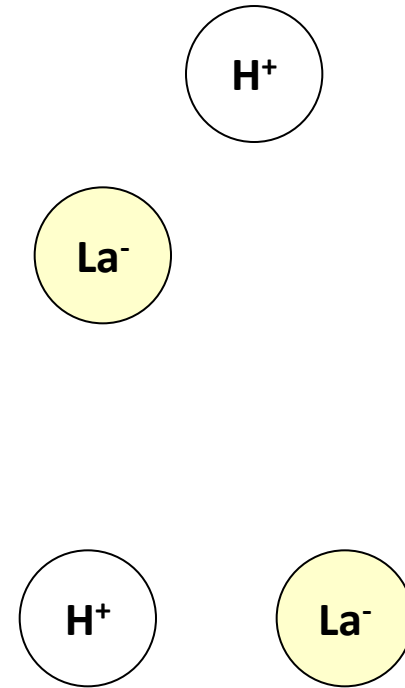
**Svalová buňka**



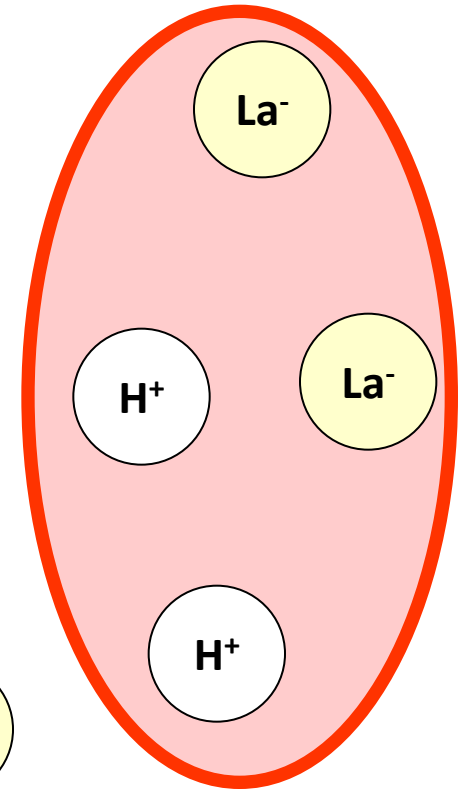
**Pohyb  $H^+$  a  $La^-$  - v závislosti na koncentračních gradientech**



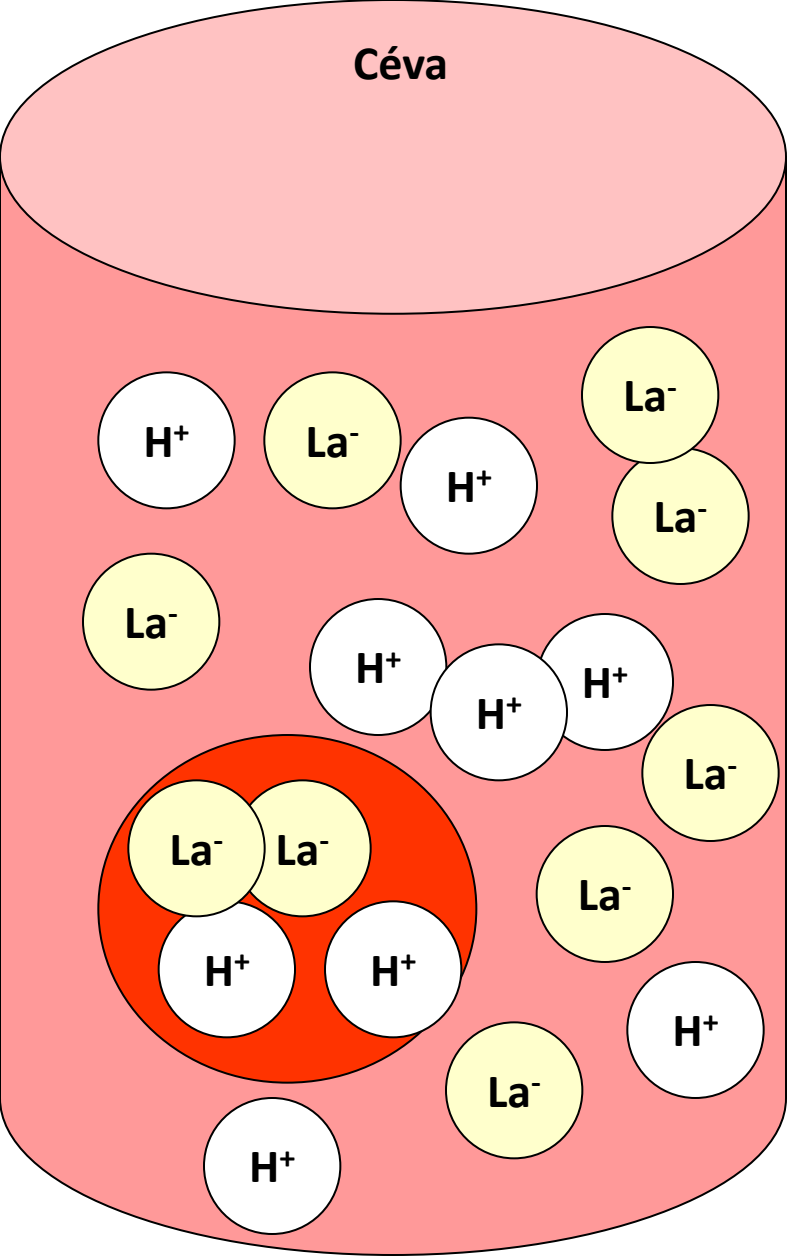
**Intercelulární tekutina**



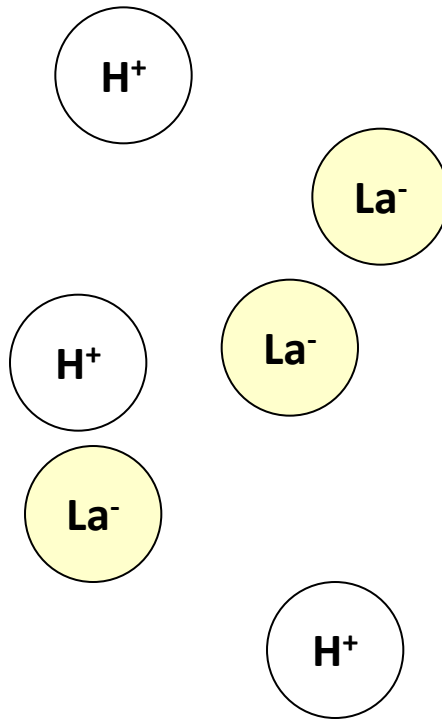
**Svalová buňka**



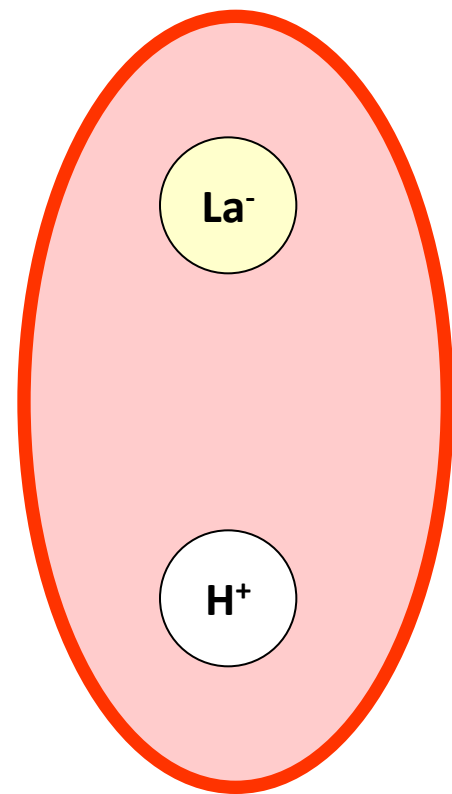
**Pohyb  $H^+$  a  $La^-$  - v závislosti na koncentračních gradientech**



**InterCelulární tekutina**



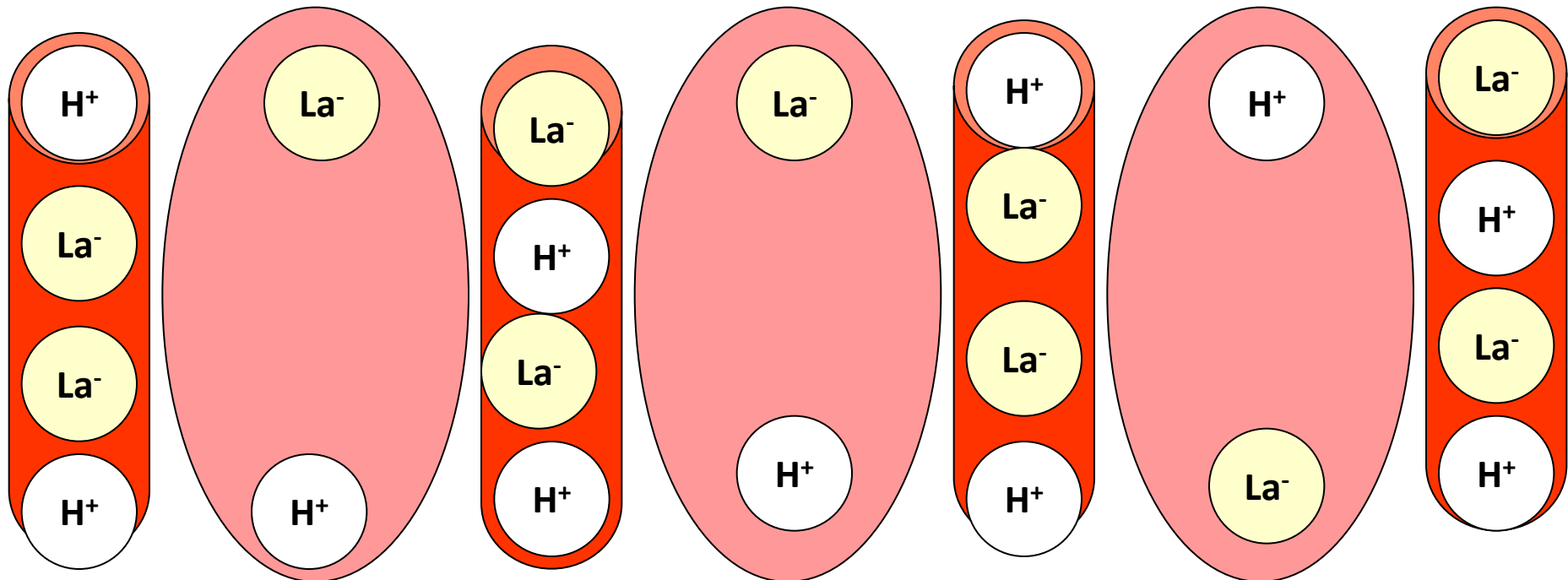
**Svalová buňka**





## Trénink zvyšuje množství kapilár připadajících na jedno svalové vlákno

- Zvyšuje svalový krevní průtok
- Zvyšuje laktátový a protonový transport z krve do svalů
- Pomáhá udržovat příznivější extra- a intracelulární laktátový a protonový gradient
- Podporuje oxidaci laktátu ve svalové tkáni



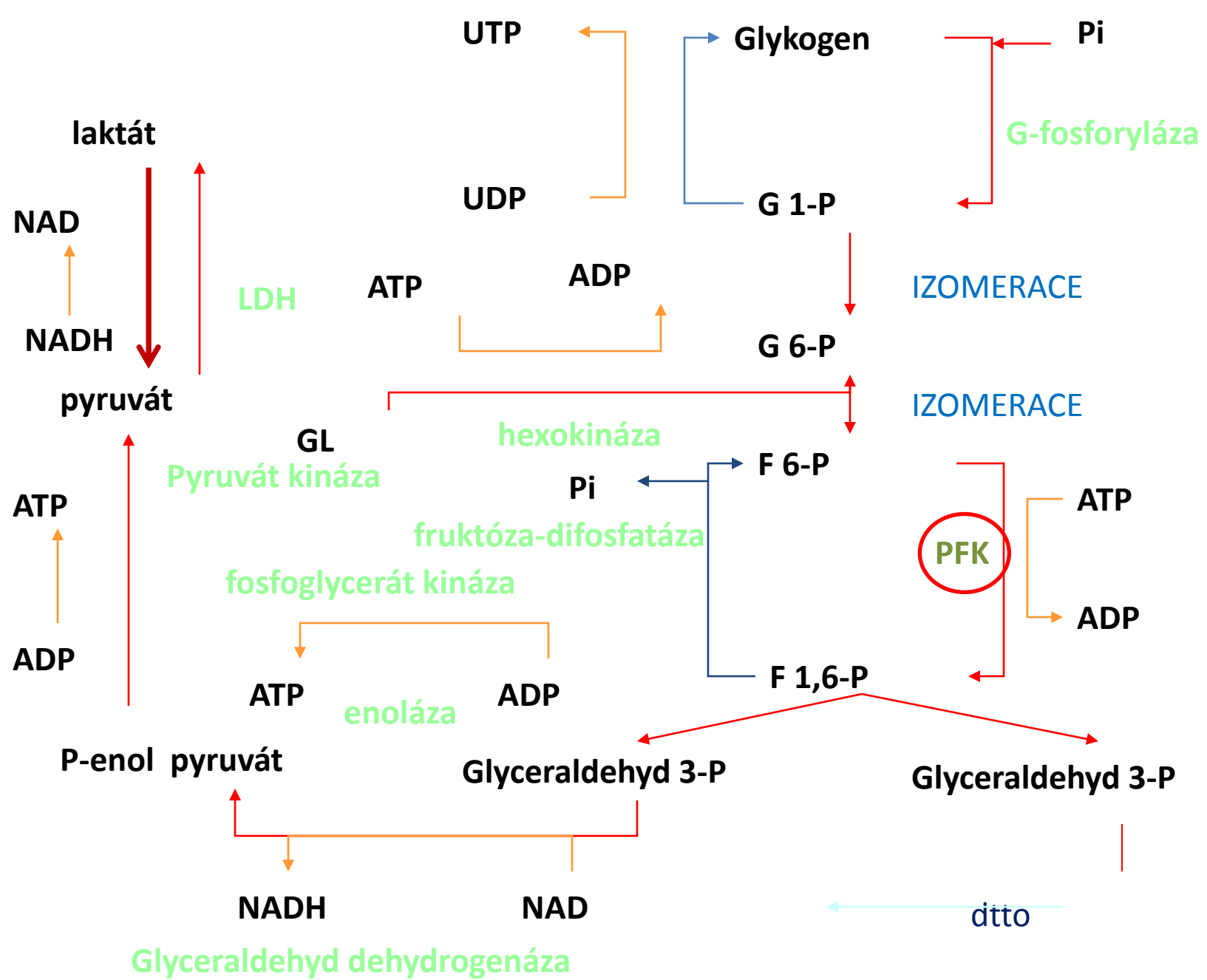
# ZÁSADNÍ POSUN LAKTÁTOVÉHO PARADIGMATU

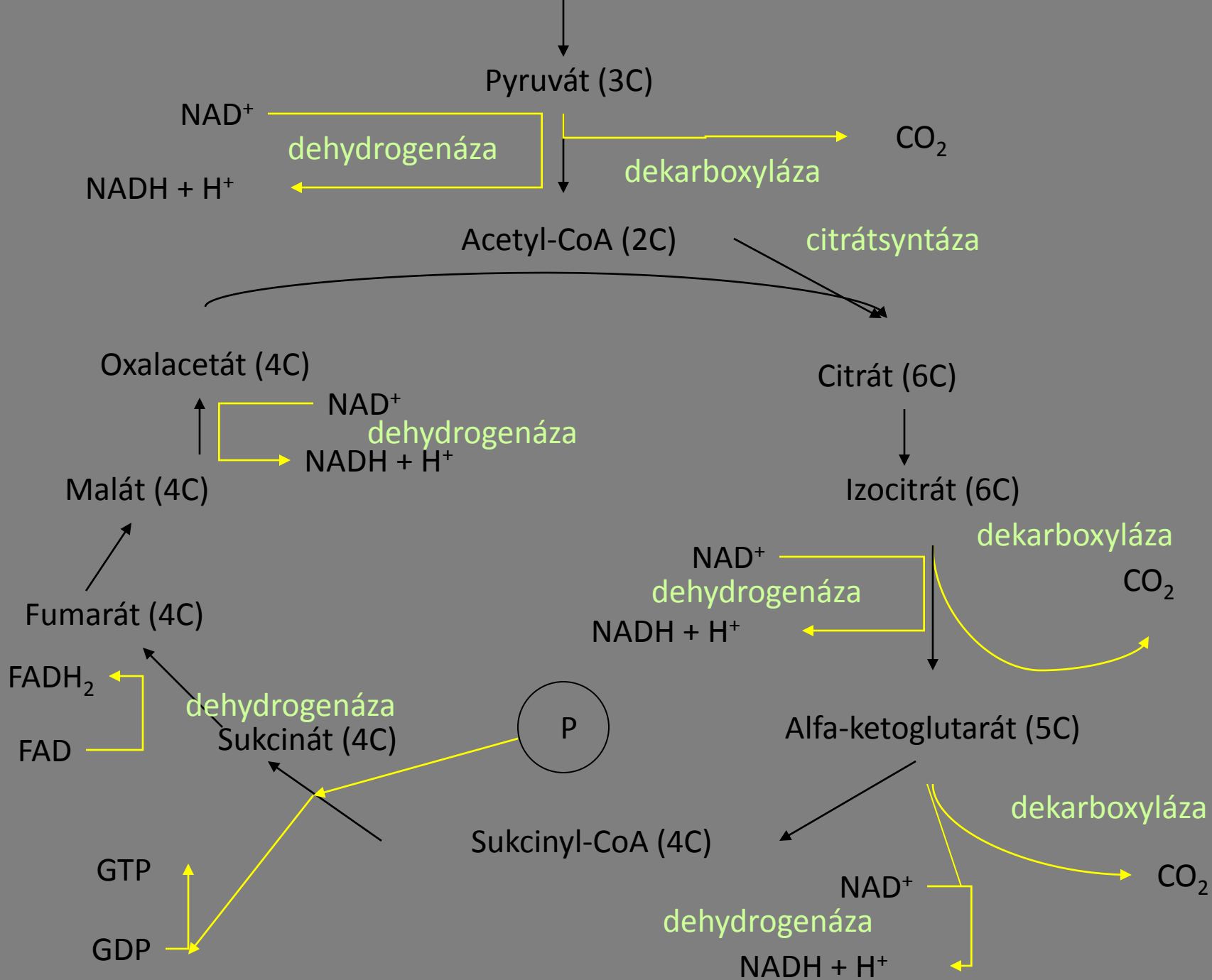
- Jednoznačná podpora teorii laktátového mezibuněčného člunku
- Laktát jako produkt anoxie nebo dysoxie je spíše výjimkou než pravidlem

## URYCHLENÍ REGENERACE

3. aerobní metabolit v podmínkách adekvátního zásobení kyslíkem a utilizace glukosy nebo glykogenu jako energetického substrátu







# Produkce energie

- Glyceraldehyd 3-P → 3-P glycerát +ATP
- P-enol pyruvát → Pyruvát +ATP

Celkem +2ATP

Všechno dvakrát +4ATP

- Fruktóza 6-P → Fruktóza 1,6-P -ATP

**Čistý zisk +3ATP**

# ENERGETICKÝ ZISK AEROBNÍ GLUKOLÝZY

glyceraldehyd 3-PV → 1,3-di P glycerát **3 ATP**

pyruvát → acetyl CoA **3 ATP**

Krebsův cyklus → **12 ATP**

**CELKEM** → **18 ATP**

Z 1 MOLEKULY GLUKÓZY 2 MOLEKULY GLYCERLDEHYDU

**Z 1 MOLEKULY GLUKÓZY**

**36 ATP**

# ENERGETICKÝ ZISK AEROBNÍ GLUKOLÝZY

Z 1 MOLEKULY GLUKÓZY AEROBNĚ **36 ATP**

ANAEROBNÍ GLUKOLÝZA

**2 ATP**

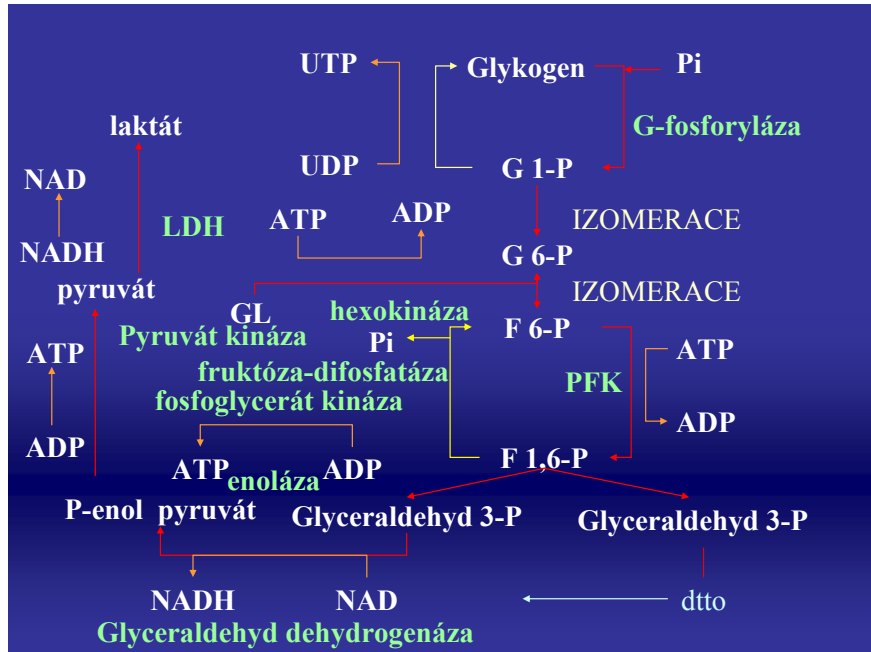
**Z GLUKÓZY CELKEM**

**38 ATP**

# Laktát poskytuje energii dvakrát:

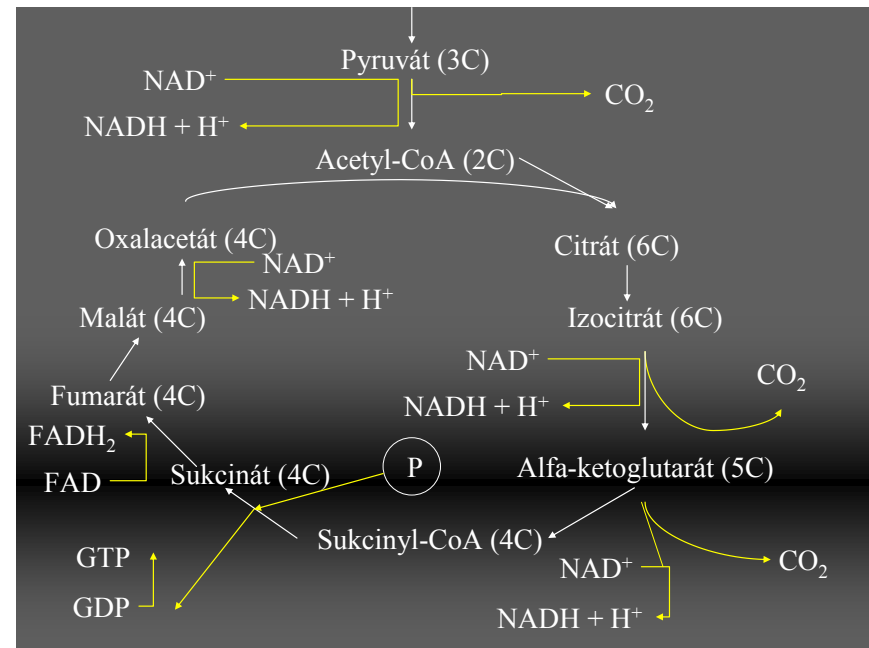
1. Malé přilepšení **2 – 3 molekuly ATP** (okamžitě)
2. Významný energetický substrát **36 molekul ATP** (v průběhu práce a zotavení)

## glykolysa



## aerobní fosforylace

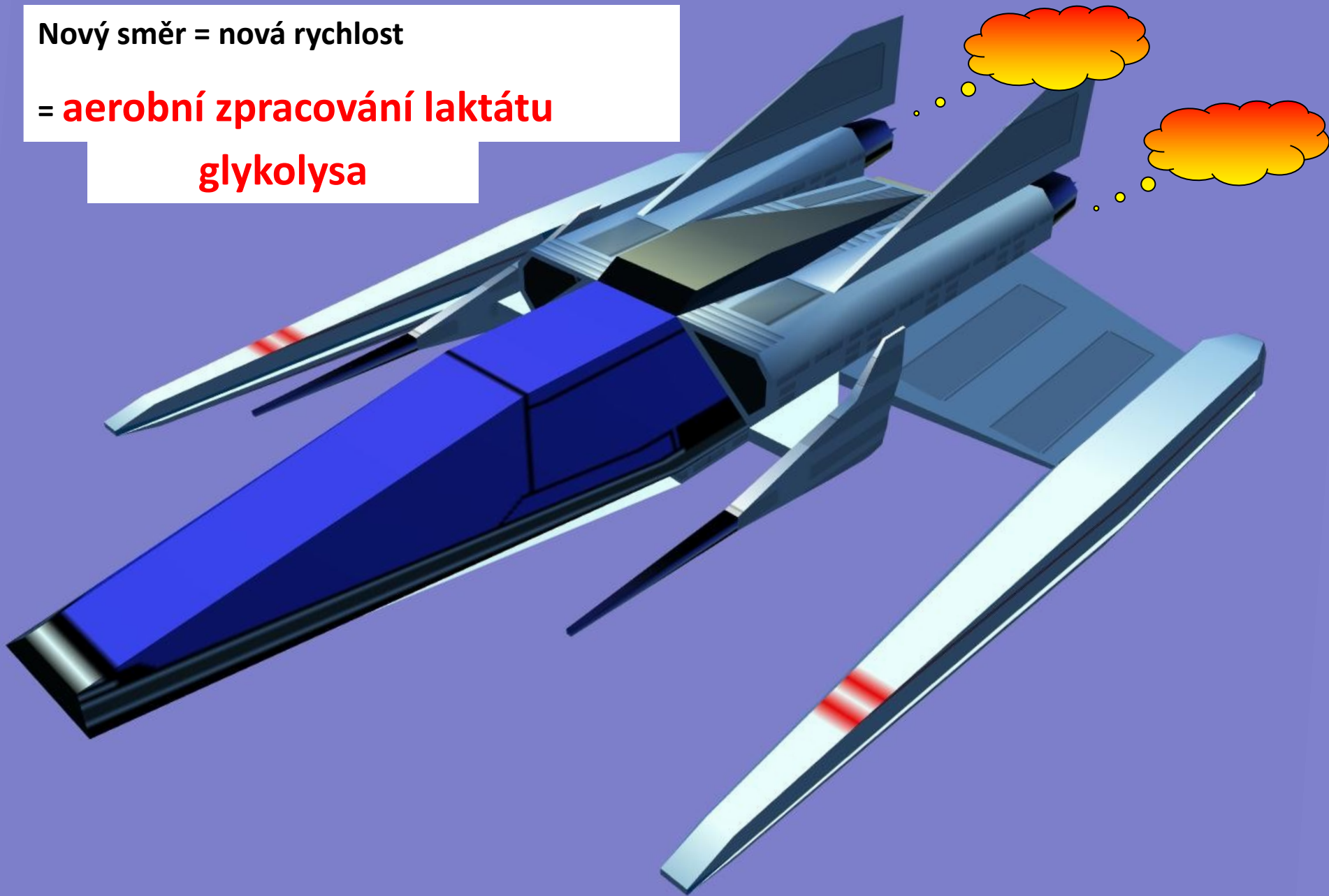
+





Nový směr = nová rychlost

= **aerobní zpracování laktátu**  
**glykolysa**



# METABOLICKÁ ADAPTACE.

## Adaptace glykolytického systému (anaerobní glykolýza)

Hladina laktátu v krvi  
výsledek několika procesů

**!!! INTERPRETACE NEMUSÍ BÝT VŽDY SPRÁVNÁ !!!**

Nízká hladina laktátu při nebo bezprostředně po tělesné práci

- nízká úroveň glykolýzy
- vysoká aerobní kapacita *metabolizuje laktát v mitochondriích svalového vlákna, ve kterém vznikl (méně často) nebo v sousedních pomalých svalových vláknech (častěji)*

# **METABOLICKÁ ADAPTACE.**

## **Adaptace glykolytického systému (anaerobní glykolýza)**

**Laktát může podle koncentračního gradientu zpětně transportovat do mezibuněčného prostoru k jiným pomalým svalovým vláknům, které byly zapojeny do konkrétní pohybové činnosti jen málo nebo vůbec**

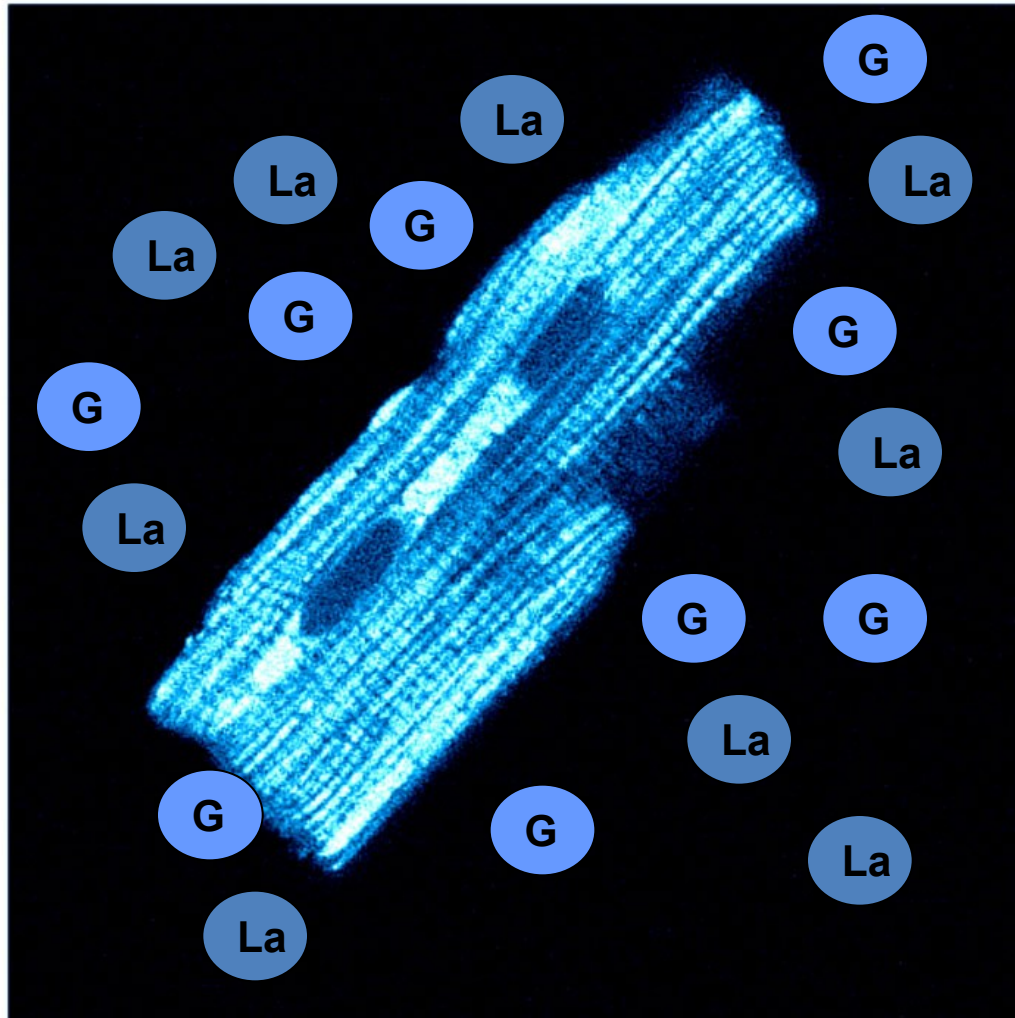
**Rozložit laktát na konečné metabolity a energii umí výborně i srdeční sval.**

**Myokard výrazně větší oxidativní kapacitu než kosterní svalstvo**

**Vzestup laktátu v krvi**



**Preference laktátu jako energetického substrátu**



# METABOLICKÁ ADAPTACE

## Adaptace glykolytického systému (anaerobní glykolýza)

Vysoká variabilita úrovně laktátu v krvi po maximální zátěži  
je závislá

- na tvorbě laktátu
- na využití laktátu
- na odolnosti proti únavě spojené s vysokou koncentrací laktátu v pracujících svalech

**Maximální laktátový setrvalý stav**

*kterým můžeme charakterizovat tuto odolnost*

**v rozsahu od 2 do 8 mmol/L**

# METABOLICKÁ ADAPTACE

## Adaptace systému aerobní fosforylace

- zvětšení a zvýšení počtu mitochondrií pomalých svalových vláken
- zvýšení aktivity oxidativních enzymů
- zvýšení průtoku krve trénovaným svalem (*lepší a rychlejší odbourávání vzniklého laktátu - významný energetický zdroj*)
- snadnější uvolňování mastných kyselin z tukových zásob a jejich zvýšená beta-oxidace
- lepší využití nitrosvalových triglyceridů (*šetří svalový glykogen*)

**Acyl-CoA**  
**(C = n - 2)**

FAD<sup>+</sup>

FADH<sub>2</sub>

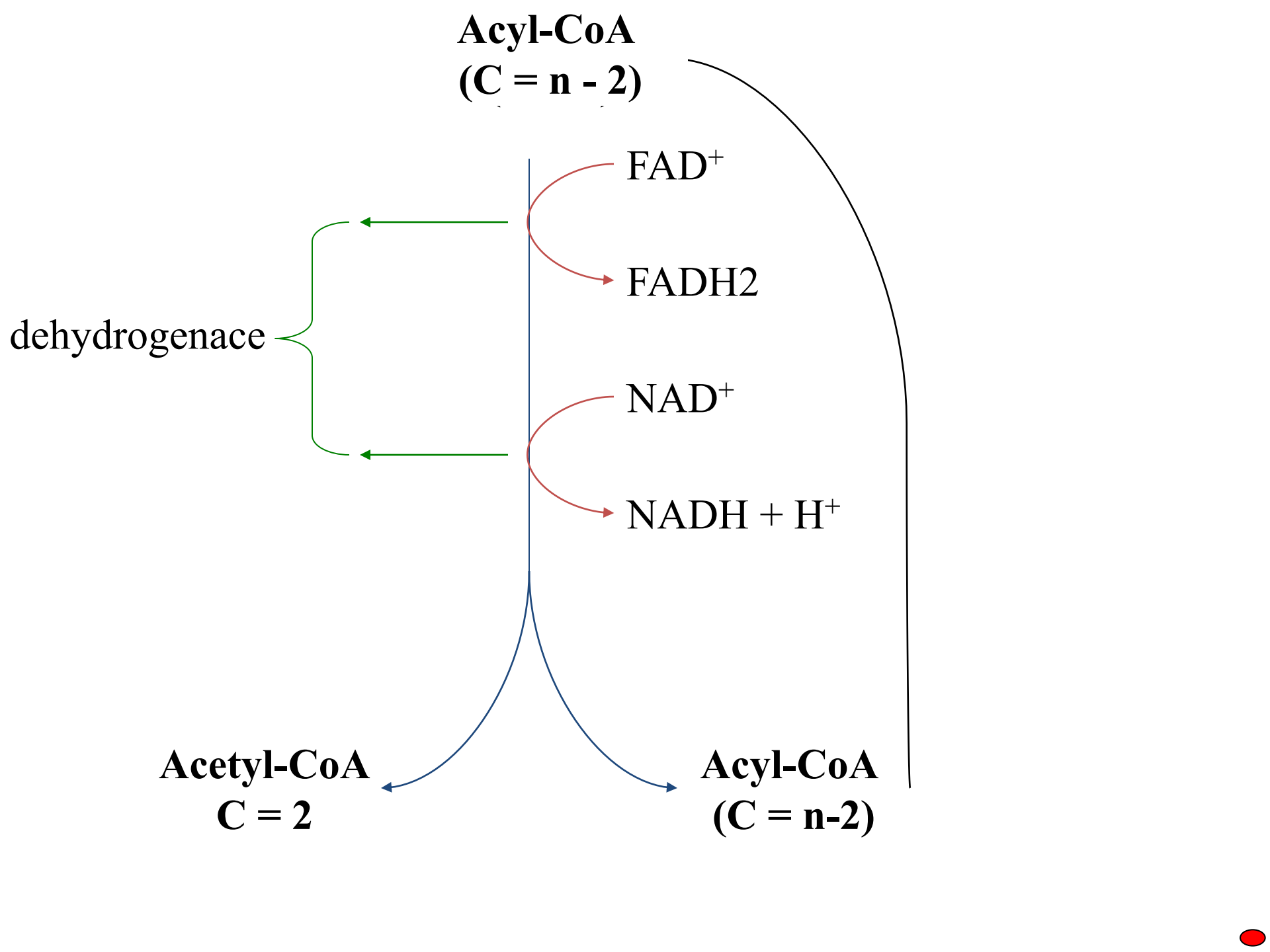
NAD<sup>+</sup>

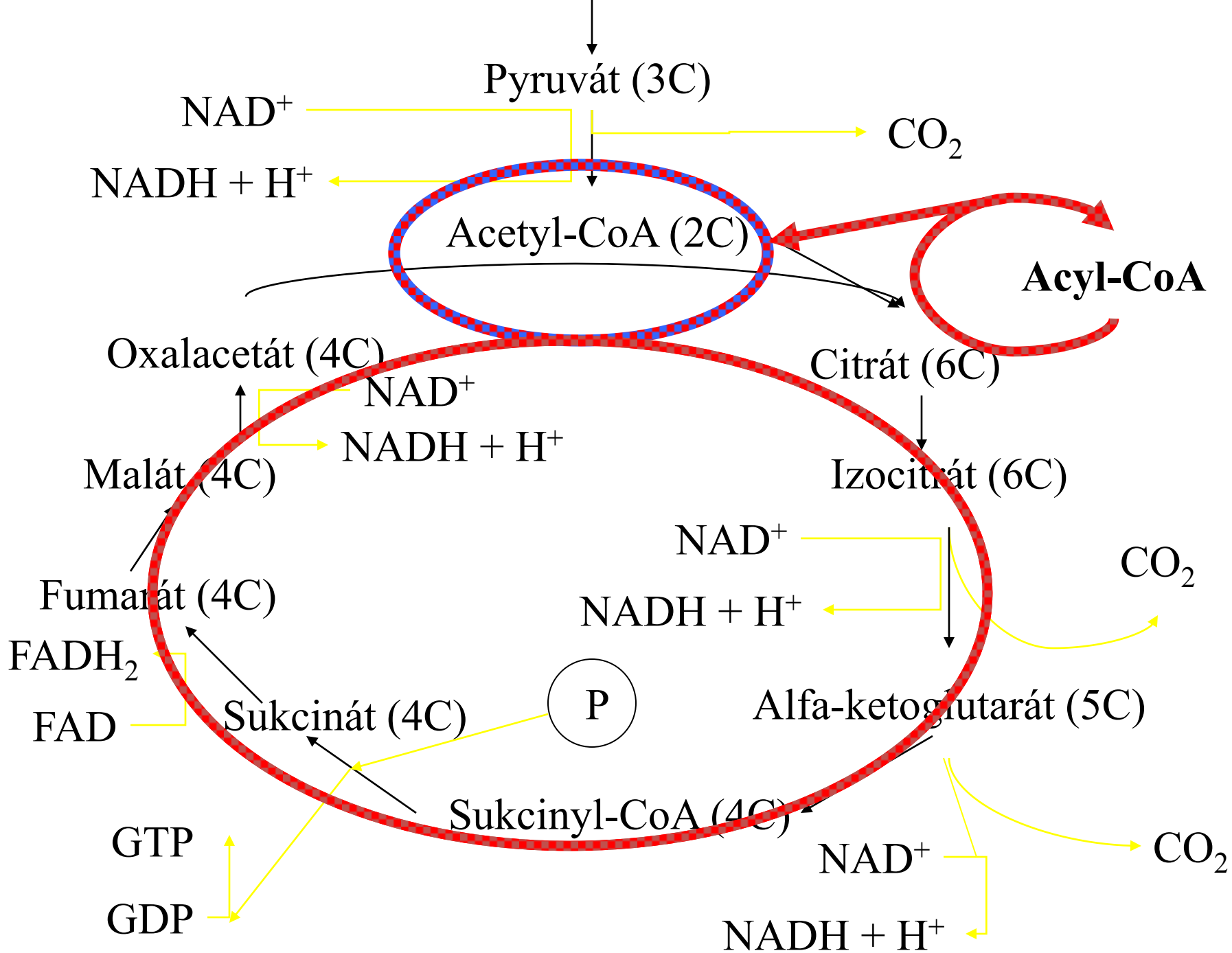
NADH + H<sup>+</sup>

dehydrogenase

**Acetyl-CoA**  
**C = 2**

**Acyl-CoA**  
**(C = n-2)**







# Energetický zisk z beta-oxidace MK

**8,5 n - 7 ATP**

**n = počet atomů C**

např. beta-oxidací molekuly linoleové  
nebo linolenové kyseliny

(18 atomů C)

získáme energii 146 ATP

Aerobní fosforylací molekuly glukózy získáme  
38 molekul ATP

(18 C MK o 284 % více energie než glukosa)



# **METABOLICKÁ ADAPTACE**

## **Adaptace systému aerobní fosforylace**

**Při submaximální a nižší intenzitě zatížení  
trénovaný sval preferuje jako energetický substrát**

### **LIPIDY**

**a redukuje glykolýzu i fosforylaci sacharidů**

**Rychlejší doplňování spotřebovaných sacharidů  
při vysoké intenzitě zátěže**

- glukogeneze ze sacharidových zdrojů**
- glukoneogeneze z nesacharidových zdrojů**

# **METABOLICKÁ ADAPTACE**

## **Adaptace systému aerobní fosforylace**

**Adaptovaný sval za podmínek maximálního úsilí  
oxiduje zvětšené množství pyruvátu  
a tím zvýšit svou aerobní kapacitu**

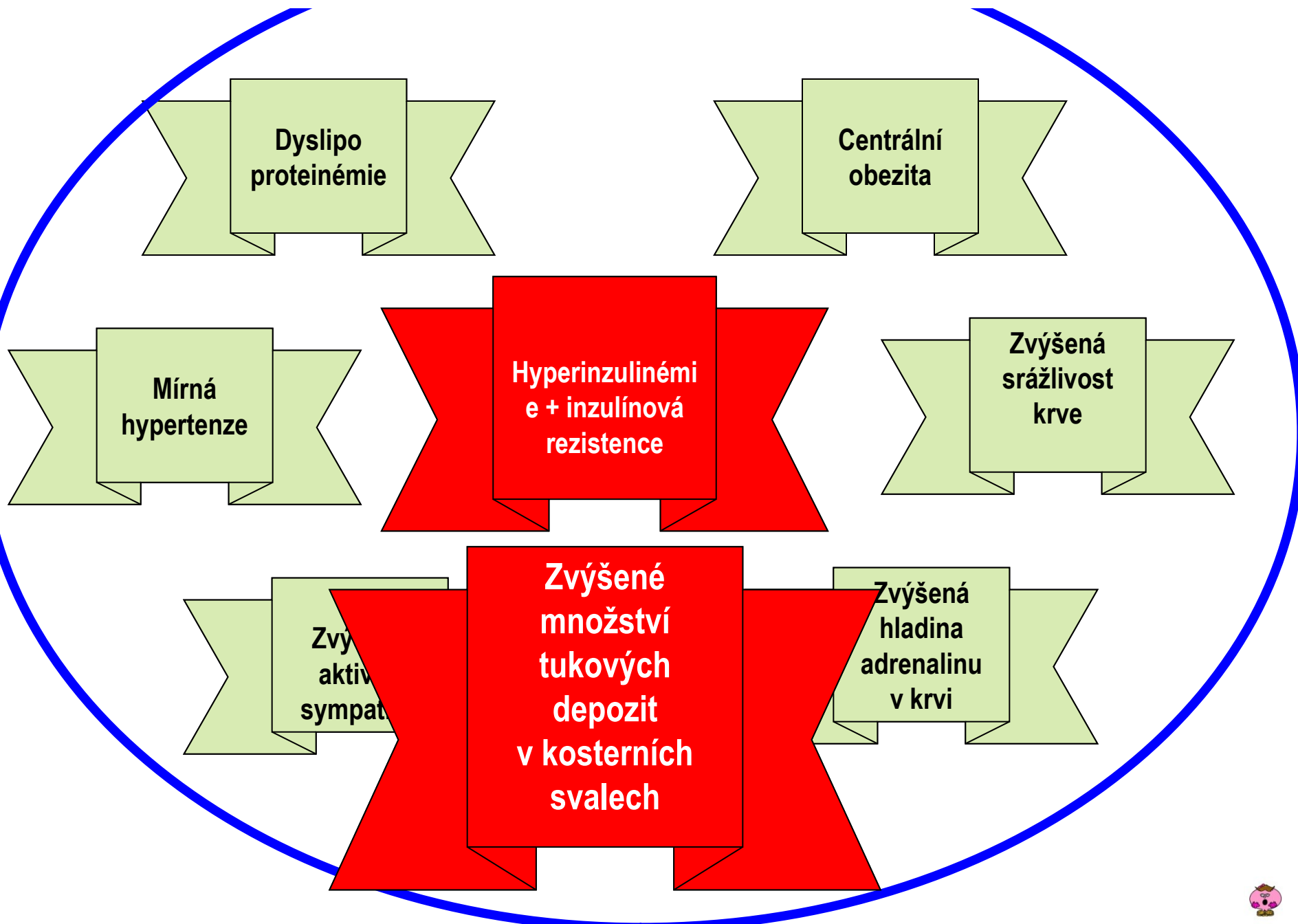
- zvyšuje se množství svalového glykogenu**
- u vysoce vytrvalostně trénovaných jedinců se zvyšuje množství svalových triglyceridů**

**Závěr 2:**



- 1. U obézních je oxidativní kapacita kosterních svalů pro MK je redukováná**
- 2. Zvýšená dispozice obézních k akumulaci lipidů v kosterních svalech**





Obsah tuku ve svalech,  
zjišťovaný pomocí počítačové tomografie  
DEXA nebo svalové biopsie  
má u obézních osob největší,  
na viscerálním tuku **nezávislou**,  
**prediktivní hodnotu pro inzulínovou**  
**rezistenci**

- GOODPASTER, B.H., THAETE, F.L., SIMONEAU, J.A., KELLEY, D.E. Subcutaneous abdominal fat and thigh muscle composition predict insulin sensitivity independently of visceral fat. *Diabetes*. 1997, vol. 46, no. 10, p. 1579-1585.
- PAN, D.A., LILLIOJA, S., KRIKETOS, A.D., MILLER, M.R., BAUR, L.A., BOGARDUS, C., JENKINS, A.B., STORLIEN, L.H. Skeletal muscle triglyceride levels are inversely related to insulin action. *Diabetes*. 1997, vol. 46, no. 6, p. 983-988.



## Intracelulární tuky - významný svalový energetický substrát - využíván při prodlouženém zatížení

U výborně vytrvalostně trénovaných osob

→ tvorba zásobních lipidů relativně rychlá

→ ukládání lipidů za podmínek sníženého příjmu sacharidů dominantní



## Intracelulární tuky - významný svalový energetický substrát - využíván při prodlouženém zatížení

Intramyocelulární lipidy stejně dostupný energetický substrát jako glykogen

Dobře vytrvalostně trénovaní sportovci snadno využívají





Při vytrvalostním tréninku  
zvýšená přítomnost  
triglyceridů ve svalech nemá  
negativní vliv na účinnost  
inzulínu

Při nedostatku pohybu  
je zvýšená přítomnost  
triglyceridů ve svalech  
příčinou inzulínové  
rezistence



BRUN, J.F., VARLET-MARIE, E., CASSAN, D., MANETTA, J., MERCIER, J. Blood fluidity is related to the ability to oxidize lipids at exercise. *Clin. Hemorheol. Microcirc.* 2004, vol. 30, no. 3-4, p. 339-343.

**Zdravé štíhlé osoby kosterní svaly  
metabolicky flexibilní**

**při vytrvalostní práci  
dominantní využití tuků**

**při intenzivní zátěži  
dominantní využití glykogenu**

**Obézní osoby nebo diabetici 2. typu  
kosterní svaly metabolicky neflexibilní**

**při vytrvalostní práci využití  
tuků klesá**

**při intenzivní zátěži v důsledku  
zvýšené oxidace lipidů snížená  
oxidace glykogenu**



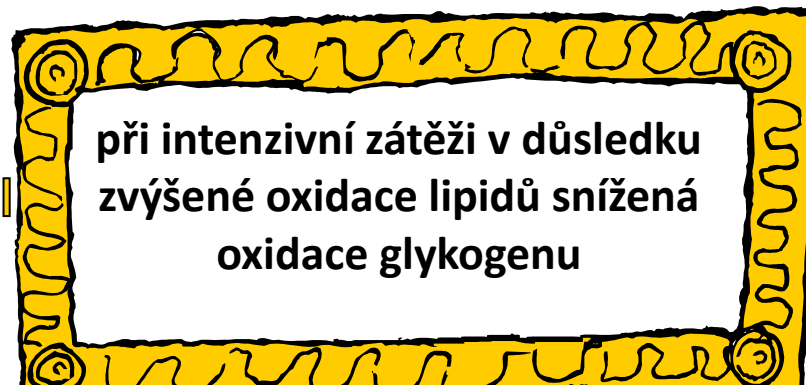
BRUN, J.F., VARLET-MARIE, E., CASSAN, D., MANETTA, J., MERCIER, J. Blood fluidity is related to the ability to oxidize lipids at exercise. *Clin. Hemorheol. Microcirc.* 2004, vol. 30, no. 3-4, p. 339-343.

Obézní osoby nebo diabetici 2. typu  
kosterní svaly metabolicky neflexibilní

**KLESÁ CELKOVÁ  
VYTRVALOSTNÍ KAPACITA**



**KLESÁ MAXIMÁLNÍ AEROBNÍ  
KAPACITA**



# METABOLICKÁ ADAPTACE

## Adaptace systému aerobní fosforylace

**U obézních je to většinou důsledek genetické predispozice k obezitě a nízké úrovně adaptace na fyzickou zátěž.**

**U trénovaných je zvýšené ukládání lipidů ve svalových vláknech naopak výsledek většinou dlouhodobého tréninku geneticky vytrvalostně disponovaných jedinců.**



# KARDIOVASKULÁRNÍ ADAPTACE

**Zpomalení SF** při stejné absolutní zátěži (*tréninková bradykardie*)  
a později i v klidu

Úsporné opatření - cílem je snížit při stejném minutovém objemu  
spotřebu kyslíku

- zvýšení žilního návratu a tím lepší plnění srdce (*zvýšení end-diastolického objemu*)
- zvýšení kontraktility myokardu
- postupné zvyšování ejekční frakce
- snižování end-systolického objemu
- zvyšování systolického objemu (*k dosažení stejného minutového objemu stačí pomalejší SF*)

Předsíň

Konec naplnění komory

a.

Endiastolický objem

komora

100 ml

Endsystolický objem

Konec vyprázdnění komory

Systolický objem

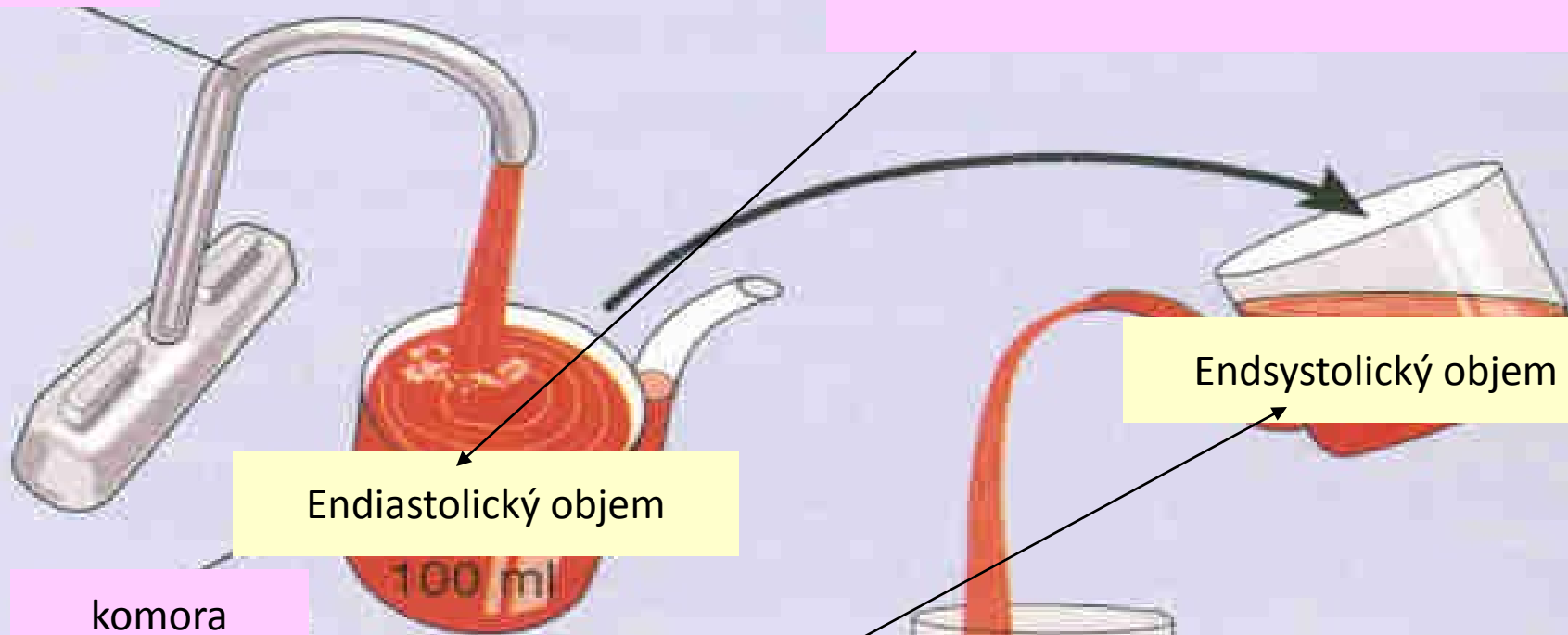
cévy



Předsíň

Konec naplnění komory

a.



komora

Endiastolický objem

Endsystolický objem

Konec vyprázdnění komory

Systolický objem

cévy

$$\begin{array}{r} \text{EDV} \quad 100 \text{ ml} \\ - \text{ESV} \quad 40 \text{ ml} \\ \hline = \text{SV} \quad 60 \text{ ml} \end{array}$$



$$SV = EDV - ESV$$





Minutový objem = SV x HR

80 tepů / min .



HR = tepová frekvence

$$= 4800 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$$
$$= 4.8 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$$



$$SV = EDV - ESV$$

$$Q = SF \cdot SV$$



# KARDIOVASKULÁRNÍ ADAPTACE

**Zpomalení SF** při stejné absolutní zátěži (*tréninková bradykardie*)  
a později i v klidu

Úsporné opatření - cílem je snížit při stejném minutovém objemu  
spotřebu kyslíku

- zvýšení žilního návratu a tím lepší plnění srdce (*zvýšení end-diastolického objemu*)
- zvýšení kontraktility myokardu
- postupné zvyšování ejekční frakce
- snižování end-systolického objemu
- zvyšování systolického objemu (*k dosažení stejného minutového objemu stačí pomalejší SF*)
- zvýšení kapilární perfuze
- posun sympatovagové rovnováhy směrem k vagu (negativní chronotropní a negativní dromotropní účinek)
- v důsledku metabolické adaptace zvýšení extrakce kyslíku do svalových vláken

# KARDIOVASKULÁRNÍ ADAPTACE

SF se zpomaluje postupně  
po několika měsících optimálního tréninku.

*(při stejné zátěži jako před započítím tréninku nižší až o 15 stahů/min)*

Stejný minutový objem se realizuje pomalejší SF  
a větším systolickým objemem

U trénovaných a geneticky predisponovaných vytrvalců  
klidová SF pomalejší než 40 stahů/min

Při maximálním úsilí se SF (**SF max**)  
působením vytrvalostního tréninku **výrazně nemění**

Postupný nárůst maximální tepové rezervy  
(rozdíl mezi maximální a klidovou SF).

# KARDIOVASKULÁRNÍ ADAPTACE

Při tělesné práci zvýšení systolického (tepového) objemu (SO)  
o 30 – 60 %

## Nejvyšší hodnota SO

ve vzpřímené poloze při zatížení kolem 50 – 60 %  $VO_2$  max  
při maximálním výkonu bývá nižší  
(nedostatek času na úplné naplnění komory v diastole)

K realizaci určité svalové činnosti  
 $VO_2$  stejné u trénovaného i netrénovaného jedince  
(stejný minutový objem –  $Q/min$ )

# KARDIOVASKULÁRNÍ ADAPTACE

primární význam pro  $Q/\text{min}$



SO

Nároky myokardu na kyslík  
funkcí SF a středního arteriálního tlaku

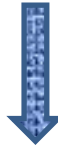
U vytrvalců menší zvýšení SF při určité svalové činnosti



menší požadavky myokardu na dodání kyslíku

# KARDIOVASKULÁRNÍ ADAPTACE

- efektivnější distribuce krve
- zvýšená kapilarizace svalů (*zvýšení celkového průřezu cév*)
- lepší schopnosti extrahovat kyslík z krve (*vyšší a-v  $O_2$  difference až o 15 %*)
- zvýšená schopnost doplňovat zásoby ATP i při nižším parciálním tlaku kyslíku ve tkáních



u vytrvalců při nižším až submaximálním zatížení

**Q/min**

nižší než u netrénovaných

Při maximální zátěži u vytrvalců

**Q/min**

výrazně vyšší než u netrénovaných osob

(*důsledek vyššího  $SO$  a stejné  $SF_{max}$* )

a odpovídá vysoké hodnotě  $VO_2_{max}$

# KARDIOVASKULÁRNÍ ADAPTACE

Zvýšené produkce oxidu dusíku (NO)  
buňkami endotelu odporových cév

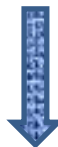


aktivní pomalá svalová vlákna relativně více krve  
než neaktivní svaly a rychlá svalová vlákna

Aktivita autonomního nervového systému posunutá směrem k vagu



klesá průtok krve ledvinami (*výrazně klesá tvorba moči*)  
a celou splachnickou oblastí



zvýšuje se množství krve pro pracující svaly a podkožní cévy



# ADAPTACE MYOKARDU

Velikost SO u zdravého srdce

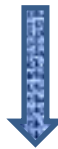
- velikost komorových dutin
- kontrakční síla myokardu

Síla kontrakce

přímo úměrná iniciální délce kontraktilního elementu

*(závislost kontrakční síly na end-diastolickém objemu – Frankův-Starlingův zákon)*

Dlouhodobý vytrvalostní trénink + genetická predispozice



fyziologické změny srdce - schopno dosáhnout velkého Q/min  
**(tzv. sportovní srdce)**

# ADAPTACE MYOKARDU

- zvyšuje se průměr svalových vláken
- vzrůstá počet svalových vláken
- rovnoměrně se zvětšují srdeční dutiny (*excentrická hypertrofie*)
- někdy se mírně zvětšuje tloušťka stěny komor a srdečního septa



**(koncentrická hypertrofie srdce)**

častěji jako důsledek silového tréninku  
geneticky predisponovaných sportovců

**Sportovní srdce**

asi až o 25 % větší objem

než srdce člověka stejného věku žijícího sedavým životním stylem

# ADAPTACE MYOKARDU

## Příčina?

- zvětšení srdečních dutin
- zvětšení end-diastolického objemu
- zvýšení systolického objemu

?

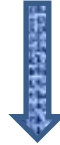
**vzestup plazmatického objemu**

*(přesun vody z extracelulárního prostoru do oběhu)*

**již po několika dnech vytrvalostního tréninku,  
maximální nárůst (asi 20 %) až po několika měsících**

# ADAPTACE MYOKARDU

Na základě trvale zvýšeného periferního odporu  
(např. při neléčené hypertenzi)



**patologická hypertrofie myokardu**

Překonávání zvýšeného odporu

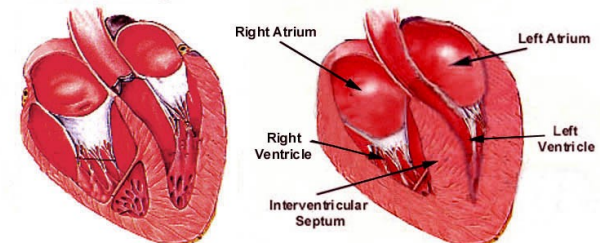


**nadměrné protahování vláken myokardu**



- oslabení srdečního stahu
- zhoršení srdečních funkcí
- možnost selhání srdce

Hypertrophic Cardiomyopathy



Normal Heart

Hypertrophied Heart

# ADAPTACE IMUNITNÍHO SYSTÉMU

**Intenzivně trénující špičkoví sportovci  
náchylnější k běžným infekcím  
(přechodný pokles imunity)**

- vysoká intenzita
- velký objem
- psychický stres
- teplota prostředí
- vlhkost
- nadmořská výška
- stav výživy
- atd.

# ADAPTACE IMUNITNÍHO SYSTÉMU

Aktivace sympatoadrenálního systému  
a osy hypotalamus – hypofýza – kůra nadledvin



změna tvorby dalších hormonů, protilátek a specifických  
imunitních elementů

*(např. cytokinů, protizánětlivých mediátorů, atd.).*

**Součástí imunitní odpovědi**

- **buď tvorba imunosupresivních látek**
- **nebo protichůdně působící stimulace imunitního systému**

Rozhodující pro směr působení je  
**intenzita, trvání a charakter stresu**

# ADAPTACE IMUNITNÍHO SYSTÉMU

## Příliš intenzivní tréninkový podnět

=

- např. pokles koncentrace IgA ve slinách,
- nižší aktivita a pokles počtu T-lymfocytů
- snížená aktivita přirozených zabíječů (NK buňky) a fagocytů

Působení stresujících faktorů přechodné a má omezené trvání



imunoprese nebo stimulace imunitního systému bezvýznamná

Dlouhodobější a kombinované působení stresorů



imunoprese se projeví obdobím nižší odolnosti proti infekcím  
(tzv. „**OPEN WINDOW**“) (obvykle trvá 1 – 3 dny)

- Nejčastěji onemocnění běžnou infekcí horních cest dýchacích
- Nebo kumulace různých mikrotraumat se zánětem a svalovým poškozením

# ADAPTACE IMUNITNÍHO SYSTÉMU

## prostředí s vysokými teplotami



zvýšení teploty tělesného jádra



následně aktivace sympatoadrenálního systému



- zvýšení produkce dalších stresových hormonů a cytokinů
- preference sacharidových energetických zdrojů před lipidy
- zvýšení aktivity imunitního systému (*např. zvýšení počtu leukocytů a T-lymfocytů*)

**CVIČENÍ ZA VYSOKÝCH TEPLŮT PODSTATNĚ  
NEOVLIVŇUJE IMUNITU SPORTOVCE**



# ADAPTACE IMUNITNÍHO SYSTÉMU

## Cvičení v chladu

↓ jádrová a svalová teplota

↑ minutový srdeční objem a minutová ventilace

↑ spotřeba kyslíku a oxidace sacharidů  
rychlejší vyčerpání energetické zásoby

**TRÉNINK V NÍZKÝCH TEPLOTÁCH  
NEOVLIVŇUJE NEGATIVNĚ IMUNITU**

**Naopak trénink v chladu při zátěžích střední intenzity  
imunitu posiluje  
a významně snižuje frekvenci onemocnění respiračního traktu**

# ADAPTACE IMUNITNÍHO SYSTÉMU

## POHYBOVÁ AKTIVITA STŘEDNÍ INTENZITY PROVÁDĚNÁ VENKU IMUNITU ZVYŠUJE

**Při rekreační PA**

**zvýšený výskyt imunosuprese velmi málo pravděpodobný  
(jiné příčiny)**

**U intenzivně trénujících sportovců jako prevence snížení imunity**

- **racionální strava**
- **vitamin E, C, A (antioxidanty)**
- **Se, Zn**
- **u žen i Fe**

**Při léčení některé imunostimulační látky  
zvysují mechanismy přirozené imunity**

*např. zvyšují fagocytózu, aktivitu NK buněk nebo tvorbu a aktivitu T- lymfocytů*

# TERMOREGULAČNÍ ADAPTACE

## Vytrvalostně trénované osoby

- lepší schopnost fyzikální termoregulace
- lepší toleranci vysokých teplot

*(souvisejí s objemem vytrvalostního tréninku)*

↑ senzitivity mechanismu pocení

↓ prahu pocení

**= rychleji a více se potí**

*(brání vzestupu tělesné teploty)*

## Trénování

= vyšší celkový objem krve

= lepší převod krve do periférie

# HORMONÁLNÍ ADAPTACE

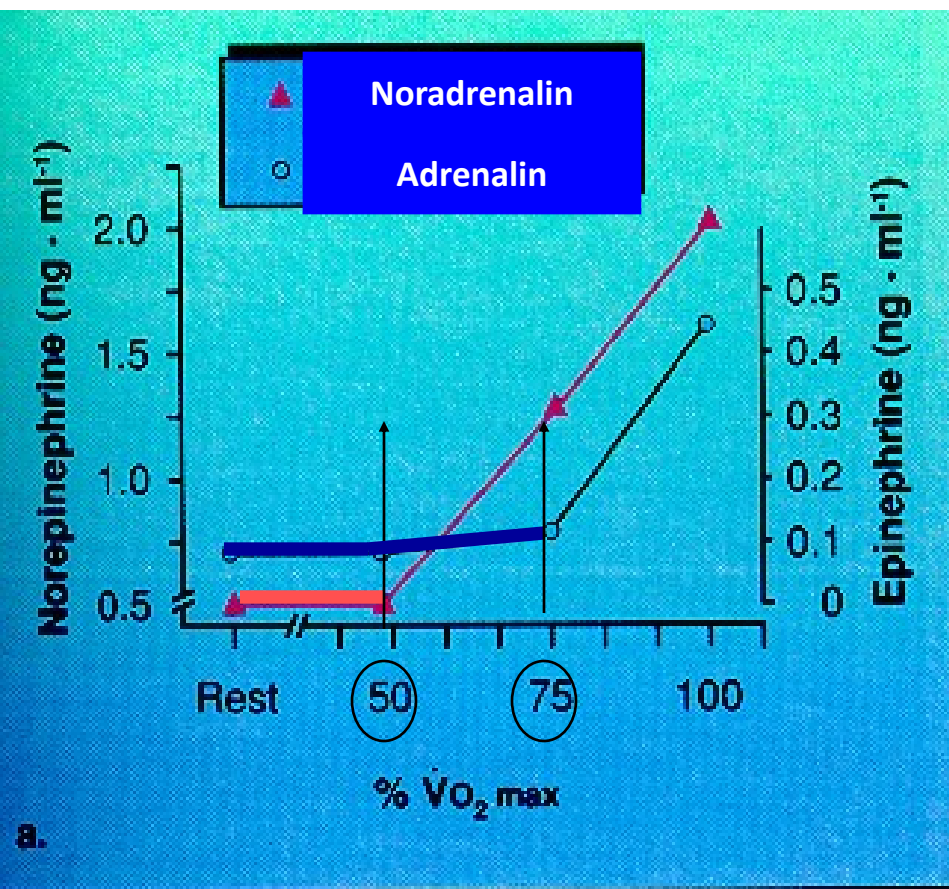
!!! Klíčová role !!!

## Katecholaminy

- **Metabolismus** (*stimulace lipolýzy a jaterní glykogenolýzy*)
- **Termoregulace**
- **Oběh**

Při tělesné zátěži

↑ produkce katecholaminů v závislosti na intenzitě zatížení  
(*při nižších intenzitách dominuje produkce noradrenalinu,  
při práci nad kritickým výkonem nebo při maximální práci prudce ↑ adrenalin*)



Změny koncentrace adrenalinu a noradrenalinu v krvi a) v klidu a při různých intenzitách zatížení



# HORMONÁLNÍ ADAPTACE

## Katecholaminy

A) V klidu a při absolutně stejné intenzitě zátěže (např. 100 W)  
trénované osoby nižší hladina katecholaminů v krvi

B) Při relativně stejné zátěži (např. 75 %  $VO_2$  max)  
katecholaminy u trénovaných a netrénovaných stejné  
(trénování větší produkční kapacita dřeně nadledvin)



C) vyšší hladina adrenalinu při maximální a supramaximální práci

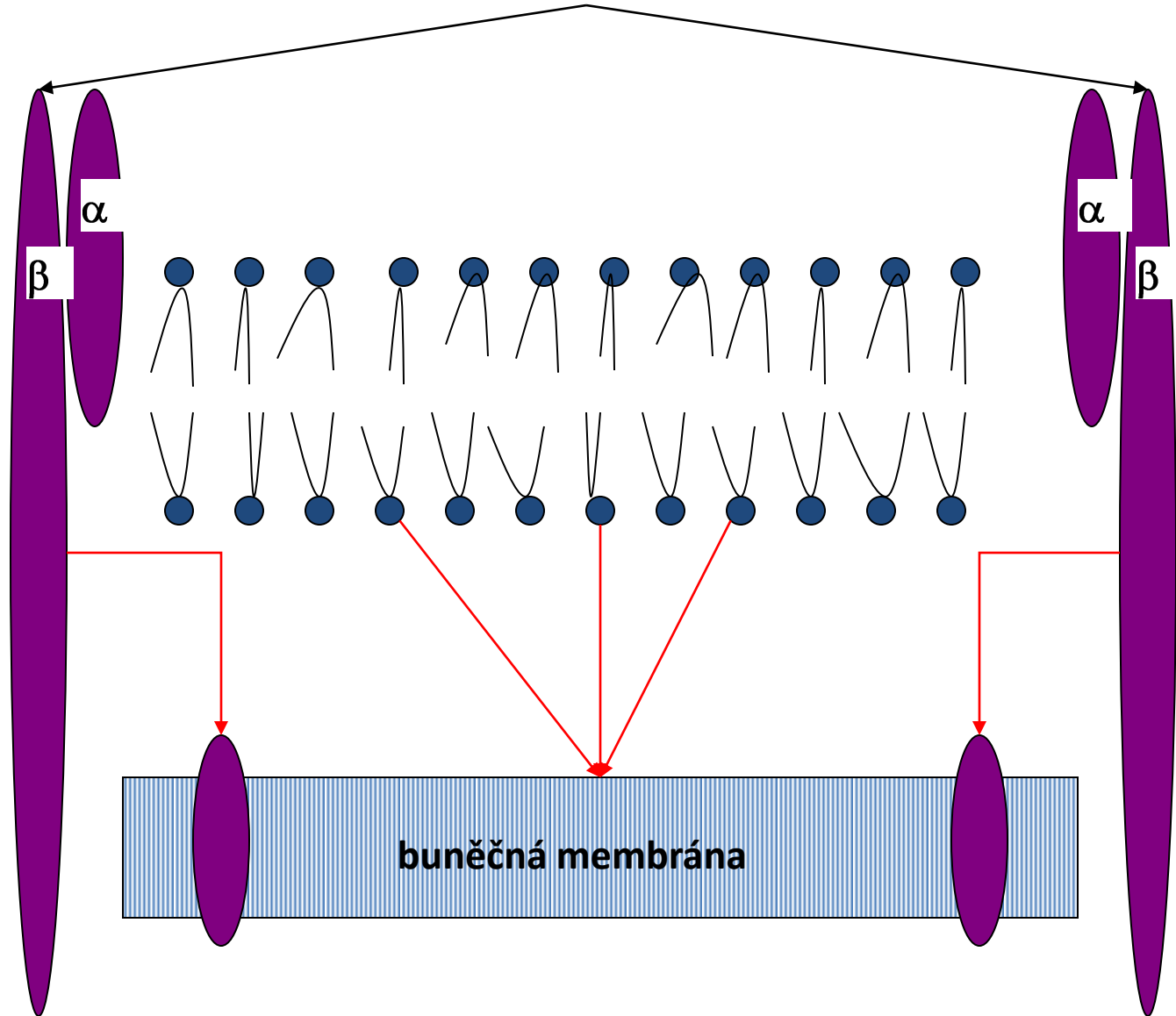
# HORMONÁLNÍ ADAPTACE

## Inzulin

### Pravidelný vytrvalostní trénink

- a) redukuje sekreci inzulínu pankreatickými beta-buňkami
- b) zvyšuje účinnost inzulínu při transportu glukózy do svalových vláken.

# Inzulínový receptor IGF-1

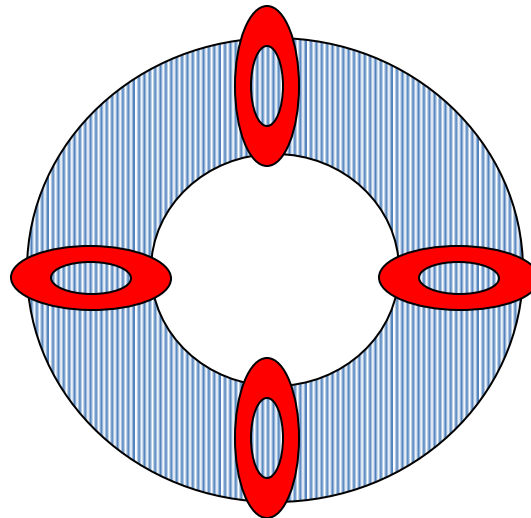


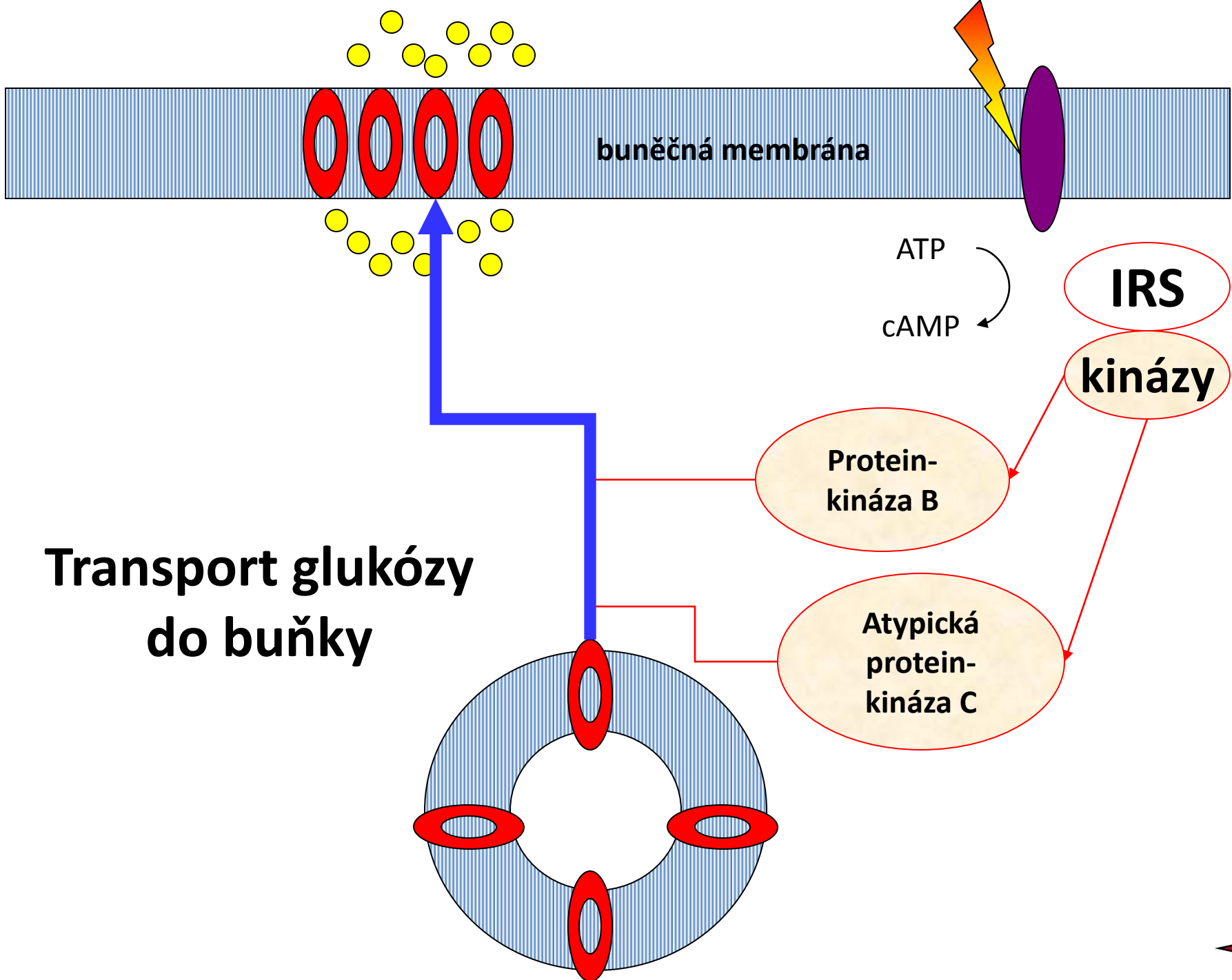


**GLUT4**



**Vezikul obsahující GLUT4**





**Transport glukózy  
do buňky**

**buněčná membrána**

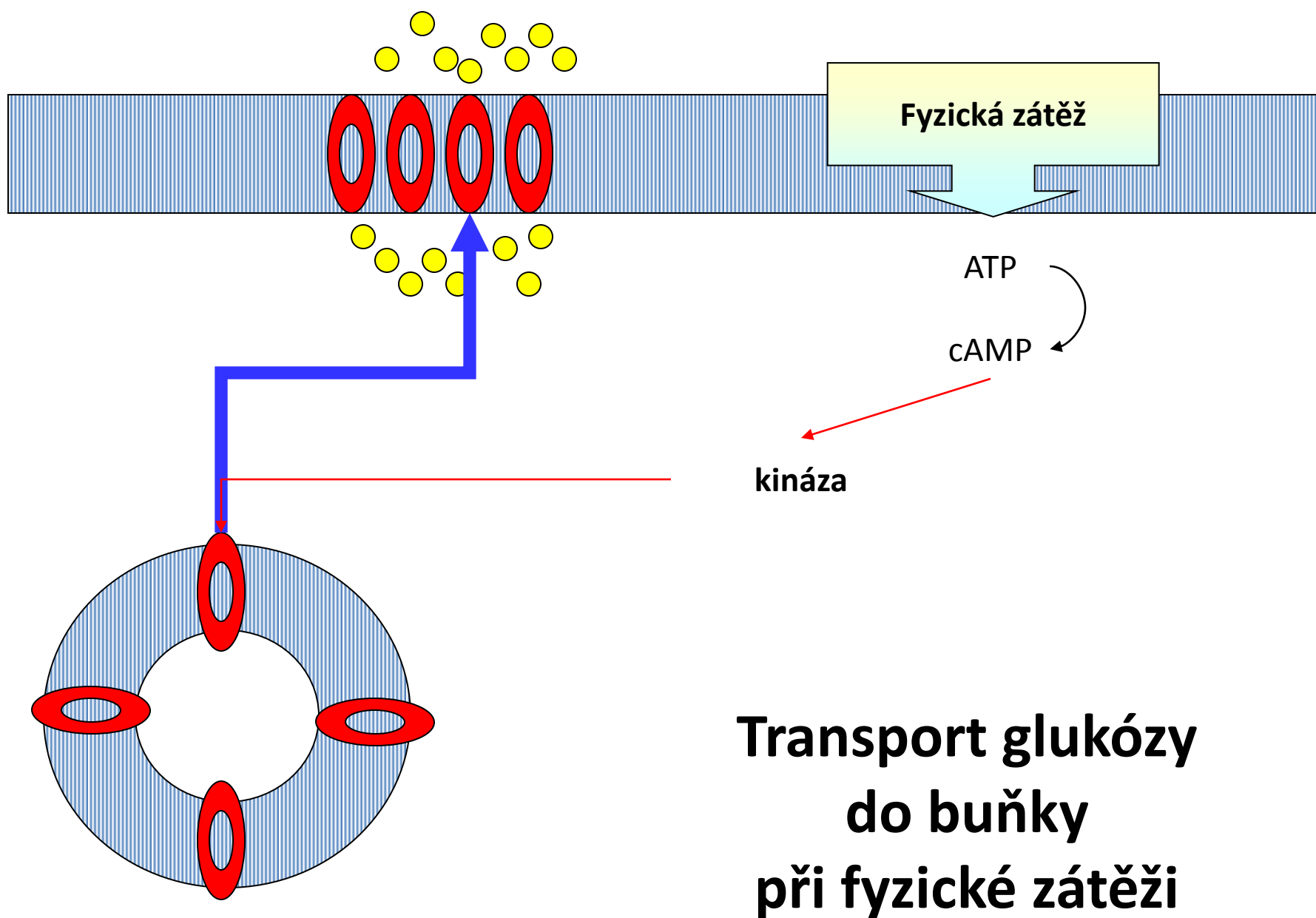
ATP  
cAMP

**IRS**  
**kinázy**

**Protein-kináza B**

**Atypická protein-kináza C**





Vezikul obsahující GLUT4  
odpovídající na zátěž



# HORMONÁLNÍ ADAPTACE

## Inzulin

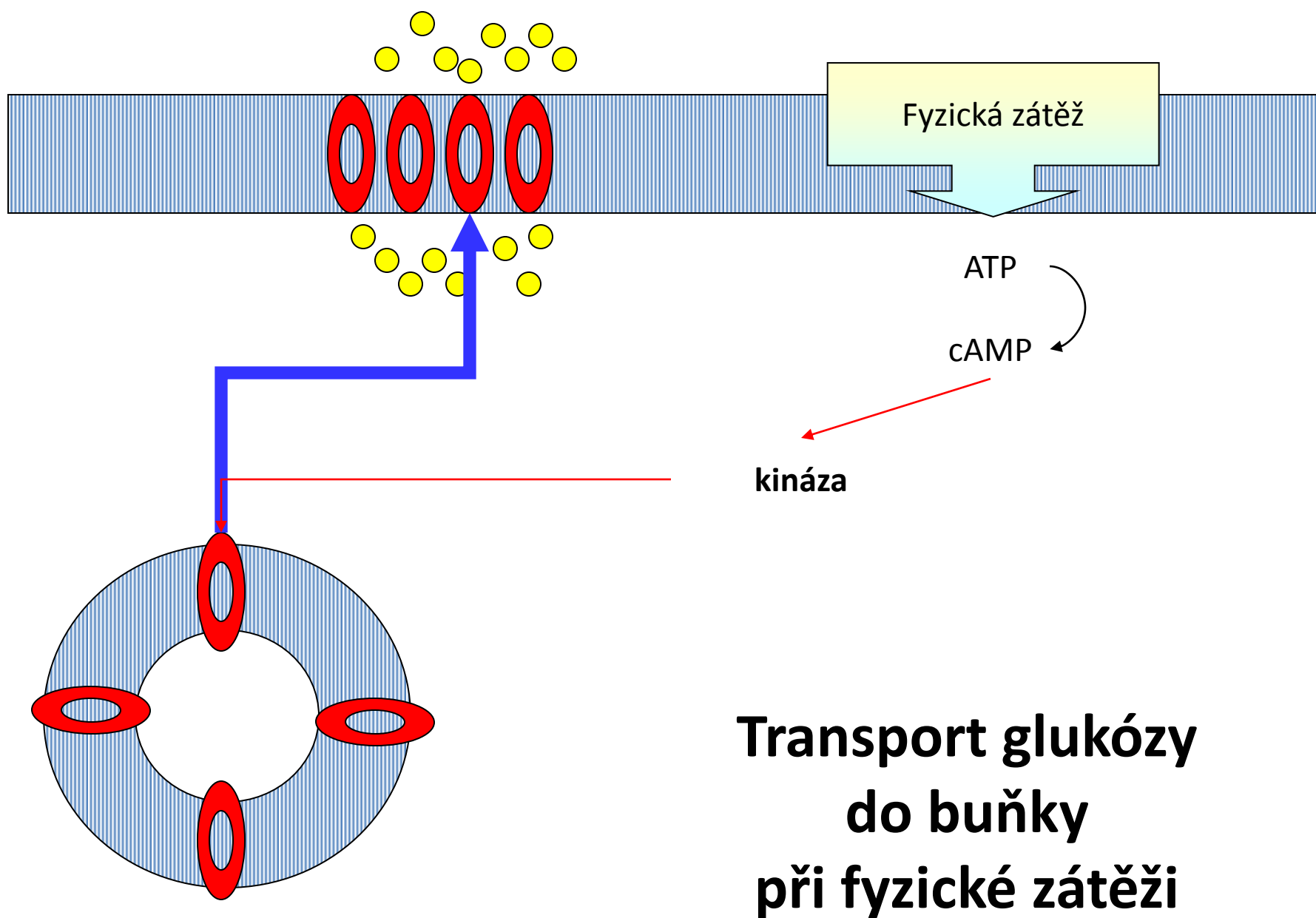
**Pravidelný vytrvalostní trénink**

**snižuje potřebu inzulinu**

***(část glukózy se dostane do svalové buňky bez stimulace IR)***

**= klesá produkce inzulinu**

**a) redukuje sekreci inzulinu pankreatickými beta-buňkami**

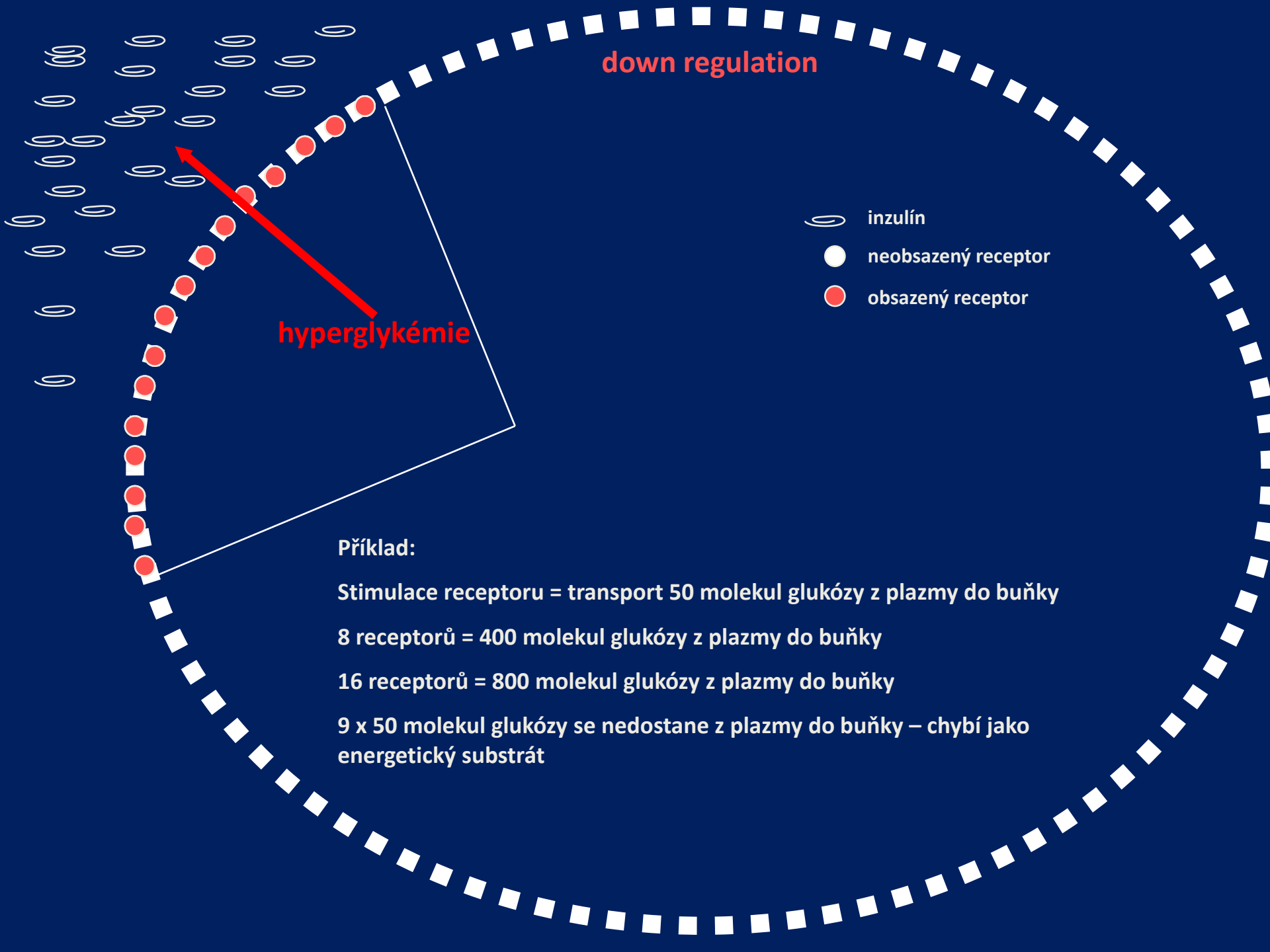


Vezikul obsahující GLUT4  
odpovídající na zátěž

# HORMONÁLNÍ ADAPTACE

## Inzulin

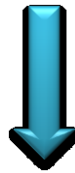
**Pravidelný vytrvalostní trénink  
zvyšuje účinnost inzulínu při transportu glukózy  
do svalových vláken  
(*snižuje inzulinémii*)**



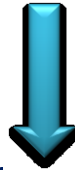
# HORMONÁLNÍ ADAPTACE

## Inzulin

Pravidelný vytrvalostní trénink  
zvyšuje účinnost inzulínu při transportu glukózy  
do svalových vláken  
*čím nižší inzulinémie*



*tím méně obsazených receptorů*



*tím vyšší účinnost inzulínu*





**Prevence inzulinové rezistence**

**Prevence metabolického syndromu**

**Prevence chronických neinfekčních  
onemocnění**

# HORMONÁLNÍ ADAPTACE

## Glukogon

(přirozený „protihráč“ inzulinu)

- u trénovaných v klidu nižší než u netrénovaných
- při tělesné práci se hladina glukagonu u trénovaných a netrénovaných neliší

# HORMONÁLNÍ ADAPTACE

## Růstový hormon

- ↑ lipolýzu (!) a glukoneogenezi (!)
  - při vytrvalostní zátěži udržuje hladinu volných mastných kyselin a glukózy v krvi
1. vytrvalostní trénink celkově snižuje krevní hladinu růstového hormonu v klidu
  2. vytrvalostní práce - aerobně trénovaní sportovci – vyšší maximální hladina růstového hormonu (než nesportovci)

# HORMONÁLNÍ ADAPTACE

## Kortizol

po omezenou dobu (!)

↑ mobilizaci volných mastných kyselin a šetří sacharidy  
*(podobně jako růstový hormon)*

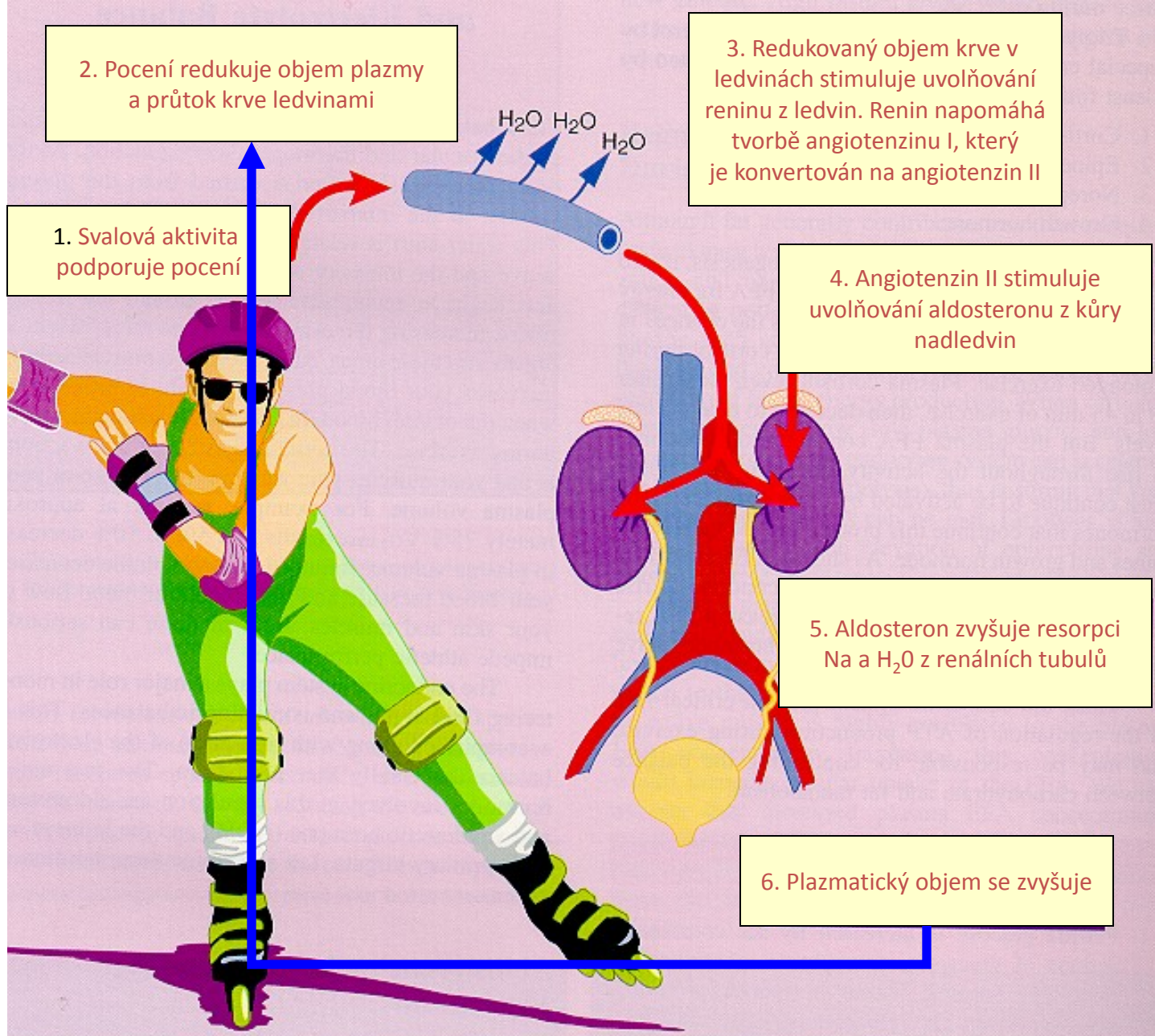
**Vytrvalostní trénink**

**nemění koncentraci kortizolu při relativně stejné tělesné zátěži**  
*(např. 75 %  $VO_2$  max)*

**snižuje hladinu kortizolu při absolutně stejné zátěži**  
*(např. 2  $W \cdot kg^{-1}$ )*

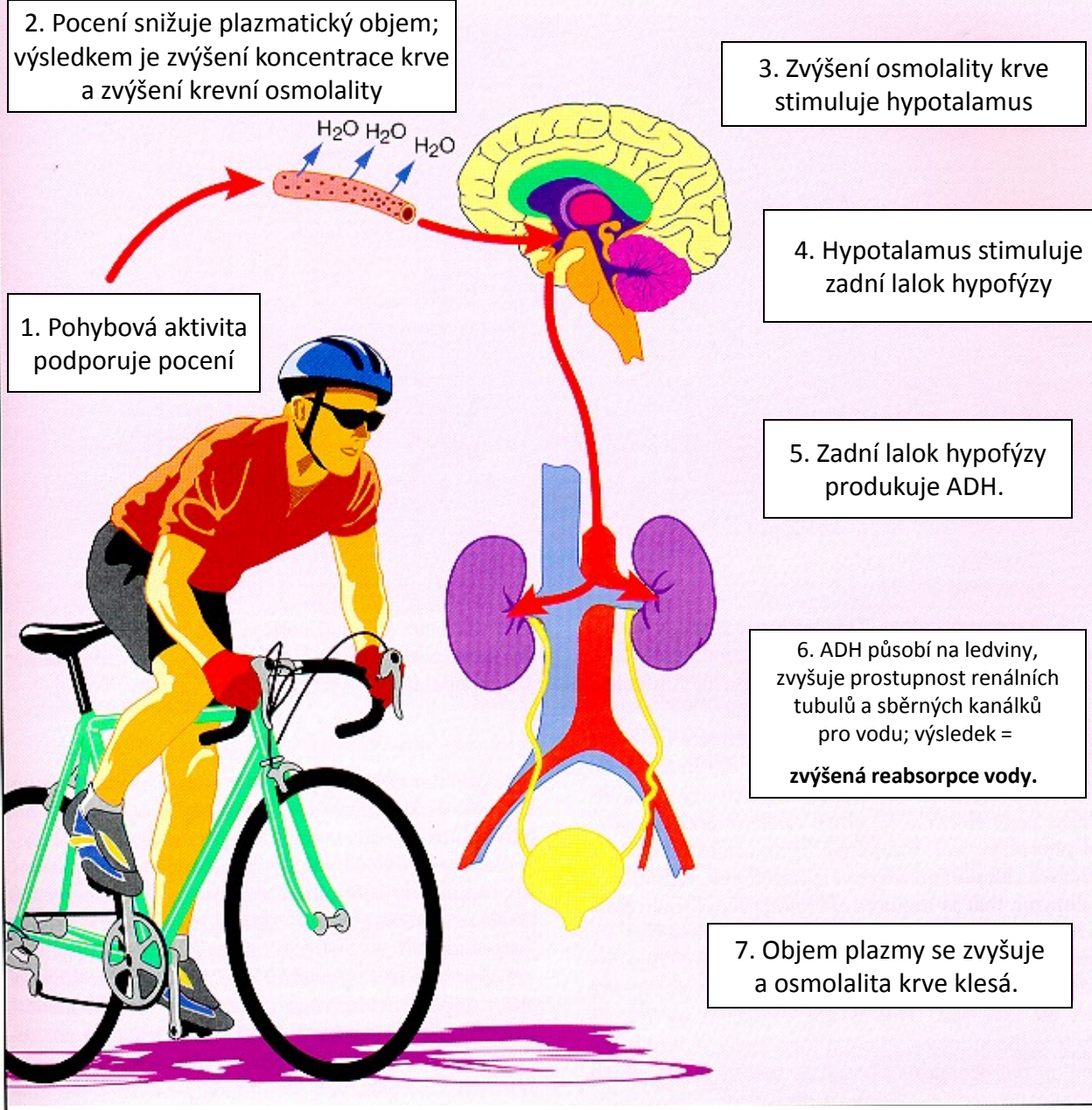
# **HORMONÁLNÍ ADAPTACE**

**Aldosteron, Adiuretin**



Mechanismus působení renin-angiotenzinového systému





**Mechanismus, kterým ADH chrání organismus před ztrátou vody.**



# HORMONÁLNÍ ADAPTACE

**Aldosteron, Adiuretin**

**Stejná intenzita zatížení**

**↓ produkce aldosteronu**

*(zvyšuje zpětnou absorpci sodíku v ledvinách)*

**↓ produkce adiuretinu**

*(zvyšuje zpětné vstřebávání vody v ledvinách)*

=

**↑ efektivita prevence dehydratace během zátěže**



# HORMONÁLNÍ ADAPTACE

## Prolaktin

U trénovaných víc ↑ během zátěže

???

často opakované zvyšování produkce prolaktinu

=

potlačení ovariálních funkcí a menstruační dysfunkce ???

- zpoždění menarche ???
- zkrácení luteální fáze ???
- primární nebo sekundární amenorea ???

Dlouhotrvající amenorea po dlouhodobém vytrvalostním tréninku

+

redukovaná kostní hustota (osteoporóza)

+

porucha příjmu potravin (iracionální snižování hmotnosti)

=

SPORTOVNÍ TRIÁDA

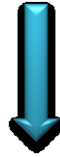


ČASTO BÝVÁ PRIMÁRNÍ

# HORMONÁLNÍ ADAPTACE

**Testosteron**

**U mužů intenzivní vytrvalostní trénink**



**supresi spermatogeneze a produkce testosteronu**

**???**

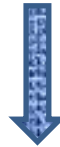
# HORMONÁLNÍ ADAPTACE

Hormony
katecholaminy
inzulin
glukagon
somatotropin
kortizol
adiuretim, aldosteron
prolaktin
testosteron

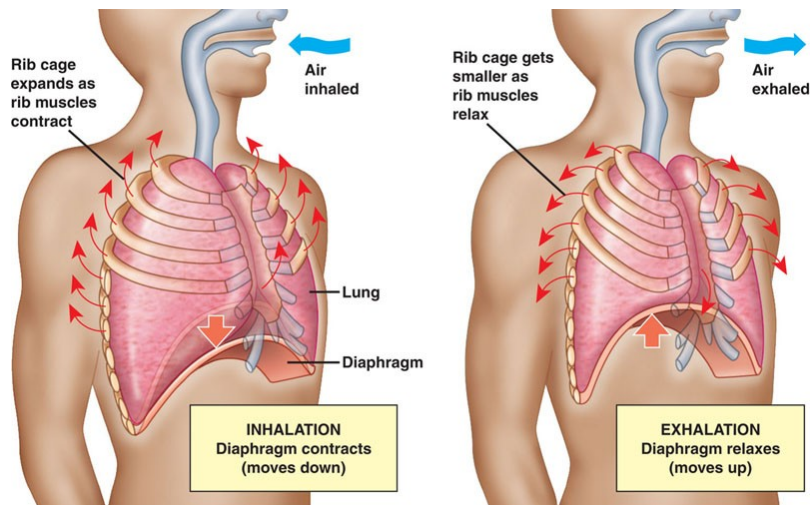
# RESPIRAČNÍ ADAPTACE

Při stejné zátěži

- zvyšování dechového objemu
- snižování dechové frekvence
- zvyšování extrakce kyslíku (*asi o 3 - 4 %*)
- pokles dechového ekvivalent pro kyslík ( $VE/VO_2$ )



**pokles nároků na kyslík a menší únava dýchacích svalů**



# **ADAPTACE KOSTNÍ A VAZIVOVÉ TKÁNĚ**

Mechanické zatížení přispívá do (přibližně) 25 let

## **1. ZVÝŠENÍ KOSTNÍ HMOTY**

=

redukce pozdější demineralizace (v průběhu stárnutí)

Zvýšení kostní hmoty v mládí

=

pomalejší úbytek kostí v pozdějším věku

## **2. ZESÍLENÍ KLOUBNÍCH LIGAMENT A ÚPONOVÝCH ŠLACH**

u ligament poškozených úrazem



rychlejší obnova jejich struktura a funkce

# ADAPTACE CNS

dříve, než metabolická adaptace svalových vláken

**Cíl: zlepšení ekonomiky pohybu a zvýšení jeho přesnosti**

- přesnější regulace činnosti antagonistů
- zvýšení počtu kontrahovaných vláken
- zvýšení smyslové výkonnosti (*např. zraková ostrost, polohocit, atd.*)
- zvýšené uvolňování nervových přenašečů
- zvýšení aktivity acetylcholinesterázy
- atd

## Motorické úsilí

limitující faktor tělesné výkonnosti

Normálně - silný podvědomý požadavek

na redukci intenzity motorického úsilí

Adaptace na tělesnou zátěž

=

schopnost potlačit tyto inhibiční pocity

# PSYCHOLOGICKÉ ADAPTACE

Reakce na **jednorázové** kvalitní cvičení (trénink)

- zvýšení sebeúcty a hrdosti
- snížení psychická tenze a deprese
- zlepšení nálady

## Pravidelné cvičení

- zvyšuje u zdravých osob pocit fyzické a psychické pohody
- snižuje anxieta, deprese a svalové tenze
- zlepšuje kvalitu spánku a redukuje ospalost v průběhu dne

**U starších osob**

=

ochrana kognitivních funkcí  
(zlepšení pozornosti, zlepšení mentálních funkcí)

# ADAPTACE NA ODPOROVÝ TRÉNINK

## Zpočátku

- zvýšení počtu vláken připadajících na jednu motorickou jednotku
- zlepšení synchronizace jednotlivých motorických jednotek  
*(důsledek efektivnější aktivace nervových buněk předních rohů míšních, vyvolané volní motorickou stimulací)*

=

NERVOVÁ ADAPTACE



# ADAPTACE NA ODPOROVÝ TRÉNINK

Při intenzivním silovém (vytrvalostně-silovém) tréninku

1. hypertrofická změna neuromuskulárního spojení

*(rozšíření synaptické oblasti)*

2. hypertrofie kosterního svalstva

*(remodelace svalových proteinů, zvýšení objemu myofibril a zvýšení počtu sarkomér)*

3. zvýšení příčného průřezu rychlých vláken

*(u pomalých vláken je hypertrofie menší)*

4. konverze vláken typu IIb (rychlá glykolytická vlákna) na vlákna

typu IIa (rychlá oxidativně glykolytická vlákna)

=

vzestup oxidativní kapacity i po odporovém tréninku

(fáze svalové adaptace)

# ADAPTACE NA ODPOROVÝ TRÉNINK

Po velmi intenzivním odporovém tréninku

HYPERPLAZIE SVALOVÝCH VLÁKEN (?)

?

- štěpením vláken
- aktivací tzv. satelitních buněk (*mononukleární buňky, které v případě potřeby mohou nahradit poškozené buňky pohybového ústrojí*)

# ADAPTACE NA ODPOROVÝ TRÉNINK

Během

Fáze nervové adaptace = prvních **6 – 12 týdnů** odporového  
tréninku

*(zejména zvýšení počtu vláken připadajících na jednu motorickou jednotku)*

Špatná koordinace, atrofie po imobilizaci

=

nervová adaptace výrazně prodloužená

# ADAPTACE NA ODPOROVÝ TRÉNINK

- proliferace vazivové tkáně v kosterním svalstvu (*↑ tažná síla a strukturální a funkční integrita svalové jednotky*)
- zvýšení hustoty kostní hmoty
- změna tělesného složení (*zvýšení poměru beztukové k tukové hmotě*)
- zlepšení rovnováhy a koordinace
- zlepšení imunologických funkcí
- ↑ kardiopulmonální výkonnosti
- ↑ metabolické efektivity
- ↑ prahu bolesti
- zlepšení kvality spánku

## Závislé především

- na intenzitě a trvání tréninku
- na zdravotním stavu

**PŘETÍŽENÍ NEBO PŘETRÉNOVÁNÍ PŘI ODPOROVÉM TRÉNINKU**  
=  
**VÝRAZNĚ NEGATIVNÍ VLIV NA UVEDENÉ SYSTÉMY**



# Adaptace na odporový trénink



*(nezměněná kapilarizace svalů)*

a) ↑ objem (hypertrofie) rychlých svalových vláken



↑ síla svalového stahu

b) ↑ zásoby makroergních fosfátů a svalového glykogenu

c) svaly pracují ekonomičtěji a zlepšuje se jejich koordinace



zvyšuje se biomechanická účinnost svalů

# Adaptace na odporový trénink



**Kosti: ukládá se více minerálů**

**Vazivo: ↑ pevnost**



**↑ počet tzv. satelitních buněk**

*(v případě potřeby mohou nahradit poškozené buňky pohybového ústrojí)*

