

APLIKOVANÁ PATOFYZIOLOGIE A EPIDEMIOLOGIE NEINFEKČNÍCH NEMOCÍ

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

APKIN 2016/2017

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 α -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 **VO₂ 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**

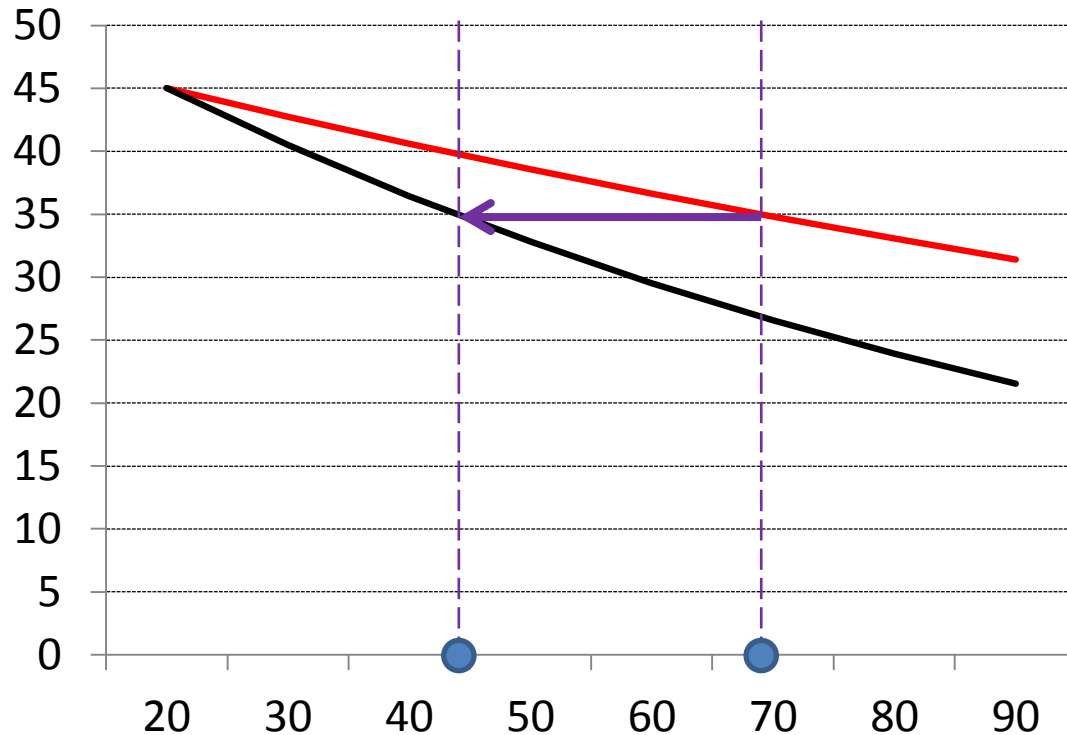
Potom aerobní kapacita postupně klesá

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 =

69 : 44

— 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**

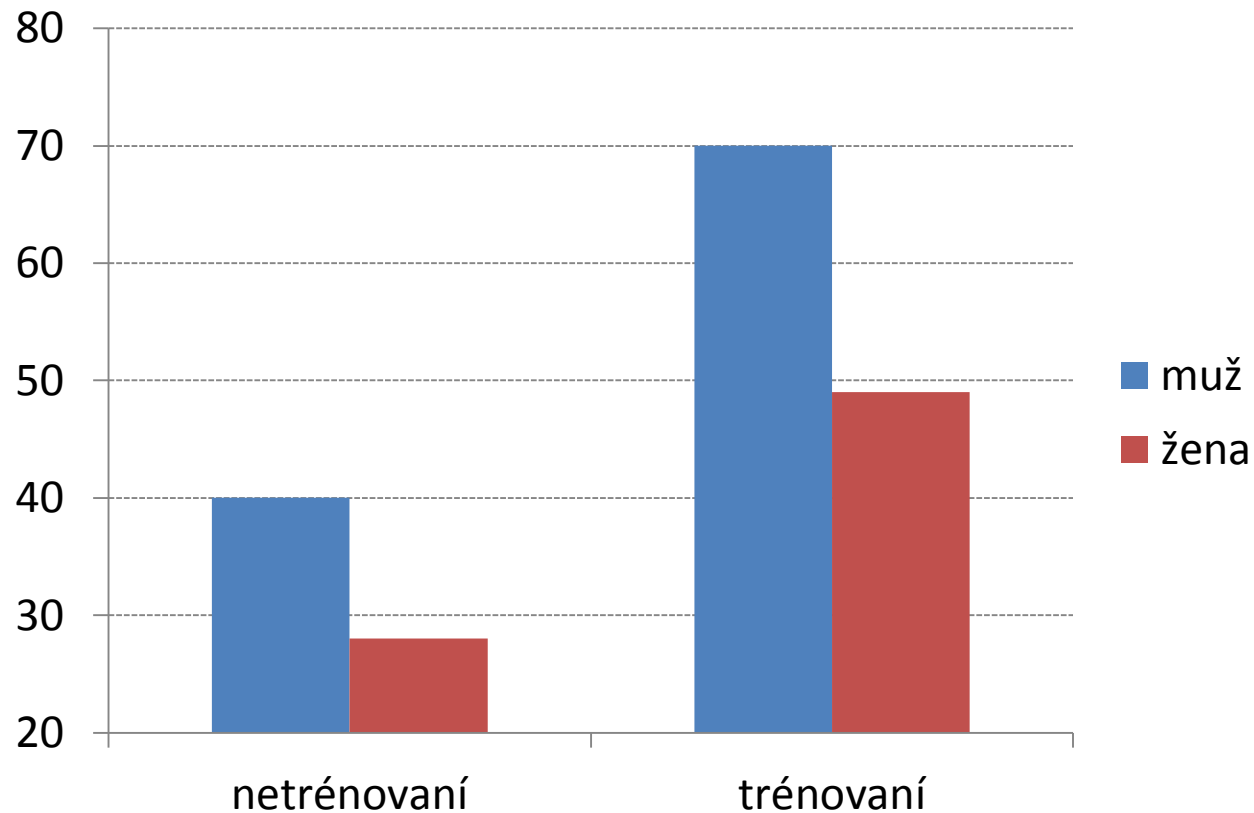
Příčiny

- složení těla
- koncentrace hemoglobinu

PATOFYZIOLOGIE ZÁTĚŽE

Muži v dospělosti většinou o 25 – 30 % vyšší

VO₂/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

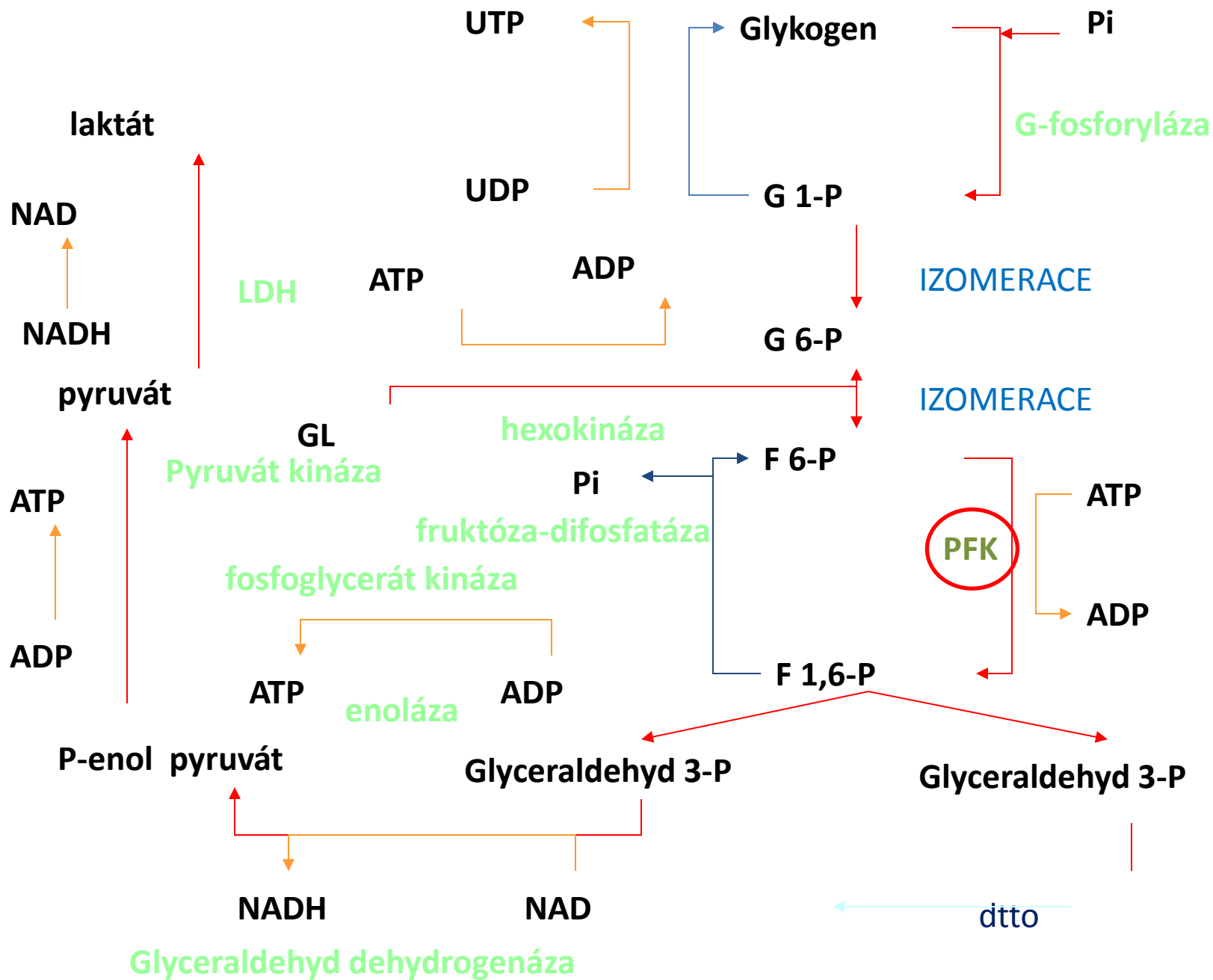
METABOLICKÁ ADAPTACE.

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**



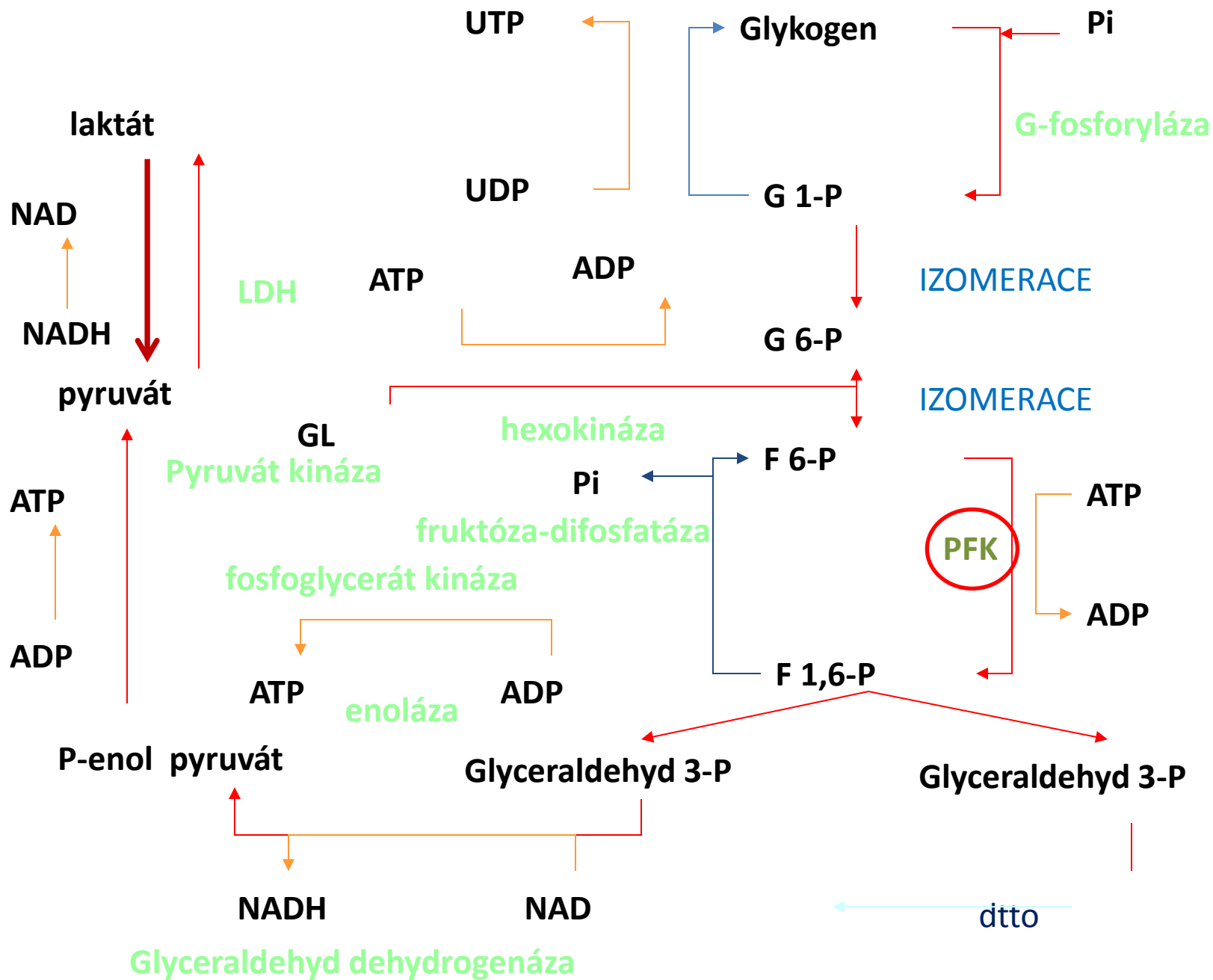
METABOLICKÁ ADAPTACE.

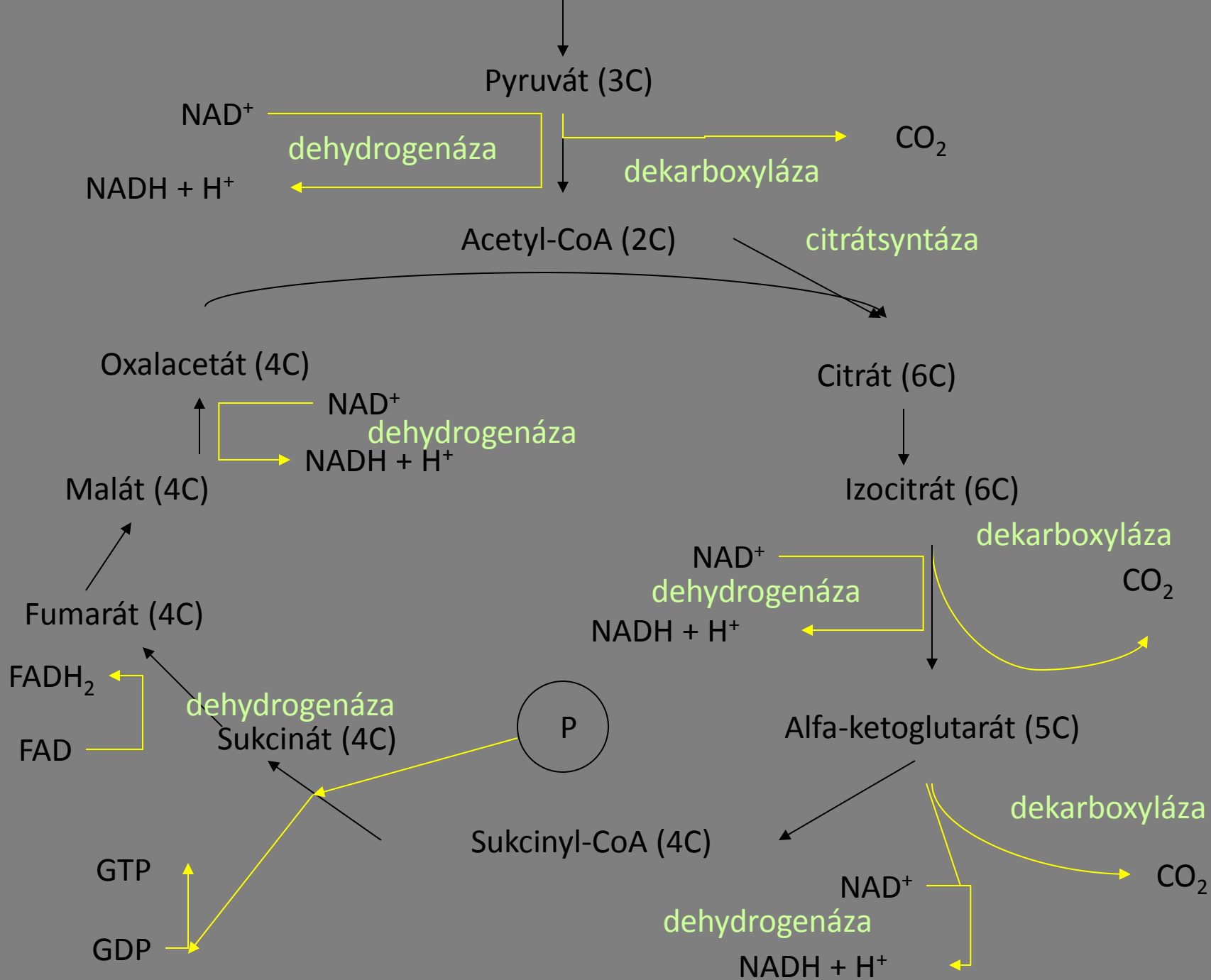
Adaptace glykolytického systému (anaerobní glykolýza)

Konečným produktem

kyselina mléčná a její aniont (laktát)

- **bud' metabolizuje zpět na pyruvát** (*ten se rozloží v mitochondriích v cyklu kyseliny citrónové na CO₂, vodu a energii*)





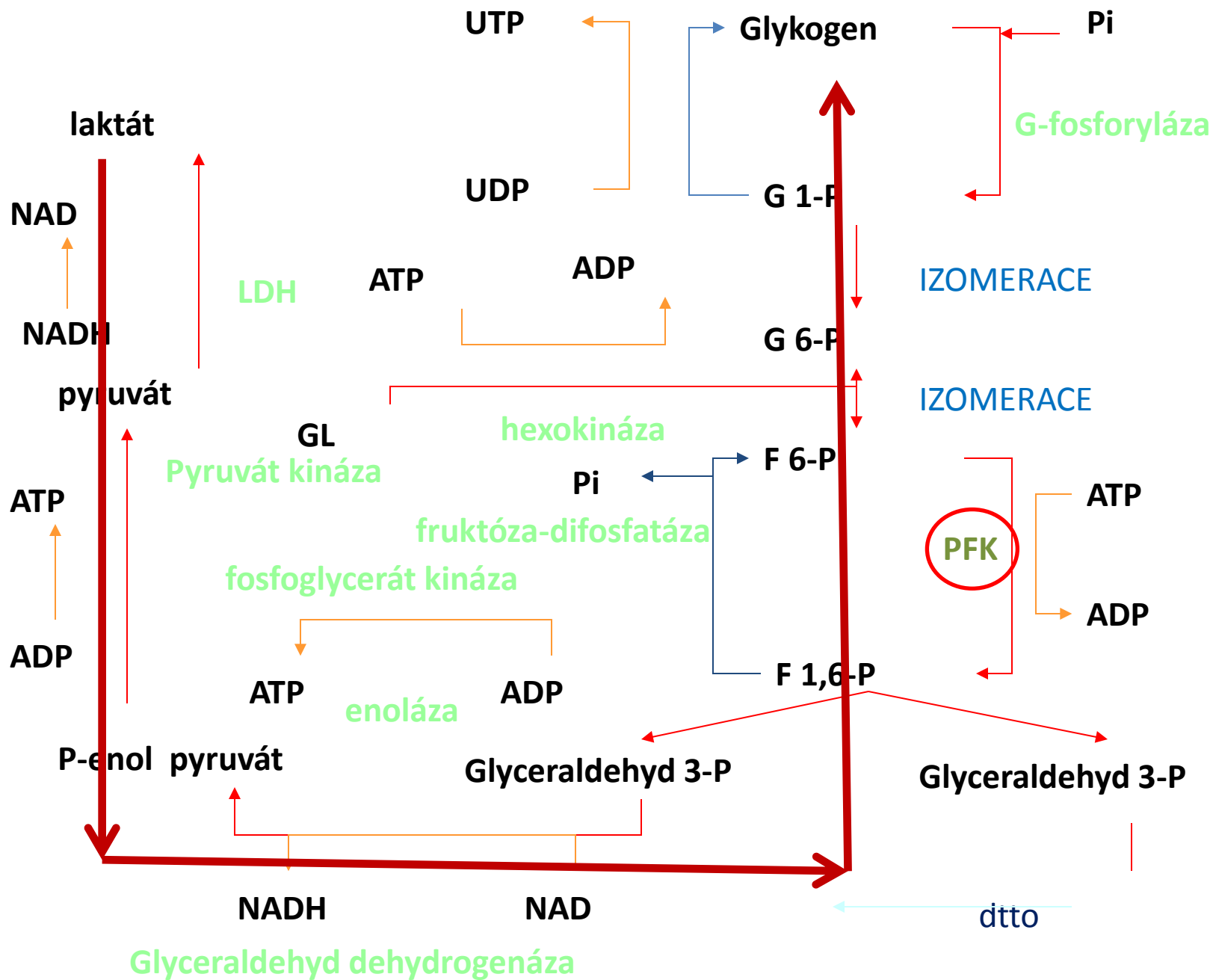
METABOLICKÁ ADAPTACE.

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.

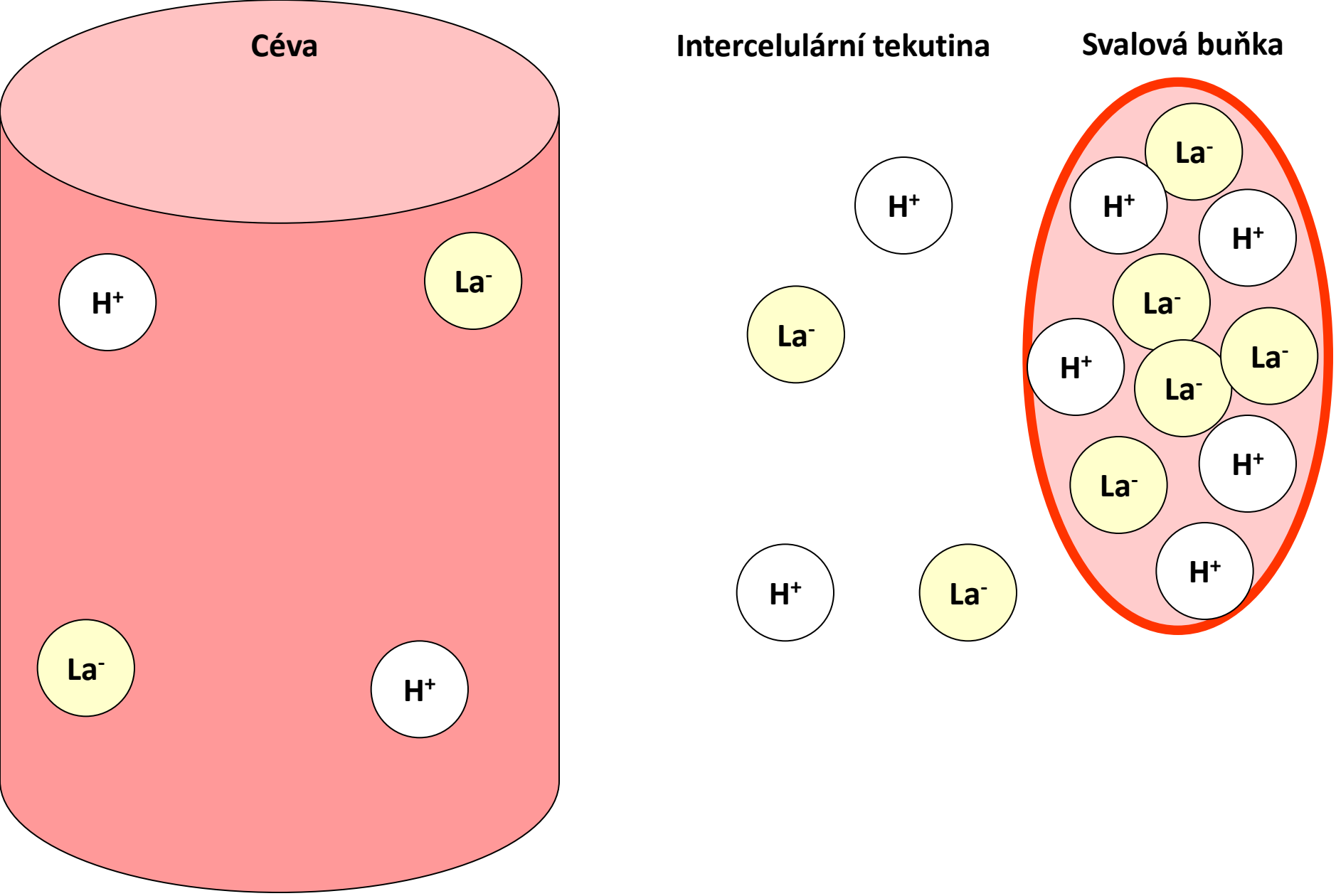
Adaptace glykolytického systému (anaerobní glykolýza)

Konečným produktem

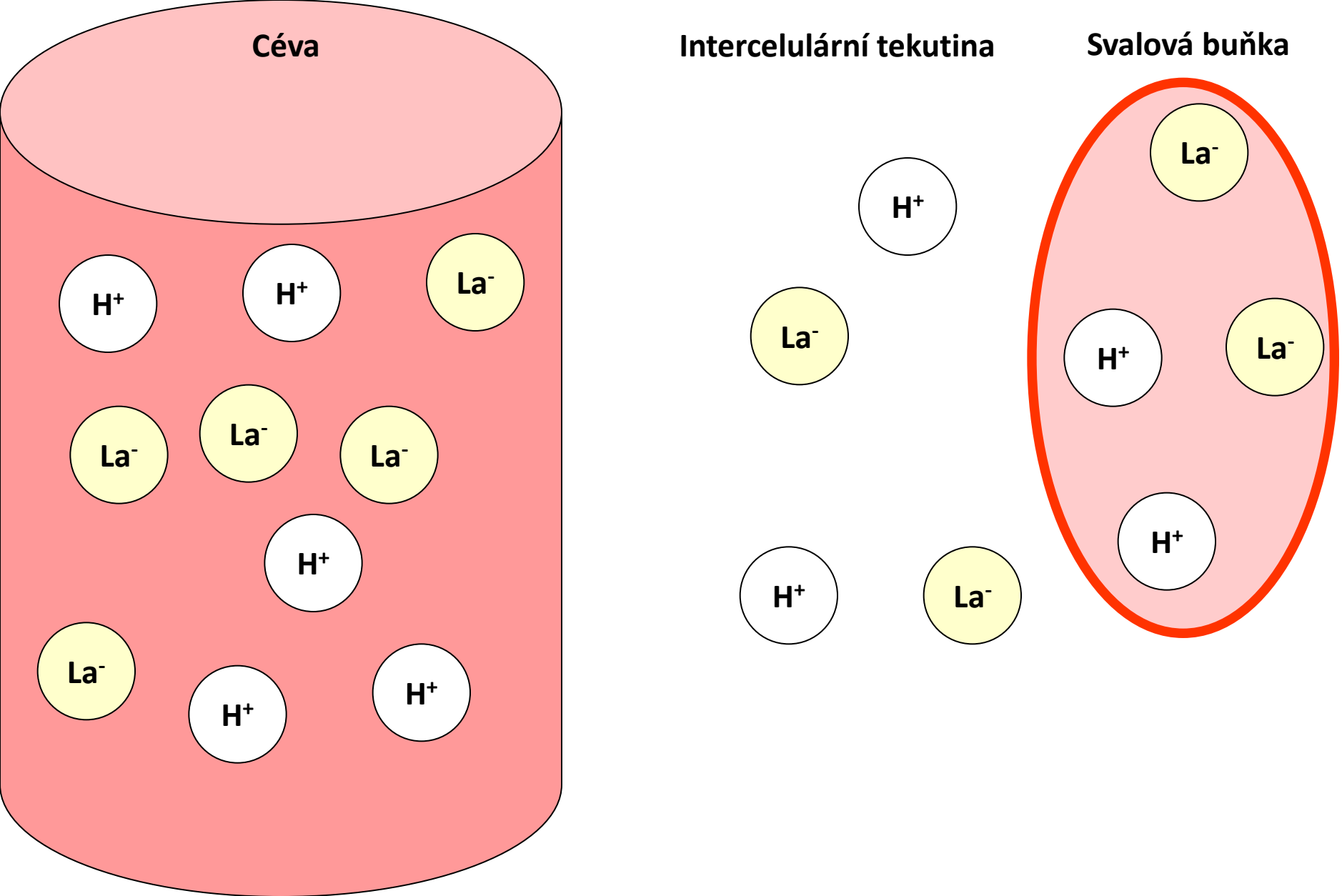
kyselina mléčná a její aniont (laktát)

- **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**

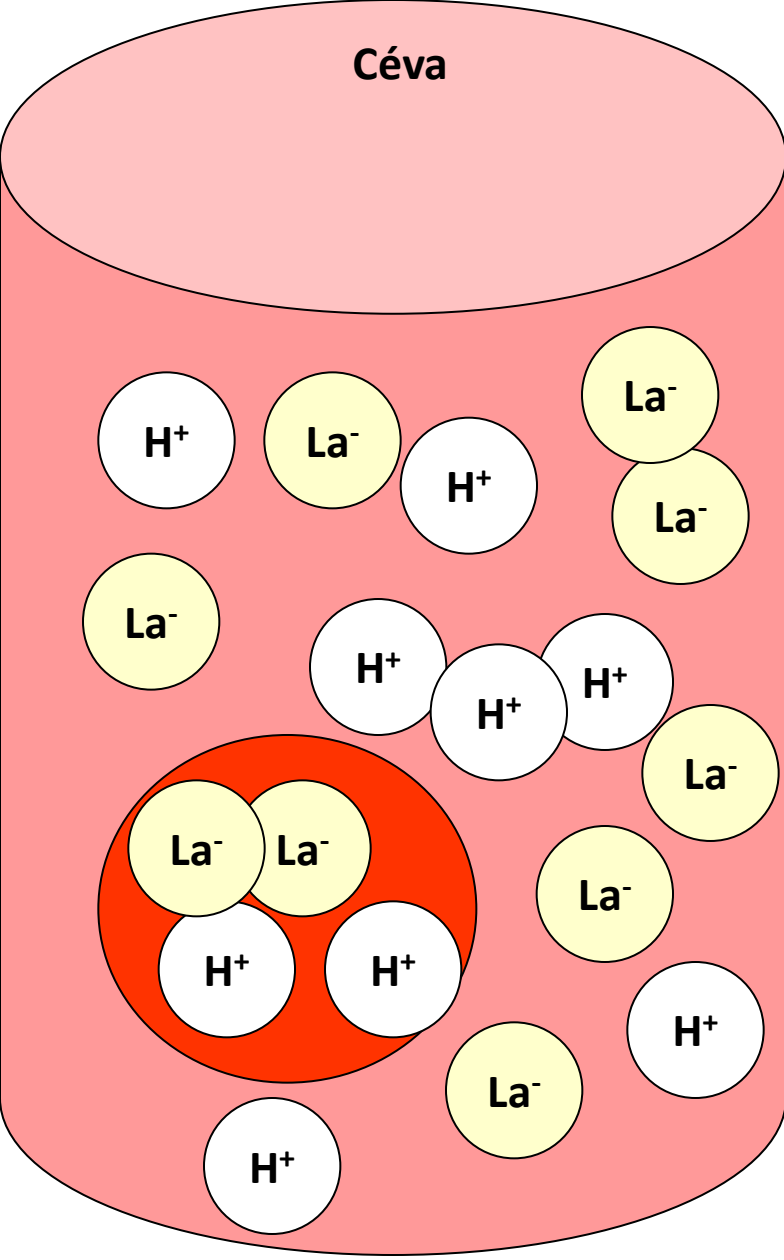
Transport laktátu a vodíkového protonu (*laktát je akceptor vodíku*)
do mezibuněčného prostoru a dál do krve
ve směru koncentračního gradientu



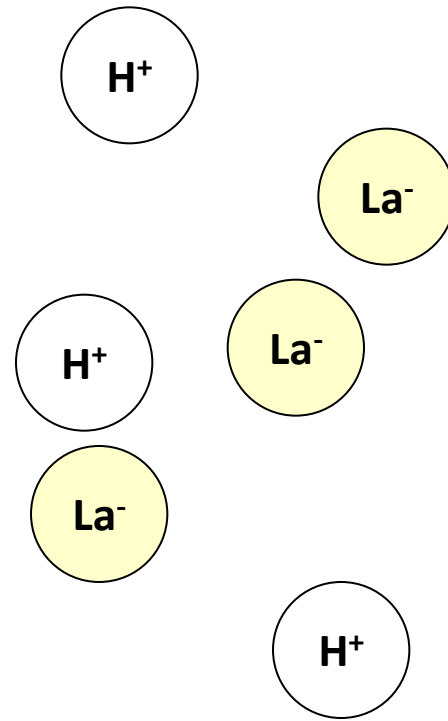
Pohyb H^+ a La^- - v závislosti na koncentračních gradientech



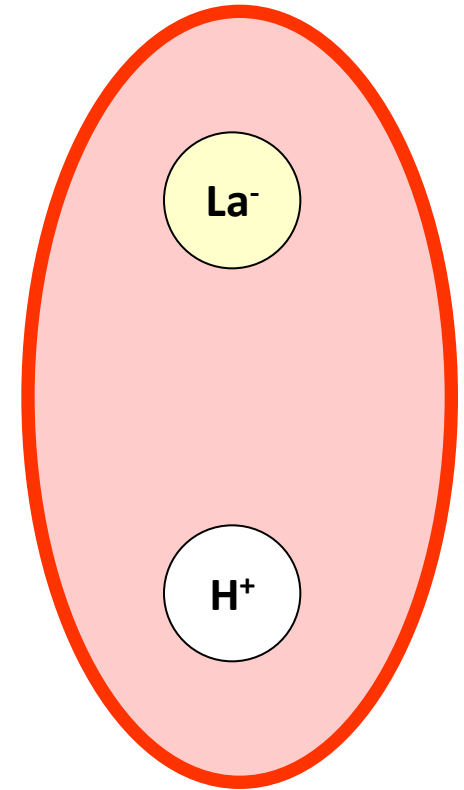
Pohyb H^+ a La^- - v závislosti na koncentračních gradientech



InterCelulární tekutina

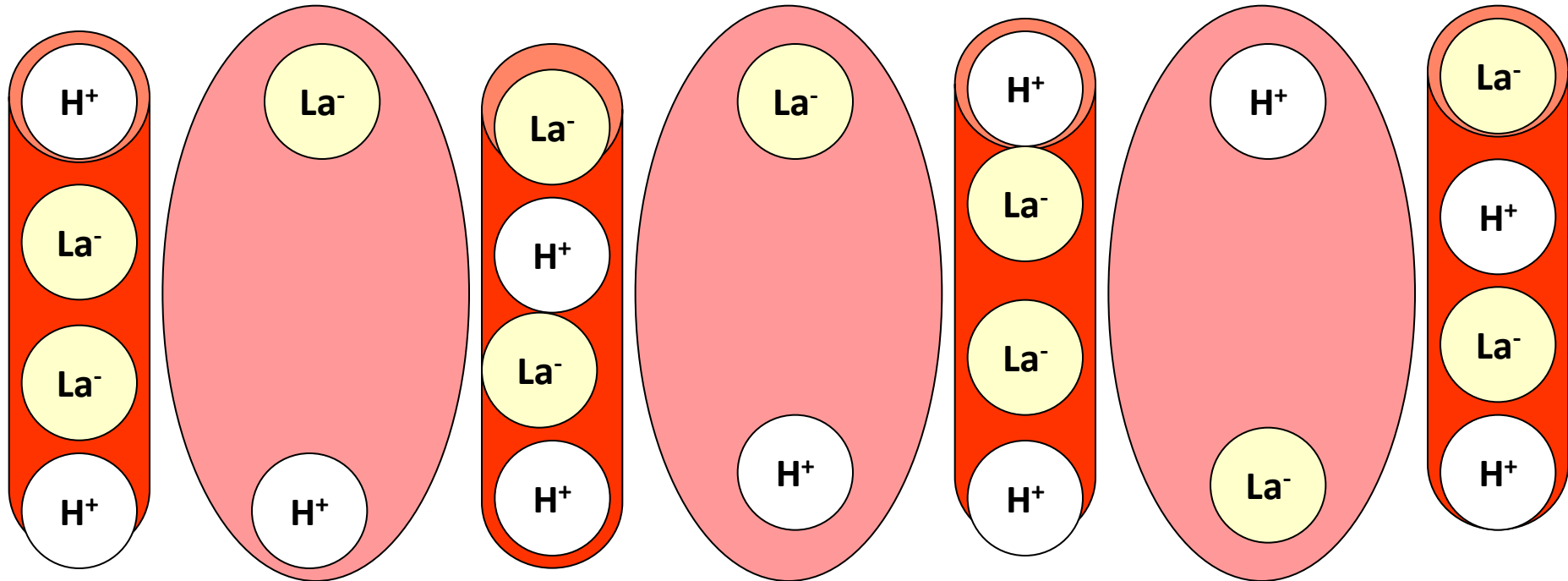


Svalová buňka



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



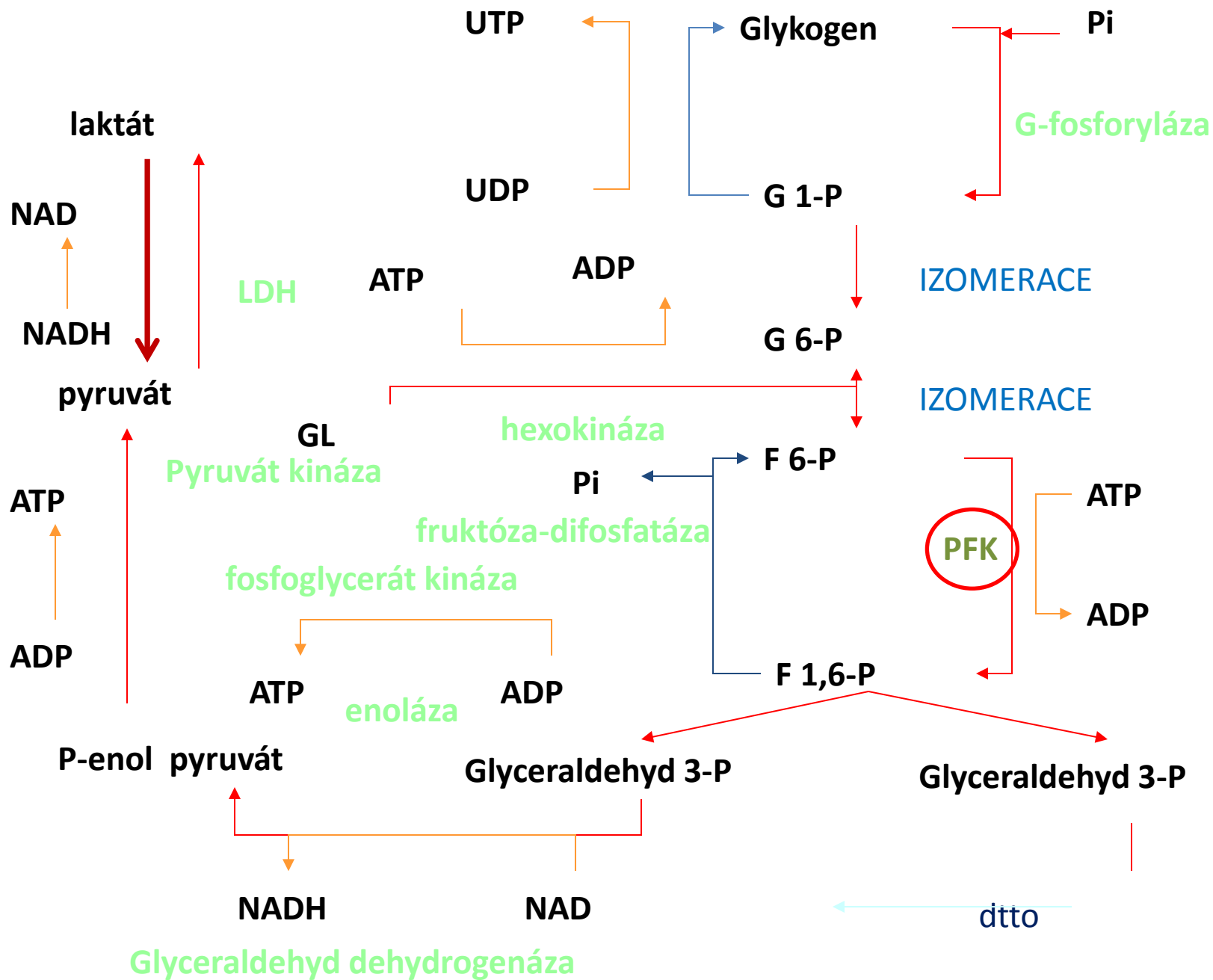
ZÁSADNÍ POSUN LAKTÁTOVÉHO PARADIGMATU

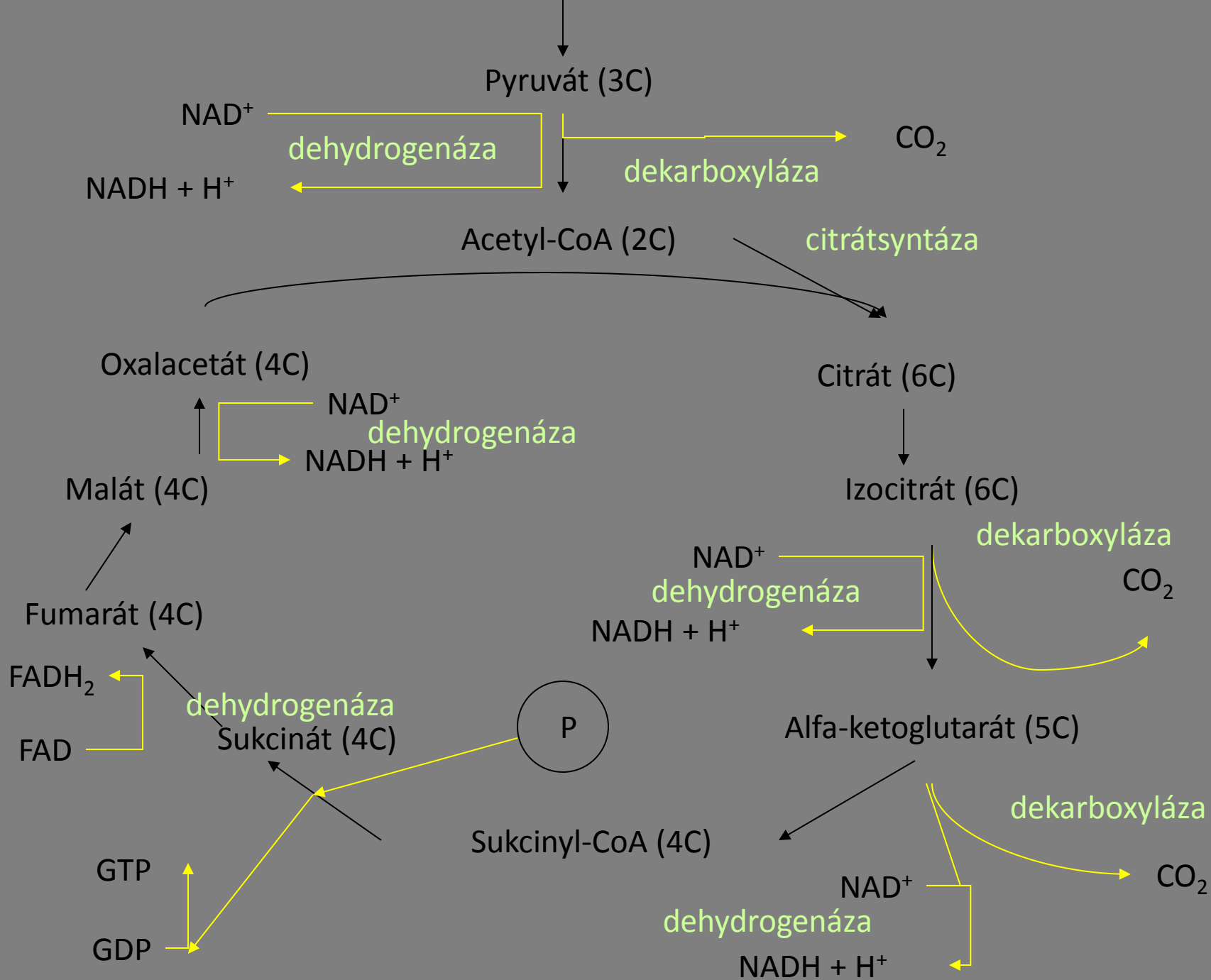
- Jednoznačná podpora teorii laktátového mezibuněčného člunku
- Laktát jako produkt anoxie nebo dysoxie je spíše výjimkou než pravidlem

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

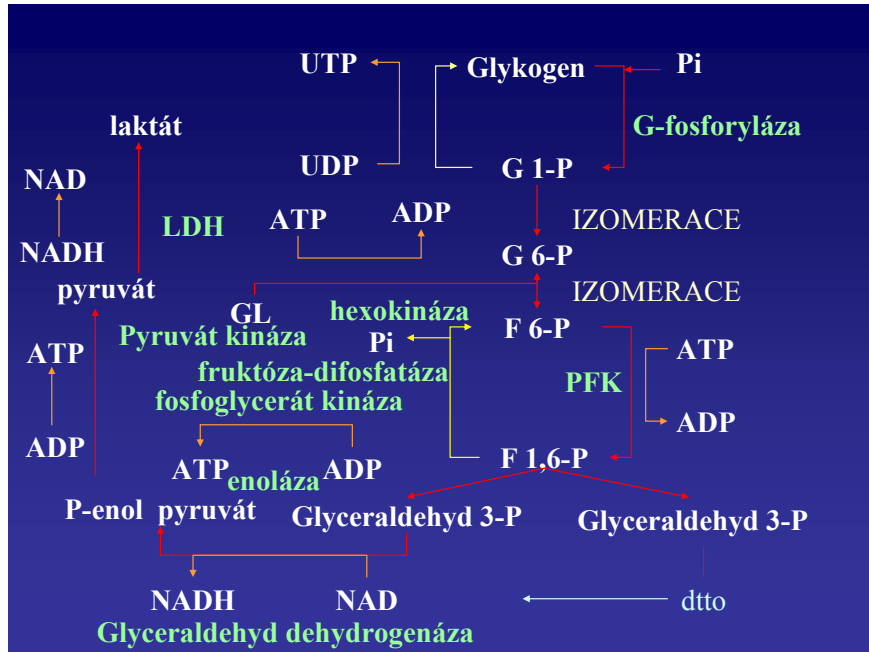
Z GLUKÓZY CELKEM

38 ATP

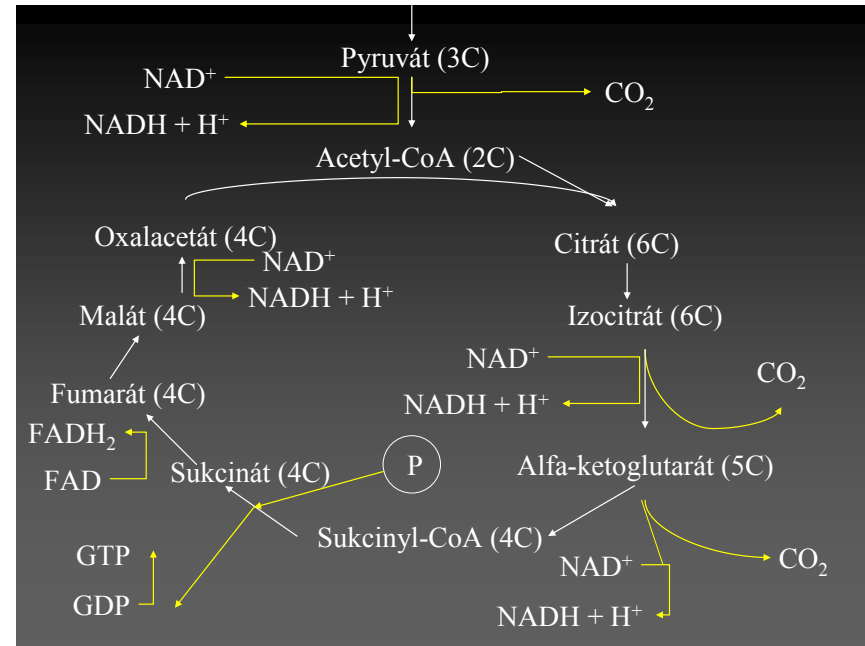
Laktát poskytuje energii dvakrát:

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

glykolysa



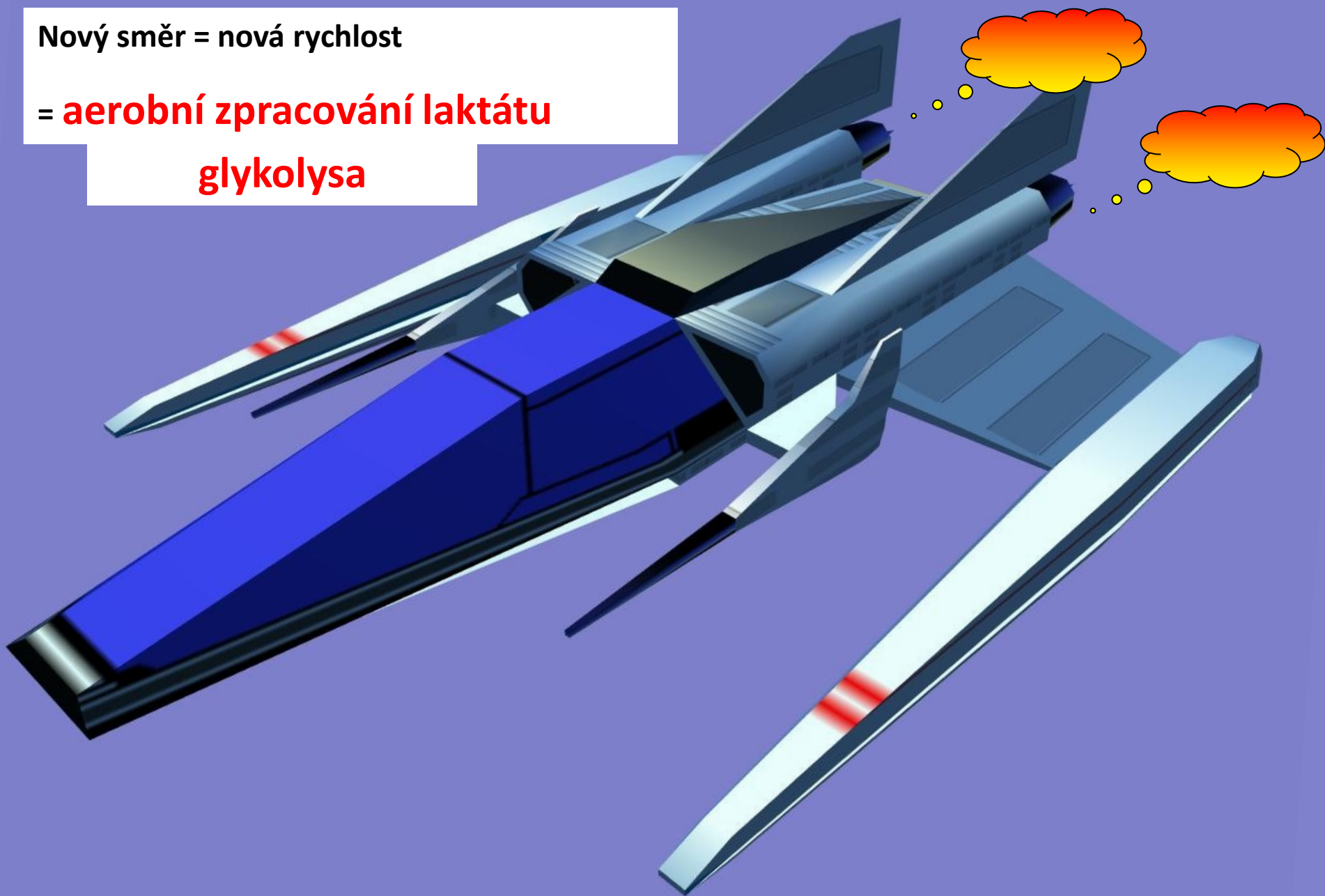
aerobní fosforylace



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

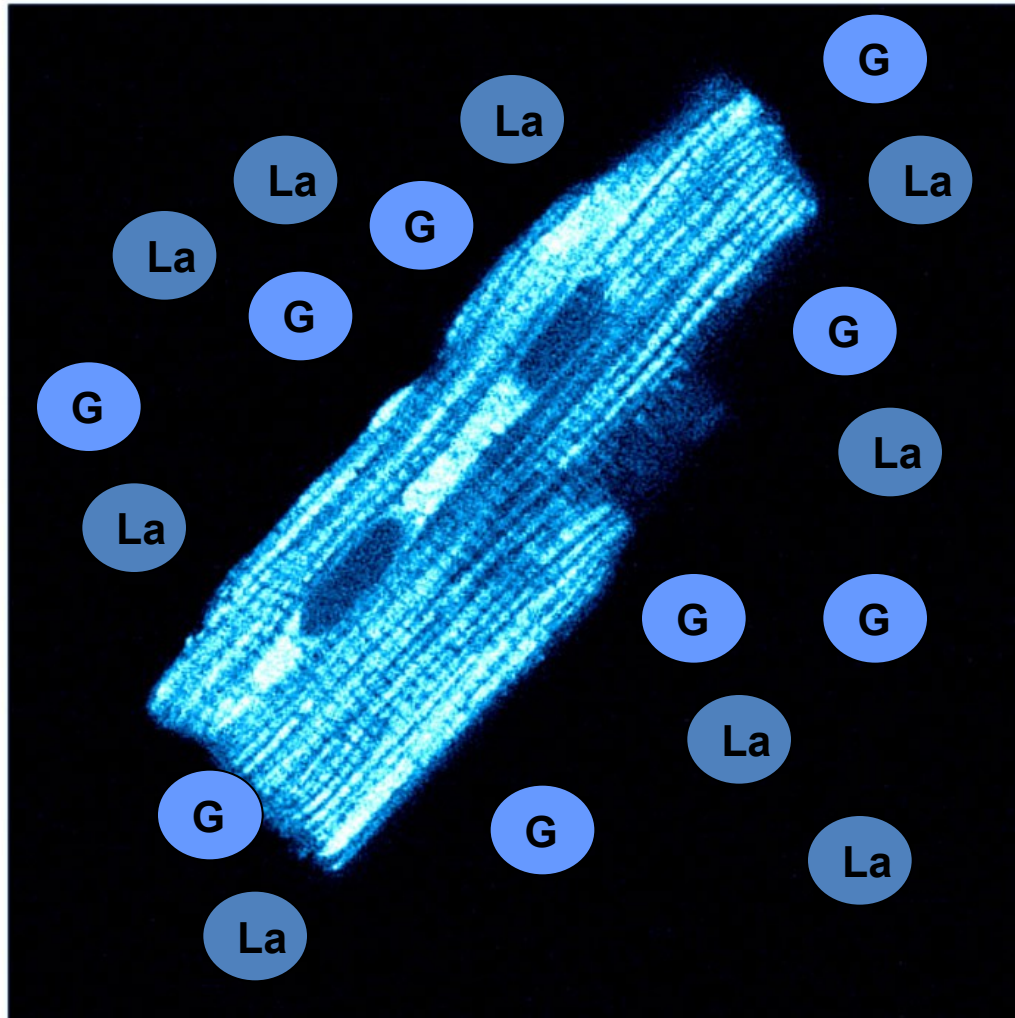
Rozložit laktát na konečné metabolity a energii umí výborně i srdeční sval.

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⁺

FADH₂

NAD⁺

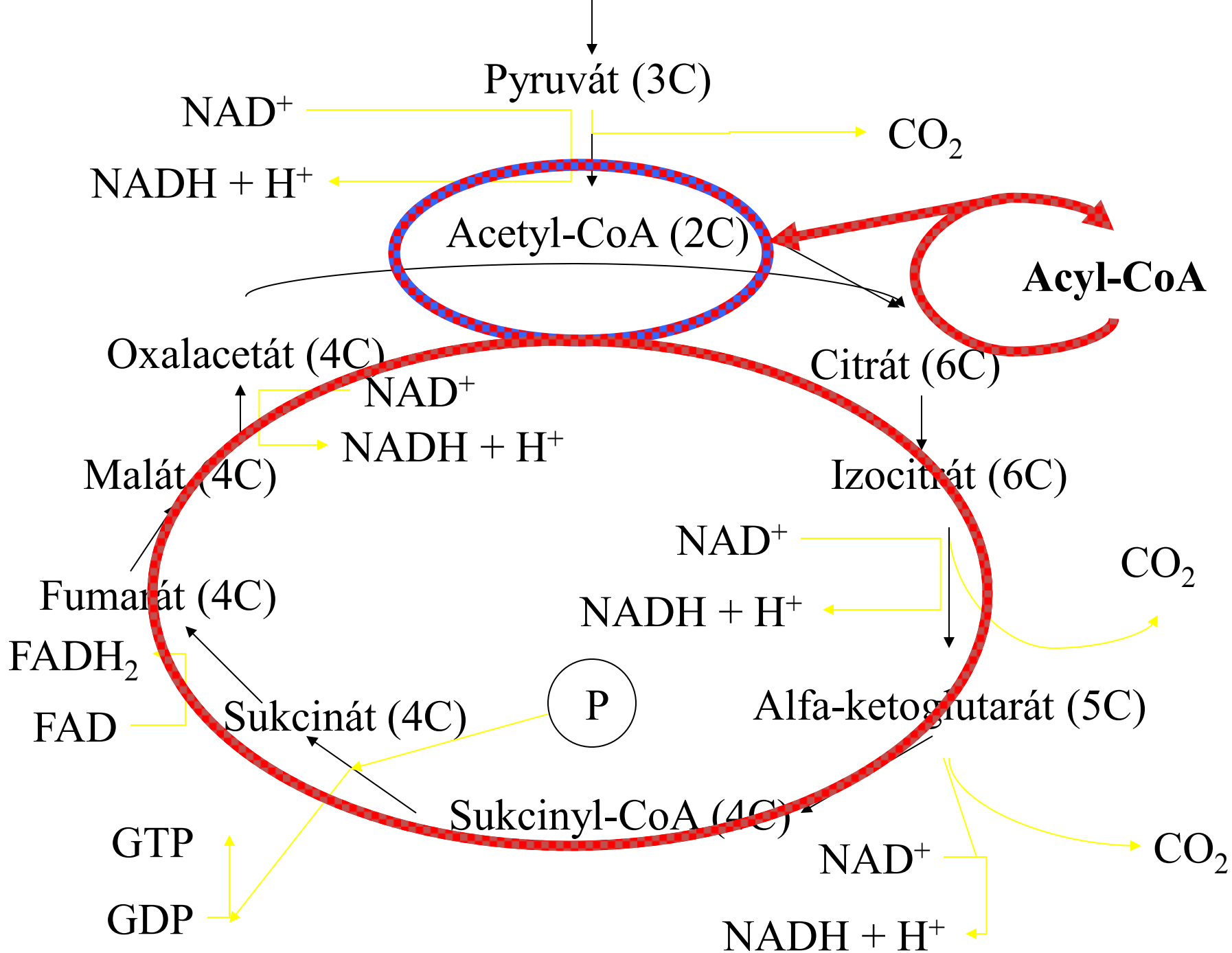
NADH + H⁺

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 zvýší svou aerobní kapacitu**

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

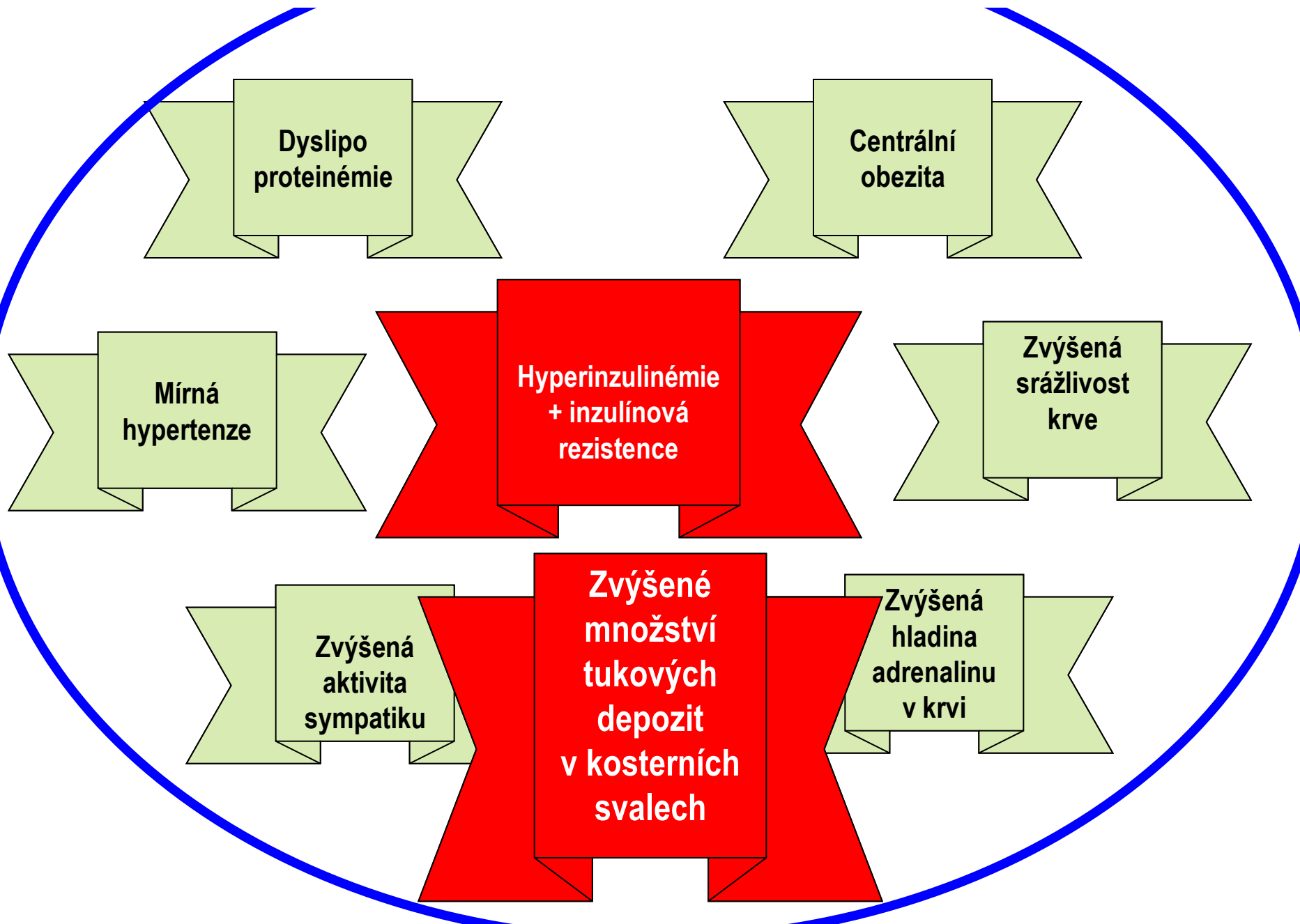
Závěr 2:



1. U obézních je oxidativní kapacita kosterních svalů pro MK je redukováaná

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



JOHNSON, N.A., STANNARD, S.R., THOMPSON, M.W. Muscle triglyceride and glycogen in endurance exercise: implications for performance. Sports Med. 2004, vol. 34, no. 3, p. 151-164.

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**



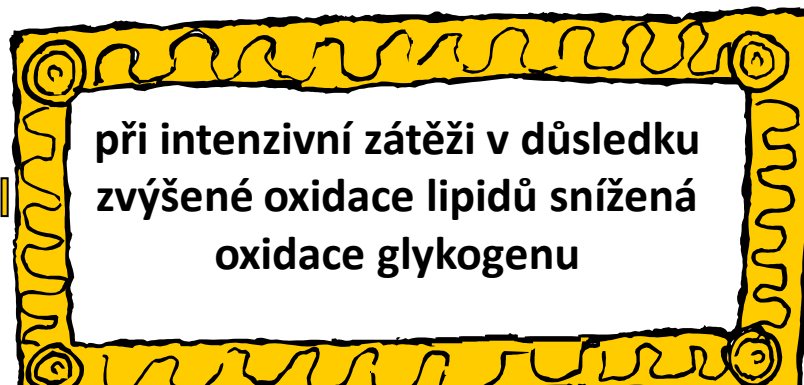
BRUN, J.F., VARLET-MARIE, E., CASSAN, D., MANETTA, J., MERCIER, J. Blood fluidity is related to the ability to oxidize lipids at exercise. *Clin. Hemorheol. Microcirc.* 2004, vol. 30, no. 3-4, p. 339-343.

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

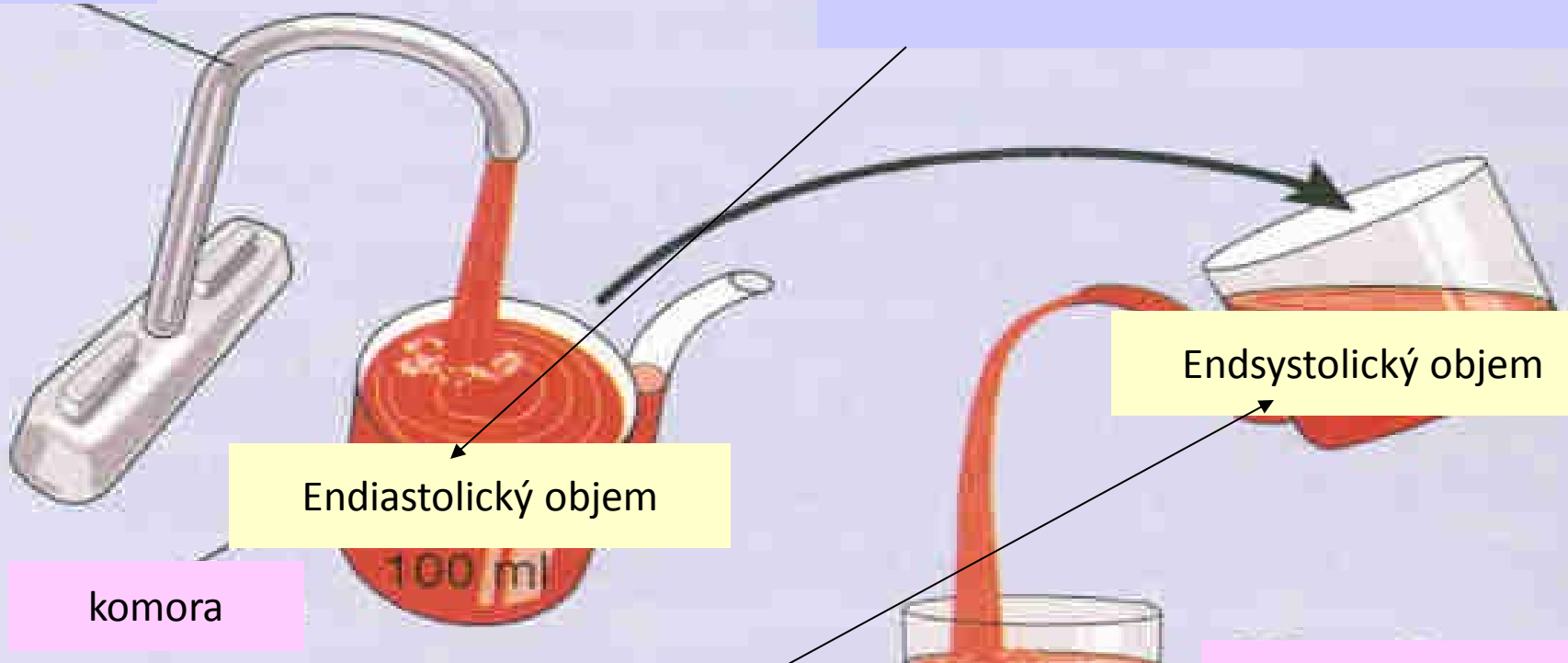
komora

Konec vyprázdnění komory

Endsystolický objem

Systolický objem

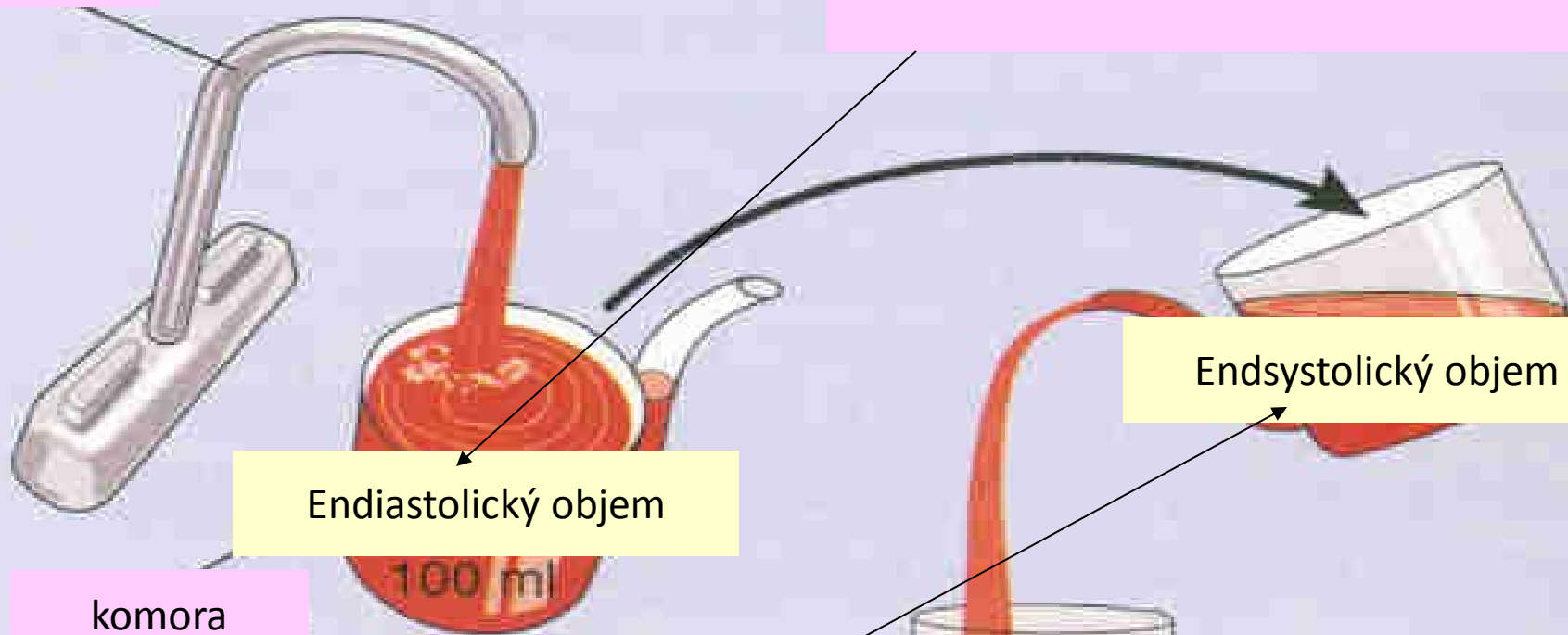
cévy



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**
- **snížování end-systolického objemu**
- **zvýšování 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/min



SO

Nároky myokardu na kyslík
funkcí SF a středního arteriálního tlaku

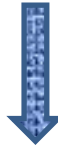
U vytrvalců menší zvýšení SF při určité svalové činnosti



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

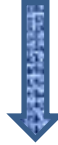
výrazně vyšší než u netrénovaných osob

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

a odpovídá vysoké hodnotě VO_2_{max}

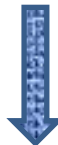
KARDIOVASKULÁRNÍ ADAPTACE

Zvýšené produkce oxidu dusíku (NO)
buňkami endotelu odporových cév

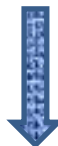


aktivní pomalá svalová vlákna relativně více krve
než neaktivní svaly a rychlá svalová vlákna

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

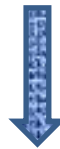
- velikost komorových dutin
- kontrakční síla myokardu

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

?

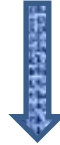
vzestup plazmatického objemu

(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

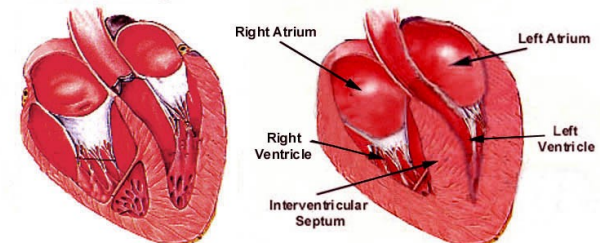


nadměrné protahování vláken myokardu



- 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 infekci 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
zvyšují 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

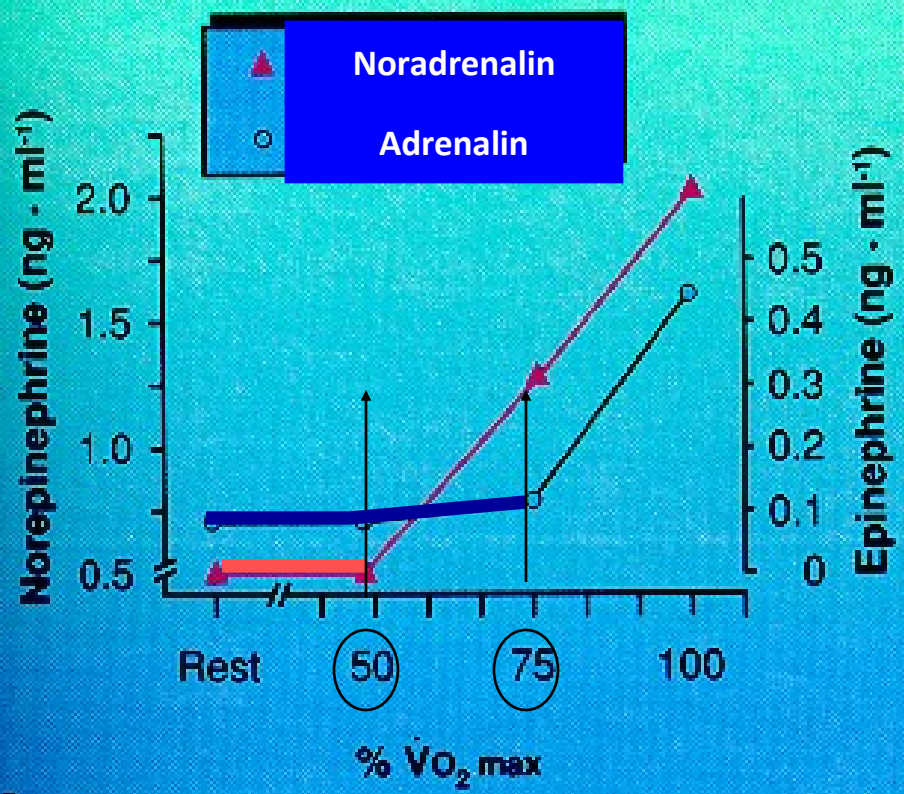
!!! Klíčová role !!!

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

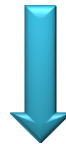


HORMONÁLNÍ ADAPTACE

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

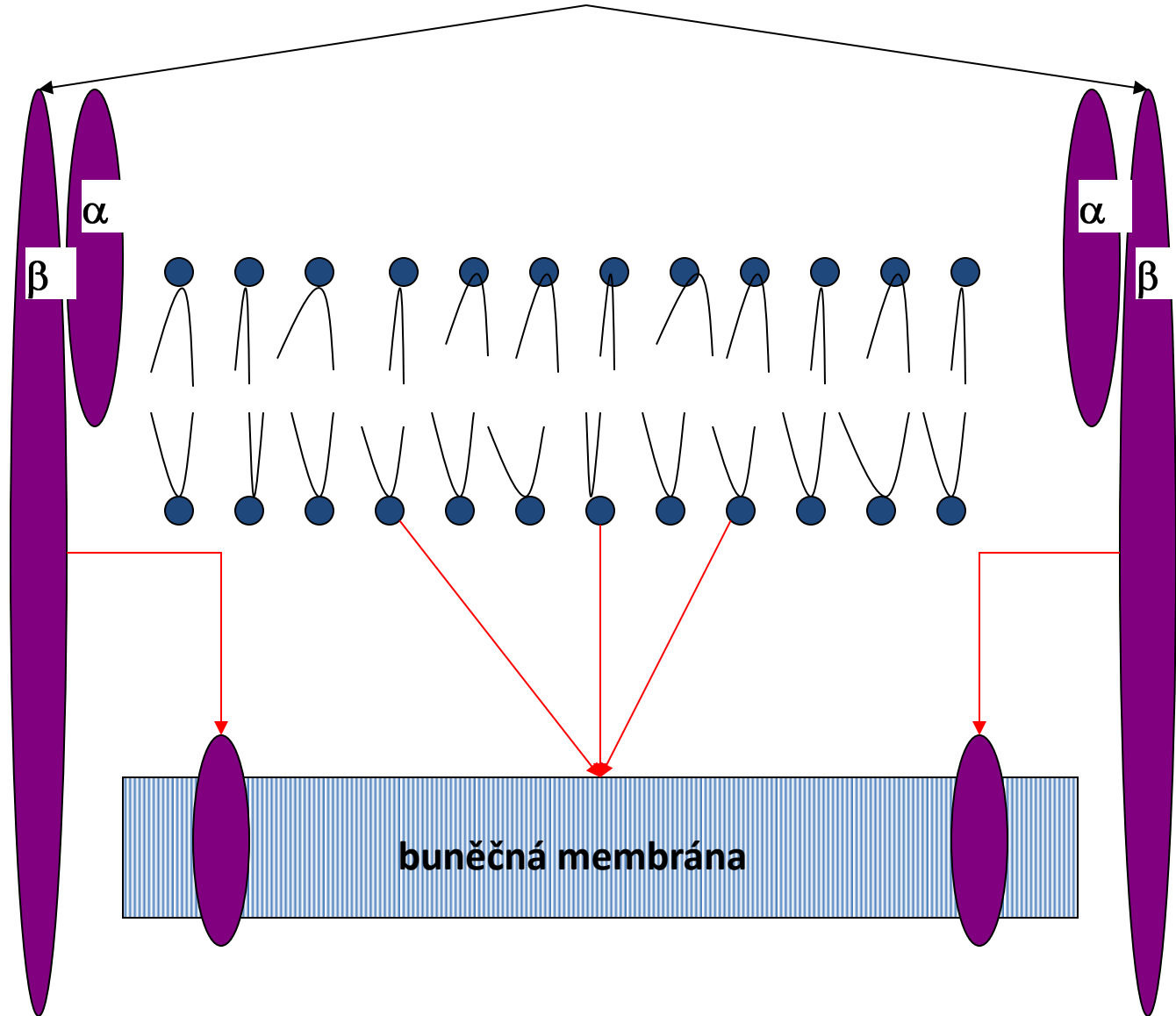
HORMONÁLNÍ ADAPTACE

Inzulin

Pravidelný vytrvalostní trénink

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

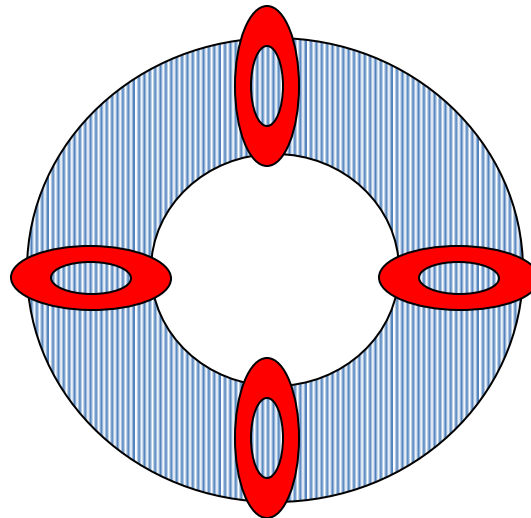
Inzulínový receptor IGF-1

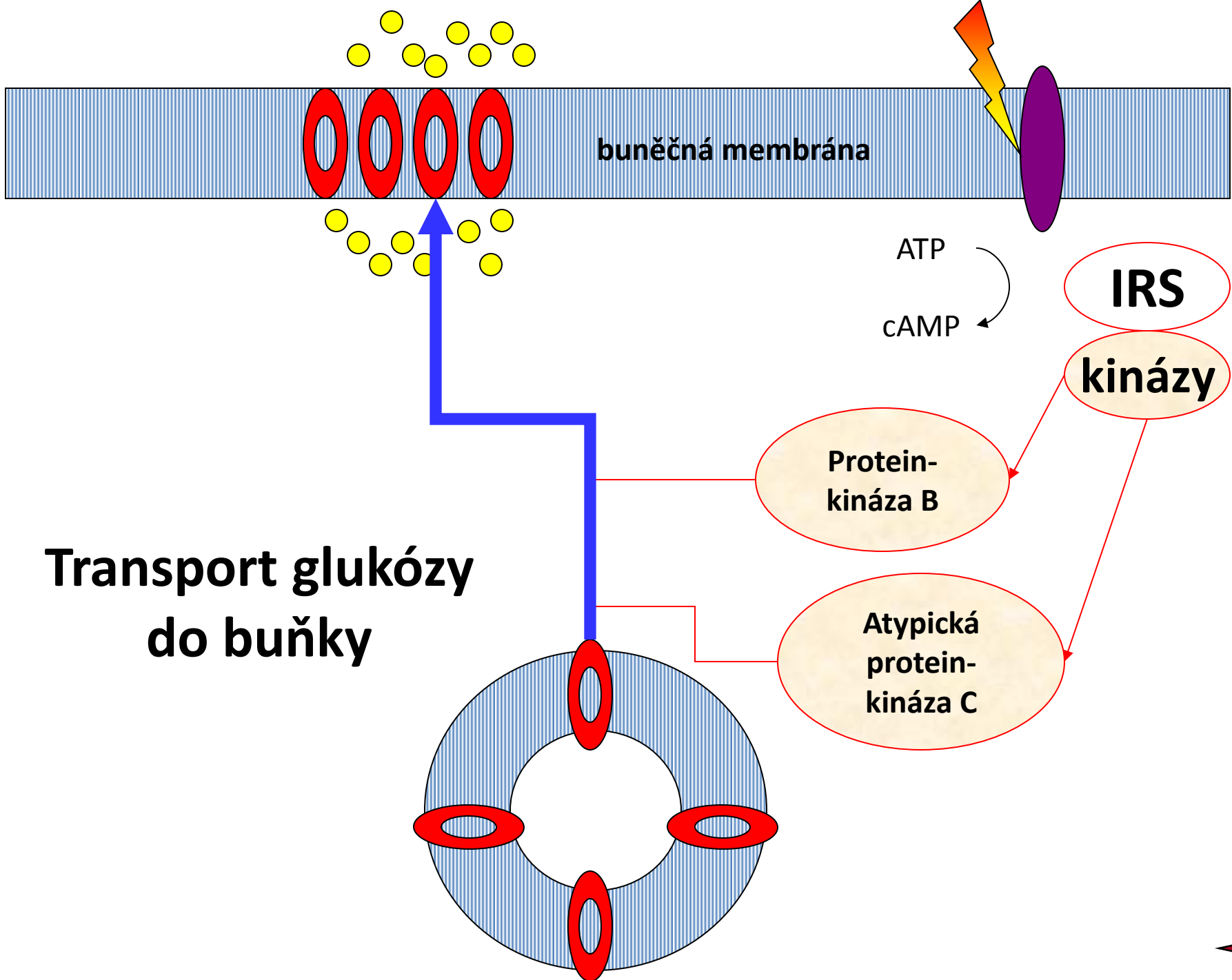


GLUT4



Vezikul obsahující GLUT4





**Transport glukózy
do buňky**

buněčná membrána

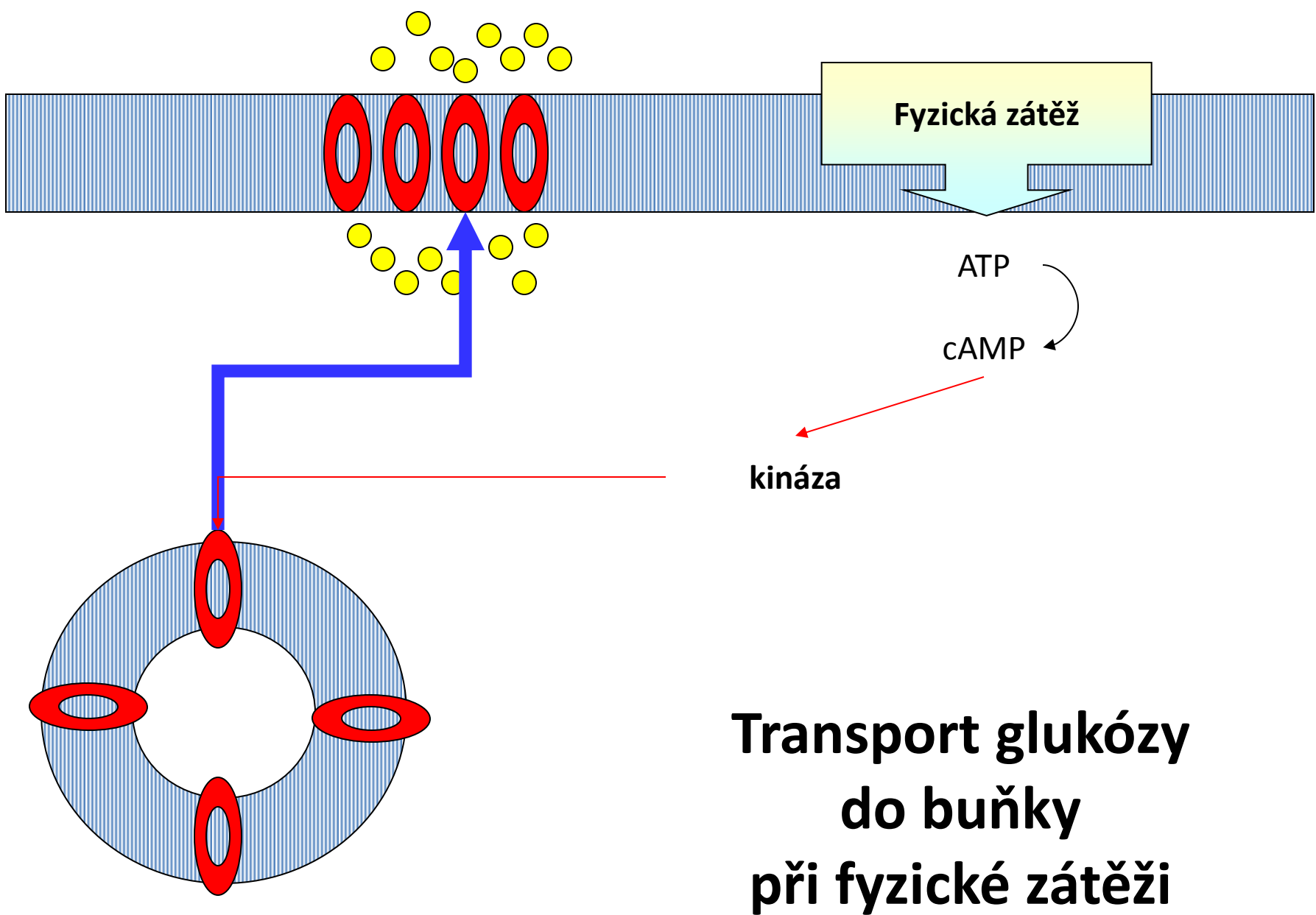
ATP
cAMP

**IRS
kinázy**

**Protein-
kináza B**

**Atypická
protein-
kináza C**





Vezikul obsahující GLUT4
odpovídající na zátěž



HORMONÁLNÍ ADAPTACE

Inzulin

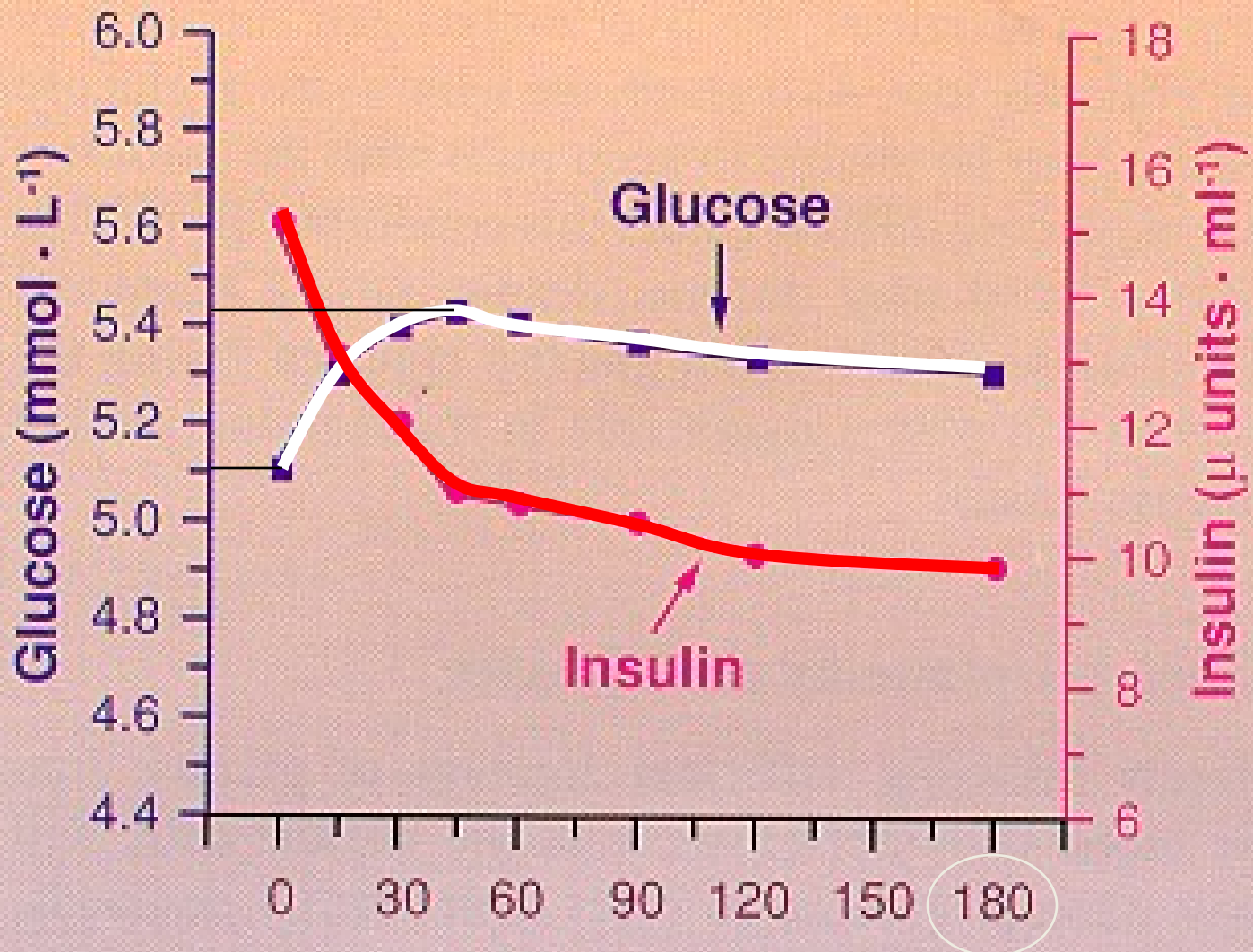
Pravidelný vytrvalostní trénink

snižuje potřebu inzulinu

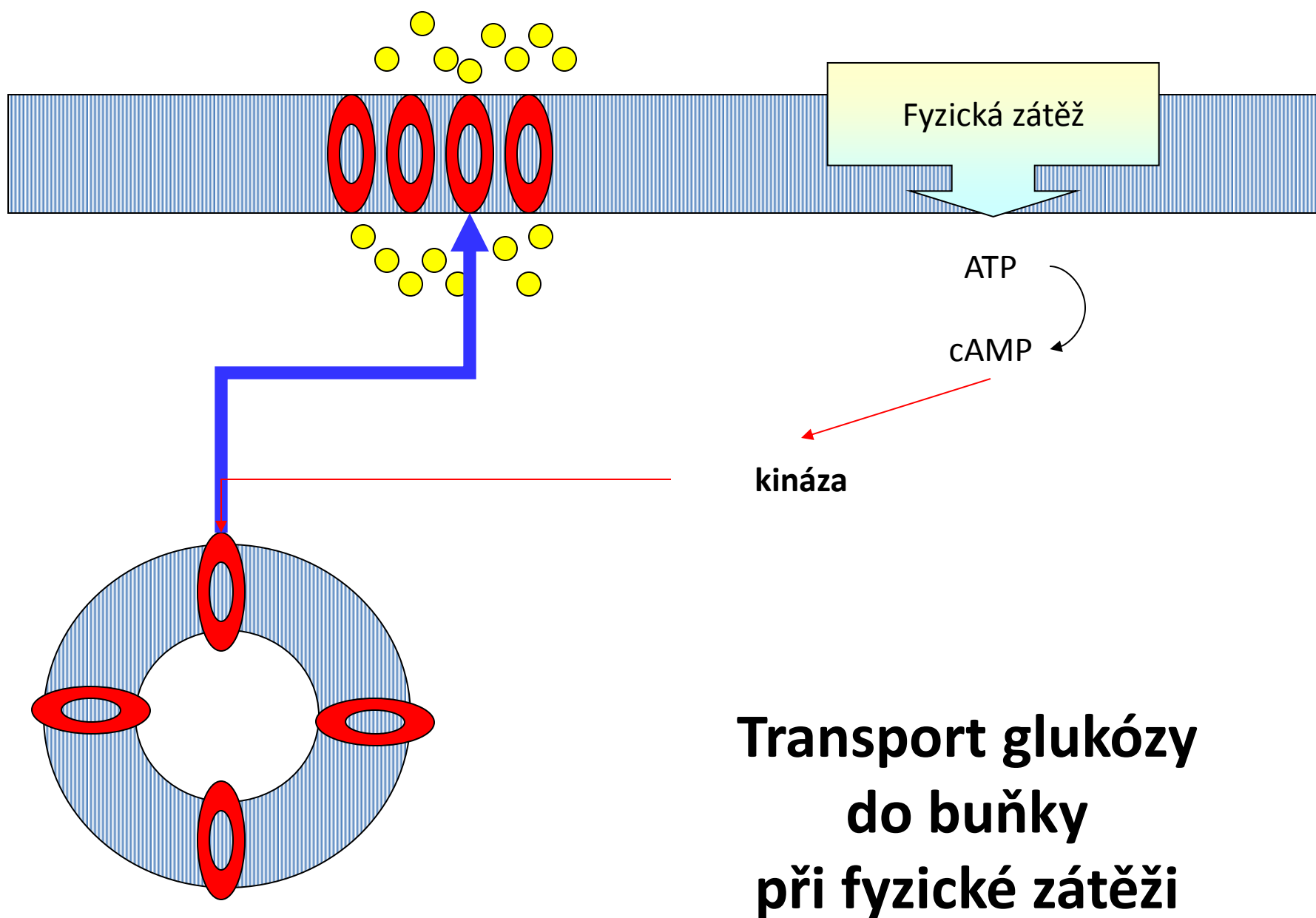
(část glukózy se dostane do svalové buňky bez stimulace IR)

= klesá produkce inzulinu

a) redukuje sekreci inzulinu pankreatickými beta-buňkami



Změny hladiny inzulínu a glukózy během prolongovaného cyklistického zatížení při 65% až 70% VO₂ max.

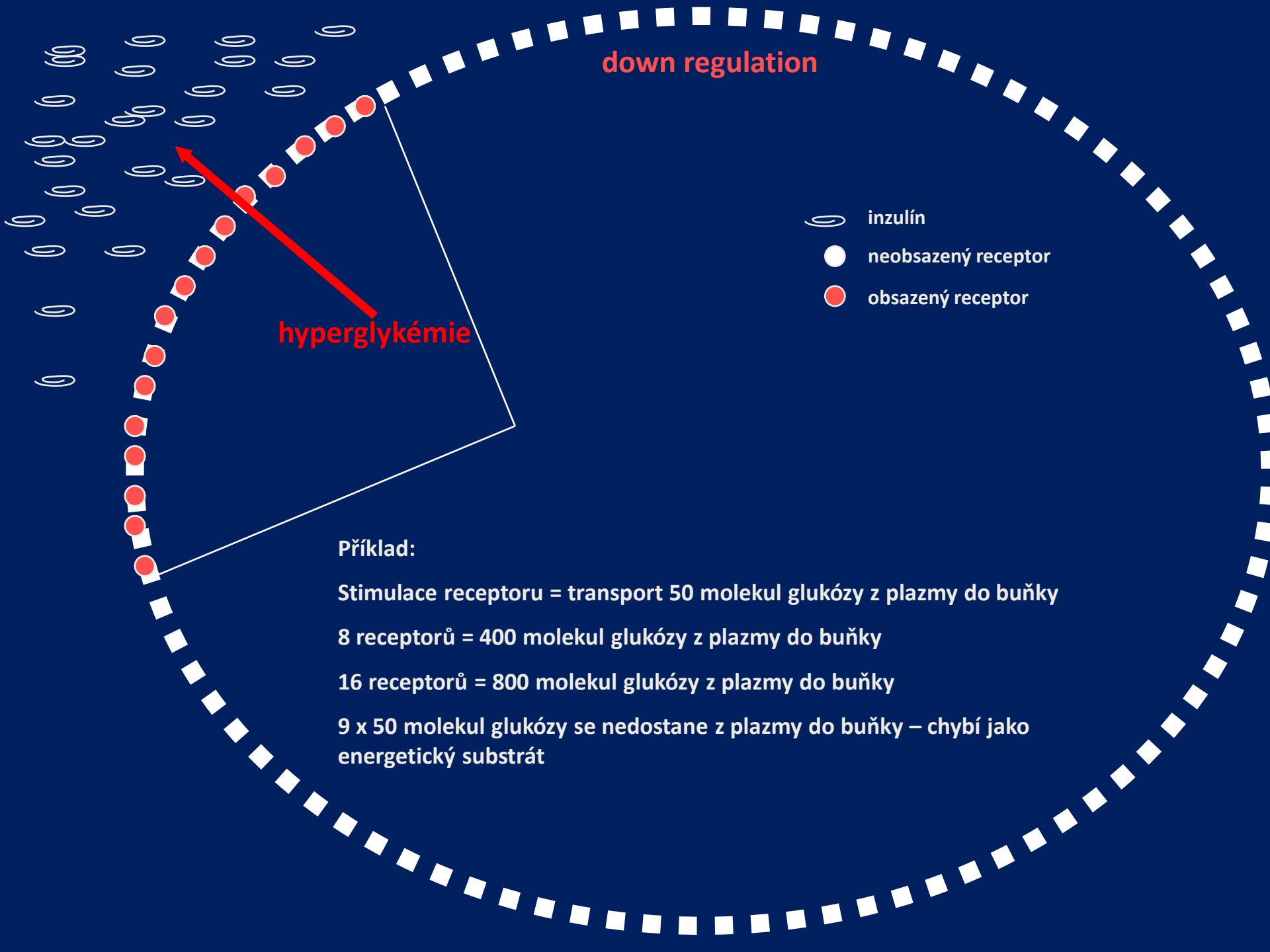


Vezikul obsahující GLUT4
odpovídající na zátěž

HORMONÁLNÍ ADAPTACE

Inzulin

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



down regulation

hyperglykémie

- inzulín
- neobsazený receptor
- obsazený receptor

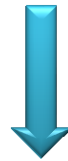
Příklad:

Stimulace receptoru = transport 50 molekul glukózy z plazmy do buňky
8 receptorů = 400 molekul glukózy z plazmy do buňky
16 receptorů = 800 molekul glukózy z plazmy do buňky
9 x 50 molekul glukózy se nedostane z plazmy do buňky – chybí jako energetický substrát

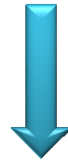
HORMONÁLNÍ ADAPTACE

Inzulin

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



tím méně obsazených receptorů



tím vyšší účinnost inzulínu

Syntéza inzulínu

Pankreatická
beta-buňka

Preproinzulín

Syntéza inzulínu

Preinzulín

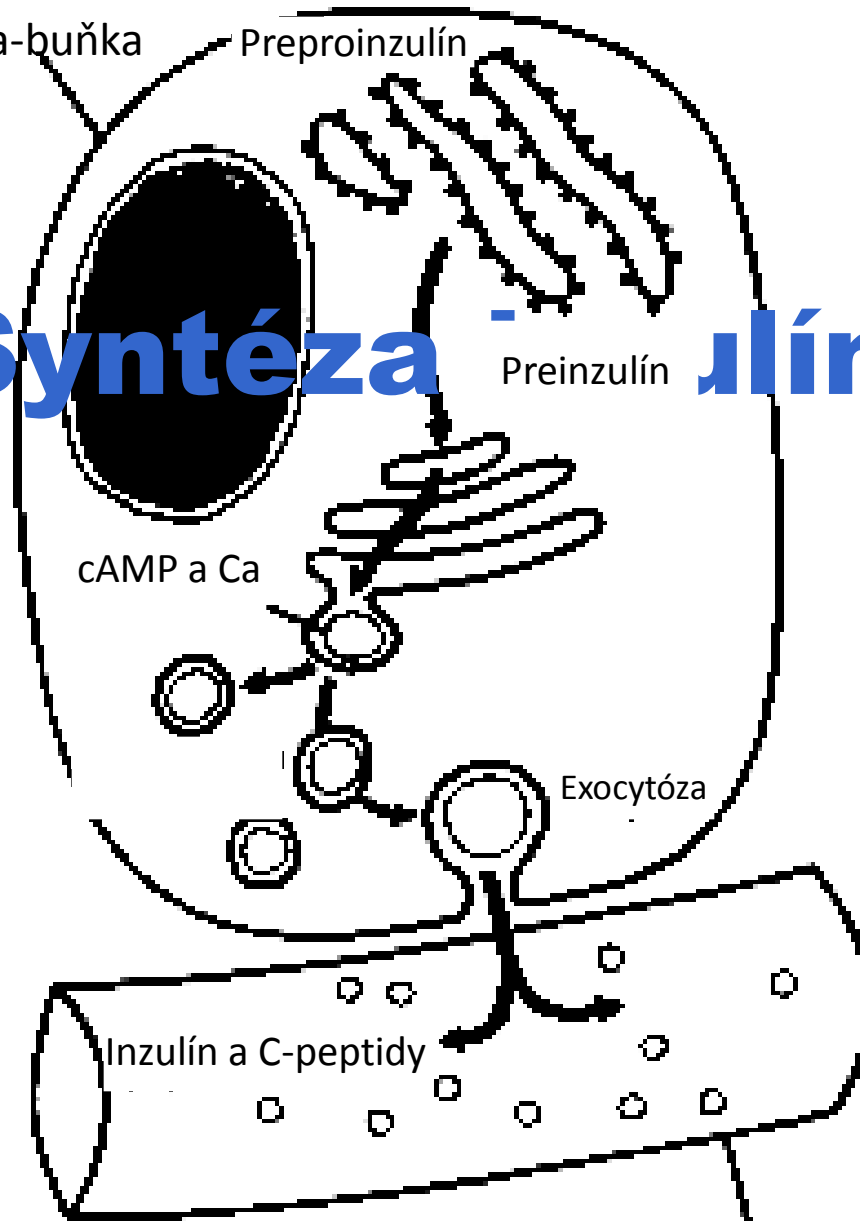
cAMP a Ca

Golgiho
aparát

Exocytóza

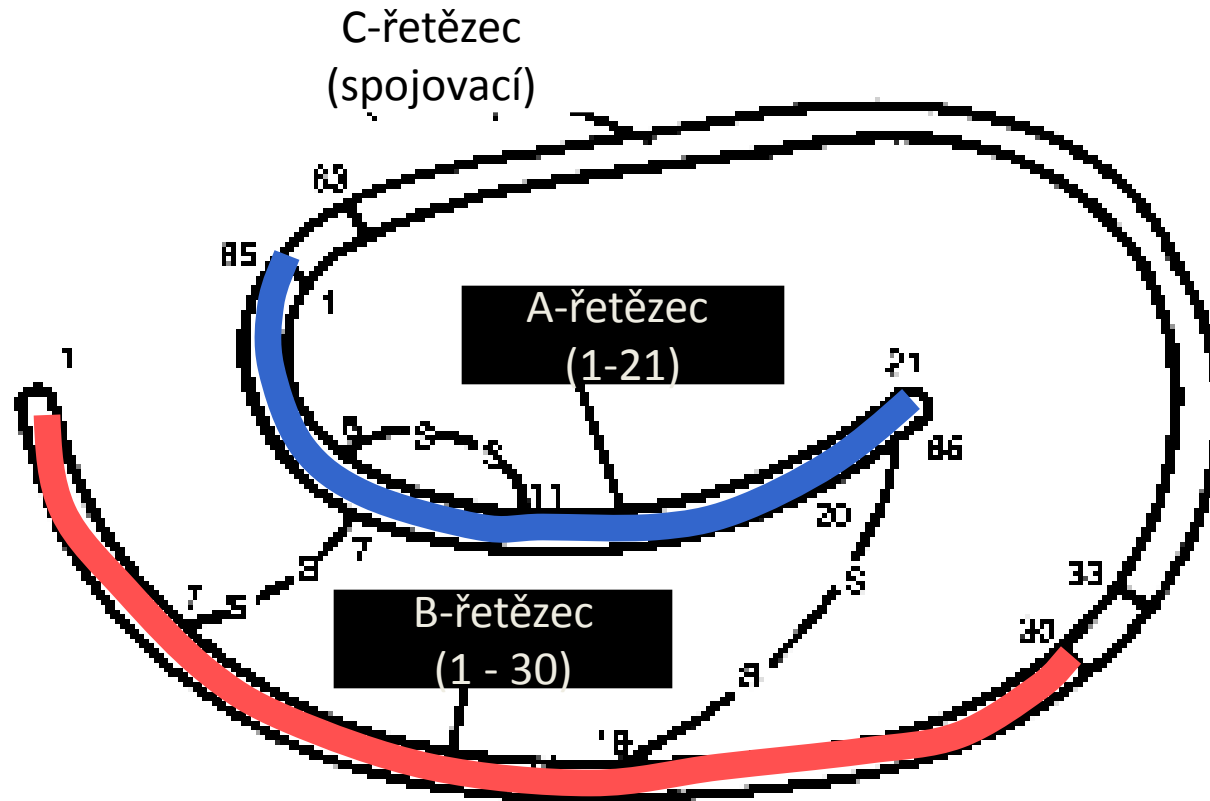
Inzulín a C-peptidy

Capillary



A- a B-řetězce inzulínu

Insulin



30 - 33 and 63 - 65 dipeptides split off during formation of active hormone

Insulin is the A chain plus B chain



- lep
- tra
- ry
- zv
- vě

Prevence inzulinové rezistence

Prevence metabolického syndromu

Prevence chronických neinfekčních onemocnění

= ???

**PŘI STEJNÉ SACHARIDOVÉ ZÁTĚŽI
VYTRVALOSTNĚ TRÉNOVANÍ = MENŠÍ PRODUKCE INZULINU
NEŽ OSOBY SE SEDAVÝM ŽIVOTNÍM STYLEM**

HORMONÁLNÍ ADAPTACE

Glukagon

(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 nespportovci)**

HORMONÁLNÍ ADAPTACE

Kortizol

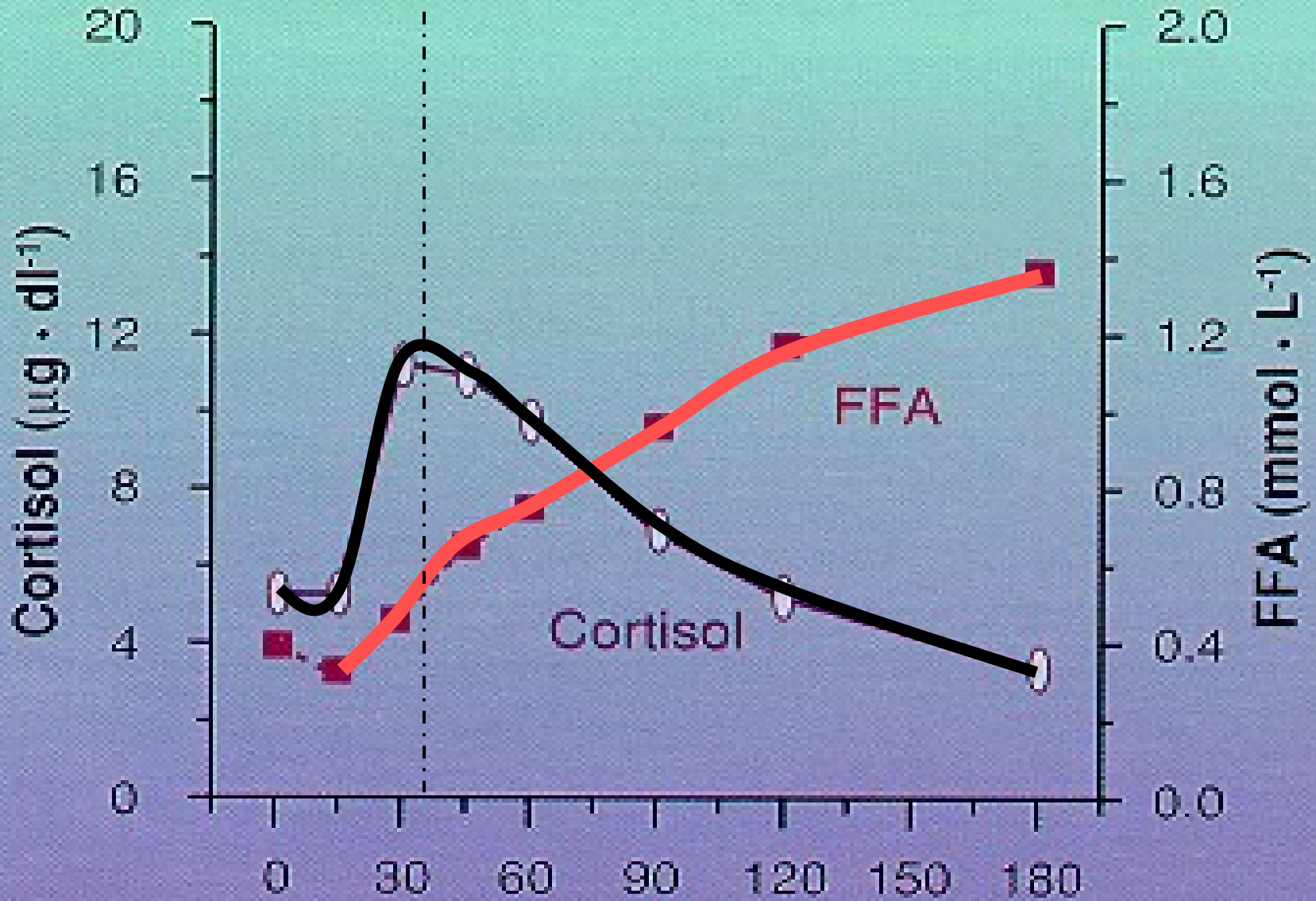
po omezenou dobu (!)

↑ 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 $W.kg^{-1}$)

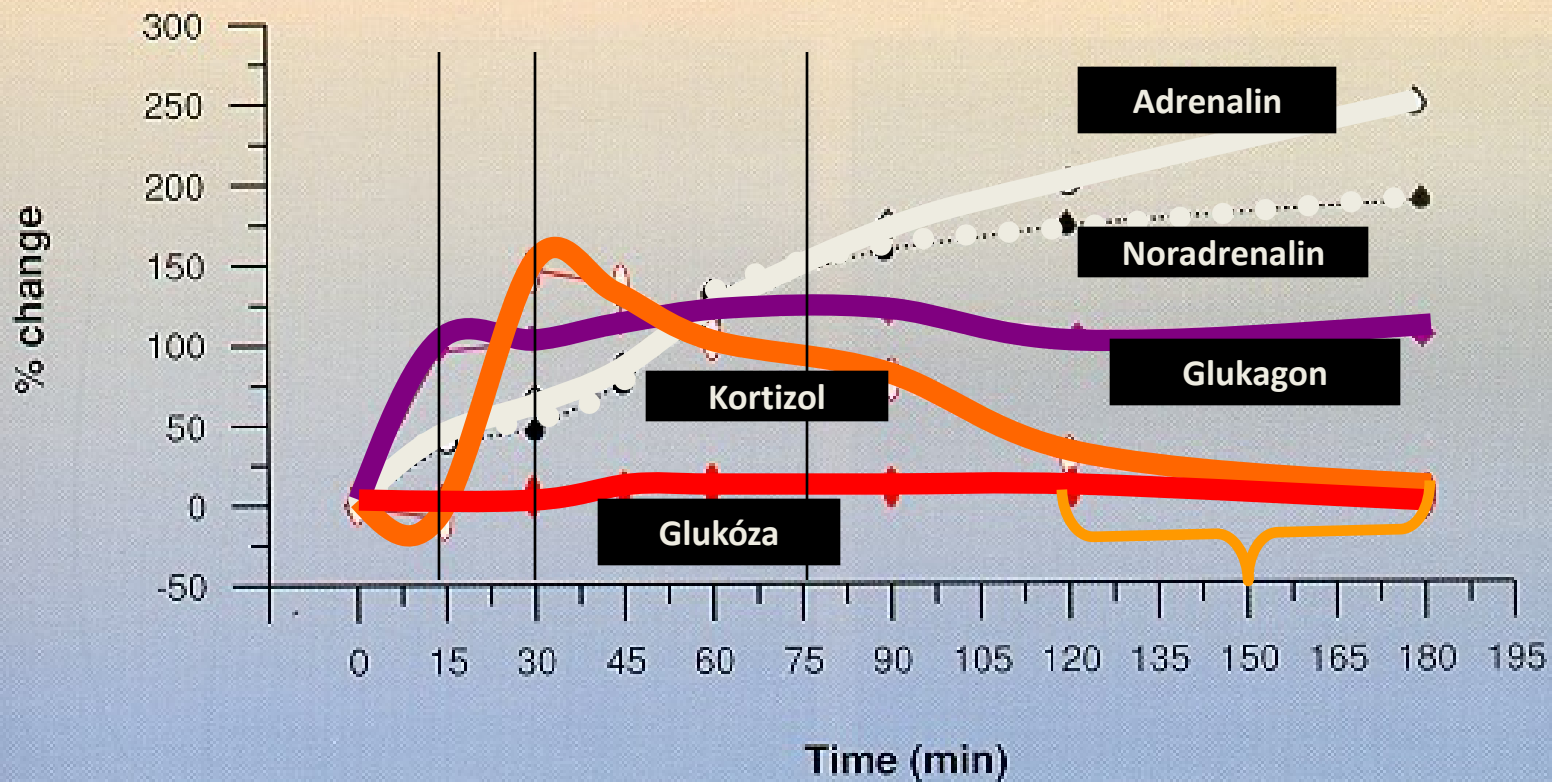


a.

3 hod zatížení

% change during exercise

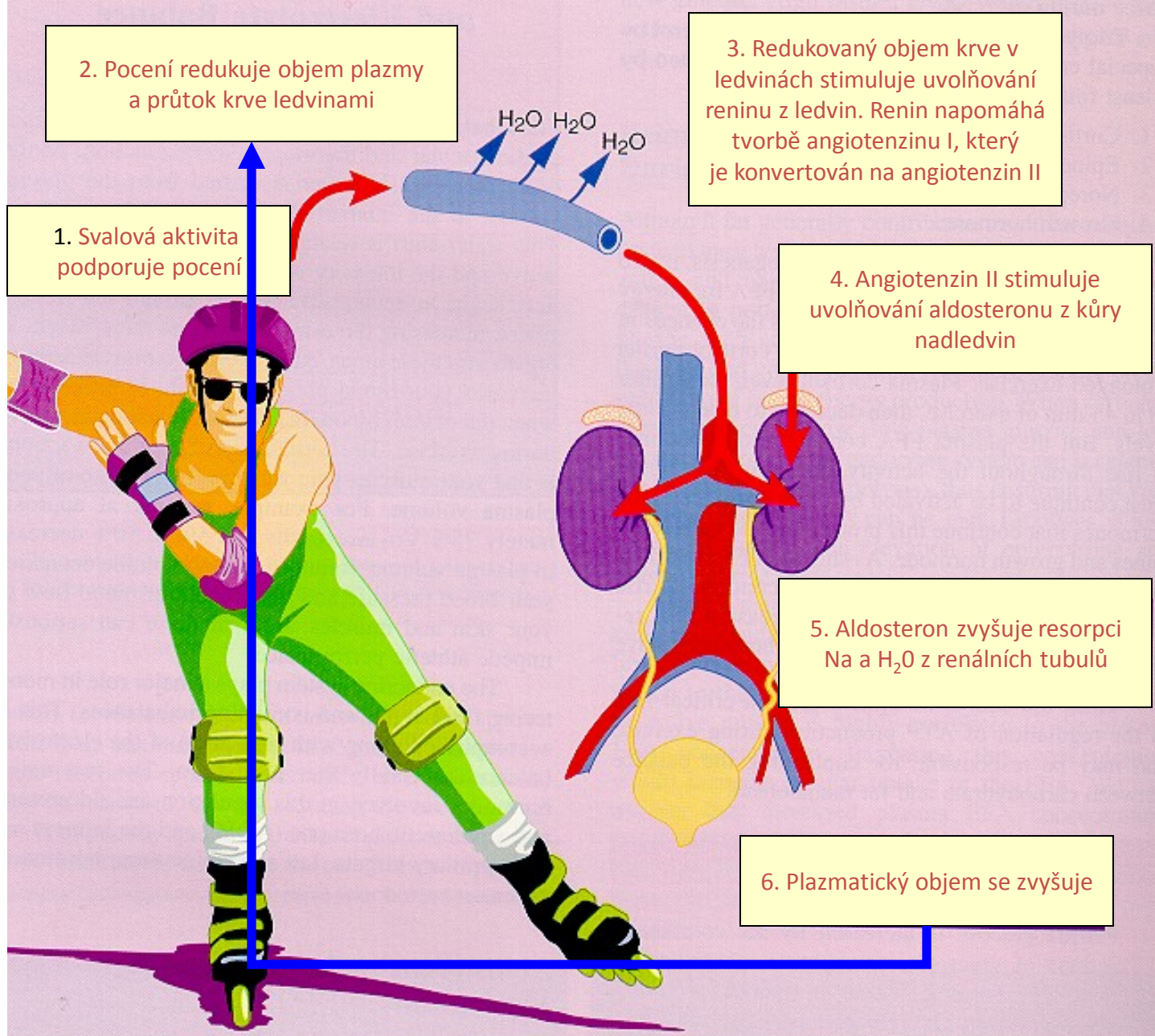
b.



Změny plazmatické hladiny adrenalinu, noradrenalinu, glukagonu, kortizolu a glukózy v průběhu 3 hod jízdy na kole při 65% VO₂ max.

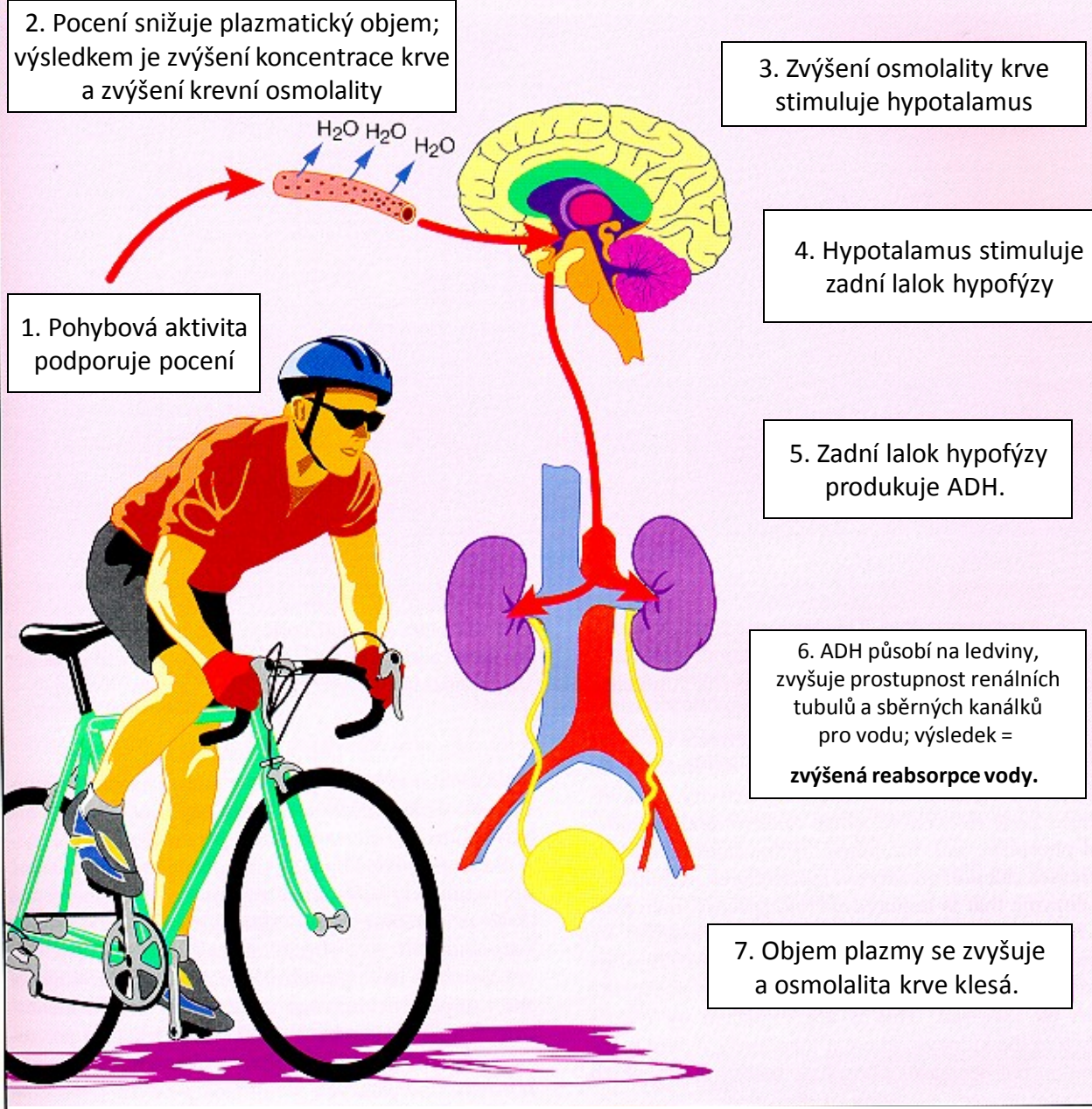
HORMONÁLNÍ ADAPTACE

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

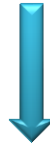


ČASTO BÝVÁ PRIMÁRNÍ

HORMONÁLNÍ ADAPTACE

Testosteron

U mužů intenzivní vytrvalostní trénink



supresi spermatogeneze a produkce testosteronu

???

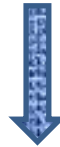
HORMONÁLNÍ ADAPTACE

Hormony
katecholaminy
inzulin
glukagon
somatotropin
kortizol
adiuretin, aldosteron
prolaktin
testosteron

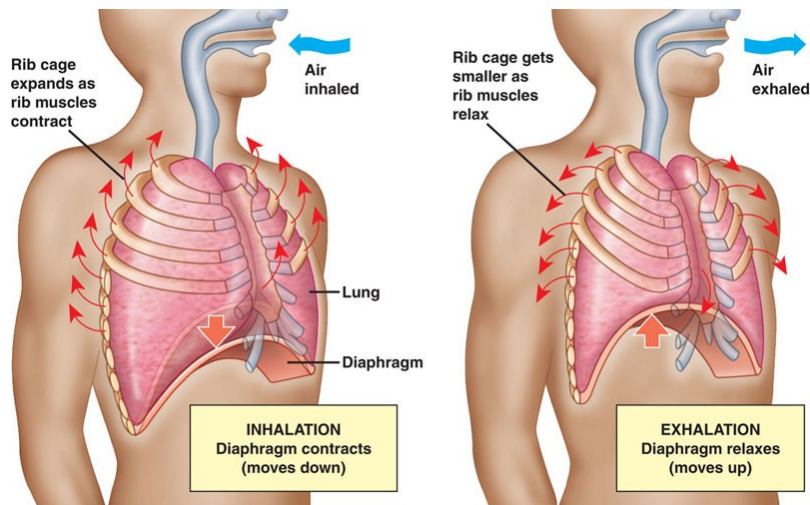
RESPIRAČNÍ ADAPTACE

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)

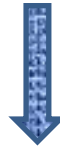
a) ↑ objem (hypertrofie) rychlých svalových vláken



↑ 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)

