



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU

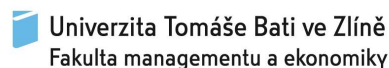


Předmět: Fyziologie tělesné zátěže

Lukáš Cipryan

ADAPT UTB: **A**daptabilní, **D**igitální, **A**gilní,
Progresivní, **T**ransformace UTB ve Zlíně
reg. č. NPO_UTB_MSMT-16585/2022

Studijní program: Sportovní management



„Tento výstup lze užít v souladu s licenčními podmínkami Creative Commons BY 4.0 International (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>).“





Cíl předmětu

Předmět Fyziologie tělesné zátěže navazuje na předmět Základy fyziologie člověka, dále prohlubuje znalosti o základních fyziologických procesech v organismu člověka a soustředí se zejména na aplikaci těchto znalostí v oblasti pohybové aktivity.

- Reakce a adaptace kardiovaskulárního systému na zatížení.
- Reakce a adaptace respiračního systému na zatížení.
- Adaptace svalové tkáně na zatěžování.
- Fyziologické příčiny vzniku únavy.
- Endokrinologie.
- Zakázané podpůrné prostředky ve sportu (doping).
- Základy testování sportovní výkonnosti.
- Preskripce pohybové aktivity.

Kardiovaskulární systém I

Email: lukas.cipryan@osu.cz

Web: www.sportdefacto.cz

Twitter: [@LukasCipryan](https://twitter.com/LukasCipryan)

Klíčová slova:

- Arterie
- Arterioly
- Atrioventrikulární uzel
- Baroreceptory
- Bradykardie
- Kapiláry
- Srdeční cyklus
- Minutový srdeční výdej
- Chemoreceptory
- Diastolický krevní tlak
- Ejekční frakce
- Elektrokardiogram
- End-diastolický objem
- End-systolický objem
- hematokrit
- Hemoglobin
- Myokard
- Perikard
- Purkyňova vlákna
- Sinoatriální uzel
- Systolický (tepový) objem
- Systolický krevní tlak
- Tachykardie
- Vazokonstrikce
- Vazodilatce
- Žíly
- Žilky

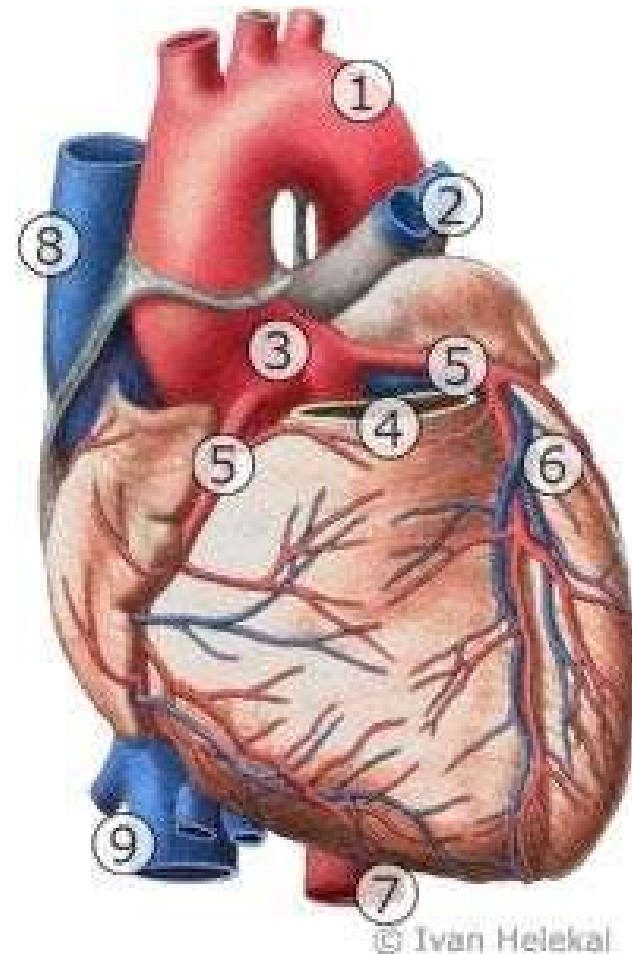
Klíčové otázky:

- Popište, jak probíhá srdeční činnost (cyklus), resp. jak protéká krev srdcem.
- Jaký je rozdíl mezi velkým tělním oběhem a malým plicním oběhem?
- Popište, jak se mění srdeční činnost při tělesném zatížení.
- Co způsobuje kontrakci myokardu?
- Které vnější faktory ovlivňují činnost srdce a jak?
- Jaký je rozdíl mezi systolou a diastolou a jak to souvisí se systolickým a diastolickým krevním tlakem?
- Jaké jsou „zdravé“ hodnoty krevního tlaku?
- Které faktory se podílejí na výsledné hodnotě krevního tlaku?
- Jak probíhá kontrola prokrvení cílových tkání?
- Vysvětlete, co způsobuje větší prokrvení kosterních svalů při tělesné zátěži, navzdory zvýšené aktivitě sympatiku způsobující vazokonstrikci.

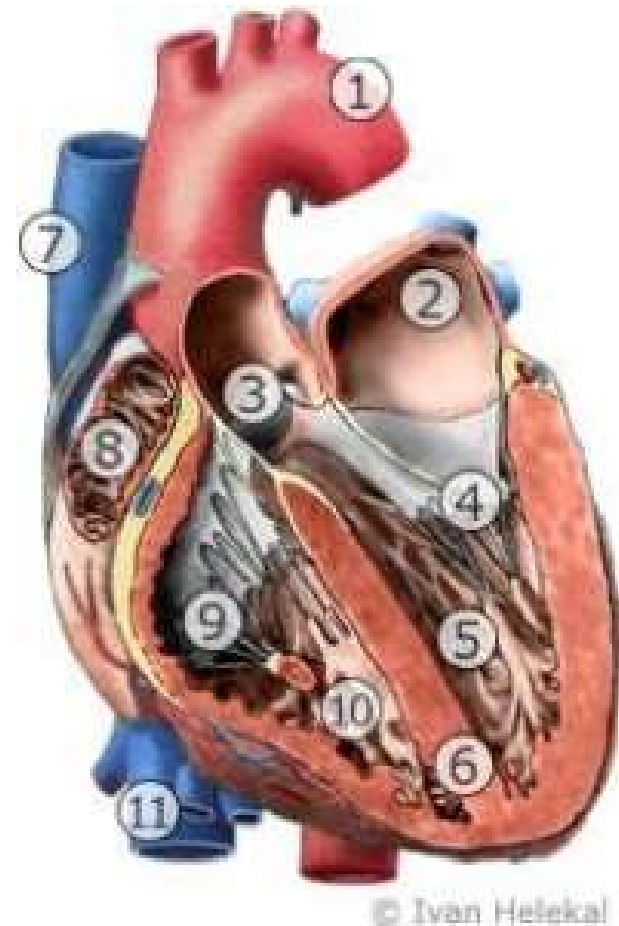
Základní funkce kardiovaskulárního systému:

- 1. Transport O_2 a dalších živin.**
- 2. Transport CO_2 a dalších produktů metabolismu.**
- 3. Transport hormonů.**
- 4. Termoregulace.**
- 5. Udržování acidobazické rovnováhy a rovnováhy tělesných tekutin.**
- 6. Imunitní funkce.**

1. Oblouk aorty
2. Plicní žíly
3. Vzestupná část aorty
4. Cévní kmen plicnice
5. Věčité tepny
6. Žíly srdce
7. Sestupná část aorty
8. Horní dutá žíla
9. Dolní dutá žíla

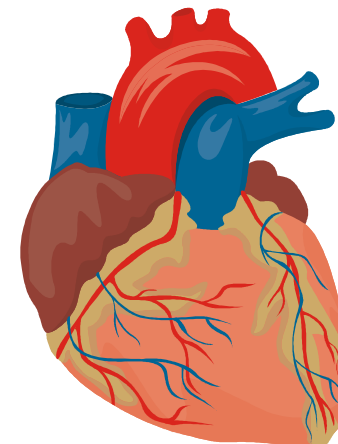


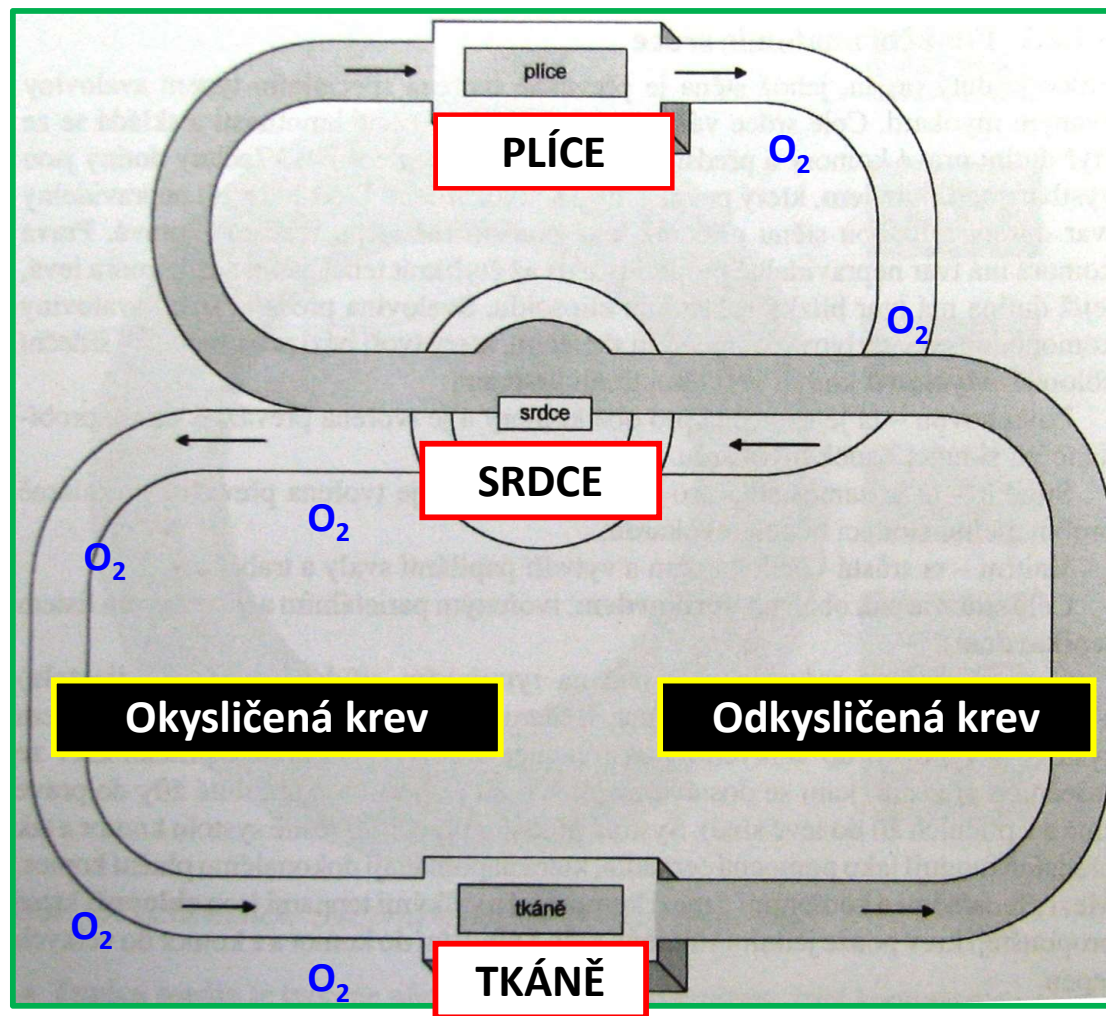
1. Aorta
2. Levá síň
3. Poloměsíčitá chlopeň
4. Dvojcípá chlopeň
5. Levá komora
6. Mezikomorová přepážka
7. Horní dutá žíla
8. Pravá síň
9. Trojcípá chlopeň
10. Pravá komora
11. Dolní dutá žíla

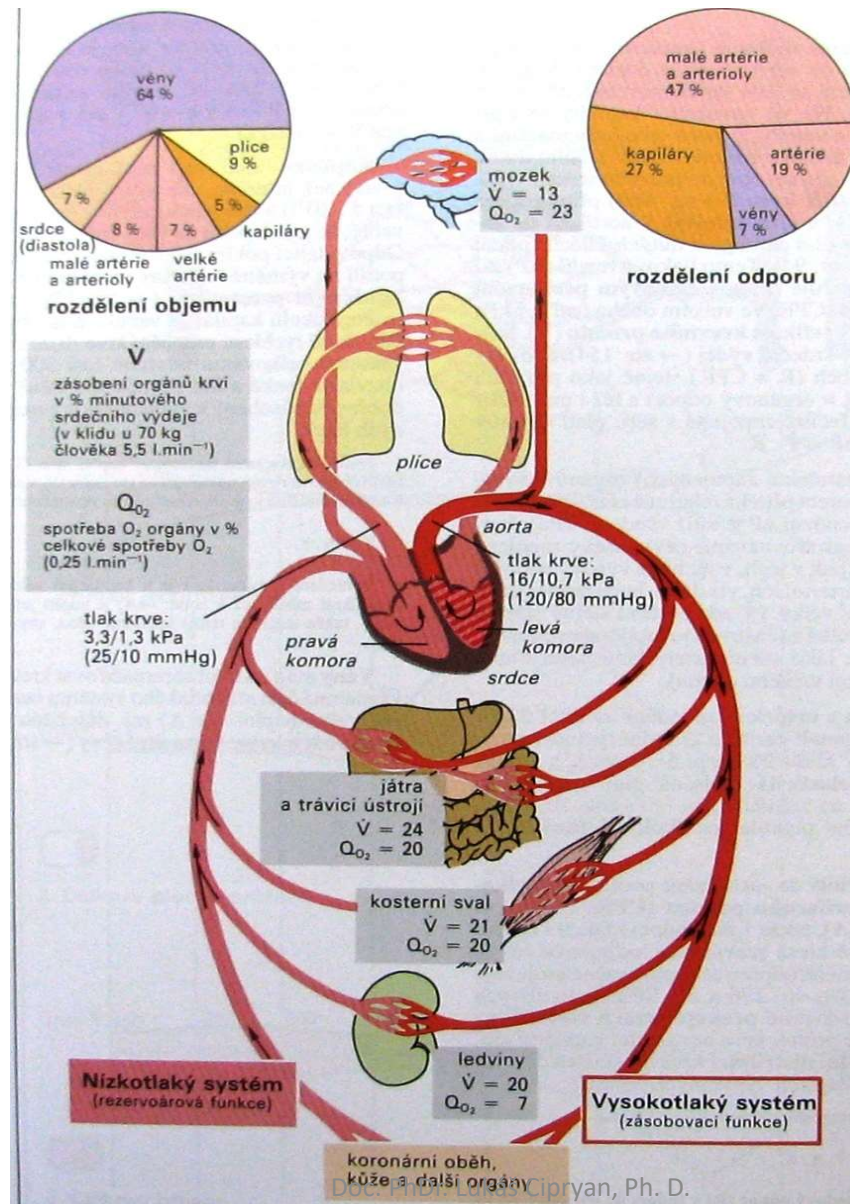


Funkční anatomie krevního oběhu

- srdce + cévy = krevní oběh
- transportní medium – krev
- systémový a plicní oběh





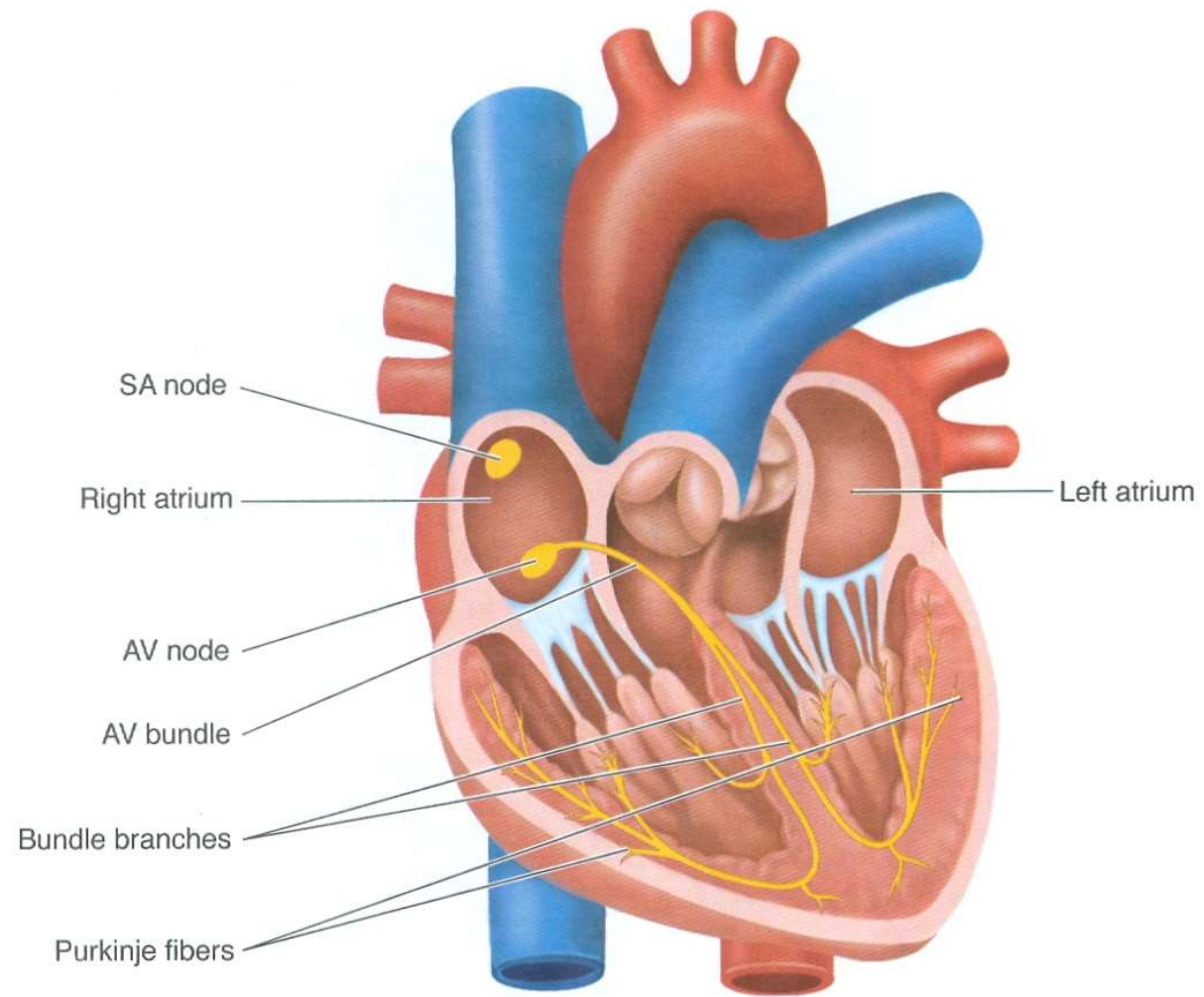


Silbernagl & Despopoulos, 1993

Převodní systém srdeční

- Sinoatriální (SA) uzel
- Atrioventrikulární (AV) uzel
- Hisův svazek
- Tawarova raménka
- Purkyňova vlákna

Vlastní srdeční frekvence z SA uzlu asi 100 tepů / min.



Kenney et al. (2020)

Řízení srdeční činnosti

(1) Místní vlivy

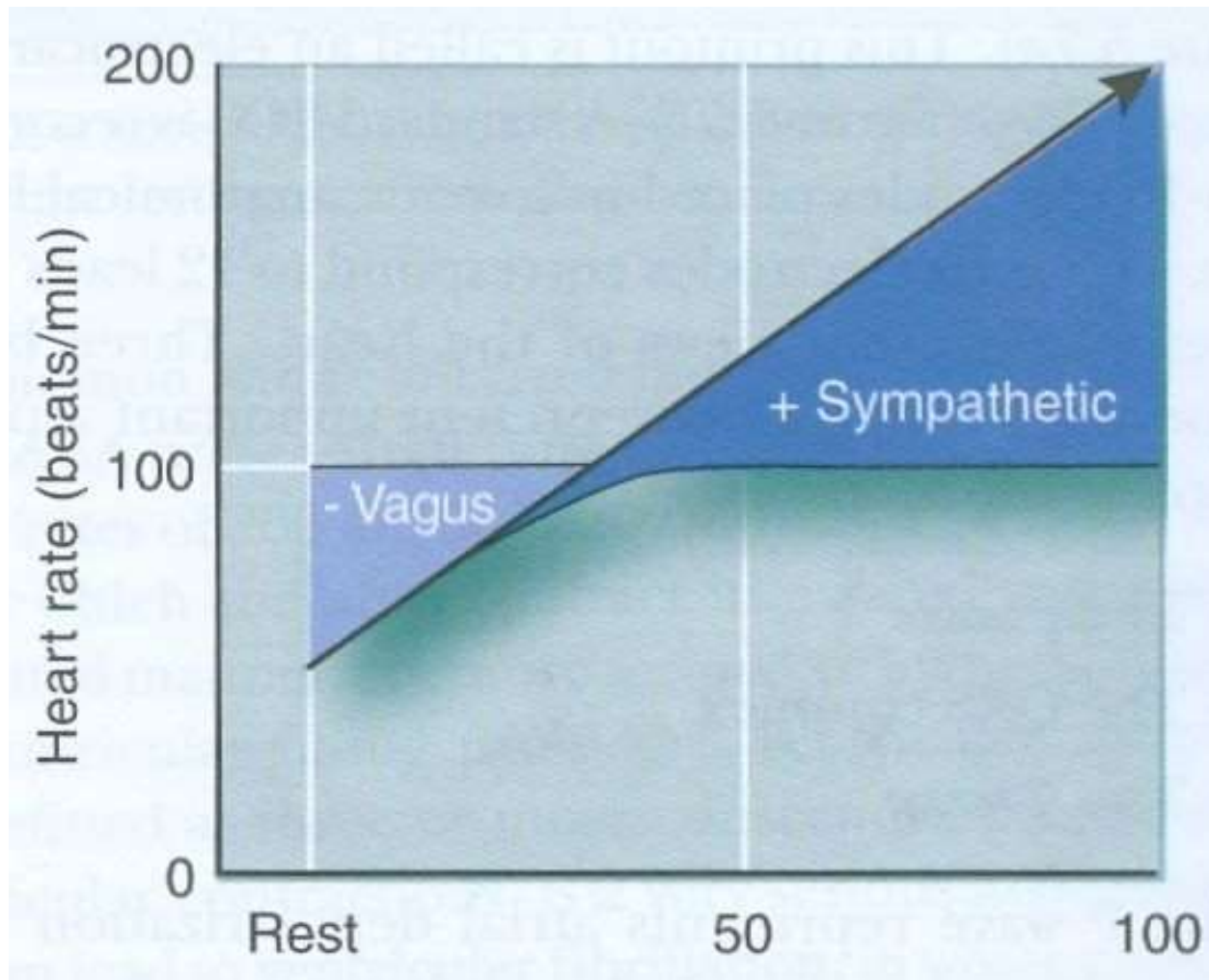
Frank-Starlingův zákon

(2) Autonomní nervový systém

sympatikus a parasympatikus

(3) Hormony

katecholaminy, hormony štítné žlázy, glukagon, glukokortikoidy



Maximální spotřeba kyslíku (%)

Kenney et al. (2020)

Práce srdce

- **Srdeční revoluce (cyklus)**
 - = pravidelné střídání systoly a diastoly
 - **Systola** – kontrakce, vypuzení krve
 - **Diastola** – relaxace, plnění srdce krví
-
- v klidových podmínkách jsou komory asi ze 70 % plněné pasivně, zbylých 30 % objemu zajišťuje kontrakce síní

Tepový (systolický) objem (SV)

= objem krve vypuzené v jedné kontrakci

$$\mathbf{SV = EDV - ESV}$$

EDV – end-diastolický objem

ESV – end-systolický objem

- 70 ml (při zátěži až 120-140 ml)
 - závisí na intenzitě stahu a velikosti náplně komory

Ejekční frakce (EF)

= poměr objemu krve vypuzeného z levé komory k množství krve v komoře na konci diastoly

- normální EF v klidu okolo 60 %

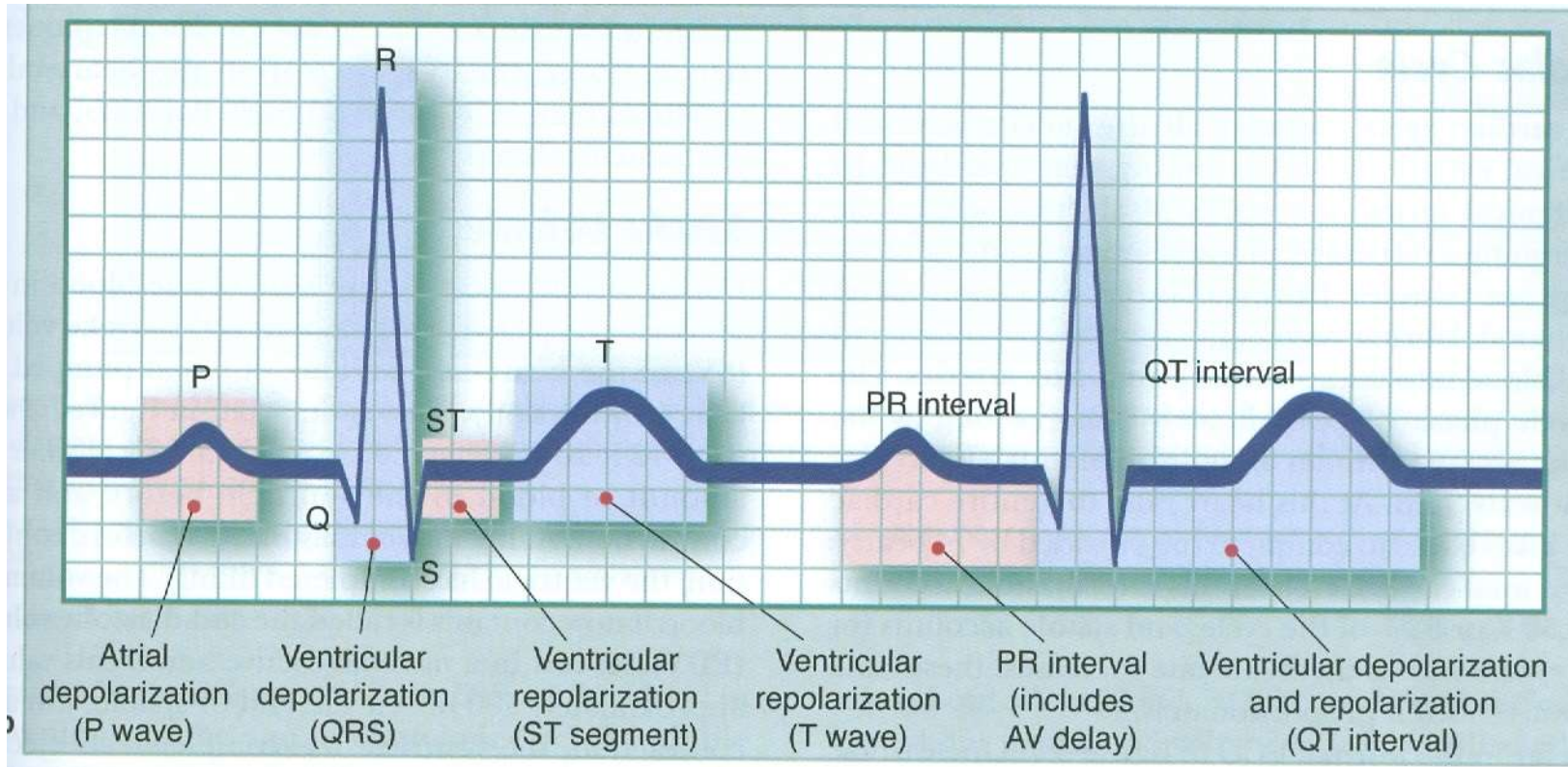
Minutový srdeční výdej
tepový objem x srdeční frekvence

- v klidu 5 l, při zátěži až 25 l

Elektrokardiogram (EKG)

- záznam elektrické aktivity srdce na povrchu těla
- standardně se používá 10 elektrod





Kenney et al. (2020)

Srdeční arytmie

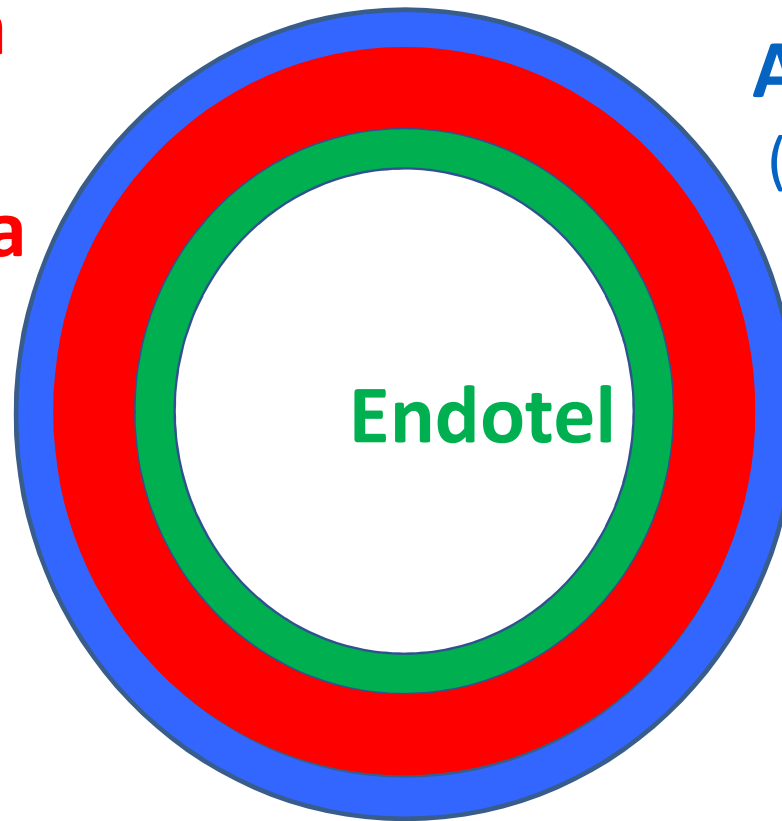
= **nepravidelný srdeční rytmus**

- příčiny mohou být různého stupně závažnosti
- **bradykardie** $SF_{klid} < 60$ tepů / min
- **tachykardie** $SF_{klid} > 100$ tepů / min

Cévní systém

**Vazivo a
hladká
svalovina**

Obecná skladba cévní stěny



Adventicie
(vazivový obal)

Funkční typologie cév

- 1. Pružník (aorta, plicnice)**
- 2. Rezistenční cévy (tepny, tepénky)**
- 3. Prekapilární sfinktery**
- 4. Kapiláry**
- 5. Arteriovenózní zkraty**
- 6. Kapacitní cévy (žíly, žilky)**

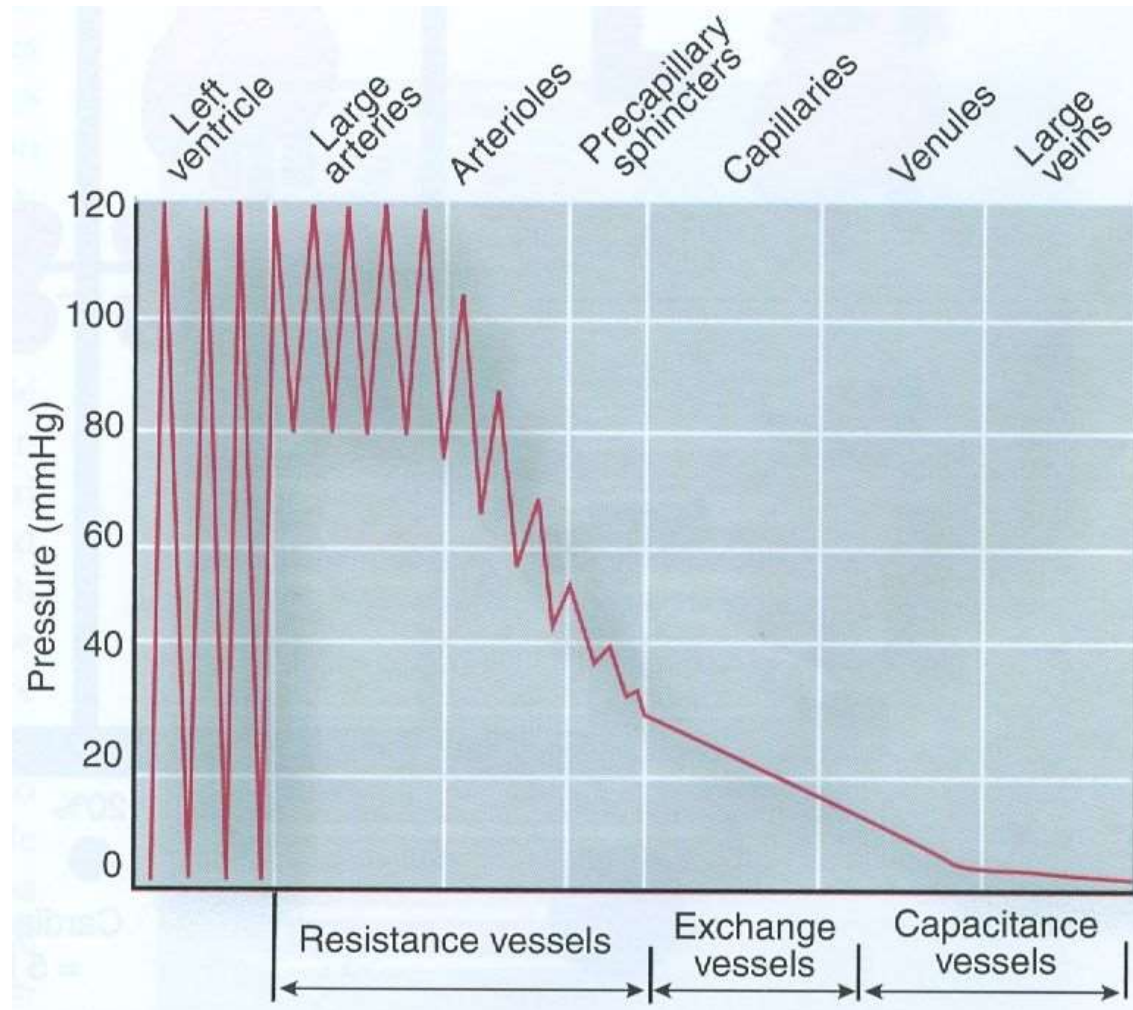
Krevní tlak (TK)

TK systolický – nejvyšší tlak zaznamenaný během systoly komor

TK diastolický – nejnižší tlak zaznamenaný v artérii, odpovídá době plnění komor (diastole)

Průměrný TK = $\frac{2}{3} TK_d + \frac{1}{3} TK_s$

(diastola je v klidu téměř 2x delší než systola)



Kenney et al. (2020)

Arteriální TK a vasomotorický tonus

- TK v aortě je dosažen těmito faktory:
 - minutový srdeční výdej (Q)
 - periferní odpor
 - elasticita hlavních arterií
 - viskozita krve
 - objem krve
- okamžitá reakce na změny TK probíhá prostřednictvím **přizpůsobení Q** a **periferního odporu**

- hladká svalovina cév je neustále udržována v napětí **(vasomotorický tonus)** prostřednictvím aktivity sympatických nervových vláken
- neurotransmitter – noradrenalin
- ve většině cév převažuje typ receptoru **alfa-adrenergní (vasokonstrikce)**
- **beta-adrenergní (vasodilatace)** v arteriolách v kosterních svalech

- vasomotorický tonus je důležitý pro udržení TK a Q
- snížení vasomotorického tonu může být dosaženo 2 způsoby:
 1. **lokální faktory nebo látky přenášené krví** (hypoxie, hyperosmolarita, snížení pH, zvýšení CO₂ a La, adenosin, zvýšení extracelulárního K, Pi, EDRF, prostacyklin, endotelin-1)
 2. **snížení aktivity sympatiku**

- každá **změna v buněčné aktivitě** musí být doprovázena odpovídající **změnou místního průtoku krve**
- regulační mechanismy zajišťují, aby více a méně aktivní buňky, stejně jako citlivější a méně citlivé orgány, byly **zásobeny podle jejich potřeb a podle kapacity celého systému**

Zdroje:

KENNEY, W. L., WILMORE, J. H., COSTILL, D. L., *Physiology of Sport and Exercise*. 7. vyd. Champaign: Human Kinetics, 2020. ISBN 978-1-4925-7229-9.

Rokyta et al. (2015). *Fyziologie a patologická fyziologie pro klinickou praxi*. Praha: GRADA Publishing.

Silbernagl, S., & Despopoulos, A. (1993). *Atlas fyziologie člověka*. Praha: Grada Avicenum

Koolman, J., Klaus-Heinrich, R.(2012). *Barevný atlas biochemie* (Překlad 4. vydání). Praha: Grada Publishing, a.s.

Ganong, W. F. (2005). *Přehled lékařské fyziologie*. Praha: Galén.

Matouš, B. (2010). *Základy lékařské chemie a biochemie*. Praha: Galén.

Kardiovaskulární systém II

(odpověď na zatížení)

Email: lukas.cipryan@osu.cz

Web: www.sportdefacto.cz

Twitter: [@LukasCipryan](https://twitter.com/LukasCipryan)

Klíčová slova:

- afterload
- kardiovaskulární drift
- centrální příkaz
- Frank-Sterlingův mechanismus
- hydrostatický tlak
- maximální SF
- onkotický tlak
- preload
- klidová SF
- SF – rovnovážný stav
- Valsalvův manévr
- tepový objem
- variabilita srdeční frekvence
- Fickova rovnice
- minutový srdeční výdej
- tlak krve
- krevní průtok
- redistribuce krve
- $(a-v)O_2$
- plazmatický objem

Klíčové otázky:

- Popište jak SF, SV a Q reagují na zvyšující se intenzitu zatížení. Načrtněte, jak tyto 3 parametry spolu souvisí.
- Jak stanovujeme SF_{max} ? Jaké jsou alternativy nepřímého odhadu? Jaké jsou limitace nepřímého odhadu SF_{max} ?
- K čemu můžeme využít submaximální SF?
- K čemu slouží měření variability srdeční frekvence?
- Vysvětlete 2 důležité mechanismy umožňující návrat krve zpět k srdci během zatížení ve vzpřímené poloze.
- Vysvětlete proč je schopnost zvýšit SV důležitá pro VO_{2max} .
- Co znamená Fickův princip a jak přispívá k vysvětlení vztahu mezi metabolickými a kardiovaskulárními funkcemi?
- Definujte Frank-Starlingův mechanismus. Jak funguje během zatížení?
- Jak reaguje na zatížení TK?
- Jaké jsou hlavní kardiovaskulární přizpůsobení na kumulaci tepla během zatížení?
- Co je kardiovaskulární drift? Vysvětlete 2 teorie vzniku kardiovaskulárního driftu.
- K jakým změnám dochází v krevní plasmě během zatížení?

1. SRDEČNÍ FREKVENCE (SF)

- klidové hodnoty (**SF_k**) 60-80 tepů / min
 - u vytrvalců bývá SF_k až 30 tepů / min (**↑ aktivita vagu**)
 - SF_k stoupá už před zatížením
 - tzv. **anticipační odpověď**
- (↑ aktivita sympatiku – uvolnění noradrenalinu + uvolnění adrenalinu z nadledvin)**
- ... pozor na stanovování SF_k!

- při zátěži roste SF s rostoucí IZ až do úrovně „téměř“ maximální zátěže

Maximální SF (SF_{max})

- ✓ hodnota se dále nezvyšuje i přes stále rostoucí IZ
- ✓ stabilní hodnota, klesá s rostoucím věkem

$$\begin{aligned} SF_{max} &= 220 - \text{věk} \\ &= 208 - (0,7 \times \text{věk}) \\ &= 211 - (0,64 \times \text{věk}) \end{aligned}$$

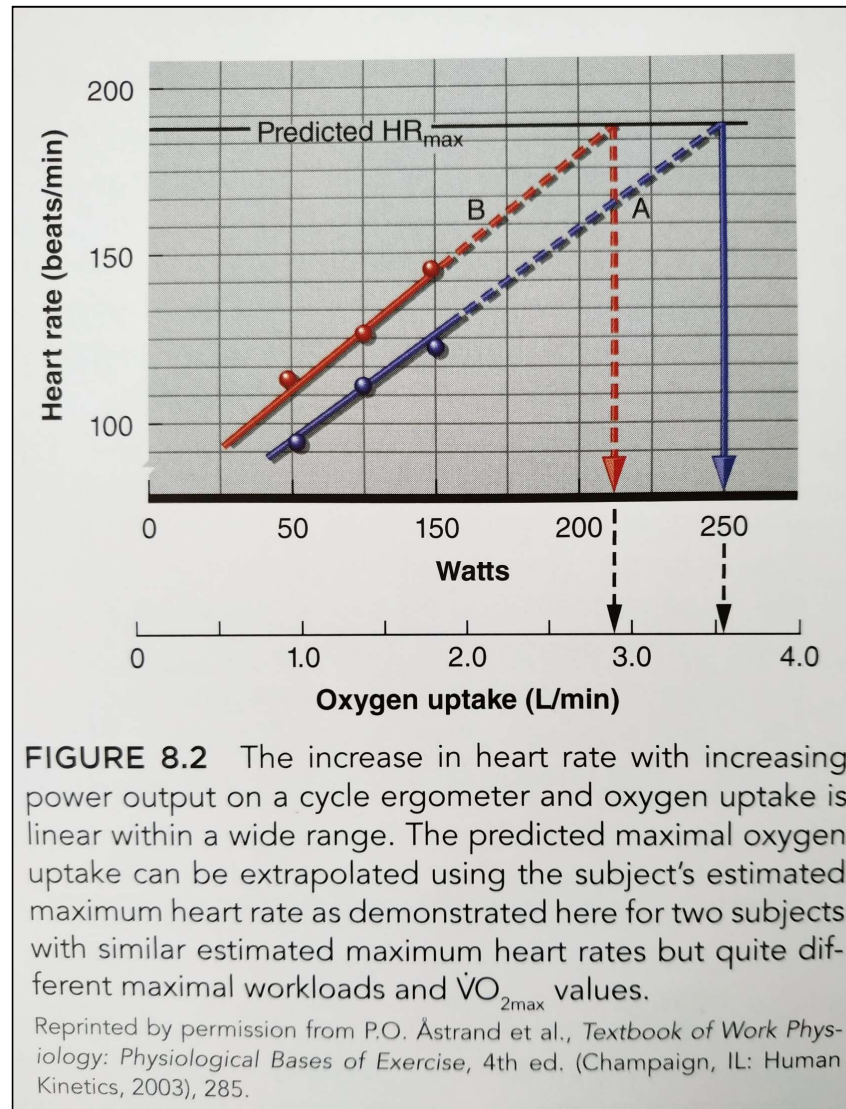
- pouze velmi hrubý odhad !

Submaximální SF (SF_{ex})

- Při konstantní submaximální zátěži **prvně prudký vzestup SF, poté rovnovážný stav**

(= optimální SF, která odpovídá aktuálním požadavkům na zajištění svalové práce a pro činnost dalších systémů)

- při dalším zvýšení IZ - nový rovnovážný stav SF během **2-3 min**
- **čím větší IZ, tím delší doba k dosažení rovnovážného stavu**
(při IZ nad anaerobním prahem k rovnovážnému stavu nedojde!)
- rovnovážný stav SF je validní **ukazatel kardiorespirační zdatnosti**



Variabilita srdeční frekvence (HRV, „heart rate variability“)

= měření rytmického kolísání SF způsobené vzájemným působením sympatiku a parasympatiku na sinusový rytmus

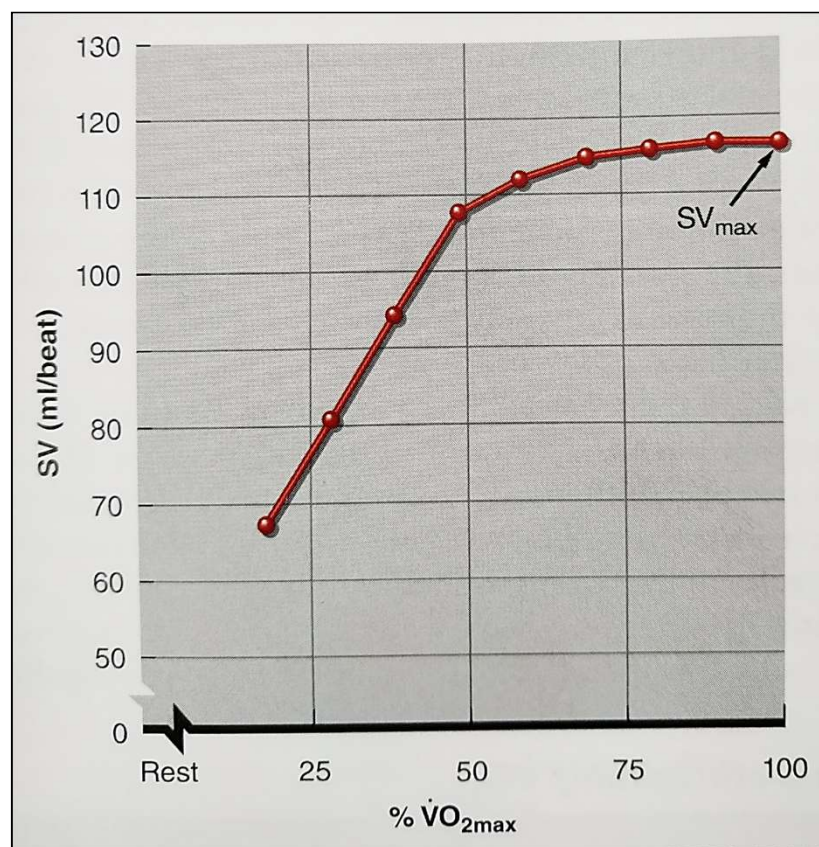
- změny HRV v klidových podmínkách jako ukazatel vlivu tréninku nebo potenciálního výskytu přetrénování
- efektivní nástroj pro optimalizaci tréninkového zatížení
- lze měřit a analyzovat i pomocí mobilních aplikací (např. EliteHRV, HRV4Training)

2. TEPOVÝ OBJEM (systolický objem, SV)

- SV během zatížení roste s rostoucí IZ
- na úrovni okolo maximální IZ je SV hlavním faktorem ovlivňujícím kardiorepirační kapacitu
- SV je podmíněn 4 faktory:
 1. objem žilní krve, který se vrátí zpět k srdci
 2. roztažitelnost komor
 3. kontraktibilita komor (schopnost kontrakce)
 4. TK v aortě a plicnici

(pozn. Bod 1 + 2 = „preload“, Bod 3 + 4 = „afterload“)

- SV se zvětšuje s rostoucí IZ jen do **40-60 % $\dot{V}O_{2max}$** – potom **následuje plató** (zejména u netrénovaných; u vysoce trénovaných pravděpodobně může růst až do maximální IZ)



doc. PhDr. Lukáš Cipryan, Ph.D.
Kenney et al. (2020)

- **SV při maximální IZ (vzpřímená poloha)**

NETRÉNOVANÍ:

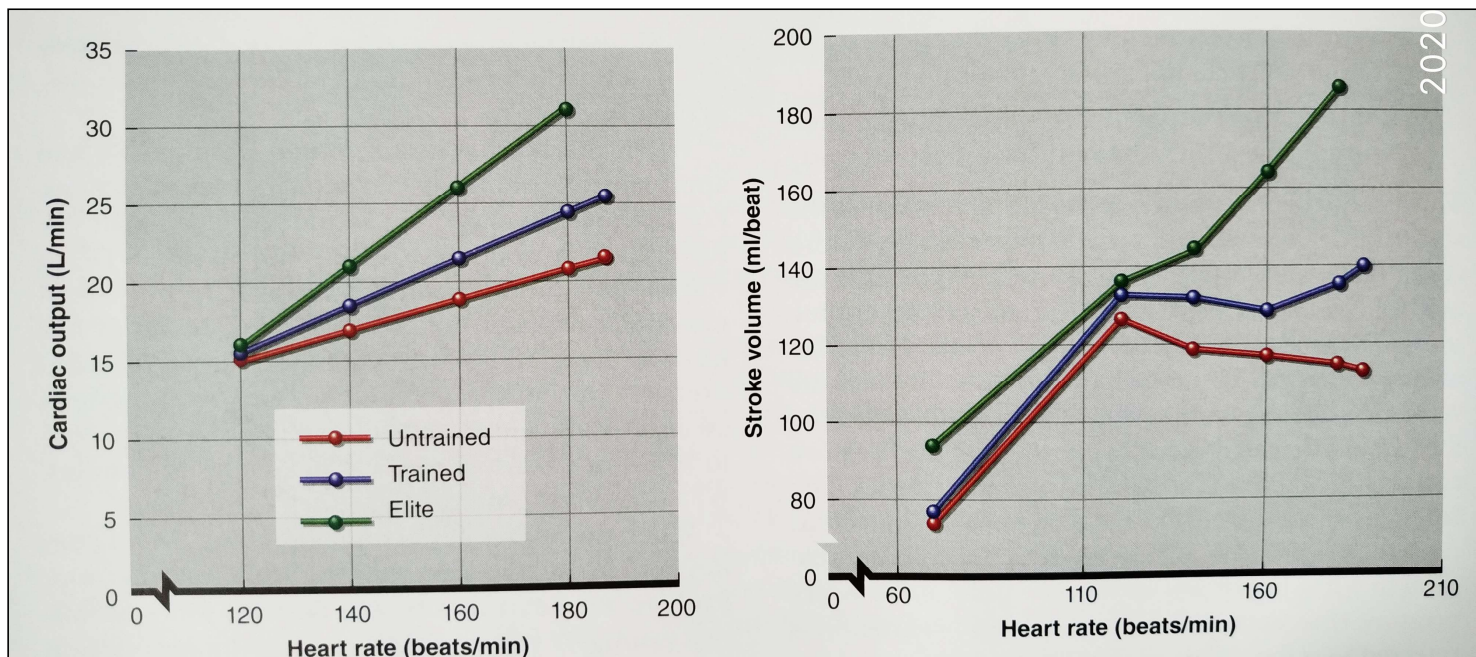
60-70 ml → 110-130 ml

VYSOCE TRÉNOVANÍ:

80-110 ml → 160-200 ml

- **při pozici v leže vzestup SV pouze o 20-40 %**
(snadnější návrat krve k srdci, tzn. větší klidové hodnoty SV)

- vzestup SV nad 40-60 % $\text{VO}_{2\text{max}}$ pravděpodobně možný u vysoce trénovaných jedinců



Kenney et al. (2020)

- **SV klíčový faktor pro VO_{2max}** , rozdíly ve SF_{max} a $(a-v)O_{2max}$ nejsou tak velké u různě trénovaných jedinců

Fickova rovnice:

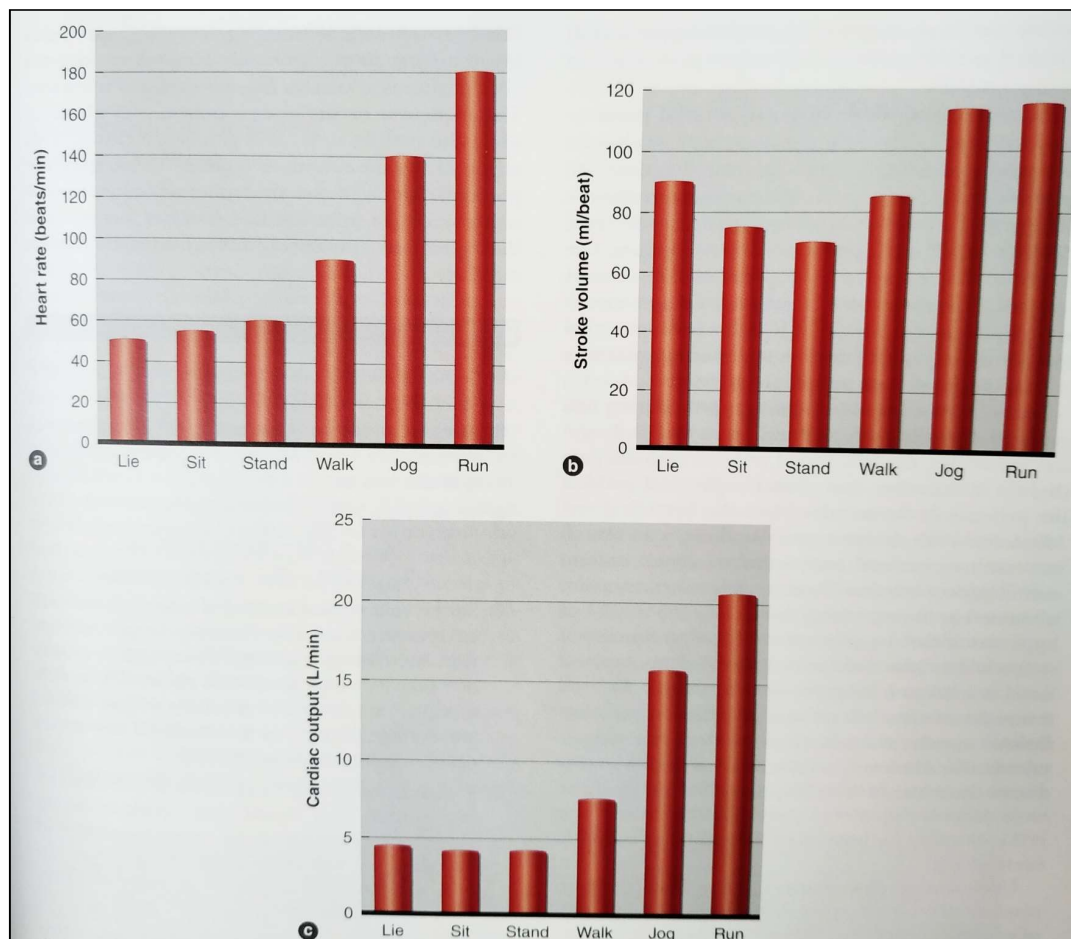
$$VO_{2max} = SF_{max} \times SV_{max} \times (a-v)O_{2max}$$

- **vzestup SV během zatížení díky:**
 1. Frank-Starlingova mechanismu
 2. zvýšené kontraktilitě komory (\uparrow *sympatikus + katecholaminy*)
 3. snížení periferního odporu (*vazodilatace v kosterních svalech*)

3. MINUTOVÝ SRDEČNÍ VÝDEJ („*cardiac output*“, Q)

- zvyšuje se s rostoucí IZ - zajištění potřeb pracujících svalů
- Q v klidu asi **5 L / min** (vliv velikosti těla)
- Q při maximální IZ
NESPORUJÍCÍ
20 L / min
VYSOCE VYTRVALOSTNĚ TRÉNOVANÍ
až 40 L / min

Srdeční odpověď na zatížení



doc. PhDr. Lukáš Cipryan, Ph.D. Kenney et al. (2020)

4. TLAK KRVE (TK)

Dynamická svalová práce

- střední arteriální TK roste
- TK_s roste spolu s IZ ($\uparrow Q$)
- TK_d se nemění nebo může i poklesnout

- TK_s v klidu **120 mmHg**
při maximální IZ až **přes 200 mmHg**
(240-250 mmHg u zdravých a vysoce trénovaných osob)

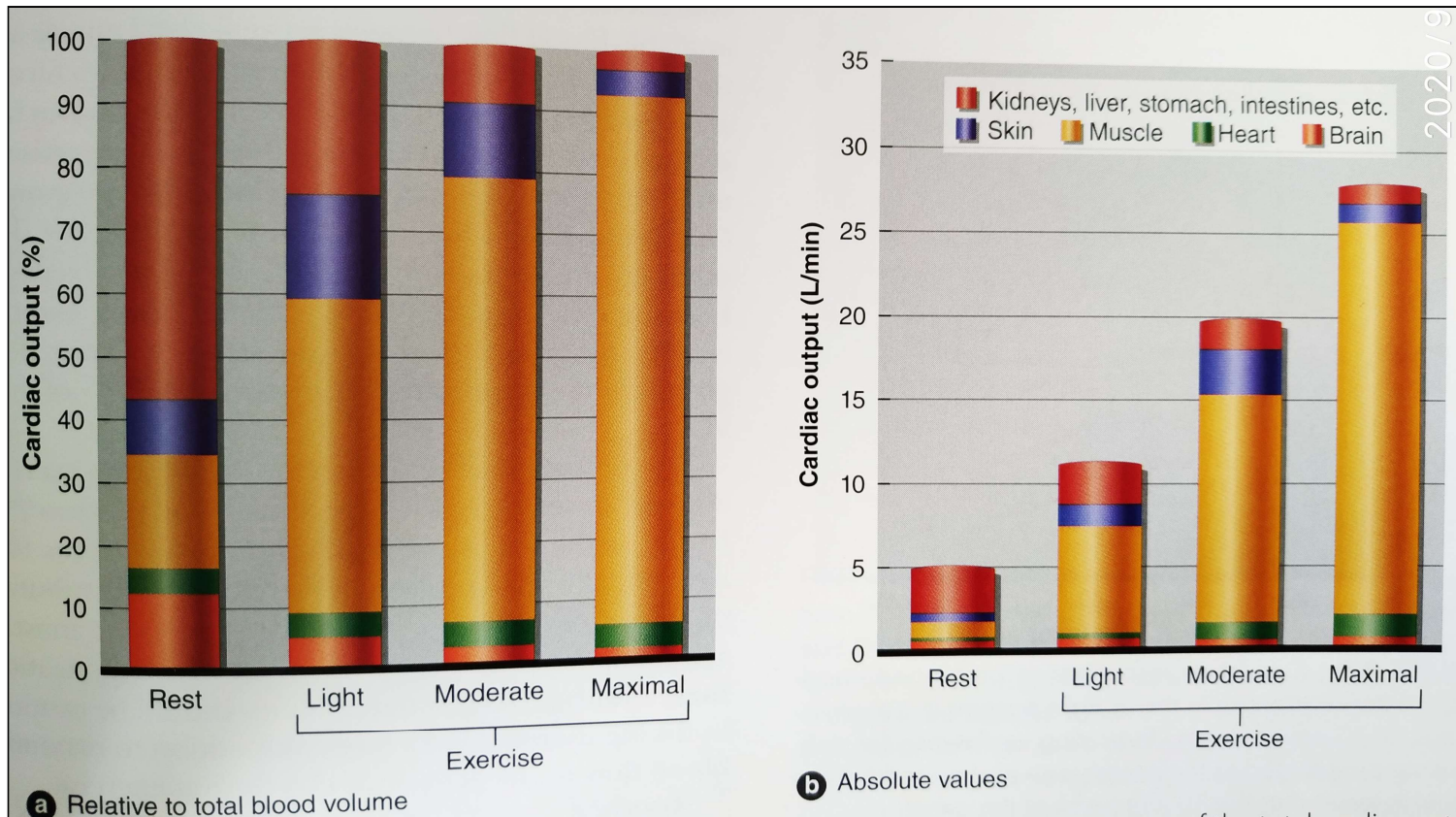
- TK dosahuje **rovnovážného stavu** při submaximálním konstantním zatížení
- pokud je takové zatížení velmi dlouhé může **TK_s začít klesat** (*díky vazodilataci v kosterních svalech*), zatímco **TK_d se nemění**
- TK_d může při maximální IZ mírně stoupat
- **svalová práce horní poloviny těla zvyšuje TK více** než svalová práce dolních končetin při identickém energetickém výdeji (*menší svalové skupiny + nároky na stabilizaci trupu*)

Statická svalová práce

- TK až 480 / 350 mmHg (*zajména při Valsalvově manévru při vzpírání*)
- při isometrické kontrakci se **systolický i diastolický TK a SF rychle zvyšují** - **nedochází k dosažení rovnovážného stavu** - TK roste až do ukončení kontrakce

5. KREVNÍ PRŮTOK

- změny v krevním průtoku dle aktuálních potřeb tkání
- v klidu svaly dostávají 15-20 % Q, během intenzivní zátěže až 85 %



Kenney et al. (2020)

Redistribuce krve při zátěži

a) **stimulace aktivity sympatiku**

- **vazokonstrikce** ve splanchnické oblasti a ledvinách
- **vazodilatace** v kosterních svalech

b) **lokální vazodilatační faktory**

- viz výše, zejména **H⁺, CO₂, teplota, adenosin, pH**

c) **nízký parciální tlak O₂ ve tkáních nebo méně O₂ navázaného na Hb**

d) **svalová kontrakce**

- krevní průtok prekapilární oblastí ve svalech je **regulován převážně lokálně** prostřednictvím úrovně metabolismu svalových buněk
- **aktuální potřeba buňky** je klíčovým faktorem, který je nadřazen nervové regulaci
- **krevní zásobení splanchnické oblasti** je pod kontrolou CNS
- krevní průtok se mění tak, aby bylo zajištěno **dostatečné zásobení mozku, srdce a dalších životně důležitých orgánů** (nervová vasokonstriční aktivita nadřazena lokálnímu řízení)

Kardiovaskulární „drift“

- i přes **konstantní intenzitu zatížení** dochází při delší aerobní práci nebo při aerobní práci v horku k **poklesu SV – pro zachování Q, proto stoupá SF**
- **hlavní příčinou je zvyšující se teplota organismu**
→ **větší prokrvení kůže** → **snížený „preload“**
- **menší vliv také ztráta tekutin pocením a přesun tekutin z oběhu do (mezi)buněčného prostoru**
- **alternativní vysvětlení: při vyšší SF je menší čas na naplnění komor**

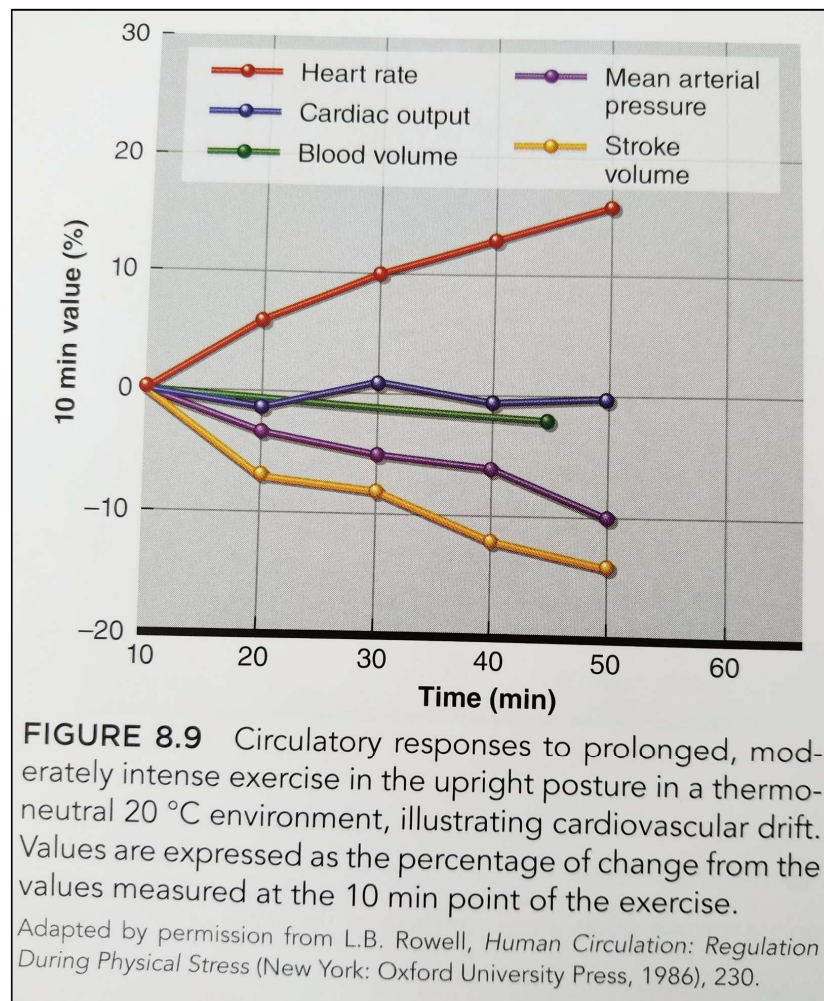


FIGURE 8.9 Circulatory responses to prolonged, moderately intense exercise in the upright posture in a thermoneutral 20 °C environment, illustrating cardiovascular drift. Values are expressed as the percentage of change from the values measured at the 10 min point of the exercise.

Adapted by permission from L.B. Rowell, *Human Circulation: Regulation During Physical Stress* (New York: Oxford University Press, 1986), 230.

Kenney et al. (2020)

6. KREV

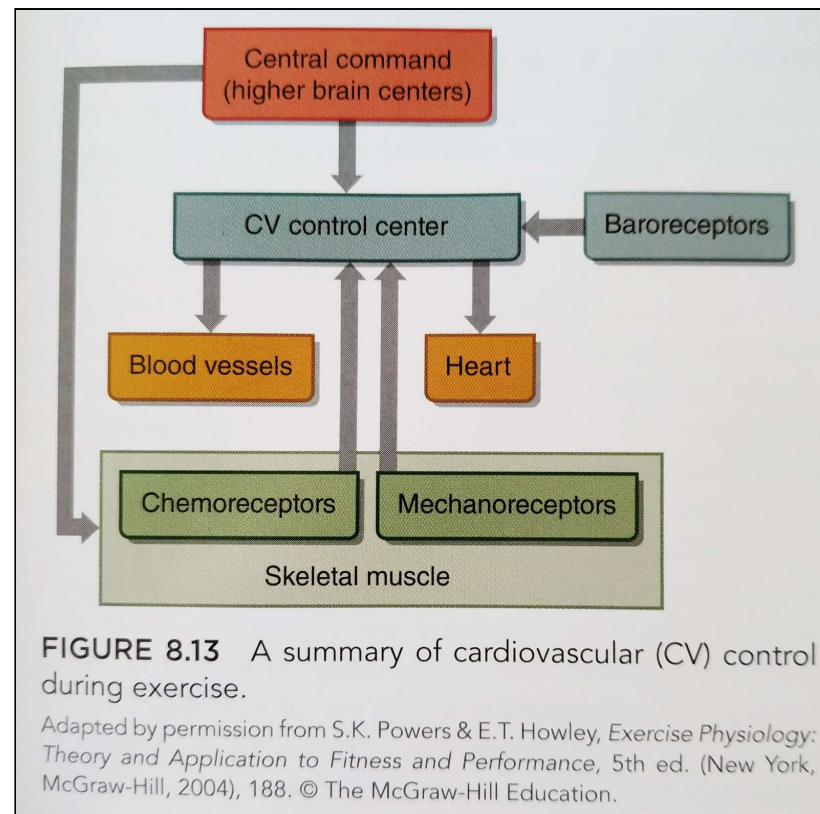
- **obsah O_2 mezi arteriální (20 ml O_2 / 100 ml) a žilní krví (14 ml O_2 / 100 ml) se liší**
= arterio-venózní rozdíl kyslíku „(a-v) O_2 “
- (a-v) O_2 rozdíl roste se zvyšující se IZ
- při maximální IZ se zvyšuje až 3x
- změny během zátěže způsobené změnami v žilní krvi
- v arteriální krvi se obsah O_2 při zátěži a v klidu příliš neliší

Plazmatický objem

- úbytek plazmatického objemu již od začátku zatížení
- pohyb plazmy z kapilár do (mezi)buněčného prostoru je vyvolaný **hydrostatickým** (↗ TK při zátěži) a **onkotickým tlakem** (vyvolaný bílkovinami v plazmě)
- metabolity v aktivním svalu rovněž zvyšují **intrasvalový osmotický tlak** a natažení tekutin do buňky
- při dlouhodobé zátěži, maximální krátkodobé zátěži nebo odporovém tréninku **pokles objemu o 10-15 %**
(*při nadměrném pocení i více (např. zátěž v horku)*)

Řízení reakce kardiovaskulárního systému na zatížení

Teorie centrálního příkazu



doc. PhDr. Lukáš Cipryan, Ph.D.
Kenney et al. (2020)

Odpoř kardiiovaskulárního systému na zátěž ve 4 fázích:

Fáze 1 - klid

- kosterní svaly dostávají asi 15 % Q
- arterioly ve svalech jsou staženy prostřednictvím neustálé vasokonstriční aktivity a spontánního cévního tonu
- SF je zpomalována aktivitou parasymptatiku

Fáze 2

- na začátku (nebo ještě před) zatížením dochází k inhibici aktivity parasymptatiku, s rostoucí IZ následně i ke zvýšení aktivity symptatiku
- zvyšuje se koncentrace adrenalinu (pozitivní chronotropní a inotropní efekt)
- lokální metabolická aktivita a adrenalin (beta-receptory) způsobují dilataci arteriol ve svaly, a tím zvýšení průtoku krve svalem
- s rostoucí IZ symptatikus omezí průtok krve ve splachnické oblasti a kůži
- zvyšuje se návrat krve k srdci a plnění komor srdce

Fáze 3

- přizpůsobení cirkulace (SF a SV) odpovídající IZ
- zvýšený metabolismus pracujících svalů produkuje metabolity, které lokálně dilatují arterioly a otevírají kapiláry v aktivních svalech
- hormony (katecholaminy) přispívají ke konstrikcí cév v neaktivních oblastech

Fáze 4

- k zachování teplotní rovnováhy je „teplo“ transportováno do kůže, kde se dilatují cévy

Zdroj:

**KENNEY, W. L., WILMORE, J. H., COSTILL, D. L.,
Physiology of Sport and Exercise. 7. vyd. Champaign:
Human Kinetics, 2020. ISBN 978-1-4925-7229-9.**

Respirační systém I

Email: lukas.cipryan@osu.cz

Web: www.sportdefacto.cz

Twitter: [@LukasCipryan](https://twitter.com/LukasCipryan)

Klíčová slova:

- Alveoly
- Arterio-venózní rozdíl O_2
- Mrtvý prostor
- Externí/interní respirace
- Inspirace
- Myoglobin
- Parciální tlak
- Plicní difúze
- Plicní ventilace
- Reziduální objem
- Respirační centrum
- Hemoglobin
- Dechový objem
- Acidobazická rovnováha
- Pufrovací systém
- Dechový objem
- Celková plicní kapacita
- Vitální kapacita
- Minutová ventilace

Klíčové otázky:

- Vysvětlete rozdíl mezi externí a interní respirací.
- Vysvětlete mechaniku dýchání, resp. jak proudí vzduch dovnitř a ven z plic?
- Definuj statické plicní objemy.
- Definuj dynamické plicní objemy.
- Co je to spirometr a k čemu slouží?
- Vysvětli pojem parciální tlak jednotlivých plynů a jak to souvisí s plicní difúzí?
- Jak jsou O_2 a CO_2 transportovány krví?
- Co je to arterio-venózní rozdíl kyslíku? Mění se nějak při zatížení?
- Vysvětli regulaci ventilace.

Transportní systém

1. **Plicní ventilace (dýchání)**
2. **Plicní difúze** – výměna O_2 a CO_2 mezi plícemi a krví
3. **Transport O_2 a CO_2 v krvi**
4. **Kapilární difúze** – výměna O_2 a CO_2 mezi kapilární krví a tkáněmi

1. Plicní ventilace (dýchání)

- nos / ústa – hltan (pharynx) – hrtan (larynx) – průdušnice (trachea) – průdušky (bronchy) – průdušinky (bronchioly) – plicní sklípky (alveoly)
- alveoly jsou obklopeny plicními kapilárami
- člověk má asi 300 miliónů alveolů
- výměna O_2 a CO_2 mezi vzduchem a krví probíhá v plicích na ploše cca 70-90 m²
- šířka tkáně oddělující vzduch a krev 0,2-0,7 μm

1. Plicní ventilace (dýchání)

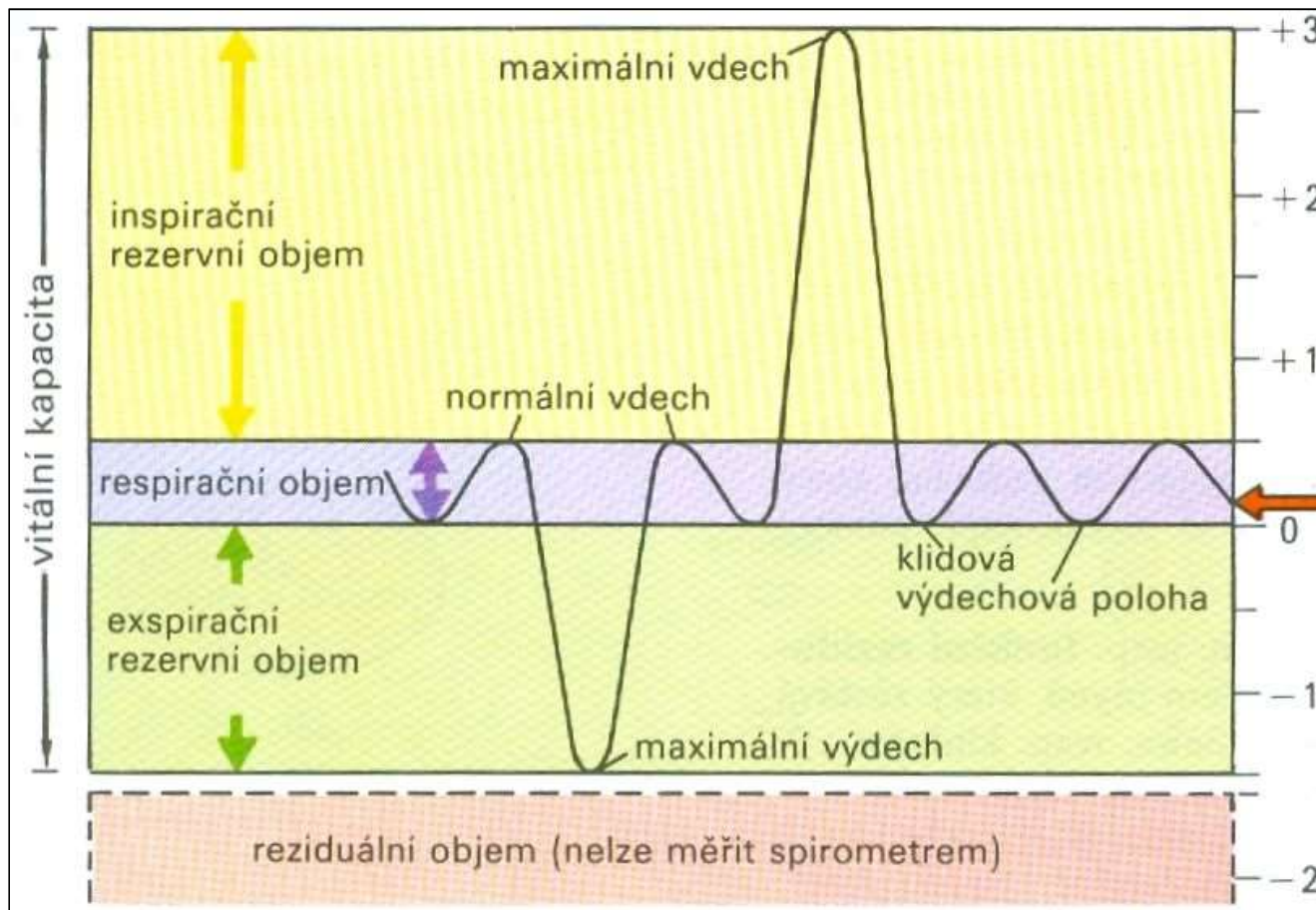
INSPIRACE

- Aktivní pohyb dýchacích svalů

EXPIRACE

- Pasivní proces
- změny tlaku v plicích během dýchání: ~ **2 mmHg až 80-100 mmHg**

Statické plicní objemy



Silbernagl & Despopoulos (1993)

	Muži	Ženy
Inspirační rezervní objem	3,3	1,9
Dechový objem	0,5	0,5
Expirační rezervní objem	1,0	0,7
Reziduální objem	1,2	1,1
Celková plicní kapacita	6,0	4,2

Dynamické plicní objemy

- **minutová ventilace plic (V_E)**
 - v klidu asi 8 l / min
 - = 12-15 dechů / min x 500 ml / dech
- **maximální minutová ventilace (MMV)**
 - 125-180 l / min
- **jednovteřinová vitální kapacita (FEV_1)** - objem vyjádřený jako procento VC (u 25letého člověka asi 80 %)

2. Plicní difúze

- výměna plynů mezi kapilární krví a alveoly

- 2 hlavní funkce:

1. **Doplnění O₂**
2. **Odstranění CO₂**

- **Parciální tlak plynů**

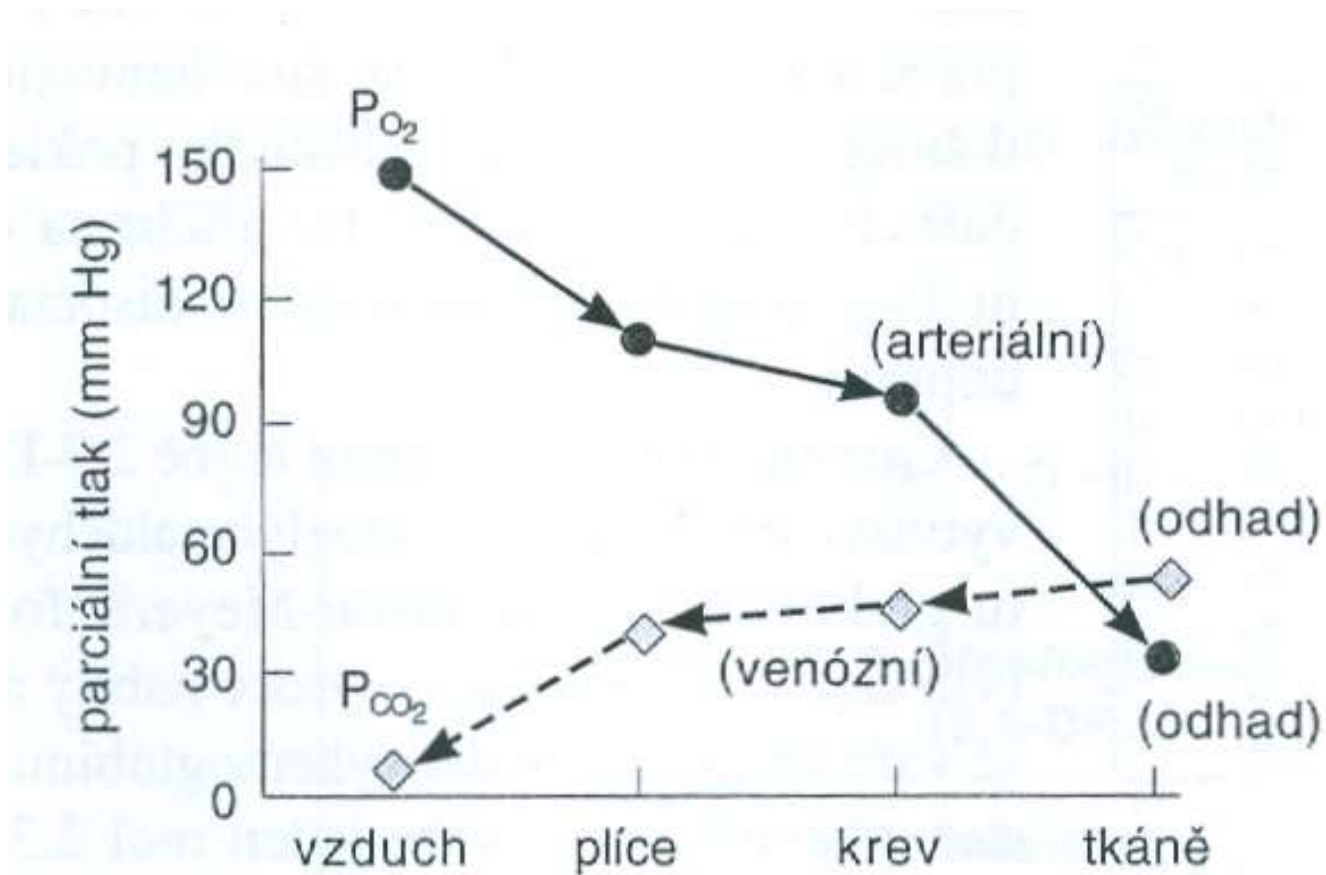
Atmosférický vzduch na úrovni moře: $P_{N_2} = 600.7 \text{ mmHg}$, **$P_{O_2} = 159.1 \text{ mmHg}$** , $P_{CO_2} = 0.2 \text{ mmHg}$.

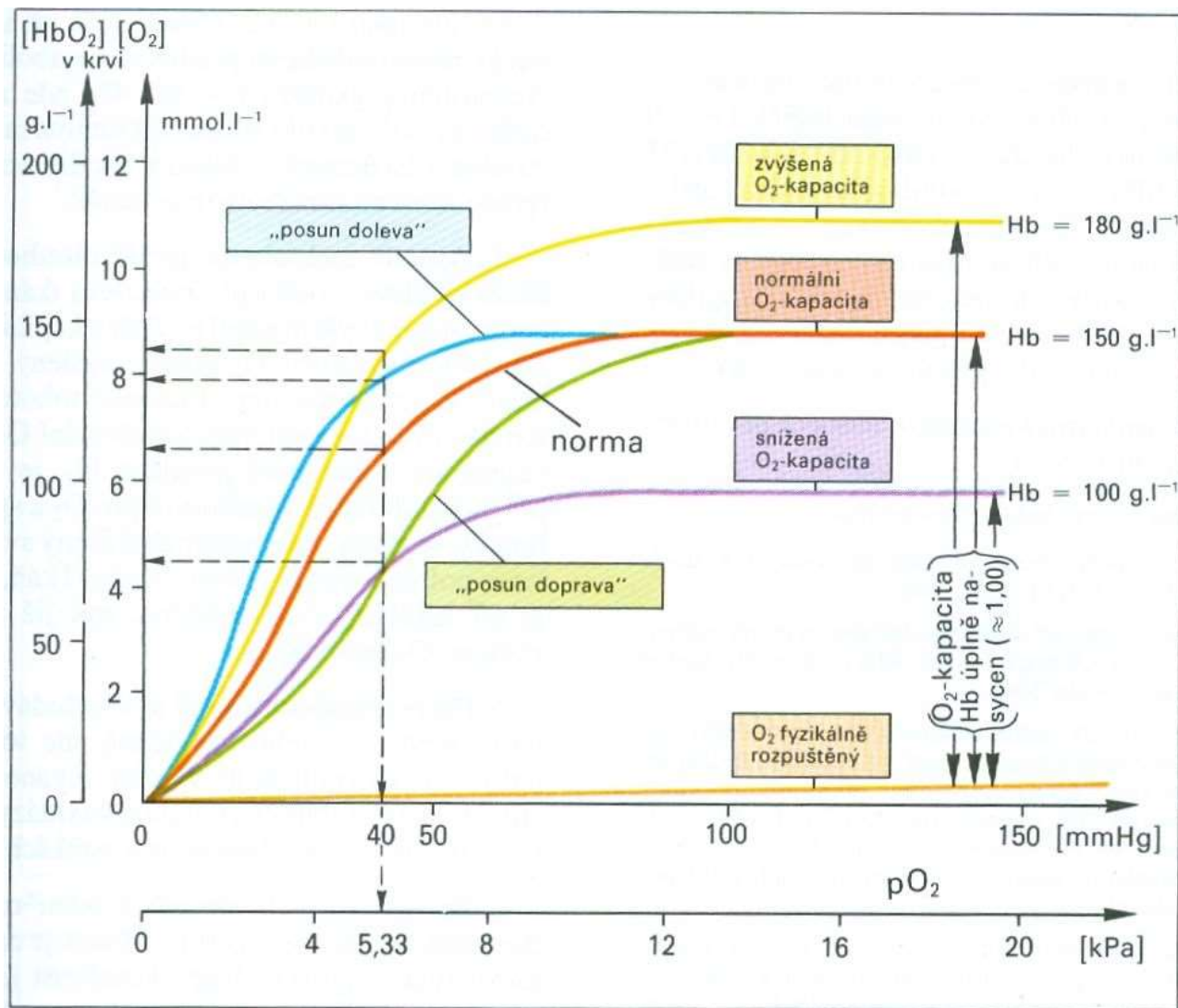
Kapilární krev: **$P_{O_2} = 40 \text{ mmHg}$**

3. Transport O_2 a CO_2 v krvi

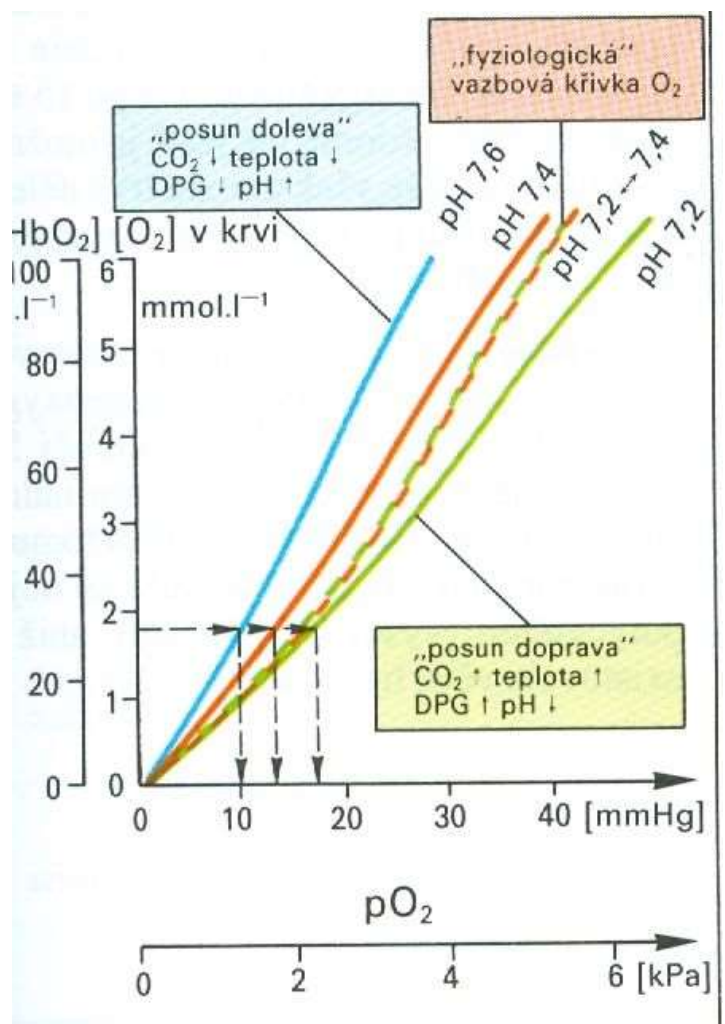
- **O_2 je transportován:**
 - Vázaný na hemoglobin v erythrocytech (98 %)
 - Rozpuštěný v krevní plazmě (2 %)
- **Saturace hemoglobinu závisí na:**
 - PO_2
 - Afinitě O_2 k hemoglobinu
- Saturace hemoglobinu v klidu 98-99 %, při zátěži mírně klesá

Transport plynů





Silbernagl & Despopoulos (1993)



Silbernagl & Despopoulos (1993)

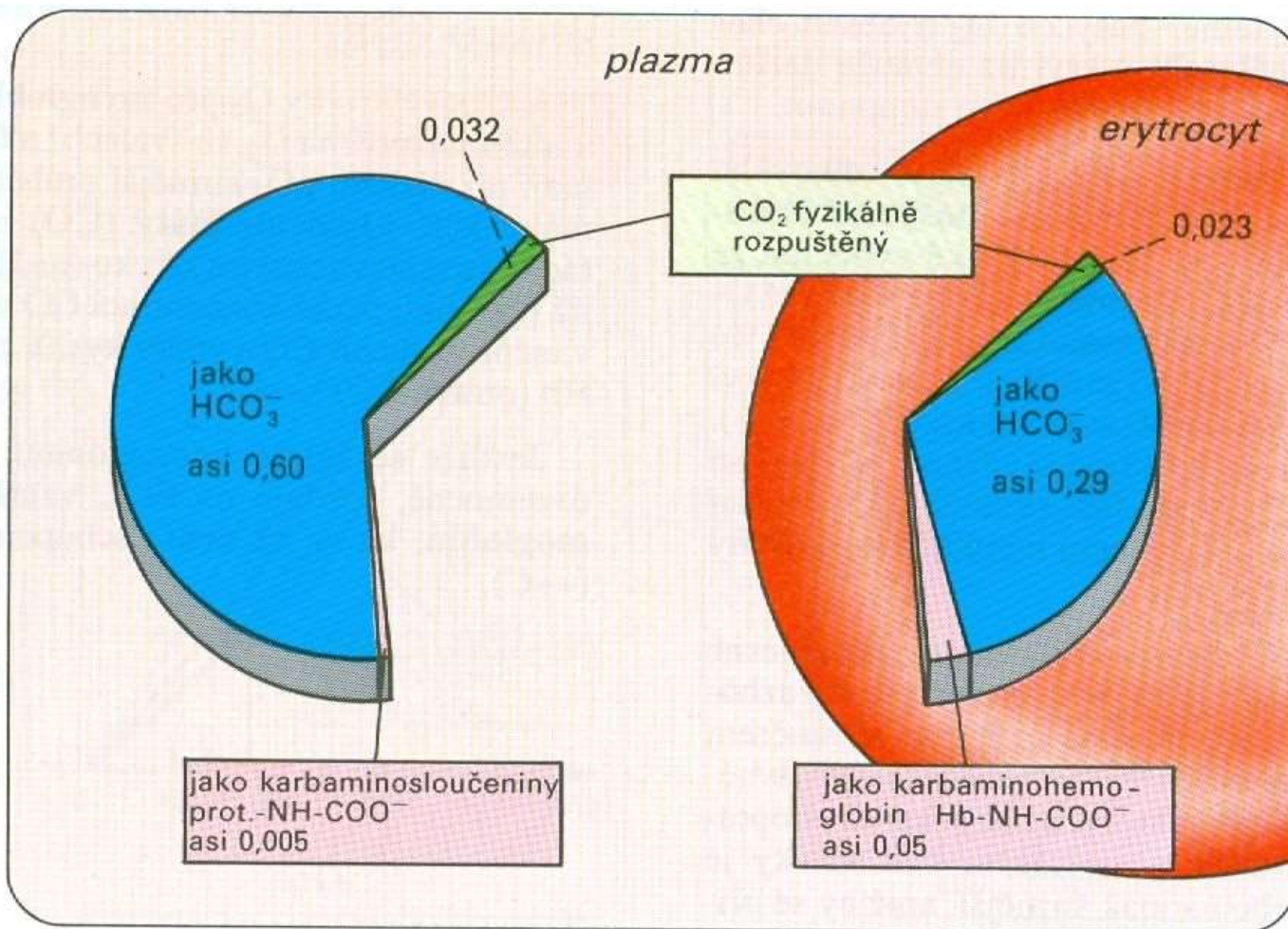
3. Transport O₂ a CO₂ v krvi

- **CO₂ je transportován:**

- HCO₃⁻ (bikarbonát, hydrogenuhličitan) (60-70 %)



- Rozpuštěný v plazmě (7-10 %)
- Navázaný na hemoglobin

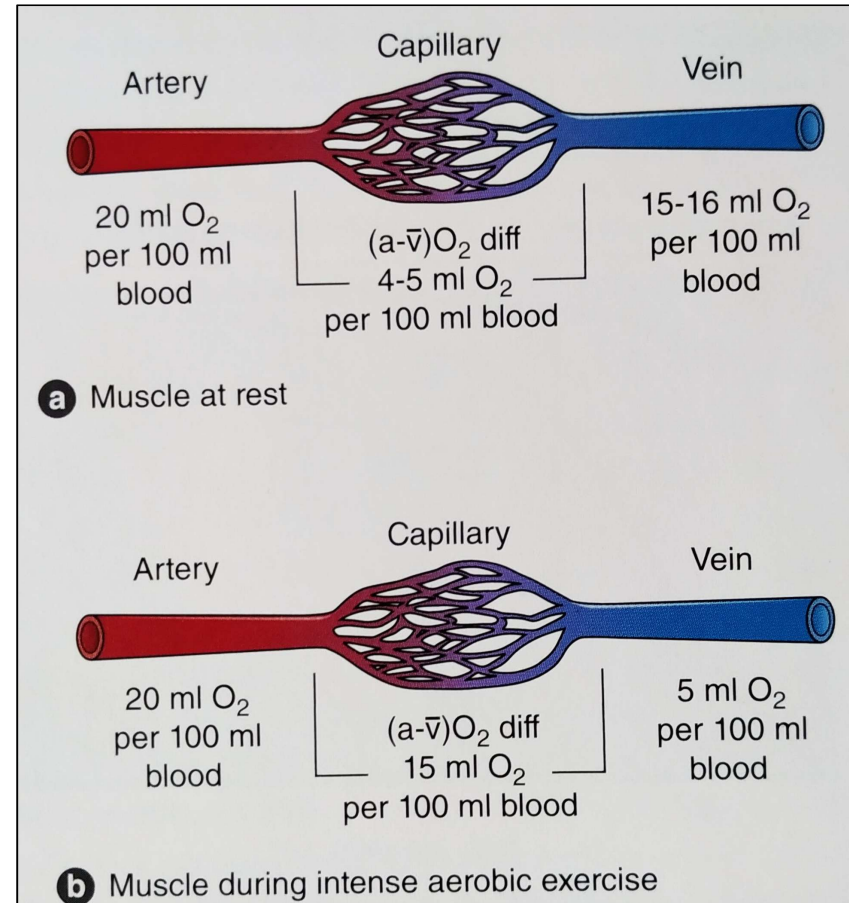


Distribuce CO₂ v arteriální krvi

Silbernagl & Despopoulos (1993)

3. Kapilární difúze

- **Arterio-venózní rozdíl kyslíku** $[(a-\bar{v})O_2 \text{ diff}]$
 - Arteriální krev v klidu: **20 ml O₂** / 100 ml krve
 - Žilní krev v klidu: **15-16 ml O₂** / 100 ml krve



Kenney et al. (2020)

Plyn	ml/l krve obsahující 150 g hemoglobinu			
	Arteriální krev (P_{O_2} 95 mm Hg; P_{CO_2} 40 mm Hg; Saturace Hb 97 %)		Venózní krev (P_{O_2} 40 mm Hg; P_{CO_2} 46 mm Hg; Saturace Hb 75 %)	
	Rozpuštěný	Vázaný	Rozpuštěný	Vázaný
O ₂	2,9	19,5	1,2	15,1
CO ₂	26,2	46,4	29,8	49,7
N ₂	9,8	0	9,8	0

Regulace dýchání

Dva oddělené regulační mechanismy:

- **volní regulace - mozková kůra**
- **automaticita - prodloužená mícha a most**

- **rytmické výboje z mozku vyvolávající spontánní dýchání jsou regulovány změnami PO_2 , PCO_2 a koncentrací H^+**

- **chemoreceptory**

- **vůlí lze dýchání zastavit, ale nakonec je volní úsilí vždy překonáno jako následek zvýšení arteriálního PCO_2 a poklesu PO_2**

Zdroje:

KENNEY, W. L., WILMORE, J. H., COSTILL, D. L., *Physiology of Sport and Exercise*. 7. vyd. Champaign: Human Kinetics, 2020. ISBN 978-1-4925-7229-9.

Rokyta et al. (2015). *Fyziologie a patologická fyziologie pro klinickou praxi*. Praha: GRADA Publishing.

Silbernagl, S., & Despopoulos, A. (1993). *Atlas fyziologie člověka*. Praha: Grada Avicenum

Koolman, J., Klaus-Heinrich, R.(2012). *Barevný atlas biochemie* (Překlad 4. vydání). Praha: Grada Publishing, a.s.

Ganong, W. F. (2005). *Přehled lékařské fyziologie*. Praha: Galén.

Matouš, B. (2010). *Základy lékařské chemie a biochemie*. Praha: Galén.

Metabolismus a energetické krytí svalové práce

Email: lukas.cipryan@osu.cz

Web: www.sportdefacto.cz

Twitter: [@LukasCipryan](https://twitter.com/LukasCipryan)

Klíčová slova:

- Acetyl koenzym A (acetyl-CoA)
- Adenosin difosfát (ADP)
- Adenosin trifosfát (ATP)
- Aerobní metabolismus
- Anaerobní metabolismus
- ATP-PCr systém
- B-oxidace
- Sacharidy (karbohydráty)
- Katabolismus
- Anabolismus
- Dýchací (respirační) řetězec
- Enzymy
- Volné mastné kyseliny („free fatty acids“)
- Glukoneogeneze
- Glykolýza
- myozin
- Kilokalorie
- Krebsův cyklus
- Lipogeneze
- Lipolýza
- Metabolismus
- Mitochondrie
- Oxidativní fosforylace
- Oxidativní (aerobní) systém
- Fosfokreatin (PCr)
- Bazální metabolismus
- Klidový metabolismus
- Faktory ovlivňující intenzitu metabolismu
- Spalné teplo
- Energetický ekvivalent
- MET
- Respirační poměr
- Energetická rovnováha
- Koenzymy
- Kofaktory
- Glykogen
- Glukóza
- Ketolátky
- aminokyseliny

Klíčové otázky:

- Vysvětlete pojmy metabolismus, anabolismus a katabolismus.
- Co je to bazální metabolismus a jak se liší od klidového metabolismu?
- Vyjmenujte faktory, které ovlivňují intenzitu metabolismu. Zároveň uveďte jak.
- Co je to spalné teplo a energetická ekvivalent?
- Co je o MET?
- Co je to respirační kvocient (poměr) a k čemu nám slouží?
- Vysvětlete pojmy glykolýza, glykogenolýza, glukogeneze, glukoneogeneze, lipolýza, lipogeneze.
- Co je to ATP a jak se vytváří?
- Jaký je primární zdroj energie v klidových podmínkách a jaký při vysoce intenzivní svalové práci?
- Jakou roli má PCr při produkci energie a kdy se nejvíce uplatňuje?
- Jaké rozeznáváme způsoby obnovy energie, resp. resyntézy ATP?
- Vysvětlete průběh glykogenolýzy.
- Vysvětlete rozdíl mezi anaerobním a aerobním ziskem energie.
- Co je to Krebsův cyklus a respirační řetězec?
- Co je to laktát a kde a jak vzniká?
- Vysvětlete vzájemné působení 3 energetických systémů v kontextu různého typu svalového výkonu.

Metabolismus

- **Metabolismus = látková přeměna**

- soubor enzymatických reakcí, při nichž dochází k přeměně látek a energií v živém organismu

- zúčastněné sloučeniny – „**metabolity**“
- „**metabolická dráha**“ – uspořádaný sled reakcí umožněný přítomností enzymů
- dráhy, které slouží k tvorbě, odbourávání a přeměně důležitých metabolitů a k uchování energie – „**intermediární metabolismus**“

Metabolismus

- **KATABOLISMUS**

= **přeměna látek, při které se uvolňuje energie**

- při zvýšení tělesné aktivity, výdeji tepla a udržování životních funkcí

Metabolismus

- **ANABOLISMUS**

= **vytváření energeticky bohatých sloučenin** ve formě proteinů, lipidů a komplexních sacharidů

- vytváření energetické rezervy

Bazální metabolismus

(„Basal Metabolic Rate“ - BMR)

= základní energetická přeměna, která dostatečně pokrývá všechny vitální funkce organismu

- měří se ráno, nalačno, vleže v klidu, při normální tělesné teplotě, při neutrální teplotě prostředí, 12-14 h po jídle, 24 h po vyčerpávající tělesné práci
- závisí na pohlaví, stáří, tělesné hmotnosti a výšce (resp. povrchu těla)

Bazální metabolismus

- mladý dospělý muž cca 2000 kcal / den (480 kJ / den)

BMR muži = 66 + (13,7 . hmotnost) + (5,0 . výška) - (6,8 . věk)

BMR ženy = 655 + (9,6 . hmotnost) + (1,85 . výška) - (4,7 . věk)

Bazální metabolismus

- u ženy se příliš nemění mezi 20. až 40. rokem
- u mužů stále zvolna klesá (o 2-3 % ročně)
- pokles BMR ženy mezi 40. až 50. rokem je prudší než u mužů
- nejmenší pokles u muže je mezi 30 a 50 lety, u ženy mezi 20 a 40 lety
- k největšímu poklesu dochází v pubertě

- ve spánku klesá asi o 10 %, při dlouhodobém hladovění až o 40 % („minimální metabolický obrat“)

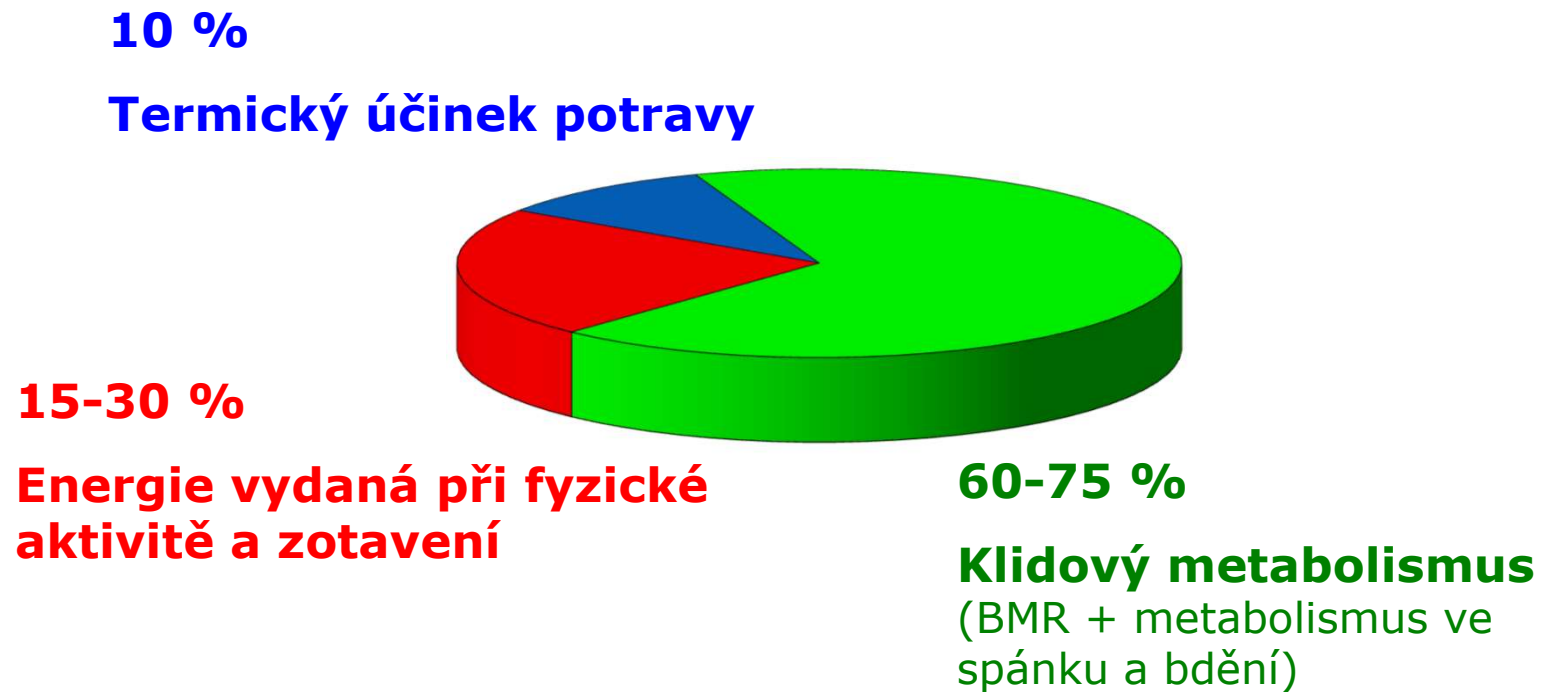
Přibližná spotřeba energie u dospělého člověka

(tělesná hmotnost 70 kg)

sedavé zaměstnání (s minimálním pohybem)	cca 2600 kcal / den (621 kJ / den)
zaměstnání s mírným pohybem	2900 kcal / den (693 kJ / den)
mírná svalová námaha	3015 kcal / den (720 kJ / den)
středně namáhavá svalová práce	4300 kcal / den (1027 kJ / den)
velmi namáhavá svalová práce	4800 kcal / den a více (> 1147 kJ /den)

Upraveno podle Trojan, S., et al. (1999). *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada.

Celkový denní výdej energie



Faktory ovlivňující intenzitu metabolismu:

1. tělesná práce

2. specificko-dynamický účinek živin

- množství energie z živin, které je zapotřebí k jejich asimilaci (např. ze 100 kcal proteinů se 30 kcal využije k jejich metabolismu)

proteiny 0,70

sacharidy 0,94

lipidy 0,96

Faktory ovlivňující intenzitu metabolismu:

3. vnější teplota

4. výška, hmotnost a povrch těla

5. pohlaví

6. věk

7. emoce

Faktory ovlivňující intenzitu metabolismu:

8. tělesná teplota

(vzestup o 1°C = vzestup BMR o 14 %)

9. hormony štítné žlázy (T3, T4)

10. „stresové hormony“ (např. adrenalin a noradrenalin)

Spalné teplo

= celkové množství energie, které je v jednotlivých živinách chemicky vázáno, resp. množství energie, které se uvolní při oxidaci jednoho gramu dané živiny

sacharidy	17,2 kJ / g
lipidy	39,5 kJ / g
proteiny	23,4 kJ / g (17,0 kJ / g)

Energetický ekvivalent

= množství energie uvolněné z dané živiny při spotřebě jednoho litru kyslíku

sacharidy 21,2 kJ (18,8 kJ při 37°C)

lipidy 19,6 kJ (17,6 kJ)

proteiny 19,7 kJ (16,8 kJ)

- při smíšené potravě 20,2 kJ (4,82 kcal)

MET

(„Metabolic equivalent of task“)

- pro vyjádření energetické náročnosti pohybové aktivity
- **1 MET** = množství kyslíku, které člověk spotřebuje v klidu za min / kg hmotnosti
- v klidu spotřebuje člověk asi **3,5 ml O₂/kg/min**

Klasifikace fyzické aktivity

• v tabulkách není zohledněna maximální pracovní kapacita ani maximální aerobní kapacita

MUŽI (65 kg)	kcal / min	l O₂ / min	ml O₂ / kg / min	METs
lehká	2,0-4,9	0,40-0,99	6,1-15,2	1,6-3,9
střední	5,0-7,4	1,00-1,49	15,3-22,9	4,0-5,9
těžká	7,5-9,9	1,50-1,99	23,0-30,6	6,0-7,9
velmi těžká	10,0-12,4	2,00-2,49	30,7-38,3	8,9-9,9
vyčerpávající	≥12,5	≥2,50	≥38,4	≥10,0

McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2001). *Exercise Physiology (5th ed.)*. Lippincott Williams & Wilkins.

Klasifikace fyzické aktivity

ŽENY (55 kg)	kcal / min	l O₂ / min	ml O₂ / kg / min	METs
lehká	1,5-3,4	0,30-0,69	5,4-12,5	1,2-2,7
střední	3,5-5,4	0,70-1,09	12,6-19,8	2,8-4,3
těžká	5,5-7,4	1,10-1,49	19,9-27,1	4,4-5,9
velmi těžká	7,5-9,4	1,50-1,89	27,2-34,4	6,0-7,5
vyčerpávající	≥9,5	≥1,90	≥34,5	≥7,6

McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2001). *Exercise Physiology (5th ed.)*. Lippincott Williams & Wilkins.

Hodnocení fyzické aktivity (METs)

- chůze rychlostí 5 km/hod po rovině 4,1
- chůze rychlostí 5 km/hod do kopce 8,0
- běh rychlostí 8 km/hod po rovině 7,3
- závodní maratón 18,4
- jízda na kole 21 km/hod 8,2
- plavání rychlostí 1,2 km/hod (netrén.) 7,1
- závodní plavání 15,5

Hodnocení fyzické aktivity (METs)

• závodní fotbal	10,0	
• tenis rekreační čtyřhra		5,5
• tenis rekreační dvouhra		8,6
• tenis závodní dvouhra	11,0	
• lyžařská turistika		6,5
• závodní běh na lyžích		19,7
• lehký lyžařský sjezd		7,7
• závodní sjezd na lyžích		14,0

Hodnocení fyzické aktivity (METs)

- aerobik 5,6
- lední hokej 25,7
- závodní veslování 23,4
- golf 3,1
- vzpírání 14,4
- horolezectví 7,4

Respirační kvocient (RQ)

= poměr mezi objemem vytvořeného CO₂ a objemem spotřebovaného O₂ za jednotku času při rovnovážném stavu

- ukazuje na typ oxidované látky, resp. **intenzitu metabolismu**

sacharidy	1,0
lipidy	0,7
proteiny	0,8

RER („respiratory exchange ratio“) – **poměr respirační výměny** (CO₂ a O₂) – za rovnovážného stavu a při aerobním krytí energie totožný s RQ

Energetická rovnováha

= rovnováha mezi energetickým příjmem a výdejem

- při **negativní energetické bilanci** se spotřebovávají vnitřní zásoby (katabolizují se glykogen, proteiny a lipidy)
 - **redukce tělesné hmotnosti**
- při **pozitivní energetické bilanci** (příjem převažuje nad výdejem)
 - **zvýšení tělesné hmotnosti**

Základy biochemie metabolických procesů živin

Makroergní fosfáty

- (vysokoenergetické) sloučeniny s vysokým potenciálem přenosu fosfátu
- **poskytují energii pro spoustu endergonních reakcí, např. syntézu nových látek, mechanickou a osmotickou práci, změnu konformace membránových transportérů**
- **nejvýznamnější: adenosintrifosfát (ATP)**
(další makroergní fosfáty: 1,3-bisfosfoglycerát, kreatinfosfát, fosfoenolpyruvát)

Enzymy

= **biokatalyzátory, tj. látky biologického původu, které urychlují chemické reakce**

- proteiny vznikající proteosyntézou dle genetického kódu
- **specifita účinku a substrátová specifita**
- jejich aktivitu reguluje organismus podle fyziologických potřeb
- **intracelulární** (např. LDH) a **extracelulární** (vznik jako **proenzymy**; např. trávicí enzymy nebo enzymy katalyzující srážení krve)

Koenzymy a kofaktory

- **koenzymy**

= pomocné molekuly, které v průběhu reakce přechodně poskytnou nebo převezmou přenášenou skupinu

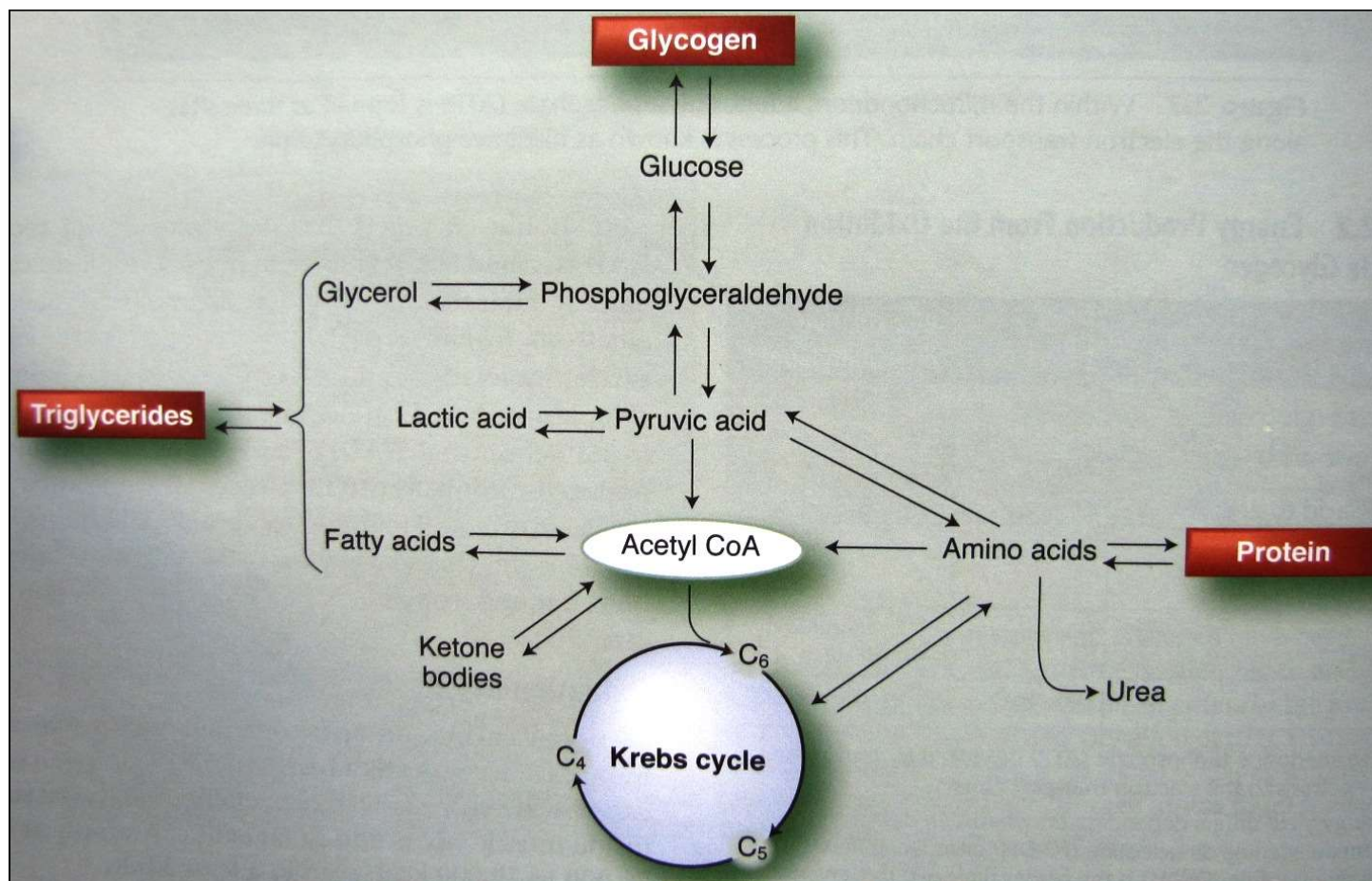
- nezbytné pro činnost enzymů
- většinu nelze v organismu syntetizovat → prekurzory v potravě jako **vitamíny**

Například: **NAD⁺** (nikotinamidadeninukleotid) – přenáší atomy vodíku z katabolických dějů do dýchacího řetězce, důležitá úloha v energetickém metabolismu



- **kofaktory** enzymů – **stopové prvky**: Zn, Mg, Mn, Fe, Cu, Mo, Na, K

Společné metabolické cesty jednotlivých živin



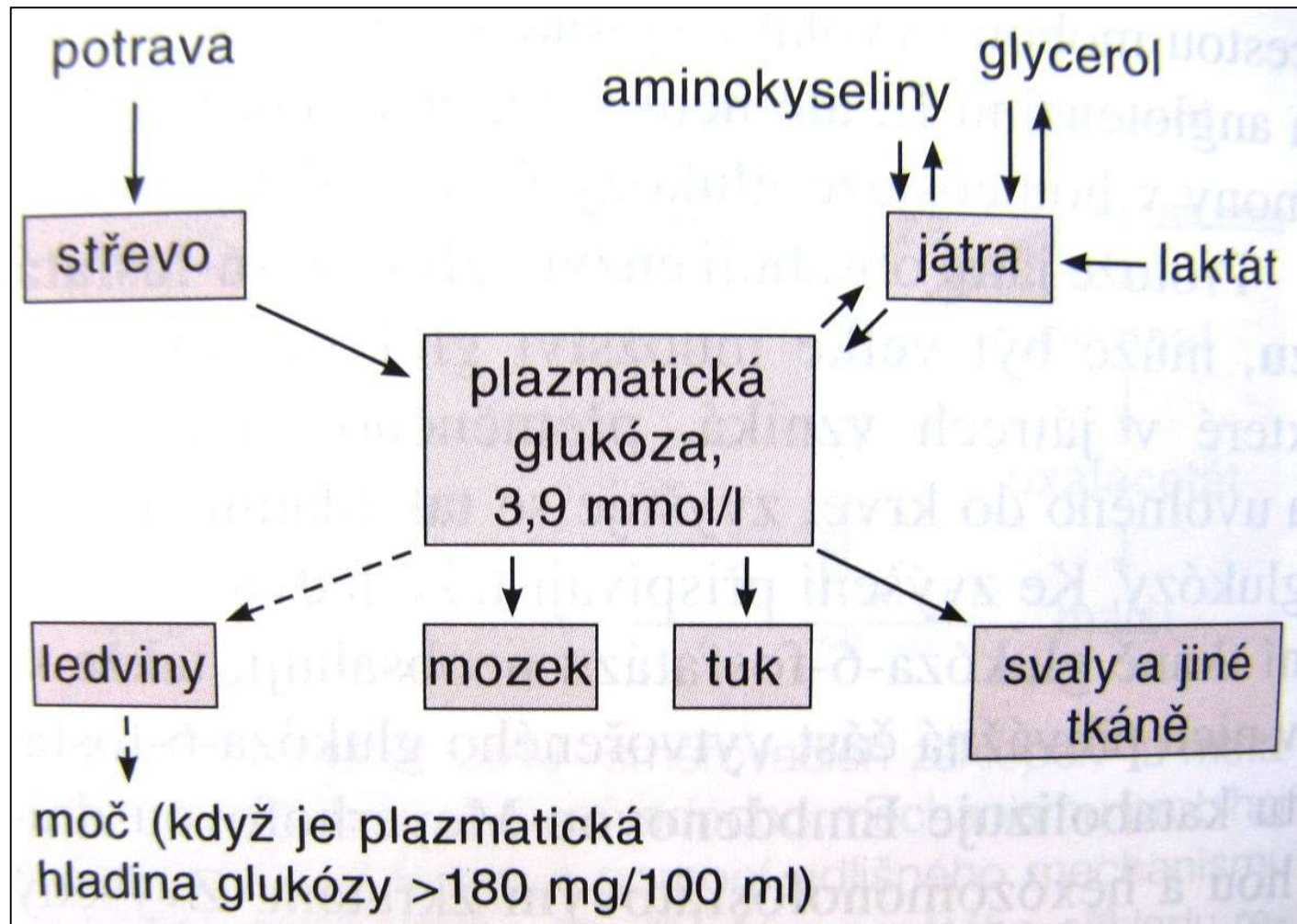
Wilmore, J. H., et al. (2008). Physiology of Sport and Exercise. Champaign (IL): Human Kinetics.

METABOLISMUS SACHARIDŮ

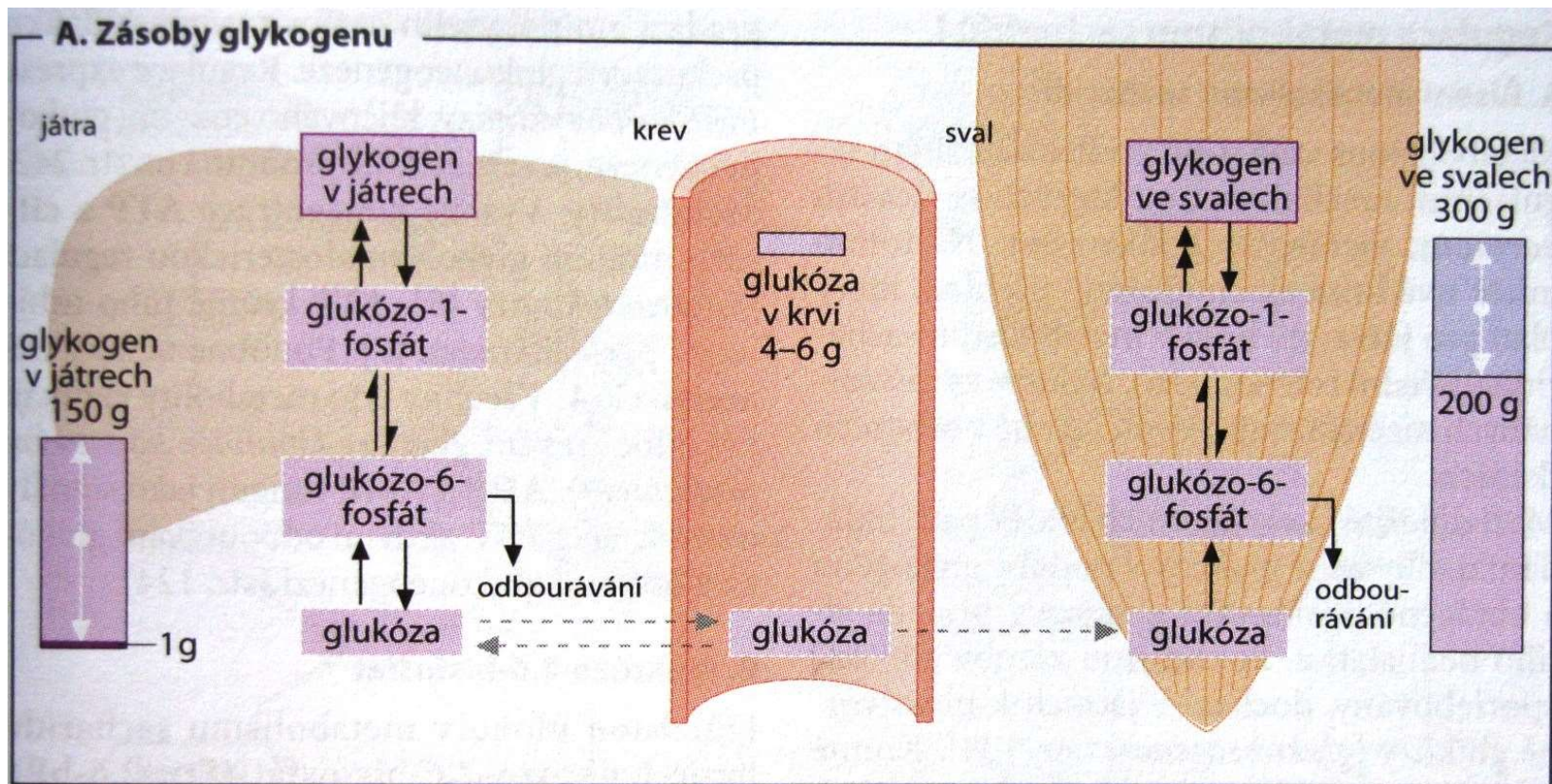
Metabolismus sacharidů

- využití závisí na jejich dostupnosti a schopnosti buněk je využít
- sacharidy jsou skladovány ve svalech a játrech ve formě glykogenu (GG)
- **játerní GG** se podílí na udržování glykémie (množství značně kolísá)
- **svalový GG** jako energetická rezerva, nepodílí se na udržování glykémie (absence glukózo-6-fosfatázy; viz obrázek)
- tyto zásoby jsou omezené a mohou být při dlouhé a intenzivní zátěži vyčerpány

Homeostáza GL v plazmě

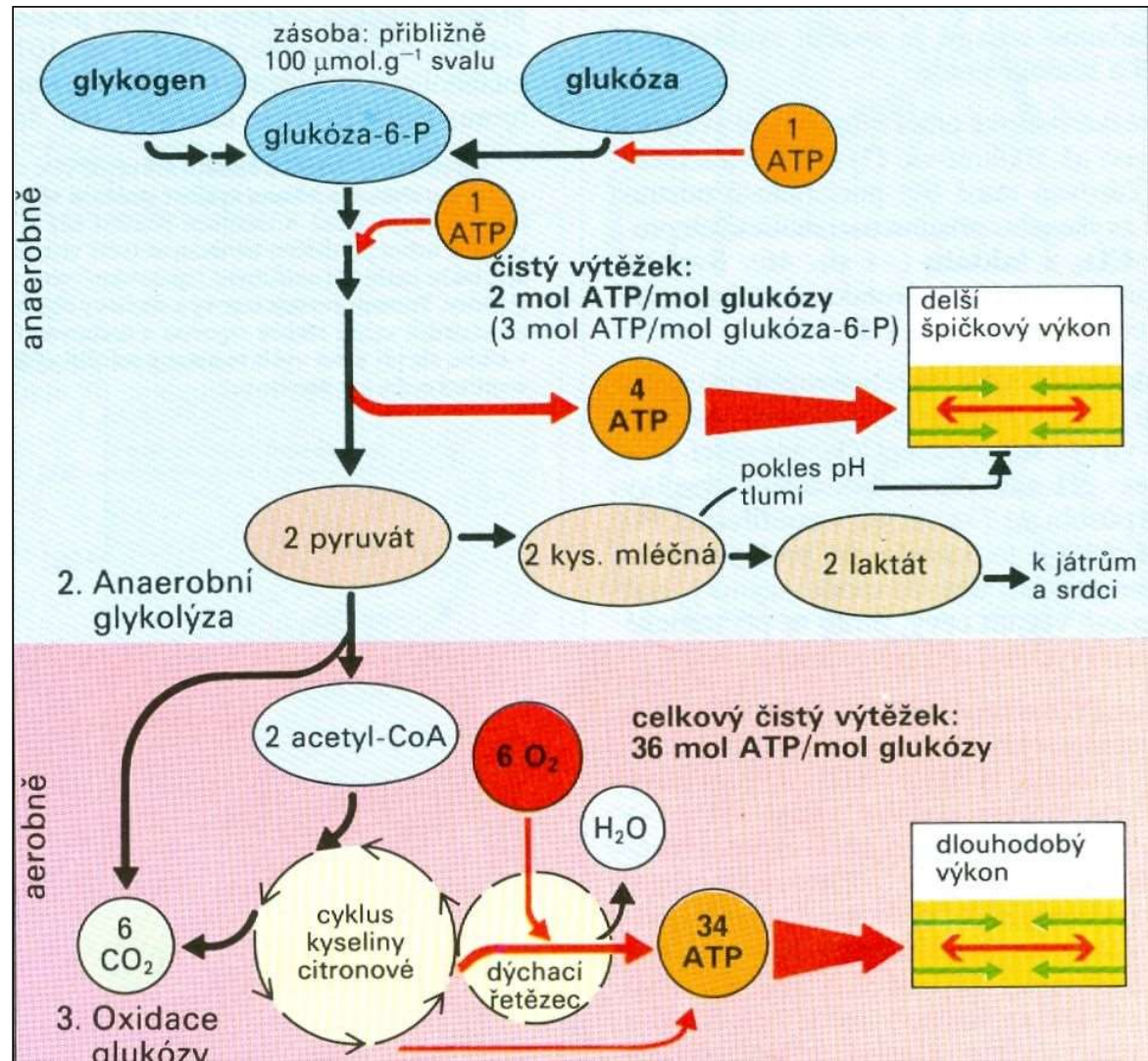


Ganong, W. F. (2005). Přehled lékařské fyziologie. Praha: Galén.



Koolman, J., Klaus-Heinrich, R.(2012). *Barevný atlas biochemie* (Překlad 4. vydání). Praha: Grada Publishing, a.s.

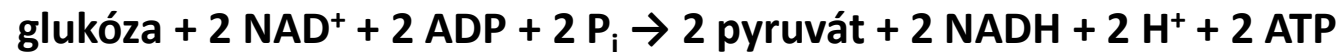
GLYKOLÝZA / GLYKOGENOLÝZA + OXIDATIVNÍ FOSFORYLACE



Silbernagl, S., & Despopoulos, A. (1993). *Atlas fyziologie člověka*. Praha: Grada Avicenum.

Glykolýza a glykogenolýza

- **katabolická metabolická dráha probíhající v cytoplazmě**



- **v přítomnosti O₂ vstupují pyruvát a NADH do mitochondrie a tam se dále metabolizují (aerobní glykolýza)**
- **energetický zisk – 2 mol ATP (anaerobní glykolýza) / 3 mol ATP (glykogenolýza)**

Glukoneogeneze

- při nedostatku GL v potravě a po vyčerpání jaterního GG nastupuje **novotvorba GL – glukoneogeneze**

2 pyruvát + 4 ATP + 2 GTP + 2 NADH + 2 H⁺ →

→ glukóza + 4 ADP + 6 P_i + 2 GDP + 2 NAD⁺

- probíhá v játrech a ledvinách
- **prekurzory: glukogenní AK** (proteolýza ve svalech), **laktát** (vznik v erytrocytech a ve svalech), **glycerol** (odbourávání TG)
- přeměna MK na GL není u živočichů možná !

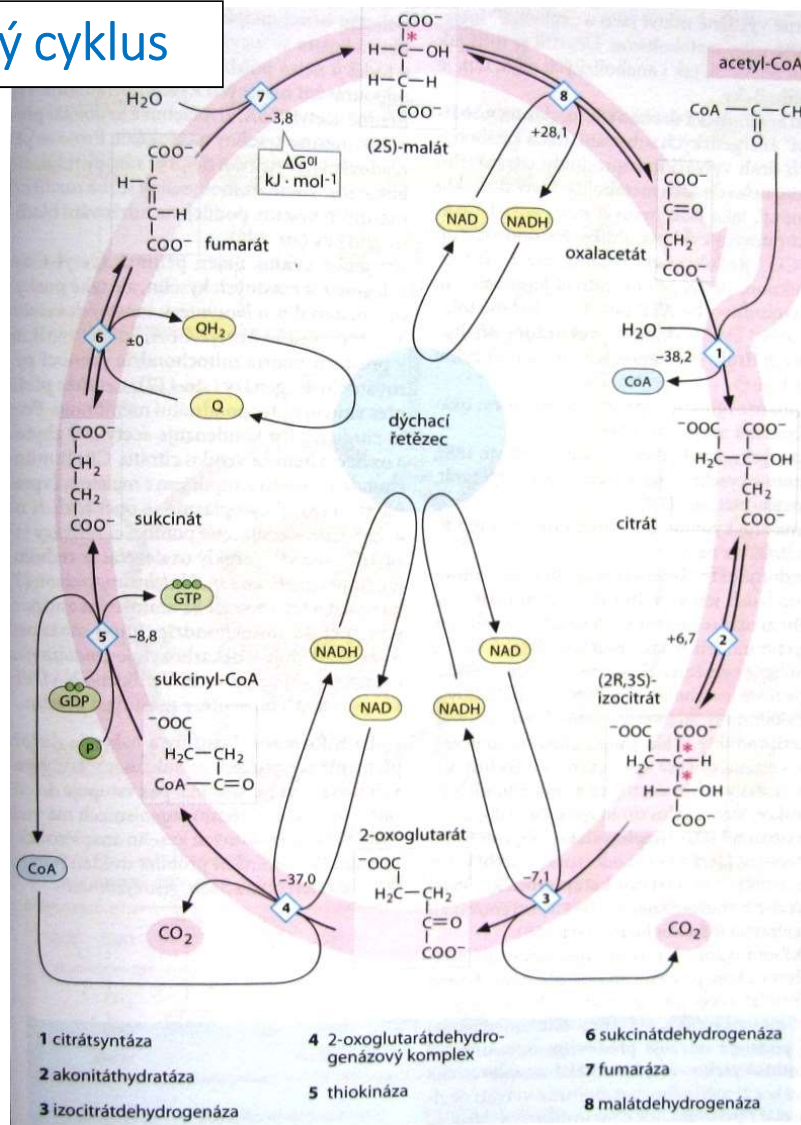
Krebsův citrátový cyklus

- **cyklická metabolická dráha probíhající v mitochondriální matrix**
- **součást katabolických** (vznik vodíkových iontů pro oxidativní fosforylaci) **i anabolických** (vznik GL, AK, MK, apod.) **dějů**

Dýchací (respirační) řetězec

- **elektrony přenesené na NADH a FADH₂ v mitochondrii přejdou do oxidoredukčních komplexů ve vnitřní mitochondriální membráně**
- **energie získaná z přenosu elektronů na O₂ (za vzniku H₂O) slouží k syntéze ATP (oxidativní fosforylace)**

Krebsův citrátový cyklus



Doc. PhDr. Lukáš Cipryan, Ph.D.

Koolman, J., Klaus-Heinrich, R. (2012). *Barevný atlas biochemie (Překlad 4. vydání)*. Praha: Grada Publishing, a.s.

METABOLISMUS LIPIDŮ

Metabolismus lipidů

- **β -oxidace** = hlavní metabolický pochod oxidace MK, probíhá v matrix mitochondrií
- fáze β -oxidace:
 1. **aktivace MK** (tvorba acyl-CoA)
 2. **transport MK z cytosolu do mitochondrií**
 3. **vlastní oxidace (dehydrogenace) MK**
 4. **uvolnění acetyl-CoA**

Ketolátky

- **při nadbytku acetyl-CoA, který přesahuje kapacitu Krebsova cyklu → ketogeneze**
- **ketolátky** (acetacetát, β -hydroxybutyrát, aceton) – produkty odbourávání tuků v játrech
- **při hladovění cenným zdrojem energie**
- **zvýšená tvorba také při neléčeném DM**
- **hyperketonémie → ketonurie a ketoacidóza**

Příklad množství zásob v organismu

<i>člověk 65 kg, 12 % tuku</i>	g	kcal
Sacharidy		
GG v játrech	110	451
GG ve svalech	500	2050
GL v tekutinách	15	62
Lipidy		
podkožní a viscerální	7800	73320
intrasvalový	161	1513

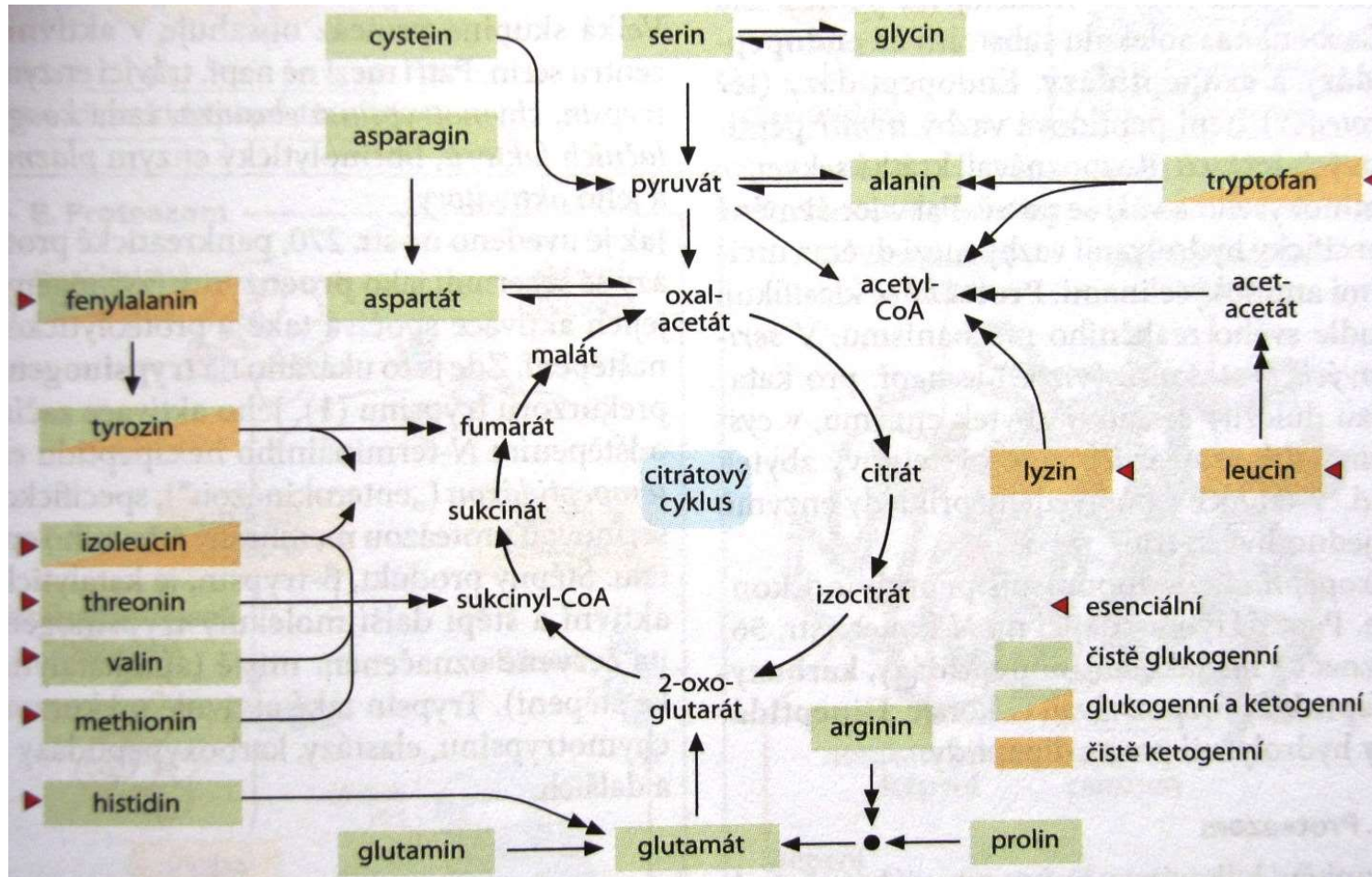
Kenney, W. L., et al. (2012). Physiology of Sport and Exercise (5th ed.). Champaign (IL): Human Kinetics.

METABOLISMUS PROTEINŮ

Proteiny

- **aminokyseliny (AK):**
 - **glukogenní** - pro glukoneogenezi (např. cystein, asparagin, aspartát, glycin, alanin)
 - **ketogenní** – zdroj ketolátek, příp. acetyl-CoA (lyzin, leucin)
 - **glukogenní a ketogenní** (tryptofan, fenylalanin, tyrozin, izoleucin)

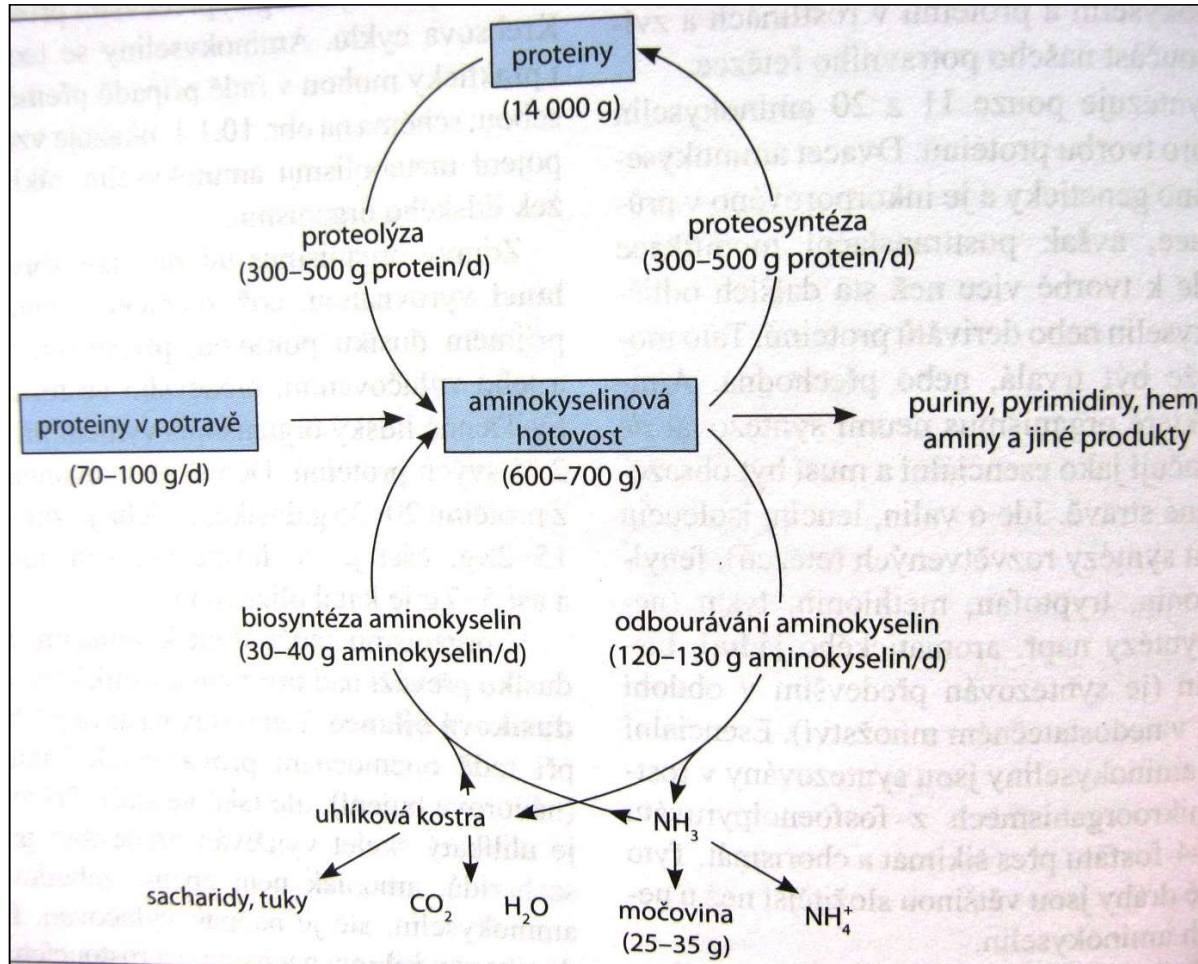
Přehled metabolismu AK



Koolman, J., Klaus-Heinrich, R.(2012). *Barevný atlas biochemie* (Překlad 4. vydání). Praha: Grada Publishing, a.s.

Doc. PhDr. Lukáš Cipryan, Ph.D.

Metabolická hotovost AK v dospělém lidském organismu a celková bilance jejich přeměny za 24 h



Matouš, B. (2010). Základy lékařské chemie a biochemie. Praha: Galén.

Proteiny

- významnou součástí AK je **dusík, resp. NH_3 (NH_4^+)**
- 1-2 % proteinů je denně v organismu obměněna
- **proteolýza** – člověk denně odbourá cca 300-500 g proteinů; stejné množství AK se opět zabuduje do proteinů (**proteosyntéza**)
- AK (na rozdíl od MK nebo sacharidů) nejsou v organismu skladovány
- **AK mohou být využity pro tvorbu proteinů a v případě jejich nadbytku i jako možný zdroj energie** (především prostřednictvím Krebsova cyklu; maximálně 5-10 % energie při dlouhodobém zatížení)

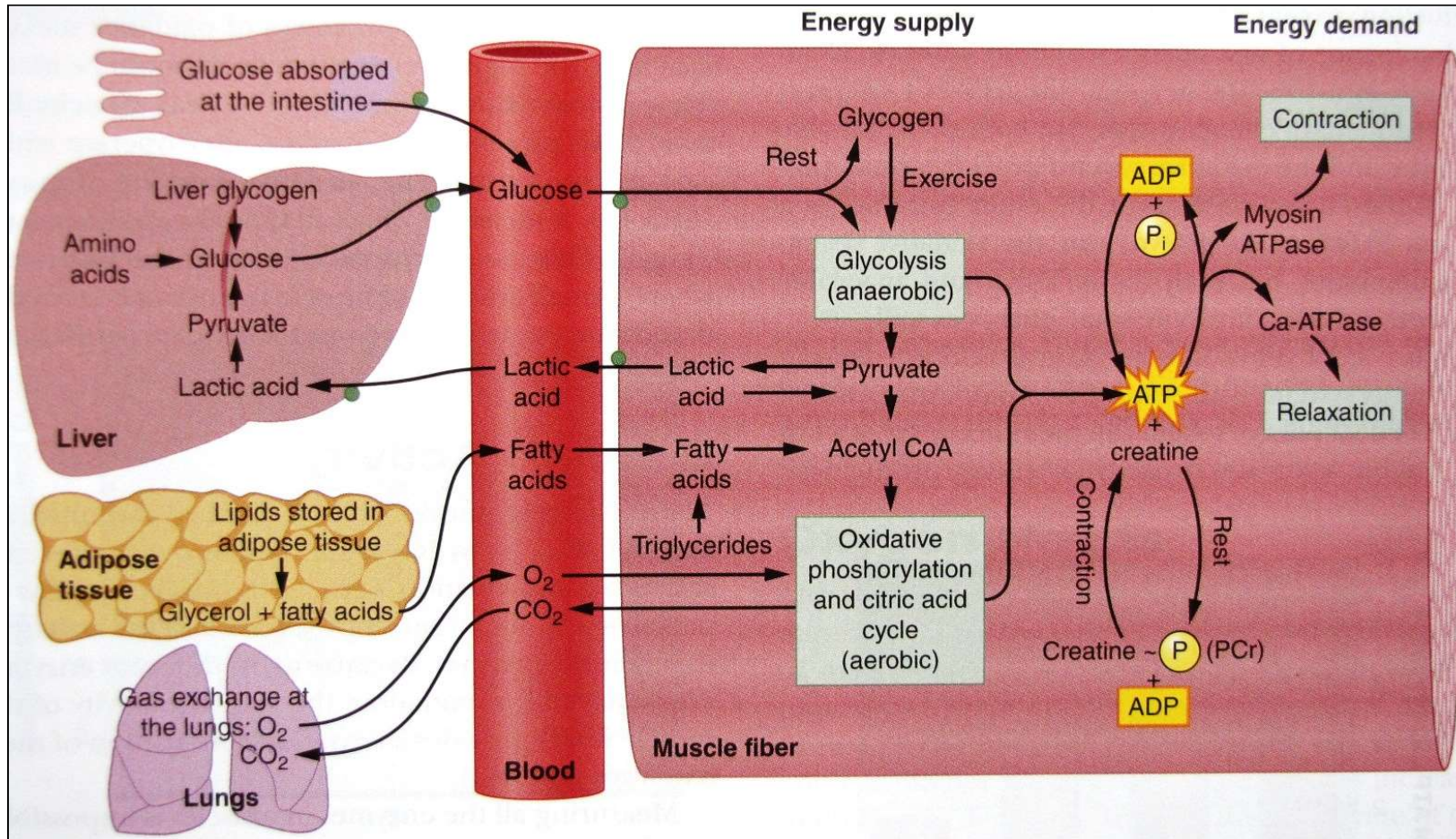
Proteiny

Dusíková bilance

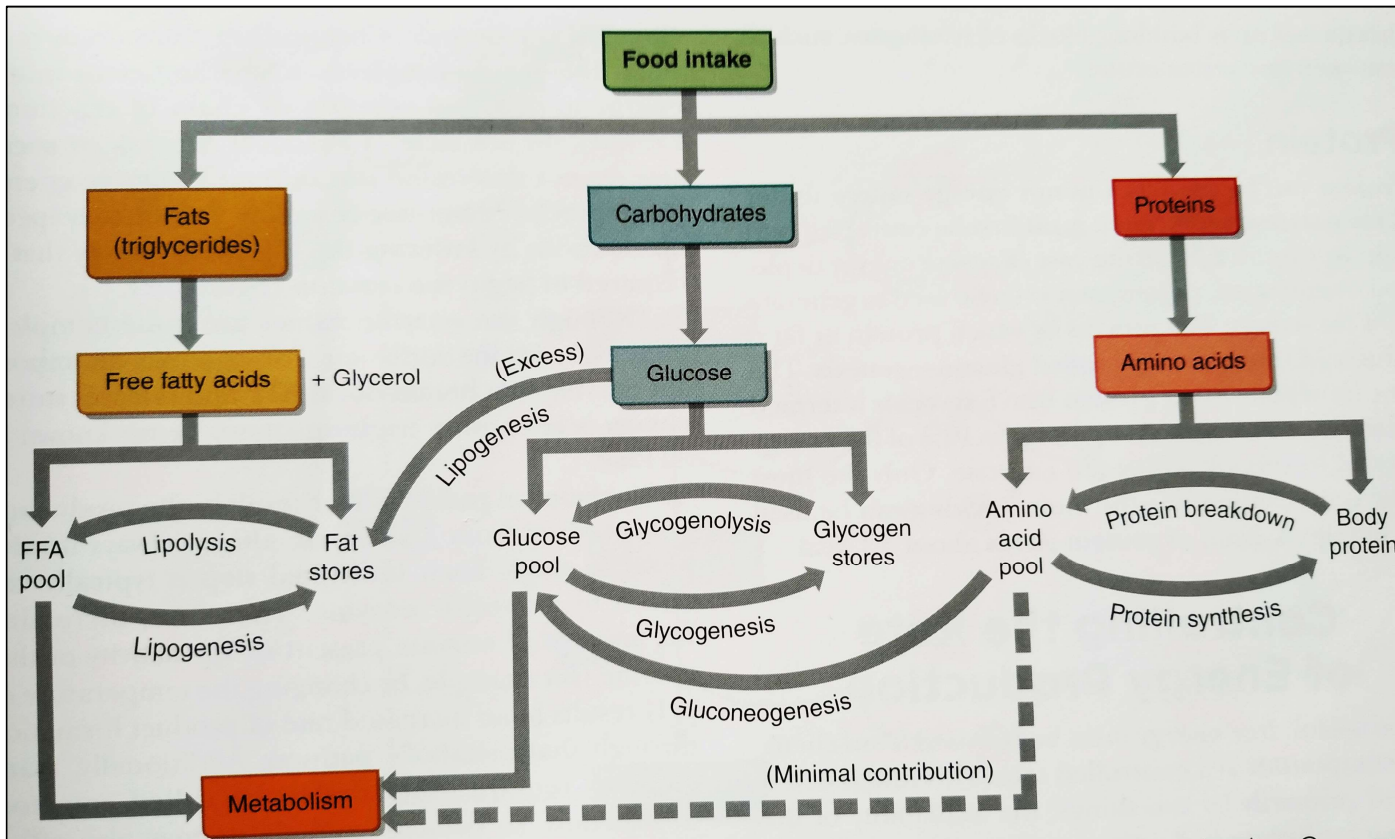
= příjem (potrava) vs. vylučování N ve formě močoviny

- ve zdravém organismu vyrovnaná
- hladovění, některá onemocnění (např. nádory), stáří – **negativní dusíková bilance**
– tvorba sacharidů z AK, amoniak je vylučován (resp. není zpětně zabudováván do AK)
- období růstu, těhotenství, regenerace po hladovění – **pozitivní dusíková bilance**

Celkové schéma metabolismu



Kenney, W. L., et al. (2012). Physiology of Sport and Exercise (5th ed.). Champaign (IL): Human Kinetics.



Kenney et al. (2020)

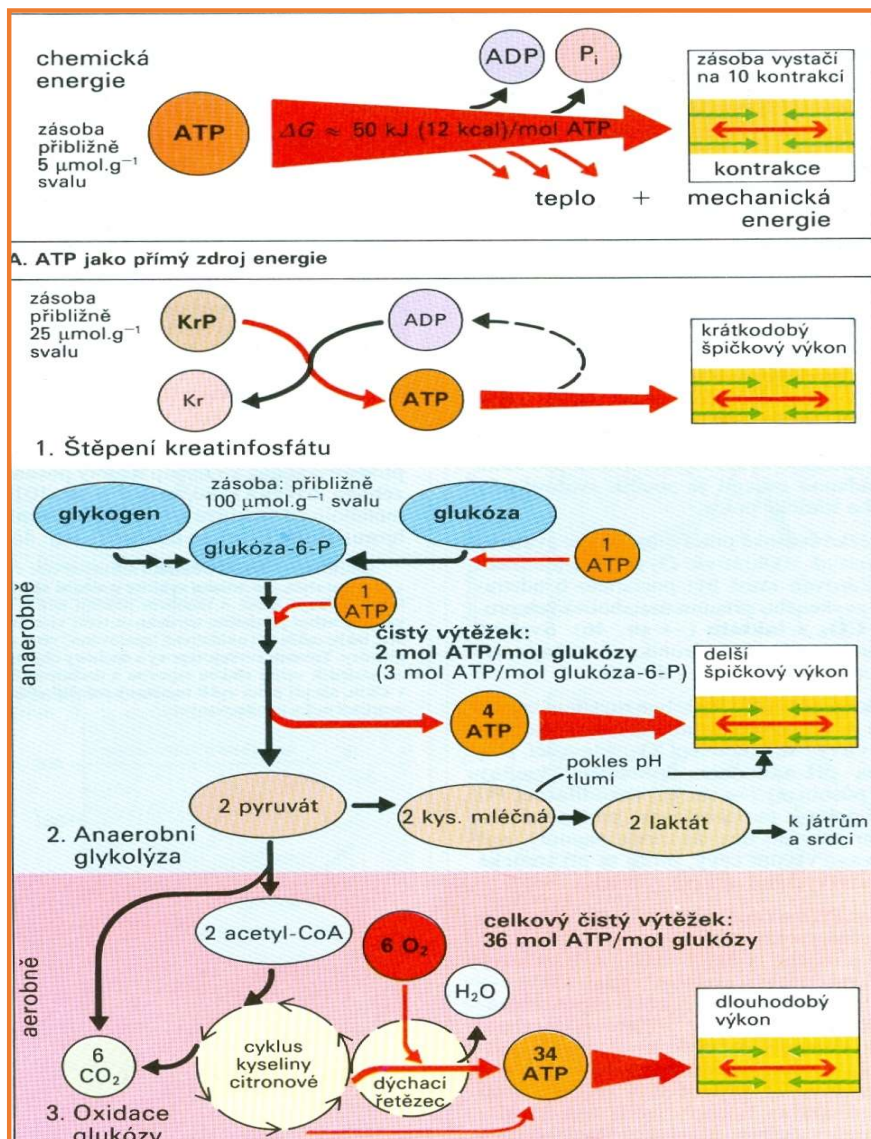
Energetické krytí svalové práce

Energetické krytí svalové práce

- **3 způsoby zisku energie:**
 - 1. anaerobní**
 - a) alaktátový (ATP-PCr systém)
 - b) laktátový (anaerobní glykolýza; glykolytický systém)
 - 2. aerobní**
(přeměna živin za přítomnosti O₂ - oxidativní fosforylace)

Energetické krytí svalové práce

- **anaerobní systém umožňuje velmi rychlou regeneraci ATP**
- **aerobní systém představuje obrovskou zásobárnu energie**



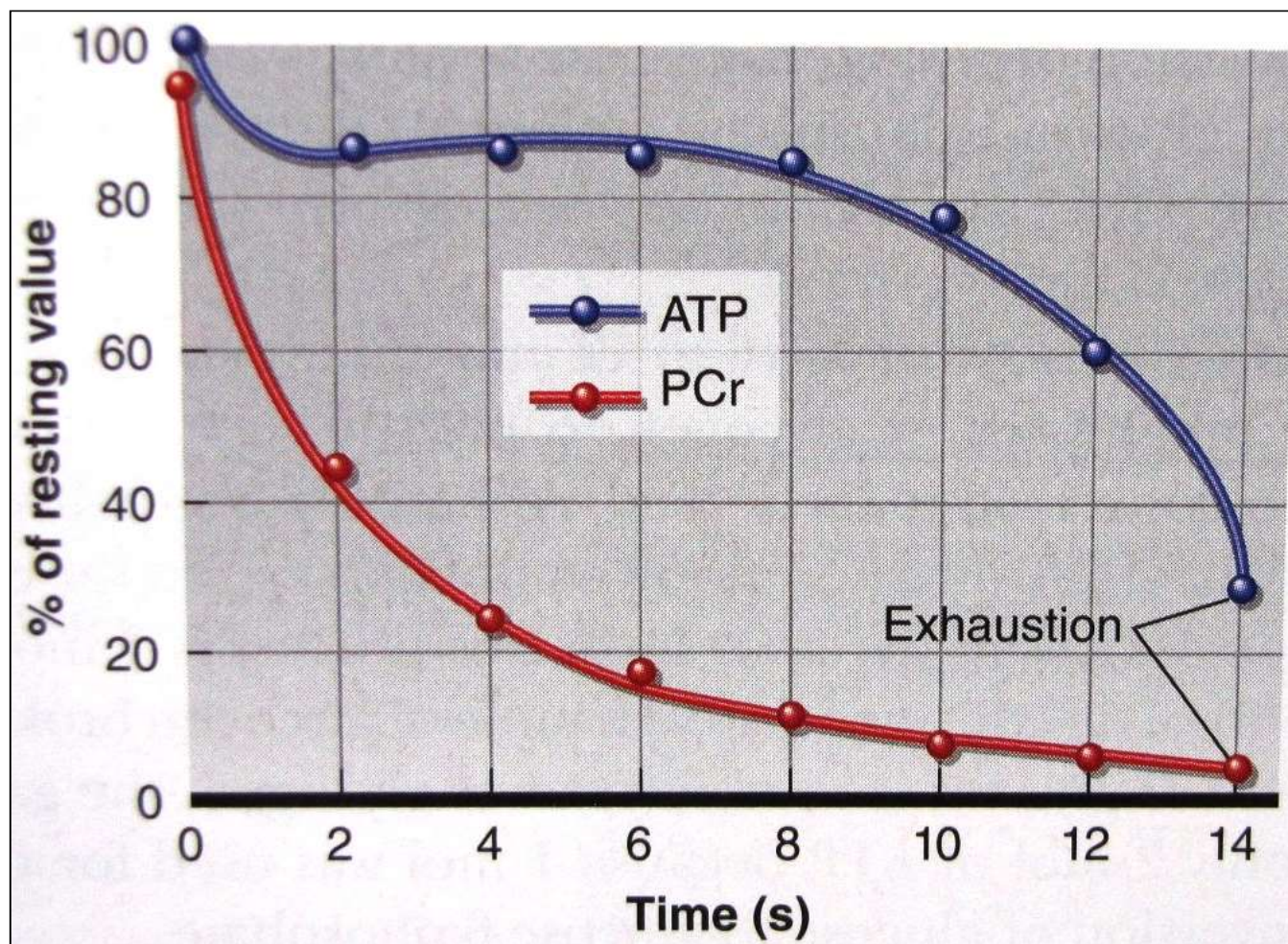
ATP \rightarrow ADP + P_i + energie + teplo

ATP-PCr systém

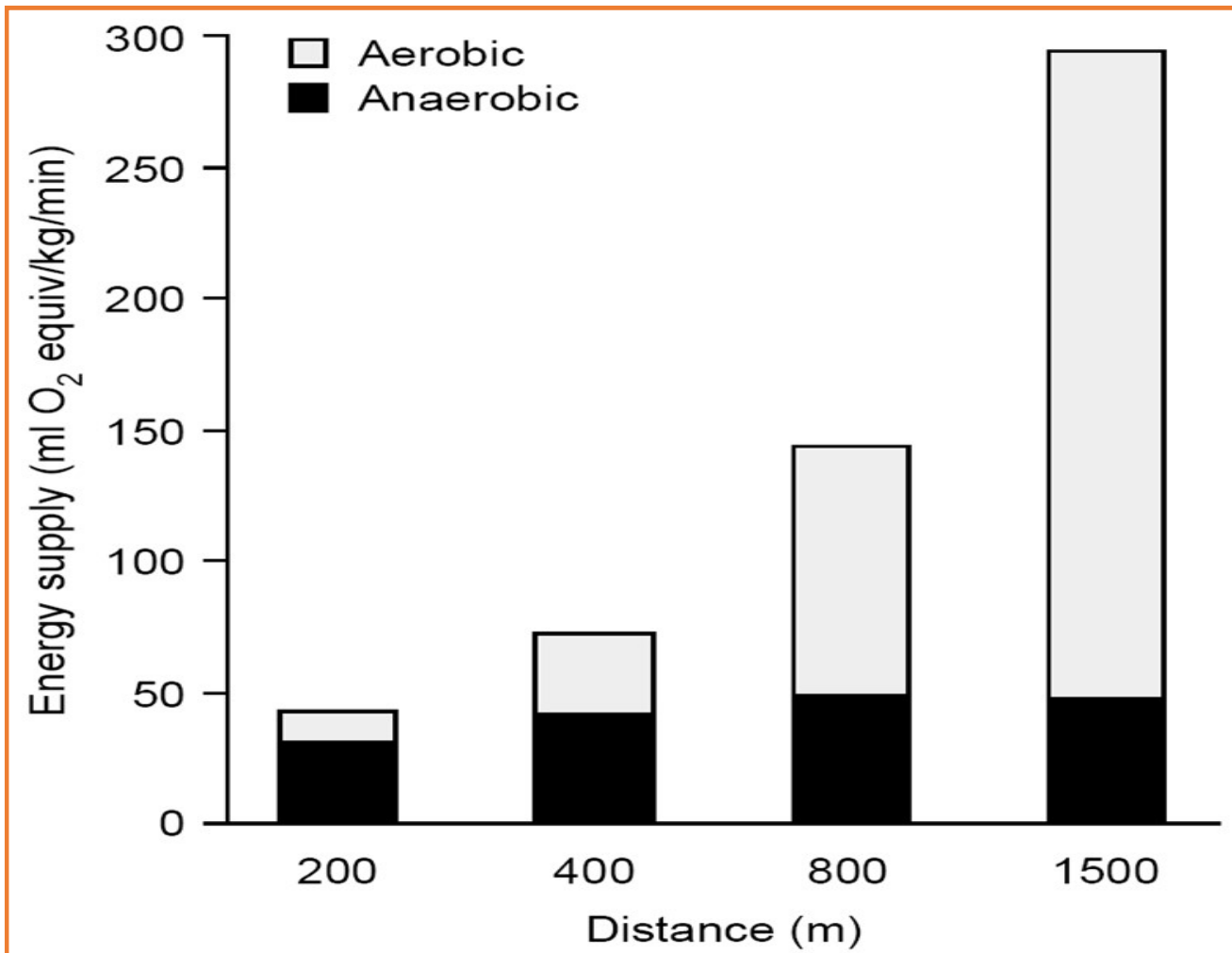
cytoplazma buňky

mitochondrie

14s maximální svalový výkon (sprint)

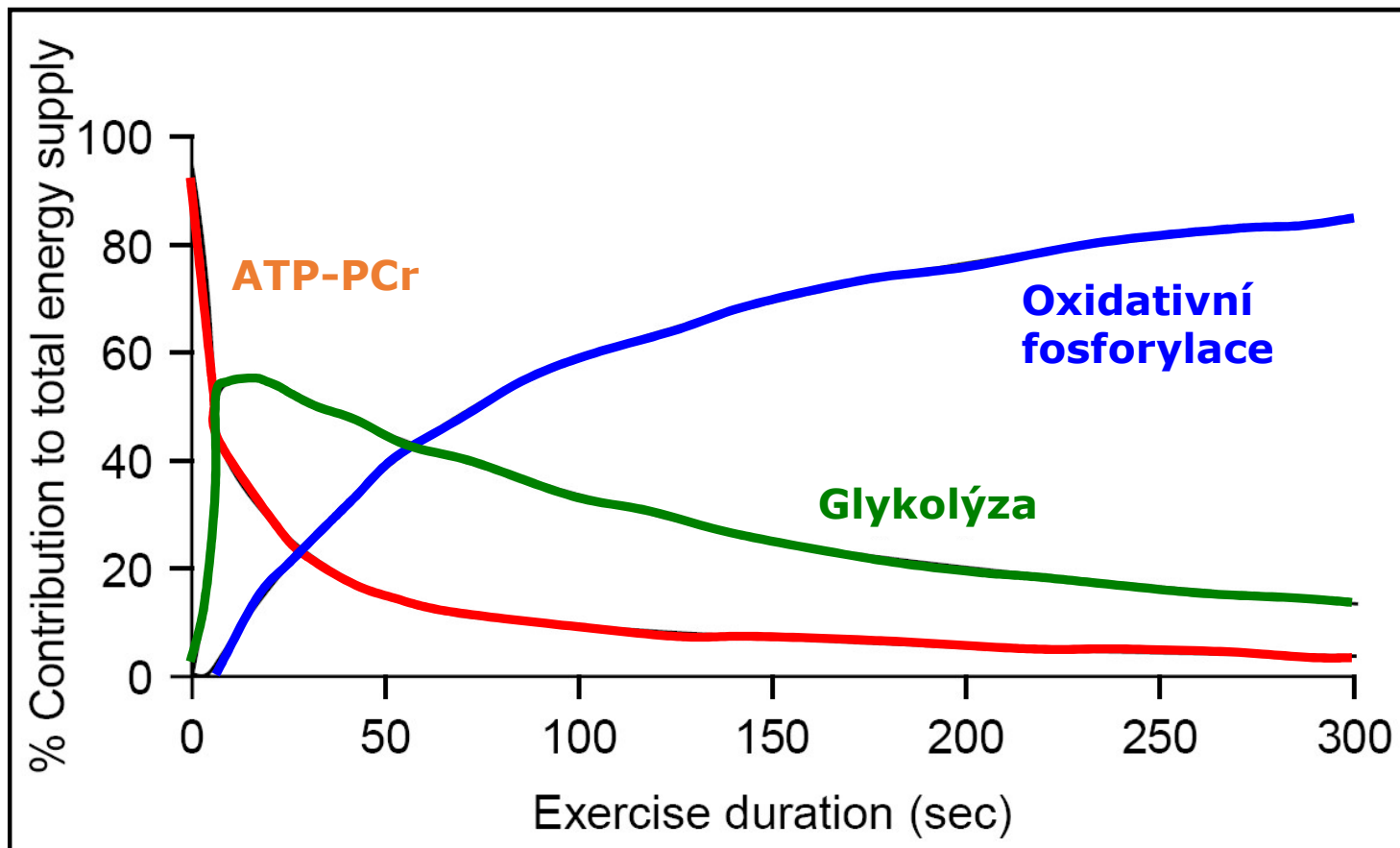


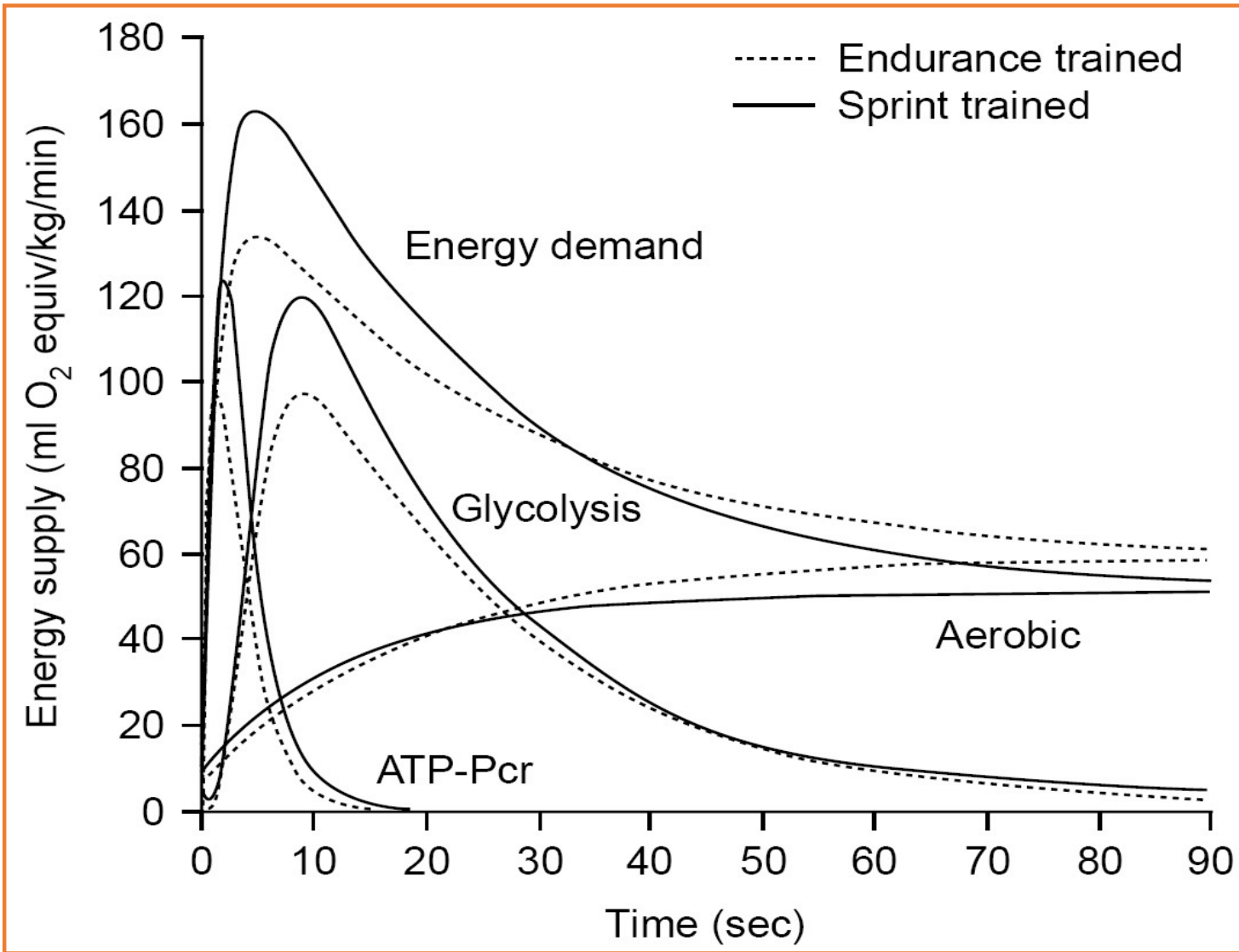
Kenney, W. L., et al. (2012). Physiology of Sport and Exercise (5th ed.). Champaign (IL): Human Kinetics.

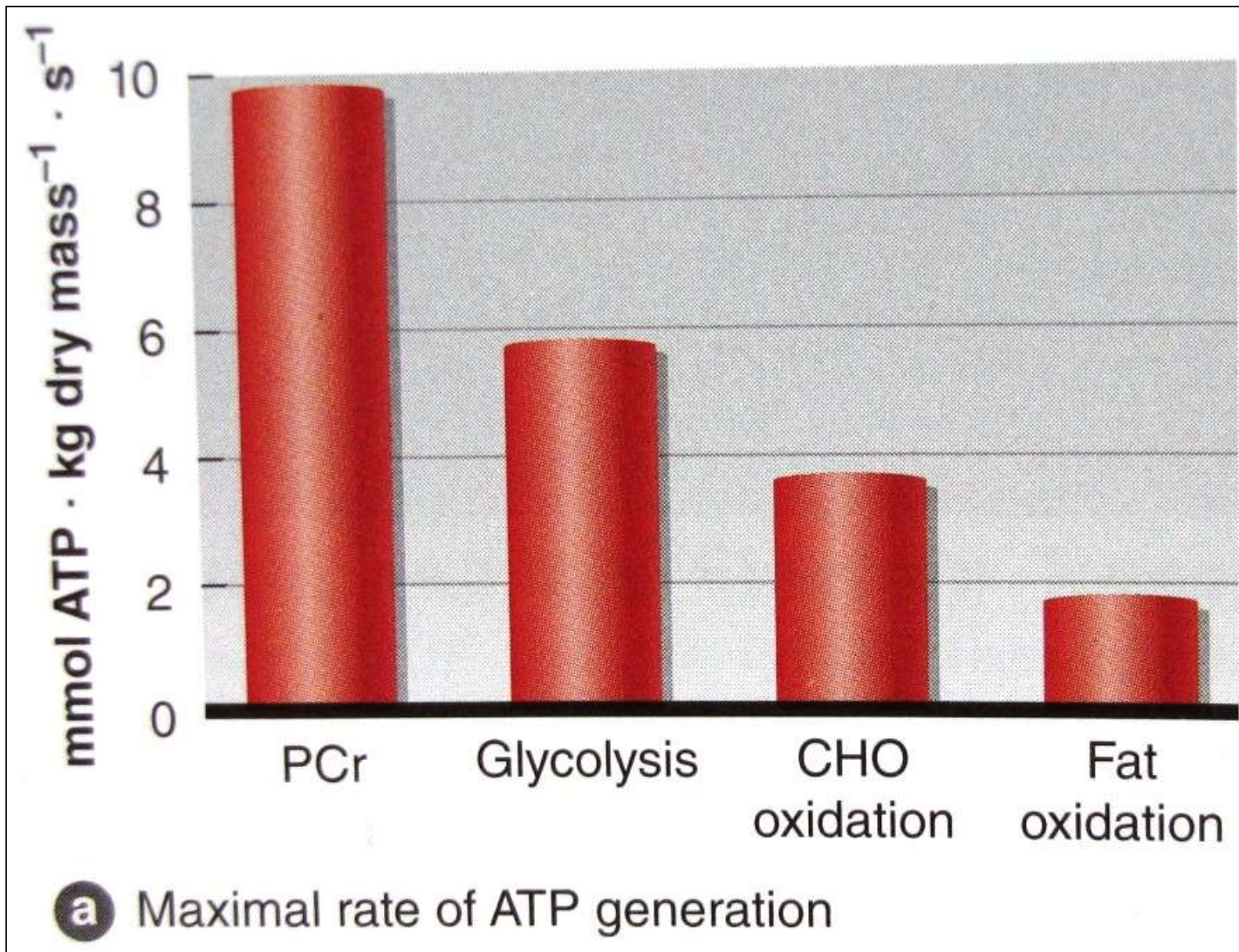


Relativní zastoupení anaerobního a aerobního krytí energie

Doba maximálního zatížení (s)	% anaerobní	% aerobní
0-10	94	6
0-15	88	12
0-20	82	18
0-30	73	27
0-45	63	37
0-60	55	45
0-75	49	51
0-90	44	56
0-120	37	63
0-180	27	73
0-240	21	79

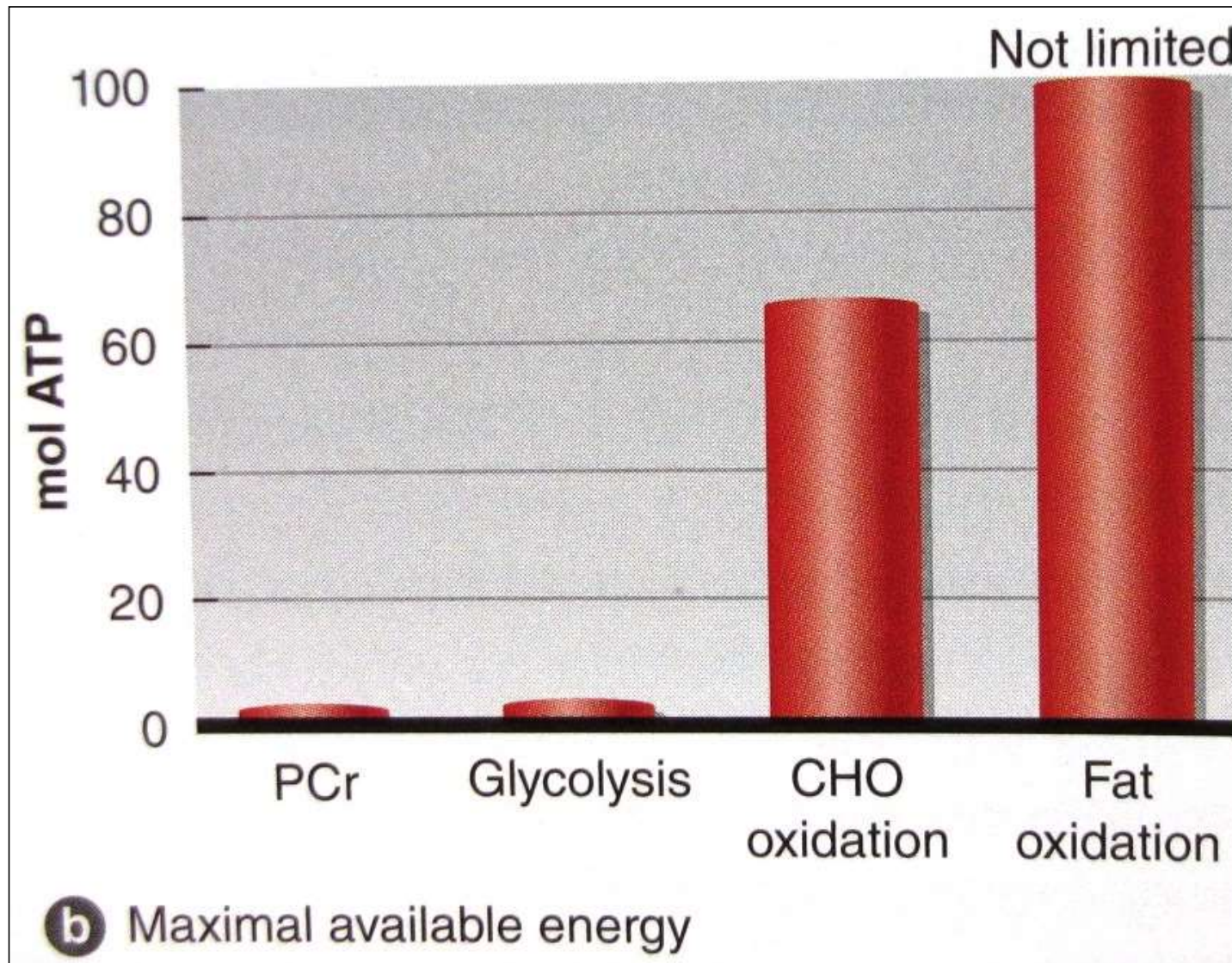






Kenney, W. L., et al. (2012). Physiology of Sport and Exercise (5th ed.). Champaign (IL): Human Kinetics.

Doc. PhDr. Lukáš Cipryan, Ph.D.



Kenney, W. L., et al. (2012). Physiology of Sport and Exercise (5th ed.). Champaign (IL): Human Kinetics.

TABLE 2.3 Characteristics of the Various Energy Supply Systems

Energy system	Oxygen necessary?	Overall chemical reaction	Relative rate of ATP formed per second	ATP formed per molecule of substrate	Available capacity
ATP-PCr	No	PCr to Cr	10	1	<15 s
Glycolysis	No	Glucose or glycogen to lactate	5	2-3	~1 min
Oxidative (from carbohydrate)	Yes	Glucose or glycogen to CO ₂ and H ₂ O	2.5	36-39*	~90 min
Oxidative (from fat)	Yes	FFA or triglycerides to CO ₂ and H ₂ O	1.5	>100	days

*Production of 36-39 ATP per molecule of carbohydrate excludes energy cost of transport through membranes. The net production is slightly lower (see text).

Kenney, W. L., et al. (2012). Physiology of Sport and Exercise (5th ed.). Champaign (IL): Human Kinetics.

Zdroje:

- KENNEY, W. L., WILMORE, J. H., COSTILL, D. L., *Physiology of Sport and Exercise*. 7. vyd. Champaign: Human Kinetics, 2020. ISBN 978-1-4925-7229-9.
- Rokyta et al. (2015). *Fyziologie a patologická fyziologie pro klinickou praxi*. Praha: GRADA Publishing.
- Silbernagl, S., & Despopoulos, A. (1993). *Atlas fyziologie člověka*. Praha: Grada Avicenum
- Koolman, J., Klaus-Heinrich, R.(2012). *Barevný atlas biochemie* (Překlad 4. vydání). Praha: Grada Publishing, a.s.
- Ganong, W. F. (2005). *Přehled lékařské fyziologie*. Praha: Galén.
- Matouš, B. (2010). *Základy lékařské chemie a biochemie*. Praha: Galén.

Fyziologie únavy

Email: lukas.cipryan@osu.cz

Web: www.sportdefacto.cz

Twitter: [@LukasCipryan](https://twitter.com/LukasCipryan)

Klíčová slova:

- periferní únava
- centrální únava
- kreatin fosfát (PCr)
- adenosintrifosfát (ATP)
- glykogen
- hladěák
- hypoglykémie
- typy svalových vláken
- glykogenolýza
- glykolýza
- oxidace tuků
- oxidace sacharidů
- aerobní fosforylace
- anorganický fosfát
- teplo
- laktát
- laktátový mezibuněčný člunek
- glukoneogeneze
- vodíkové ionty (H⁺)
- metabolická acidóza
- pufry
- teorie centrálního regulátora
- akutní svalová bolest
- opožděná svalová bolest
- svalová křeč

Klíčové otázky:

- Jak definujeme ve fyziologii zátěže únavu?
- Jak souvisí únava s funkcí jednotlivých energetických systémů?
- Co je to laktát, jak vzniká a jak souvisí s únavou při zatížení?
- Vysvětli pojem laktátový mezibuněčný člunek.
- Vysvětli, jak může být laktát využit jako zdroj energie.
- Který energetický systém dodává nejvíce energie a který energetický systém dodává energii nejrychleji?
- Jak ovlivňují vedlejší produkty metabolismu vznik únavy?
- Co znamená pojem metabolická acidóza? Vysvětli, jak souvisí s únavou.
- Jaké je fyziologické vysvětlení nervosvalové únavy?
- Popiš pravděpodobné příčiny únavy při zatížení trvajícím 15 až 30 s.
- Popiš pravděpodobné příčiny únavy při zatížení trvajícím 2 až 4 h.
- Jaké je fyziologické vysvětlení akutní svalové bolesti při nebo po zatížení?
- Jaké je fyziologické vysvětlení opožděné svalové bolesti po zatížení?
- Jaká jsou fyziologická vysvětlení příčin svalových křečí při a po zatížení?

Únava

= pokles svalového výkonu navzdory přetrvávajícímu úsilí pokračovat a výskyt doprovodných pocitů únavy

= neschopnost udržet požadovaný svalový výkon na konkrétní intenzitě zatížení

Únava

- složitý komplexní stav

Pravděpodobné příčiny:

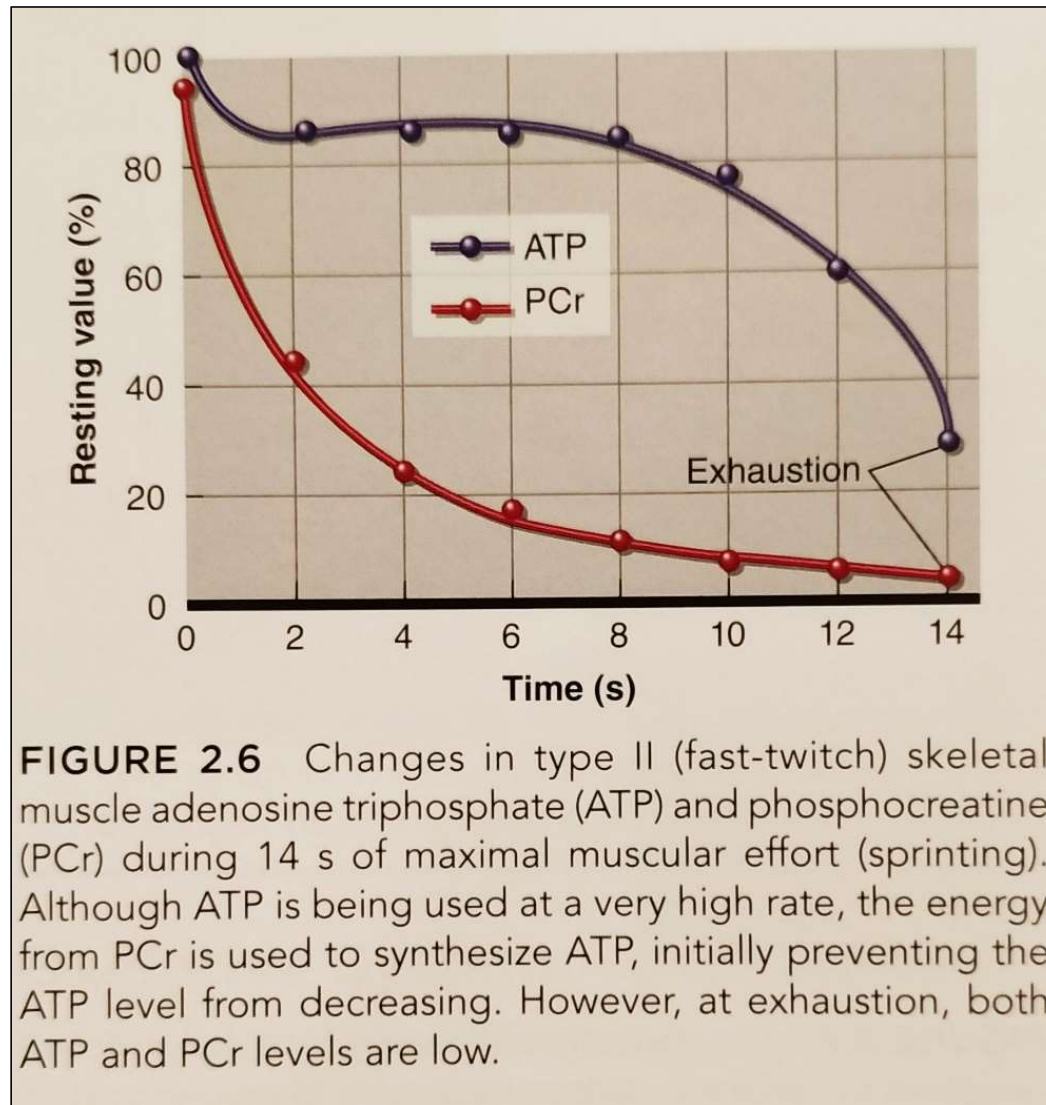
- 1. pokles dodávky energie**
- 2. kumulace vedlejších produktů metabolismu (laktát, H⁺)**
- 3. porucha kontraktálních mechanismů svalových vláken**
- 4. změny v nervovém řízení svalové kontrakce**

- periferní a centrální únava

1. Energetické systémy a únava

Vyčerpání kreatin fosfátu (PCr)

- **vyčerpání PCr během opakovaných maximálních svalových kontrakcí je asociováno s únavou**
- ATP bývá vyčerpáno méně než PCr – obnova ATP i z jiných zdrojů
- **při vyčerpání PCr klesá schopnost rychle obnovit ATP**



Kenney et al. (2020)

1. Energetické systémy a únava

Vyčerpání glykogenu

- svalový glykogen je důležitý pro obnovu ATP při svalovém výkonu trvajícím více než několik sekund
- **glykogenové zásoby mohou být rychle vyčerpány** → únava při delším zatížení
 - „hitting the wall“, „hladák“ – hypoglykémie, >60-90 min ve vysoké intenzitě

1. Energetické systémy a únava

Vyčerpání glykogenu

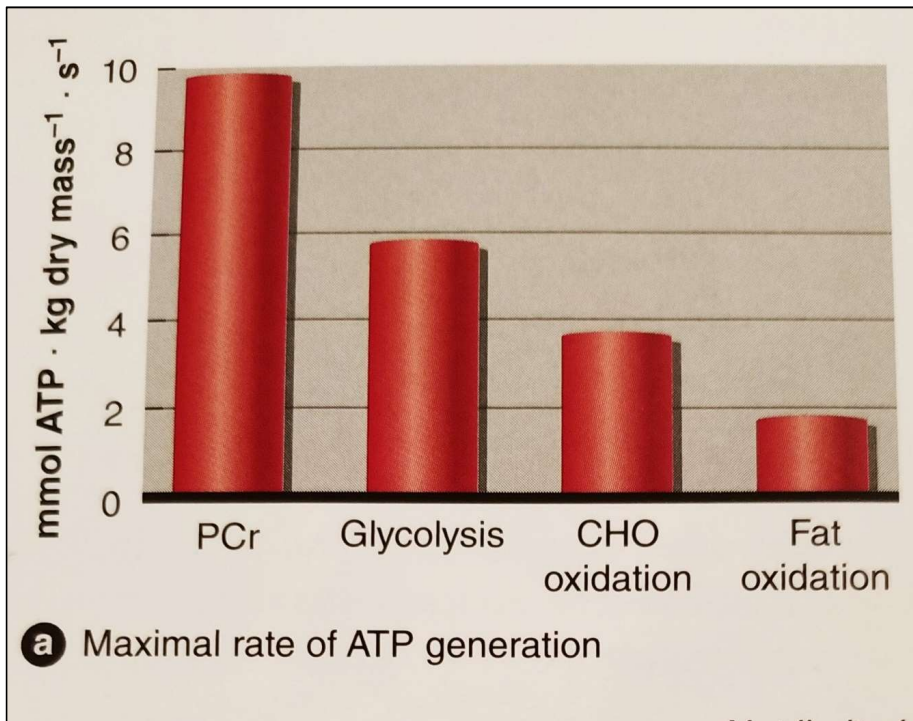
- **glykogen vyčerpán pouze v aktivních svalových vláknech** – závisí na zapojení (sv. vlákna I. typu zapojována nejdříve)
- schéma zapojení typu sv. vláken s rostoucí IZ: **I. → IIa → IIx**
- **glykogen vyčerpán více v aktivních svalových skupinách**
např. rozdíl v běhu po rovině, do kopce (větší zapojení m. vastus lateralis a gastrocnemius) a z kopce (m. soleus)

1. Energetické systémy a únava

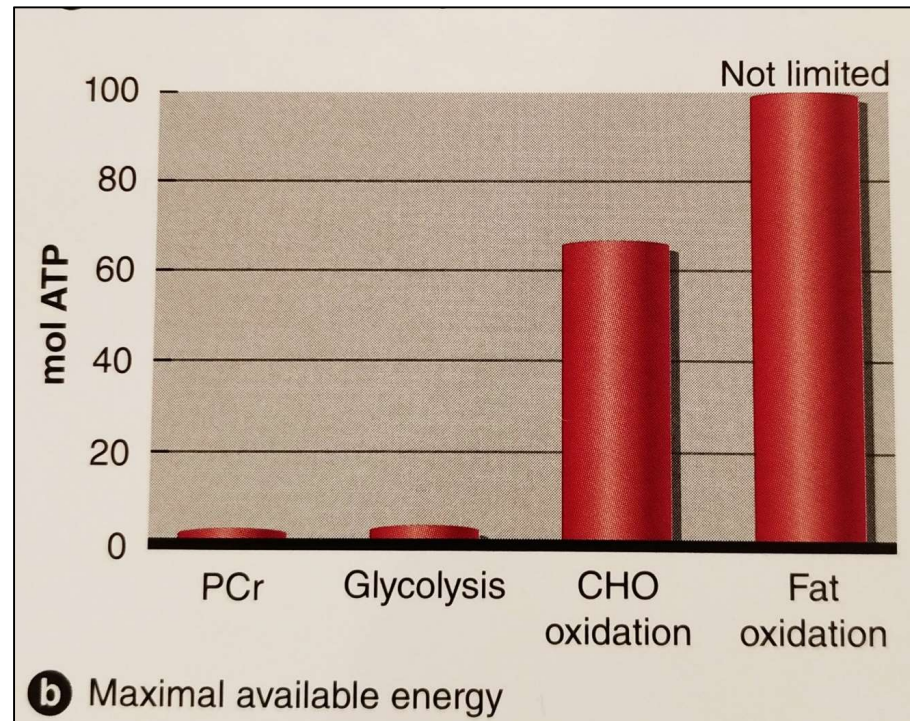
Vyčerpání glykogenu

- svalový glykogen je nedostatečný pro zatížení trvající několik hodin
→ doplnění glukózou z krve
- glykogenolýza v játrech – nabývá na významu především v pozdějších fázích zatížení
- možné vyčerpání (*viz výše*)

Energetické systémy a únava



Vysvětlivky: CHO - sacharidy



Kenney et al. (2020)

Vedlejší produkty metabolismu a únava

Anorganický fosfát (P_i)

- uvolňuje se při rozkladu ATP a PCr → $\nearrow P_i$ při intenzivní a krátké svalové činnosti
- přímo narušuje kontraktilní funkce myofibril
- redukuje uvolňování Ca^{2+} ze sarkoplazmatického retikula
- tlumí rozklad ATP

Vedlejší produkty metabolismu a únava

Teplo a teplota svalu

- zatížení v horku - ↗ **využití sacharidů, tzn. větší riziko jejich vyčerpání**
- **vysoká teplota svalu oslabuje jeho funkci a metabolismus**
- cílené ochlazení svalů před zatížením v horku oddaluje únavu (a naopak)

Vedlejší produkty metabolismu a únava

Laktát

- laktát jako preferovaný zdroj energie (glukoneogeneze)
- laktátový mezibuněčný člunek
- zvýšené koncentrace pouze u vysoce intenzivní a krátké svalové práce

Vedlejší produkty metabolismu a únava

Vodíkové ionty (H^+)

- **svalová acidóza**

(pokles pH z klidových 7.1 až na 6.4 po vyčerpávající vysoce intenzivní svalové práci)

- **pufrovací systémy** (např. HCO_3^- v krvi)
- **pokles pH pod 6.9 → inhibice glykolytických enzymů → zpomalení glykolýzy a produkce ATP (při pH 6.4 úplné zastavení glykolýzy)**
- H^+ snižují vyplavení Ca^{2+} ze sarkoplazmatického retikula a citlivost myofibril na Ca^{2+} → pokles síly a rychlosti svalové kontrakce
- **pravděpodobná hlavní příčina únavy při „all-out“ zatížení trvajícím 20-30 s**

Nervosvalová únava

- **neschopnost aktivovat svalová vlákna**
- **změny na nervosvalové ploténce (redukce syntézy a uvolňování Ach)**
- **teorie centrálního regulátora – ochrana před poškozením**

Akutní svalová bolest

- **způsobena zakyslením (H^+) a/nebo otokem** (natažení tekutiny do intersticia a intracelulárně)
- během několika hodin po zatížení vymizí

Opožděná svalová bolest

- **vyskytuje se 1-2 dny po těžkém zatížení, zejména po excentrickém svalovém výkonu**
- **strukturální poškození (mikrotraumata) svalových vláken a okolních tkání → zánět a otok + svalový spasmus**

Svalové křeče

- **teorie nervosvalové kontroly** (změny v nervosvalovém řízení)
- **teorie vyčerpání elektrolytů** (nerovnováha minerálních látek a tekutin) – často při zatížení v horku (nadměrné pocení, zejména ztráty Na⁺ a Cl⁻)

Zdroje:

- KENNEY, W. L., WILMORE, J. H., COSTILL, D. L., *Physiology of Sport and Exercise*. 7. vyd. Champaign: Human Kinetics, 2020. ISBN 978-1-4925-7229-9.

Hormonální systém během zatížení

Email: lukas.cipryan@osu.cz

Web: www.sportdefacto.cz

Twitter: [@LukasCipryan](https://twitter.com/LukasCipryan)

Klíčová slova:

- adrenalin
- aldosteron
- antidiuretický hormon
- autokrinní působení
- katecholaminy
- kortizol
- cyklický adenosin monofosfát (cAMP)
- přímá genetická aktivace
- snížení senzitivity („*downregulation*“)
- erythropoetin
- diabetes mellitus
- glukagon
- glukokortikoidy
- růstový hormon
- hemokoncentrace
- hemodiluce
- hormon
- hyperglykémie
- hypoglykémie
- inhibiční faktory
- inzulín
- inzulínová rezistence
- inzulínová senzitivita
- mineralokortikoidy
- nestereoidní hormony
- osmolalita
- prostaglandiny
- uvolňující faktory
- renin
- renin-angiotensin-aldosteronový mechanismus
- druhý posel
- steroidní hormony
- cílové buňky
- tyreotropin (TSH)
- tyroxin (T₄)
- trijodtyronin (T₃)
- zvýšení senzitivity („*upregulation*“)

Klíčové otázky:

- Co je to endokrinní žláza a jaké jsou funkce hormonů?
- Vysvětli rozdíl mezi steroidními a nesteroidními hormony v kontextu jejich působení na cílovou buňku.
- Jak hormony dosahují svých specifických cílů, když se dostávají krví k téměř všem tkáním?
- Co ovlivňuje plazmatickou koncentraci hormonů? Co ovlivňuje jejich efektivitu v cílových buňkách?
- Definuj pojmy stimulace a inhibice. Jak se stávají buňky více nebo méně senzitivní na konkrétní hormony?
- Co je to druhý posel a jakou úlohu sehrává v hormonální kontrole buněčné funkce?
- Vyjmenuj hlavní endokrinní žlázy, jejich hormony, a specifický efekt těchto hormonů.
- Co je to inzulínová rezistence a jaký je rozdíl mezi diabetem mellitus 1. a 2. typu?
- Které hlavní hormony se významně uplatňují během zatížení?
- Které hormony regulují metabolismus během zatížení? Jak ovlivňují dostupnost sacharidů a lipidů pro energetické krytí svalové práce trvající několik hodin?
- Vysvětli, jak centrální nervový systém pomáhá koordinovat regulaci metabolismu glukózy a hormonů, které jsou v tomto zapojeny.
- Popiš hormonální regulaci vodního hospodaření během zatížení.

Endokrinní systém

- neuroendokrinní systém
- žlázy (a tkáně) s vnitřní sekrecí
- **hormony = chemické látky, které kontrolují a regulují aktivitu konkrétních buněk a orgánů**
- **hormon → krev → cílová buňka, tj. buňka mající receptor na příslušný hormon**

Chemická klasifikace hormonů

Steroidní hormony

- rozpustné v tucích, procházejí buněčnou membránou, váží se na receptory uvnitř buňky a dále aktivují tvorbu proteinů („přímá genetická aktivace“)
- testosteron, estrogen, progesteron, kortizol, aldosteron

Nesteroidní hormony

- nerozpustné v tucích, váží se na receptory na povrchu buňky a aktivují „druhého posla“ (např. cAMP, Ca²⁺), který:
 - aktivuje buněčné enzymy,
 - mění propustnost membrány,
 - stimuluje syntézu proteinů,
 - mění buněčný metabolismus,
 - stimuluje buněčnou sekreci
- T₃, T₄, katecholaminy

Sekrece hormonů

- **negativní zpětná vazba**

Uvolňování:

- **pravidelné „pulzní“** (např. denní nebo měsíční rytmy)
 - **stresové** (např. při zatížení)
-
- zvyšování („**upregulation**“) a snižování („**downregulation**“) citlivosti buněk na hormon

Hypotalamo-hypofyzární systém

Hypotalamus +

Adenohypofýza (přední lalok hypofýzy) +

Neurohypofýza (zadní lalok hypofýzy)

HYPOTALAMUS

- produkuje hormony (liberiny a statiny), které v **adenohypofýze** uvolňují další hormony nebo tyto hormony inhibují
- produkuje ADH a oxytocin (tyto hormony jsou transportovány do **neurohypofýzy**)

NEUROHYPOFÝZA

Antidiuretický hormon (ADH, vazopresin)

- cílový orgán - ledviny
- zvyšuje **zpětnou resorpci vody** v ledvinách - reakce na vzestup osmolality (zároveň vyvolá pocit žízně)
- **zvyšuje TK** – vazokonstrikce + zvýšení objemu ECT
- inaktivace v játrech a ledvinách (biologický poločas asi 18 min)

NEUROHYPOFÝZA

Antidiuretický hormon (ADH, vazopresin)

- **↑ sekrece:** ↑ osmotického tlaku plazmy, ↓ objemu ECT, bolest, emoce, fyzická námaha, nauzea a zvracení, angiotenzin II
- **↓ sekrece:** ↓ osmotického tlaku plazmy, ↑ objemu ECT, alkohol
- nedostatek ADH nebo snížená senzitivita ledvin na ADH → **diabetes insipidus** (příznaky - polyurie, polydipsie)

NEUROHYPOFÝZA

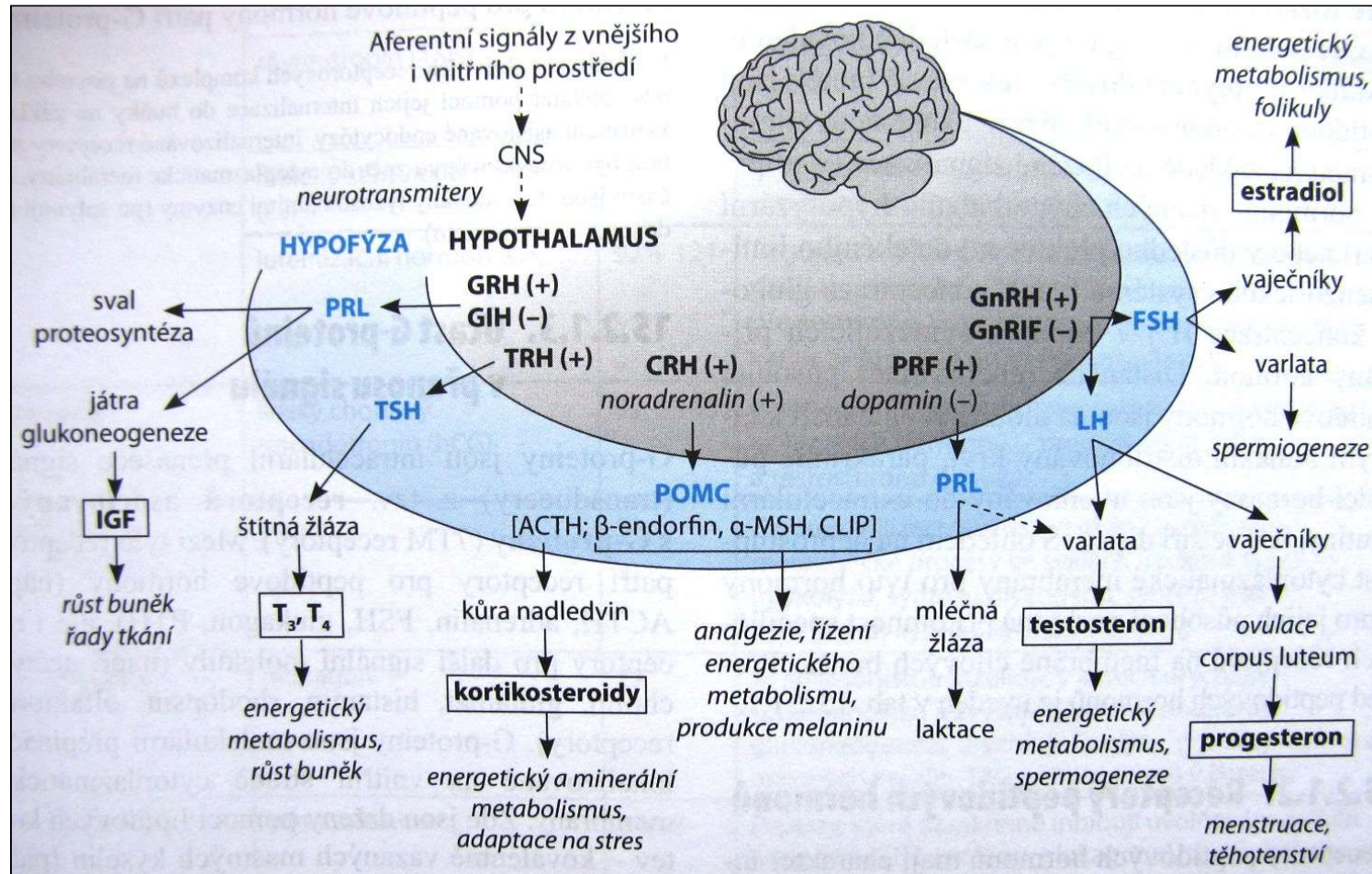
Oxytocin

- **cílovou tkání je hladká svalovina dělohy a prsní žlázy**
- uvolňuje se při stimulaci prsu, dělohy a genitálu
- **napomáhá vypuzování mléka při kojení**
- **vyvolává děložní stahy při porodu**, v netěhotné děloze může pravděpodobně usnadňovat transport spermatu
- sekrece se zvyšuje při stresu, snižuje působením alkoholu

ADENOHYPOFÝZA

1. **Adrenokortikotropin** (ACTH, kortikotropin) – kontroluje činnost kůry nadledvin
2. **Tyreotropin** (TSH) – řídí činnost štítné žlázy, tj. kontrola produkce a uvolňování T_3 a T_4
3. **Folitropin** (FSH) a **lutropin** (LH) – gonadotropiny řídící pohlavní žlázy (vaječníky a varlata)
4. **Somatotropin** (STH, růstový hormon) – působí na všechny buňky těla; ↗ syntézu proteinů (růst svalové hmoty), ↗ mobilizaci tuků a jejich využití jako zdroje energie, ↘ využití sacharidů
5. **Prolaktin** (PRL) – stimuluje laktaci po porodu

Hypothalamo-hypofyzární regulace syntézy hormonů



Matouš, B. (2010). Základy lékařské chemie a biochemie. Praha: Galén.

ŠTÍTNÁ ŽLÁZA

(glandula thyroidea)

Tyroxin (T_4) a trijodtyronin (T_3)

- cílové buňky – všechny
- T_4 – prohormon, T_3 – aktivní hormon
- T_3 působí rychleji a 3-5 x účinněji než T_4 (biologický poločas 6-7 dní)
- tvorba závislá na **přívodu jódu** potravou nebo vodou

ŠTÍTNÁ ŽLÁZA

Účinky T_3 a T_4 :

- **metabolické (zvyšují přeměnu látek a spotřebu kyslíku)**
 - v tukové tkáni stimulují lipolýzu, ve svalu proteinokatabolismus, zrychlují resorpci sacharidů ve střevě, stimulují tvorbu receptorů LDL v játrech (snižují hladinu CH v krvi),
- **zvyšují termogenezi,**
- **podporují růst a vývoj** (hlavně mozku a kostí),
- **zvyšují činnost srdce** (chronotropní a inotropní účinek).

ŠTÍTNÁ ŽLÁZA

Hypothyreóza

- zimomřivost, struma, spavost, slabost
- athyreóza – snížení BMR o 40 %, řídnutí a hrubnutí vlasů, suchá a nažloutlá kůže, chraptivý hlas, pomalá řeč, zpomalení duševních pochodů, poruchy paměti, zvýšení hladiny CH

Hypertyreóza

- Gravesova-Basedowova choroba (autoimunitní onemocnění – protilátky proti receptoru pro TSH)
- zvýšení BMR o 10-100 %, nervozita, poruchy spánku, pokles hmotnosti, hyperfagie, hypertermie, tachykardie, třes, exoftalmus

Metabolismus vápníku

- **Ca** se podílí na tělesné hmotnosti 2 %, z toho 99 % je v kostech a zubech, 1 % je rozpuštěno v tělních tekutinách (**důležitý druhý posel, nezbytný pro srážení krve, svalovou kontrakci a funkci nervů**)
- s metabolismem Ca úzce souvisí metabolismus fosfátů
- **kalciovou homeostázu řídí 3 hormony:**
 - parathormon, kalcitonin a vitamin D
- **vliv ve 3 orgánech:**
 - ve střevě, v ledvinách a v kostech

Hospodaření kalcíem a fosfáty

	Kalcitonin	Parathormon	Kalcitriol	Kortizol
Kalcemie	↓	↑	↓↑	↓↑
Resorpce kosti	↓	↑	↓↑	↑
Resorpce Ca ²⁺ v ledvinách	-	↑	-	-
Resorpce Ca ²⁺ ve střevě	-	Nepřímo ↑	↑ (+ fosfáty)	↓

upraveno dle Rokyta et al. (2015)

ŠTÍTNÁ ŽLÁZA

Kalcitonin

- cílové buňky – kosti, receptory i v ledvinách
- tvořen v parafolikulárních buňkách, biologický poločas maximálně 10 min
- sekrece při zvýšení kalcemie
- **brání odbourávání kostí a snižuje hladinu vápníku a fosfátu v krvi, zvyšuje exkreci Ca^{2+} močí**

PŘÍŠTÍTNÁ TĚLÍSKA

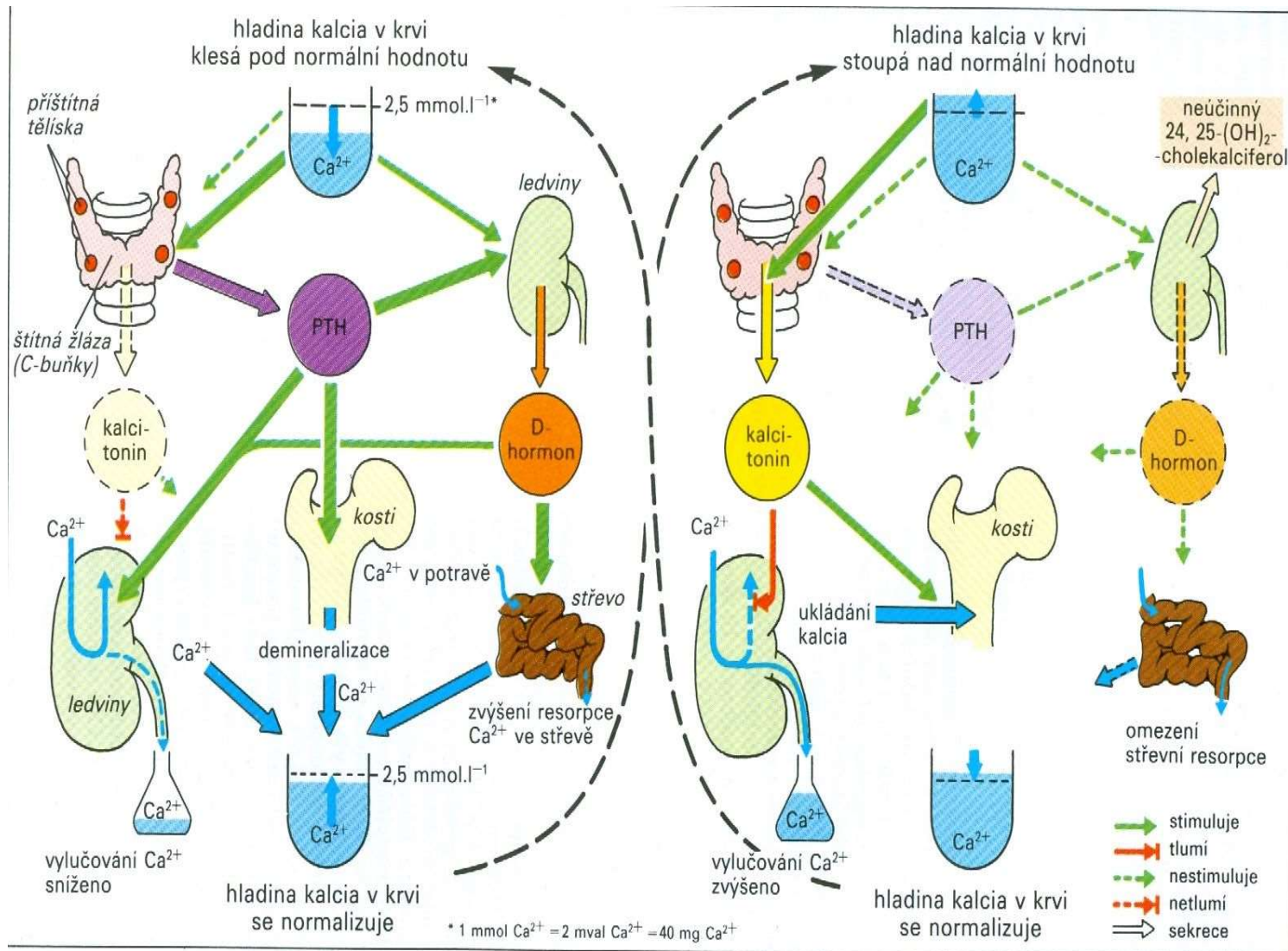
(glandula parathyroidea)

Parathormon (PTH)

- **zvyšuje kalcemii:**
 1. uvolňováním Ca^{2+} z kostí
 2. snižováním vylučování Ca^{2+} (zvyšuje reabsorpci) a zvyšuje vylučování fosfátů ledvinami
 3. zvyšováním absorpce Ca^{2+} a fosfátů ze střeva
- je regulován jednoduchou zpětnou vazbou
- biologický poločas asi 10 min

Vitamin D₃ (cholecalciferol)

- vzniká v kůži při působení ultrafialového světla na některé provitaminy; je také přijímán v potravě
- v játrech se vitamin D konvertuje na kalcidiol a ten dále v ledvinách na účinnější **kalcitriol** (1,25-dihydroxycholecalciferol)
- vitamin D₃ a jeho deriváty jsou steroidní hormony
- **zvyšuje resorpci Ca²⁺ ze střeva, usnadňuje zpětnou resorpci Ca²⁺ v ledvinách, v kostech mobilizuje Ca²⁺ a fosfáty zvyšováním počtu zralých osteoklastů, stimuluje osteoblasty za účelem mobilizace Ca²⁺, má protizánětlivé účinky**



Silbernagl, S., & Despopoulos, A. (1993). *Atlas fyziologie člověka*. Praha: Grada Avicenum.

NADLEDVINY

(glandula suprarenalis)

- **KŮRA NADLEDVIN:**

mineralokortikoidy, glukokortikoidy, androgeny

- **DŘEŇ NADLEDVIN:**

katecholaminy

KŮRA NADLEDVIN

- sekrece **steroidních hormonů** (deriváty CH)
- **primárně řízena ACTH z adenohypofýzy**, dále také angiotenzin II (mineralokortikoidy)
- rozdělení do 3 zón:
 1. zona glomerulosa – **mineralokortikoidy**
 2. zona fasciculata – **glukokortikoidy**
 3. zona reticularis – **androgeny**

KŮRA NADLEDVIN

Aldosteron (mineralokortikoid)

- **udržuje normální hladinu Na^+ a K^+ v krvi** – zvyšuje zpětnou resorpci Na^+ a exkreci K^+ v ledvinách
- **udržuje objem ECT**
- **regulace sekrece:**
 1. renin-angiotenzinový systém
 2. ACTH z adenohipofýzy

KŮRA NADLEDVIN

Kortizol (glukokortikoid)

- v cílových tkáních vyvolává buď **stimulační** (játra) nebo **inhibiční** (lymfatická tkáň) **reakce**
- sekrece:
 1. **epizodická** (pulzní)
 2. **cirkadiánní** (vrchol ráno – „*kortizolový budík*“)
 3. **stresová** (hypersekrece ACTH – neuplatňuje se zpětná vazba)

Kortizol

1. Metabolické účinky

- a) **v játrech zvyšuje glukoneogenezi** a potencuje účinek glukagonu a katecholaminů,
- b) **zvyšuje tvorbu glykogenu v játrech** (glykogenogeneze),
- c) **snižuje utilizaci glukózy ve svalech a v tukové tkáni** (šetří glukózu pro mozek),
- d) **zvyšuje lipolýzu** (do krve se vyplavují mastné kyseliny (přímý zdroj energie) a glycerol (substrát pro glukoneogenezi))
- e) nadbytek kortizolu vede k hyperglykémii (steroidní diabetes) a nedostatek k hypoglykémii (zastavení glukoneogeneze).

Kortizol

2. Proteinokatabolické účinky

- **inhibuje tvorbu proteinů a zrychluje jejich rozpad – zejména v pojivové tkáni (zpomalení hojení ran, strie, osteoporóza)**
- **v imunitním systému involuce, snížení počtu eozinofilních leukocytů a lymfocytů = snížená obranyschopnost vůči infekcím.**

Kortizol

3. Protizánětlivý účinek

- použití při léčbě specifických zánětů (např. revmatický zánět kloubů); neléčí se příčina, ale potlačuje se zánět
- podobně působí na zánětlivé projevy při alergických reakcích (inhibuje uvolnění histaminu) – **antialergický a imunosupresivní účinek**

KŮRA NADLEDVIN

Androgeny (dehydroepiandrosteron, androstendion)

- hormony s muskulizačními účinky (zejména testosteron z varlat; nadledvinové androgeny méně než 20% účinnost testosteronu)
- prekurzory testosteronu a estrogenu (významný zdroj estrogenů u mužů a po menopauze u žen)
- účinek – působí **proteoanabolicky** a kompenzují proteinokatabolický účinek kortizolu
- regulace sekrece – ACTH

DŘEŇ NADLEDVIN

- **aktivace dřeně nadledvin vyvolává takové změny, které vedou k přežití organismu za mimořádných podmínek**
- katecholaminy – **adrenalin (A) a noradrenalin (NA), dopamin**
- biologický poločas asi 2 min

Katecholaminy

Mechanismus účinku katecholaminů

- katecholaminy aktivují specifické receptory (**adrenoceptory**) na membránách srdečních, jaterních a jiných buněk

- **adrenoceptory** se dělí na 2 hlavní skupiny:

1. **Alfa-receptory**
2. **Beta-receptory**

Beta-adrenergně působí adrenalin převážně jako **metabolický hormon**, má také **pozitivně chronotropní** a **pozitivně inotropní** vliv na srdce.

Noradrenalin přes alfa-receptory převážně **reguluje oběh**.

DŘEŇ NADLEDVIN

Účinky katecholaminů:

- 1. kardiovaskulární,**
- 2. hladké svaly mimo cévy,**
- 3. metabolické.**

Katecholaminy

1. Kardiovaskulární účinky

- zvyšují dráždivost myokardu (β -receptory), zvyšují srdeční frekvenci (β -receptory), v cévách mohou vyvolávat vazokonstrikci (α -receptory) – zvýšení TK.

2. Účinky na hladké svaly

- např. relaxace svalů střeva (snižují peristaltiku), relaxace i konstrikce hladkých svalů močového měchýře a střevních sfinkterů.

3. Metabolické účinky

- zvyšování metabolismu a tvorby tepla, navozují glykogenolýzu v játrech a lipolýzu v tukové tkáni.

SLINIVKA BŘIŠNÍ

(pancreas)

- exokrinní část (80 %) a endokrinní část (2 %)
- Langerhansovy ostrůvky:
 - buňky A (alfa) (20 %) - **glukagon**,
 - buňky B (beta) (60-75 %) - **inzulín**,
 - buňky D (delta) - **somatostatin**,
 - buňky F - **pankreatický polypeptid**.

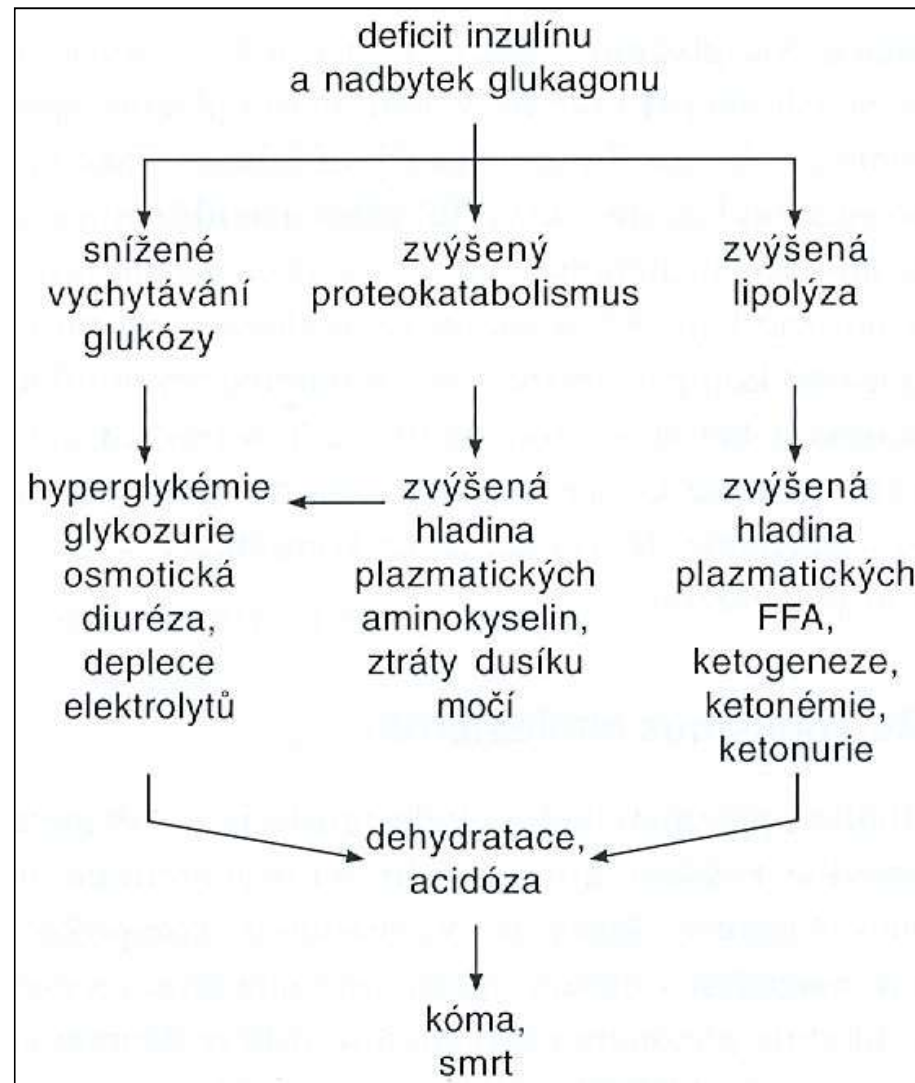
SLINIVKA BŘIŠNÍ

Inzulín

(biologický poločas asi 5 min)

- **rychlé účinky (s): zvyšuje transport GL, AK a K⁺ do buněk**
- **střední účinky (min): stimulace proteosyntézy, inhibice degradace proteinů, aktivace glykolytických enzymů a glykogensyntázy, inhibice fosforylázy a glukoneogenetických enzymů**
- **pozdní účinky (hod): zvýšení mRNA pro lipogenní a jiné enzymy**

Následky deficitu inzulínu



Ganong, W. F. (2005). Přehled lékařské fyziologie. Praha: Galén.

Inzulín

Inzulín působí na specifické receptory v játrech, svalech a tukové tkáni. Nadbytek inzulínu = zvýšená spotřeba receptorů (**inhibiční regulace – downregulation**) a naopak.

Diabetes mellitus I. (juvenilní, IDDM = „inzulin dependent DM“) – **poškození B buněk** autoimunním procesem – hypoinzulinémie + hyperglykémie.

Diabetes mellitus II. (stařecký, NIDDM = non-inzulin dependent DM“) – hyperinzulinémie (**nedostatek receptorů – inzulínová rezistence**) + hyperglykémie.

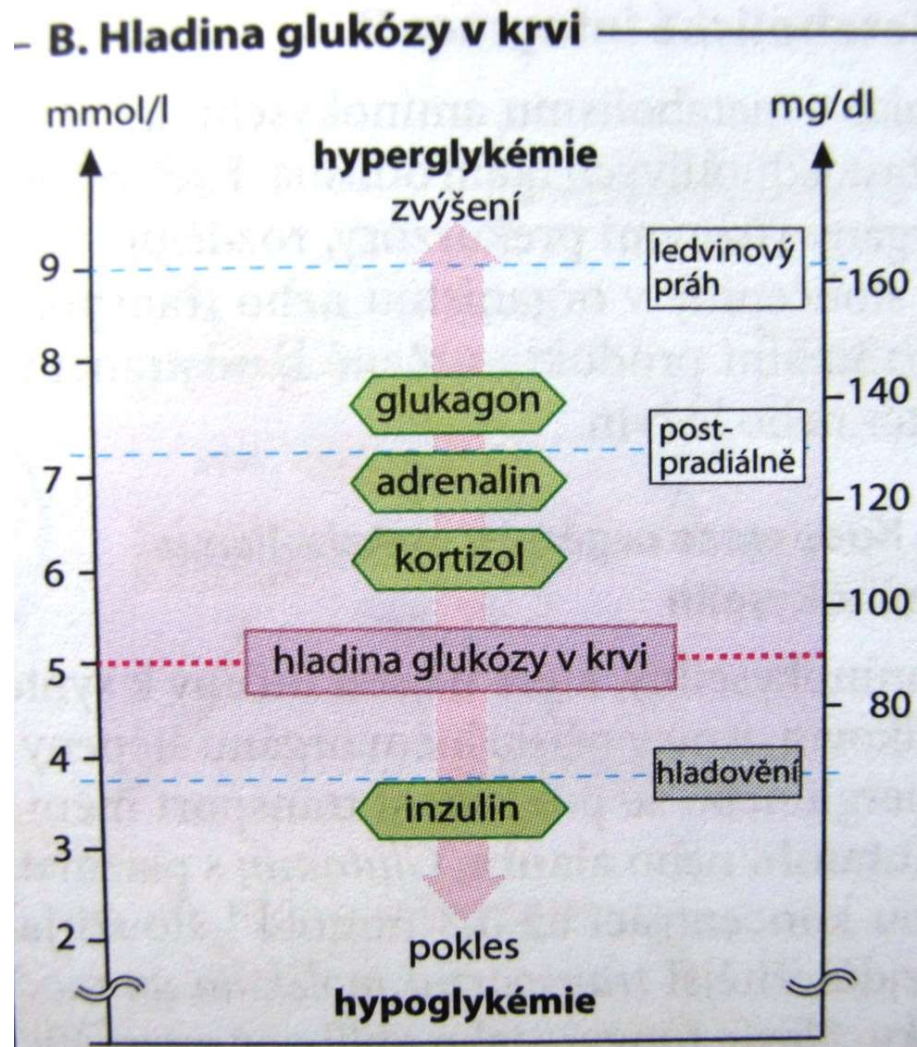
SLINIVKA BŘIŠNÍ

Glukagon

(biologický poločas 5-10 min)

- účinek:

- **zvyšuje glykogenolýzu v játrech (nikoli ve svalech),**
- **aktivuje glukoneogenezi,**
- **zvyšuje lipolýzu,**
- **způsobuje ketogenezi.**



Koolman, J., Klaus-Heinrich, R.(2012). *Barevný atlas biochemie* (Překlad 4. vydání). Praha: Grada Publishing, a.s.

SLINIVKA BŘIŠNÍ

Somatostatin

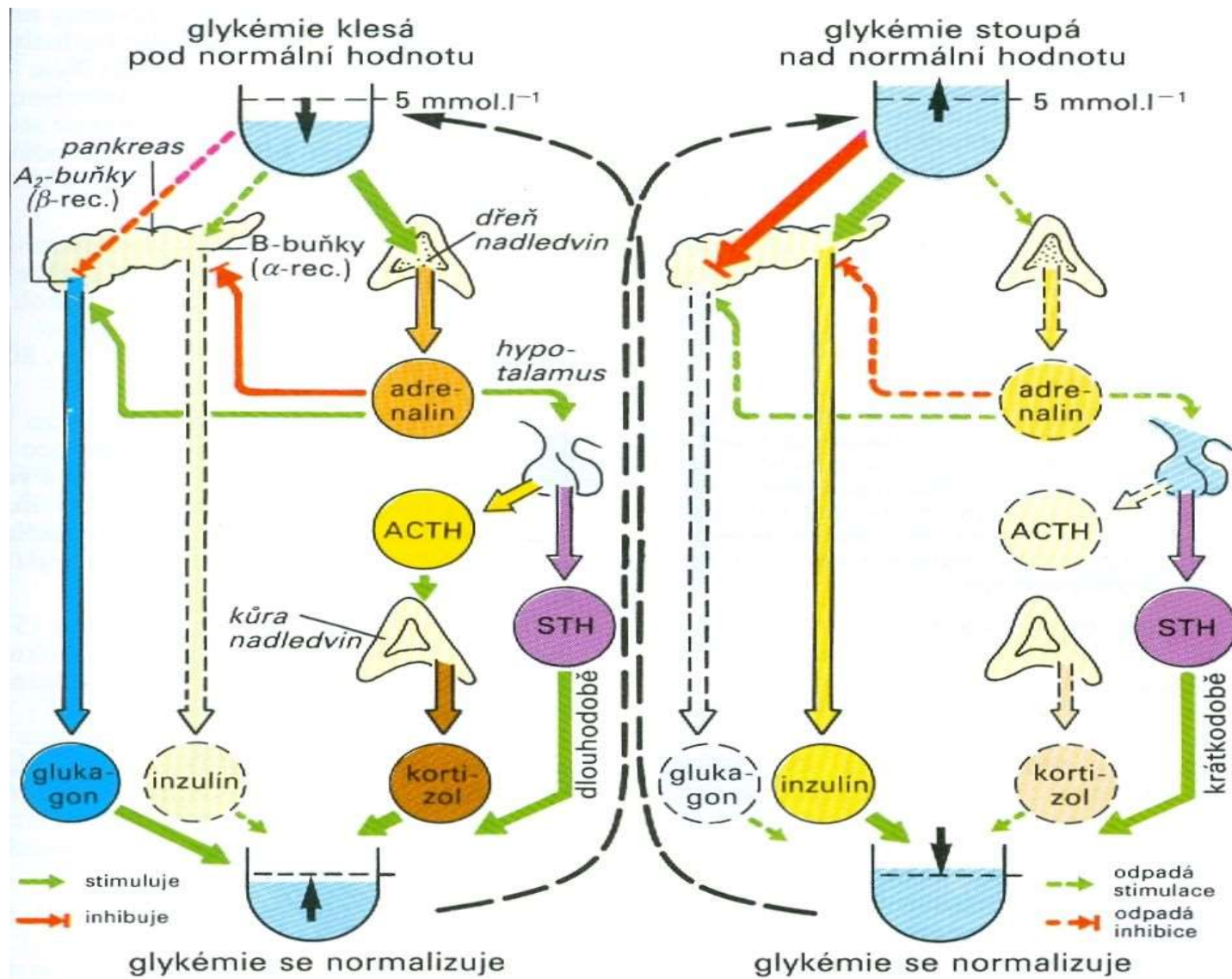
- **inhibuje sekreci inzulínu a glukagonu** přímo v Langerhansových ostrůvcích („šetří“ A a B buňky)

Pankreatický polypeptid (gastrin)

- zvyšuje sekreci žaludeční šťávy a motilitu žaludku

Shrnutí hlavních funkcí hormonů pankreatu:

1. ukládání přijatých živin v podobě GG a tuku do zásoby (inzulín)
2. zpětná mobilizace energetických rezerv během hladovění nebo při fyzické námaze, stresových situacích apod. (glukagon)
3. udržování glykémie na co nejkonstantnější hodnotě
4. stimulace růstu



ŠIŠINKA

(epifýza)

Melatonin

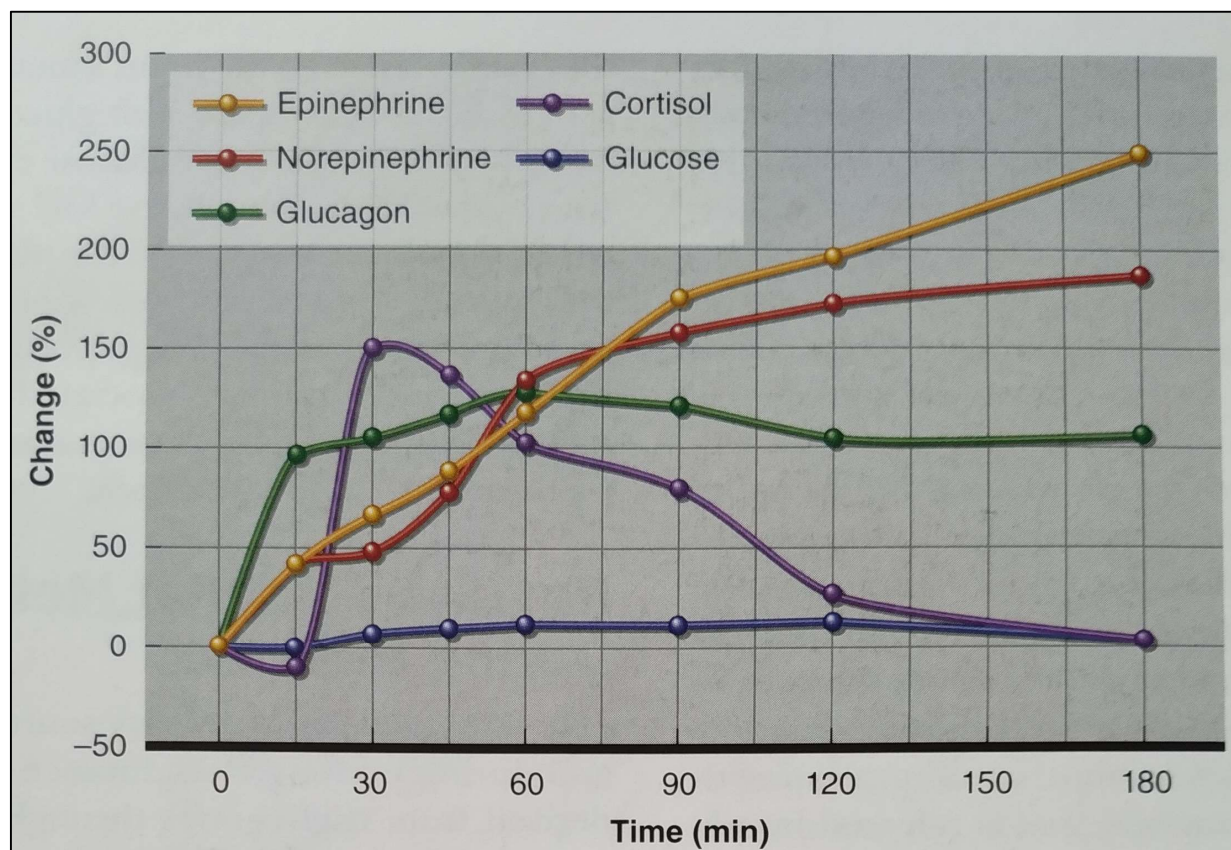
- sekrece se zvyšuje během noci
- **synchronizace vnitřních pochodů s denním světelným cyklem**
- podílí se na kvalitě spánku
- podporuje imunitní systém
- zpomaluje stárnutí
- působí jako antioxidant
- pozitivní účinek proti některým nádorům

Další tkáně, které produkují hormony:

- **ledviny** (erythropoetin, kalcitriol, renin)
- **tuková tkáň** (adipokiny, např. leptin a adiponektin)
- **játra** (somatomediny - „inzulin-like growth factors“ (IGF))
- **trávicí trakt** (např. cholecystokinin, ghrelin, gastrin)
- **srdce** (atriální natriuretický peptid)
- **endotel**

Hormonální řízení metabolismu během zatížení

- adenohipofýza, štítná žláza, nadledviny, pankreas



Kenney et al. (2020)

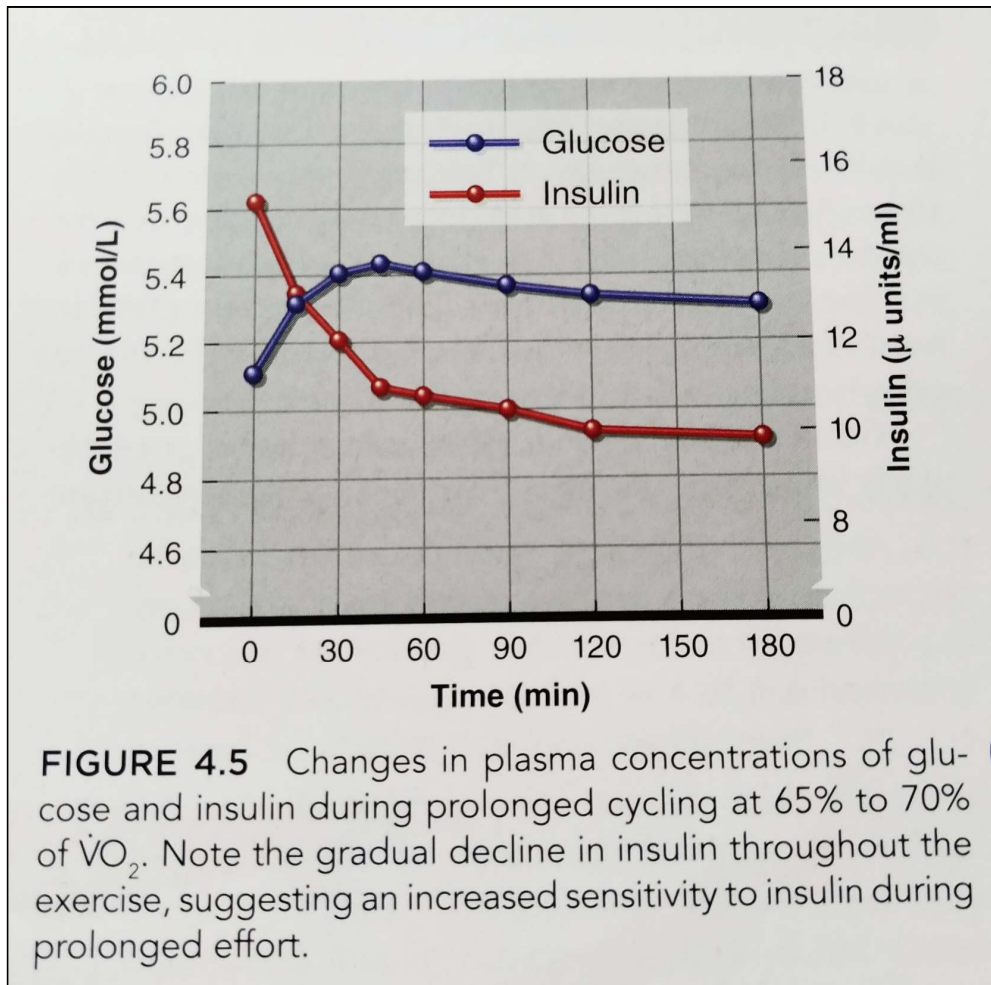
Regulace metabolismu sacharidů během zatížení

- zatížení → ↗ potřeba glukózy pro pracující svaly
 - **glykogenolýza v játrech a svalech + glukoneogeneze (laktát, AK, glycerol)**
- glykémie = rovnováha mezi uvolněním GL z jater do oběhu a příjmem GL do svalů
- **glukagon, adrenalin, noradrenalin, kortizol** (viz graf výše)
- **somatotropin** - ↗ mobilizaci FFA → méně GL potřeba ve svalech
- **T₃ a T₄** podporují katabolismus GL a metabolismus tuků

Regulace metabolismu sacharidů během zatížení

- uvolnění GL z jater – intenzita a trvání zatížení
 - ↗ **intenzita zatížení** ↗ **katecholaminy** ↗ **glykogenolýza v játrech a svaích**
- **při krátkém a intenzivním svalovém výkonu** může glykémie být 40-50% nad normální hodnotou
- **při zatížení trvajícím několik hodin** odpovídá uvolňování GL z jater potřebám svalů, glykémie může vzrůst pouze mírně
- **glukagon a kortizol - glukoneogeneze**

Regulace metabolismu sacharidů během zatížení



Kenney et al. (2020)

Regulace metabolismu tuků během zatížení

- intenzita lipolýzy kontrolována:
 - **pokles inzulínu**
 - **katecholaminy**
 - **kortizol**
 - **somatotropin**

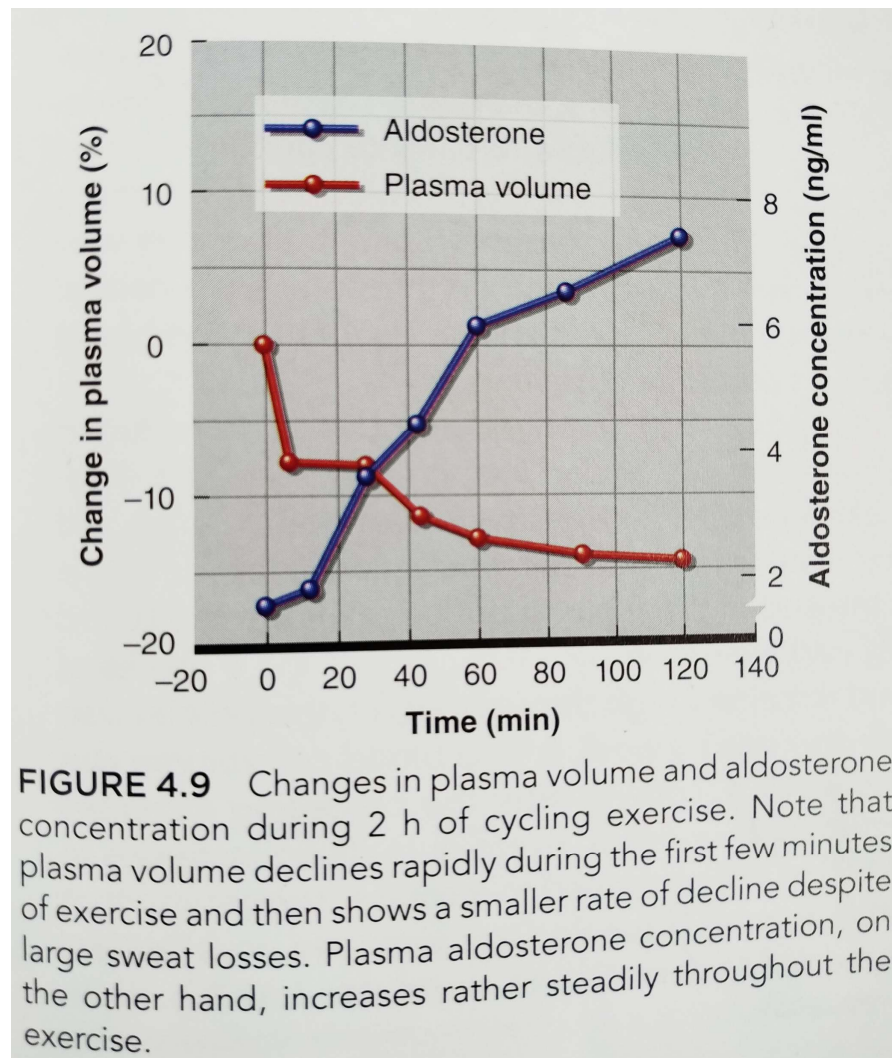
Regulace vodního hospodářství a elektrolytů

- přesun tekutin z oběhu do mezibuněčného a buněčného prostoru:
 - ↗ osmotický tlak
 - ↗ krevní tlak
 - ↗ pocení
- pokles objemu krevní plazmy až 5-10 %

Regulace vodního hospodářství a elektrolytů

- svalová aktivita a pocení → hemokoncentrace a ↗ osmolality
- **antidiuretický hormon (vazopressin) a aldosteron** – zpětná resorpce vody v ledvinách
- renin → angiotensin → aldosteron

- **vysoce náročné tréninkové období → dočasné ↗ plazmatického objemu → hemodiluce (↘ koncentrace hemoglobinu – pseudoanémie)**



Kenney et al. (2020)

Zdroje:

- KENNEY, W. L., WILMORE, J. H., COSTILL, D. L., *Physiology of Sport and Exercise. 7. vyd.* Champaign: Human Kinetics, 2020. ISBN 978-1-4925-7229-9.
- Rokyta et al. (2015). *Fyziologie a patologická fyziologie pro klinickou praxi.* Praha: GRADA Publishing.
- Silbernagl, S., & Despopoulos, A. (1993). *Atlas fyziologie člověka.* Praha: Grada Avicenum
- Koolman, J., Klaus-Heinrich, R.(2012). *Barevný atlas biochemie* (Překlad 4. vydání). Praha: Grada Publishing, a.s.
- Ganong, W. F. (2005). *Přehled lékařské fyziologie.* Praha: Galén.
- Matouš, B. (2010). *Základy lékařské chemie a biochemie.* Praha: Galén.

Imunitní systém

(+ poznámky k viru SARS-CoV-2)

Email: lukas.cipryan@osu.cz

Web: www.sportdefacto.cz

Twitter: [@LukasCipryan](https://twitter.com/LukasCipryan)

Klíčová slova:

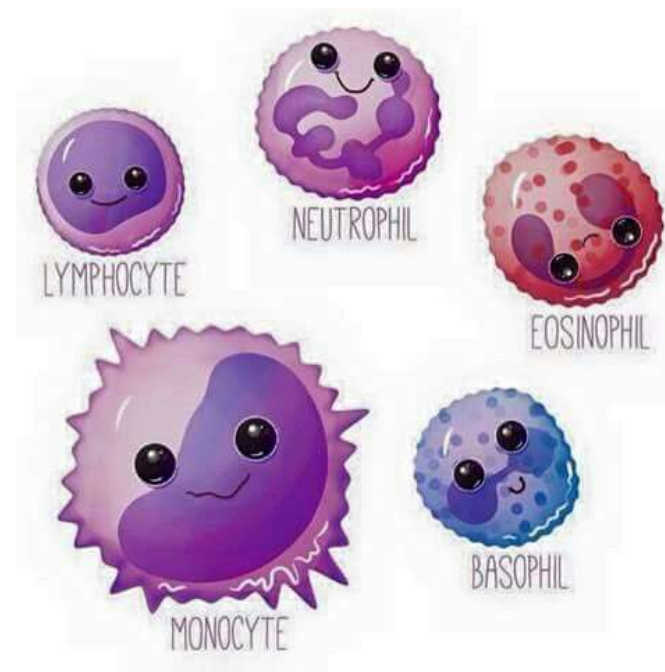
- leukocyty
- makrofágy
- granulocyty
- monocyty
- T-lymfocyty
- B-lymfocyty
- antigen
- autoimunní onemocnění
- imunologická tolerance
- adhezivita
- opsonizace
- nespecifická imunita
- specifická imunita
- fagocytóza
- komplement
- NK-buňky
- interferon
- záněť
- paměťové buňky
- plazmatické buňky
- cytokiny
- přirozená imunizace
- uměla imunizace
- alergie
- imunodeficiencie
- krevní skupiny
- aglutinace
- hemolýza
- Rh systém

Klíčové otázky:

- Definujte a charakterizujte základní typy bílých krvinek.
- K čemu nám slouží imunita a jaké jsou obecné kroky jejího fungování?
- Vysvětlete, jak funguje nespecifická imunita.
- Vysvětlete, jak funguje specifická imunita. Specifikujte humorální a buněčnou imunitu.
- Co je to přirozená a umělá imunizace?
- Jaké jsou základní druhy poruch imunity?
- Jak souvisí s imunitou rozeznávání krevních skupin?
- Kdo může být považován za univerzálního dárce a univerzálního příjemce krve?

Bílé krvinky (leukocyty)

- společnou vlastností je pohyblivost a schopnost přilnout k různým povrchům - **adhezivita**
- $4-9 \times 10^9$ / L krve



Rozdělení leukocytů:

- 1. Neutrofilní granulocyty** (50-70 % všech leukocytů) - fagocytóza, nejdůležitější nástroj nespecifické imunity
- 2. Eozinofilní granulocyty** (1-4 %) – hlavní úloha při alergických a parazitárních onemocnění
- 3. Bazofilní granulocyty** (0,4 %) - při alergických reakcích způsobují lokální cévní a tkáňové reakce (vazodilatace, zvýšení permeability cév - obsahují heparin a histamin)

Rozdělení leukocytů:

- 4. Monocyty** (2-8 %) - největší krvinky, součást mononukleárního fagocytárního systému, v krvi asi 72 h a potom jako tkáňové makrofágy
- 5. Lymfocyty** (20-40 %) - v krvi, lymfě a lymfatických tkáních, efektorové buňky specifické imunity, T- a B-buňky

Imunita

- **ochrana před patogeny** (mikroorganismy, cizí antigeny)
- **odstranění mrtvých nebo poškozených buněk**
- **rozeznávání a odstraňování vlastních abnormálních buněk (mutace)**

- **antigen** = látka, kterou je schopen imunitní systém rozeznat a která vyvolá imunitní reakci
- **imunologická tolerance** = schopnost rozeznávat vlastní antigeny od cizích nebo změněných a udržovat toleranci vůči vlastním tkáním (porucha = **autoimunní onemocnění**)

Imunita

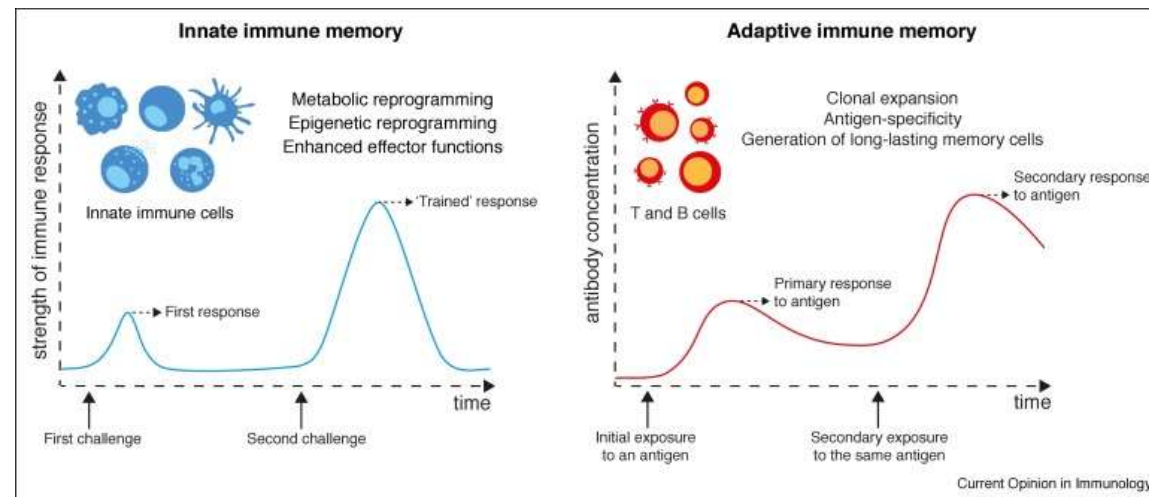
Obecné kroky imunitní odpovědi:

1. rozeznání cizího (nevlastního) antigenu a jeho označení (tj. vyvěšení na povrch antigen prezentujících buněk)
2. komunikace s ostatními buňkami vedoucí ke koordinované odpovědi
3. nábor spolupracujících buněk a koordinace jejich aktivit
4. destrukce a odstranění patogenu, zabránění šíření patogenu a jím způsobených škod

Nespecifická imunita

- vrozená schopnost organismu rychle reagovat proti cizorodým látkám
- **nedochází k rozeznání specifického antigenu po předchozím setkání s ním, nevytváří se imunologická paměť**

Innate immunity = nespecifická imunita
Adaptive immunity = specifická imunita



Domínguez-Andrés et al. (2019)

Nespecifická imunita (NI)

Složky nespecifické imunity:

- **kůže a sliznice,**
- **fagocytóza** (granulocyty a makrofágy),
- **komplement,**
- **NK-buňky** („*natural killers*“)
- **interferon,**
- **zánět.**

Specifická imunita

- mechanismy se rozvíjejí s určitým zdržením, ale **účinkují cíleně proti konkrétním patogenním činitelům** (bakterie, viry, toxiny, cizorodé tkáně)
 - není vrozená,
 - specificky rozeznává cizí antigeny
 - vyznačuje se imunologickou pamětí
- efektorovou buňkou je **lymfocyt**

Látková (humorální) imunita

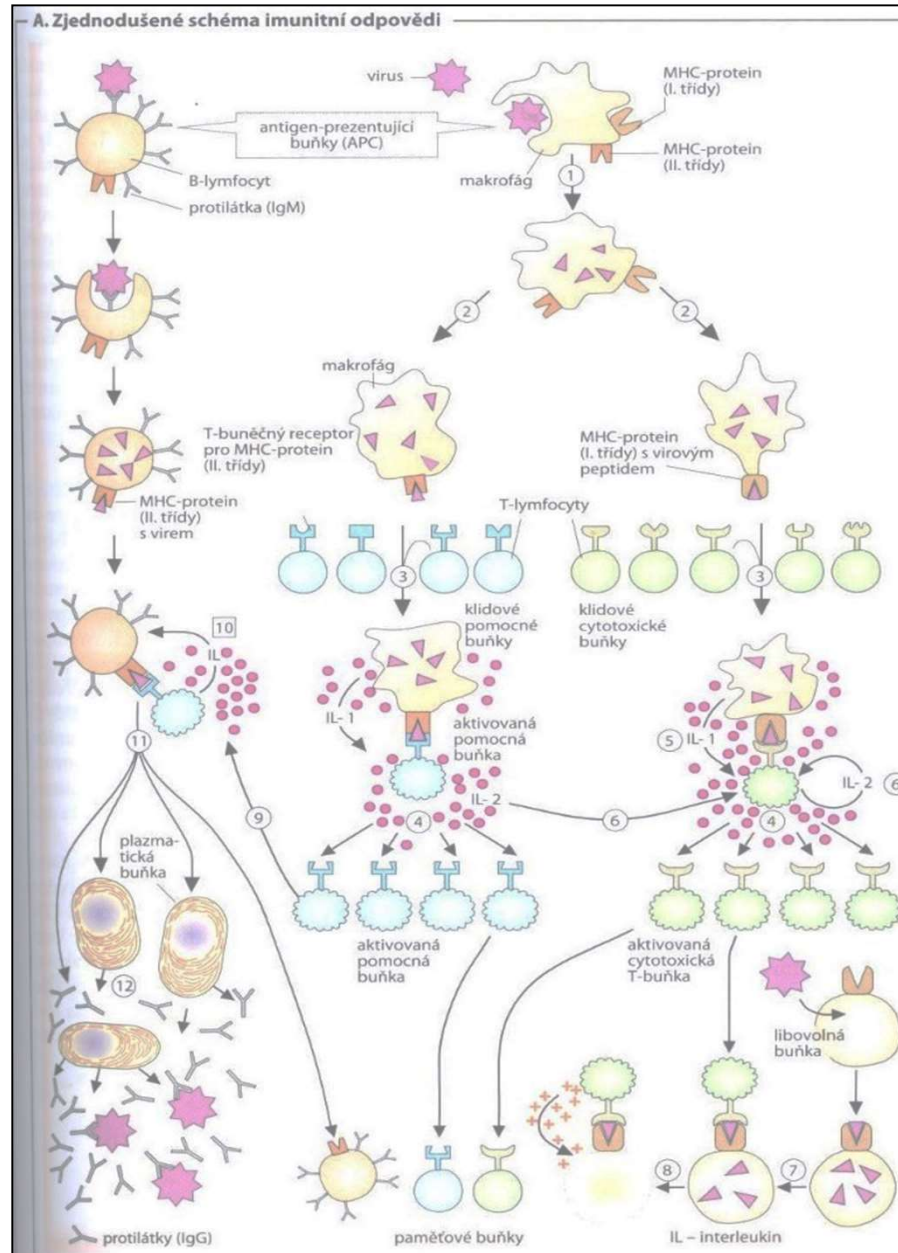
- výkonnou buňkou je **B-lymfocyt**
- **antigen je fagocytován makrofágem, cizorodá látka je částečně strávena a její složky antigenní povahy jsou na povrchu makrofágu „nabídnuty“ lymfocytům, čímž dochází k jejich aktivaci**
- **aktivovaný B-lymfocyt se přeměňuje na:**
 1. **paměťové buňky a**
 2. **plazmatické buňky (proteiny), které rychle produkují protilátky (imunoglobuliny) – napadají a neutralizují antigeny**

Buněčná imunita

- výkonnou buňkou je **T-lymfocyt**
- neprodukují protilátky, ale po aktivaci antigenem se dělí ve vysoce specializované efektorové buňky
- **3 druhy T-lymfocytů:**
 - a) pomocné (T_H),
 - b) cytotoxické (T_C),
 - c) supresorové (T_S)

Buněčná imunita

- **funkce T-lymfocytů:**
 - a) aktivace B-lymfocytů a makrofágů,**
 - b) buněčně zprostředkovaná cytotoxicita,**
 - c) potlačování odpovědi specifických T- a B-lymfocytů**
- **aktivované T-buňky produkují různé cytokiny, které dále aktivují makrofágy - ty ničí téměř všechny nežádoucí mikroorganismy a cizí buňky**



Koolman, J., Klaus-Heinrich, R. (2012). *Barevný atlas biochemie* (Překlad 4. vydání). Praha: Grada Publishing, a.s.

Imunizace

- **přirozená imunizace** (prodělání nemoci)
- **umělá imunizace** (očkování)
 - **pasivní imunizace** – podání protilátek, okamžitá reakce s antigenem, kratší délka ochrany očkovaného, neaktivuje se imunitní systém a nevznikají paměťové buňky
 - **aktivní imunizace** – podání antigenu (mrtvé nebo oslabené viry či bakterie), stimulace vlastní imunity, vznikají paměťové buňky

Poruchy imunity

- hypersenzitivita – **alergie** - neschopnost rozlišit vnější podněty nebezpečné od neškodných
- poruchy rozpoznávání vlastních antigenů (**autoimunitní choroby**)
- **imunodeficience**

Krevní skupiny

- **erythrocyty mají rovněž antigenní vlastnosti**
- protilátka + antigen → **aglutinace (shlukování)** erythrocytů a **hemolýza**
- antigeny = aglutinogeny, protilátky = aglutininy
- **Rh systém** (Rh^+ = aglutinogen D, Rh^- = anti-D aglutinin)
(antigeny ABO přítomny i ve slinných žlázách a slinách, v pankreatu, ledvinách, játrech, plicích, varlatech a spermatu; antigen D pouze v erythrocytech)

Krevní skupiny: systém AB0

Krevní skupina	A	B	AB	0
Genotypy	AA a A0	BB a B0	AB	00
Antigeny	A	B	A, B	H
Protilátky v krvi	Anti-B	Anti-A	---	Anti-A, anti-B
Výskyt ve střední Evropě	42,5 %	14 %	6,5 %	37 %

Příjemce krve

Dárce krve

	A-	A+	B-	B+	AB-	AB+	0-	0+
A-								
A+								
B-								
B+								
AB-								
AB+								
0-								
0+								

Příjemce krve

Dárce krve

	A-	A+	B-	B+	AB-	AB+	0-	0+
A-								
A+								
B-								
B+								
AB-								
AB+								
0-								
0+								

Příjemce krve

Dárce krve

	A-	A+	B-	B+	AB-	AB+	0-	0+
A-								
A+								
B-								
B+								
AB-								
AB+								
0-								
0+								

Příjemce krve

Dárce krve

	A-	A+	B-	B+	AB-	AB+	0-	0+
A-								
A+								
B-								
B+								
AB-								
AB+								
0-								
0+								

Příjemce krve

Dárce krve

	A-	A+	B-	B+	AB-	AB+	0-	0+
A-								
A+								
B-								
B+								
AB-								
AB+								
0-								
0+								

Příjemce krve

Dárce krve

	A-	A+	B-	B+	AB-	AB+	O-	O+
A-								
A+								
B-								
B+								
AB-								
AB+								
O-								
O+								

Příjemce krve

Dárce krve

	A-	A+	B-	B+	AB-	AB+	0-	0+
A-								
A+								
B-								
B+								
AB-								
AB+								
0-								
0+								

Příjemce krve

	A-	A+	B-	B+	AB-	AB+	0-	0+
A-								
A+								
B-								
B+								
AB-								
AB+								
0-								
0+								

Dárce krve

Příjemce krve

	A-	A+	B-	B+	AB-	AB+	0-	0+
A-								
A+								
B-								
B+								
AB-								
AB+								
0-								
0+								

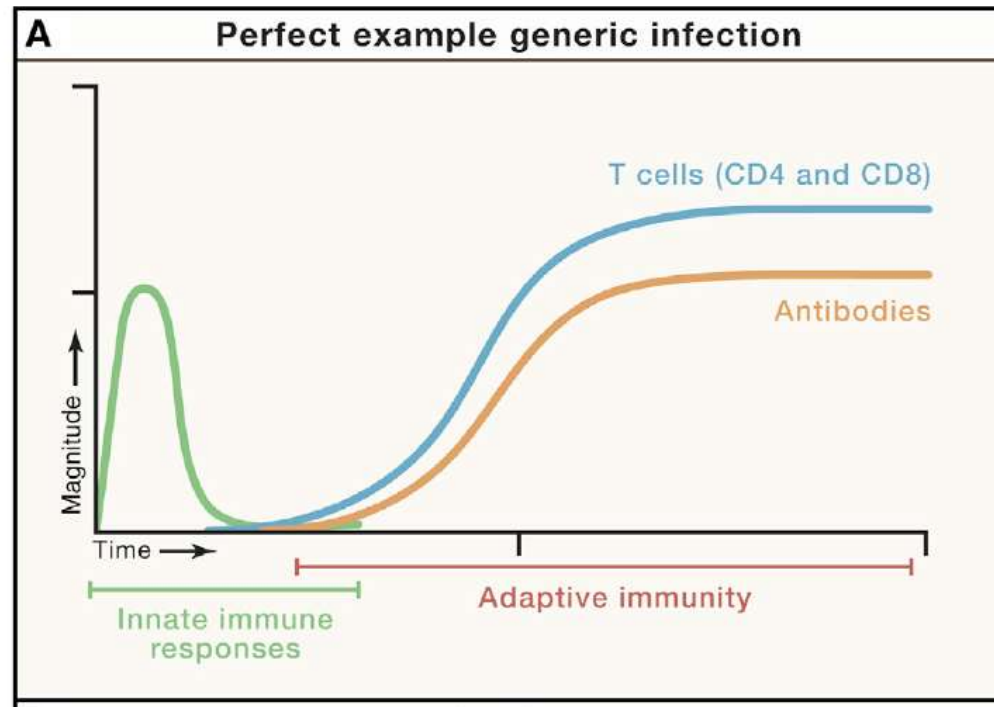
Dárce krve

Příjemce krve

Dárce krve

	A-	A+	B-	B+	AB-	AB+	O-	O+
A-			X	X			X	X
A+	X		X	X	X		X	X
B-	X	X					X	X
B+	X	X	X		X		X	X
AB-	X	X	X	X			X	X
AB+	X	X	X	X	X		X	X
O-								
O+	X		X		X		X	

COVID-19



Sette and Crotty (2021)

Innate immune response = nespecifická imunitní reakce

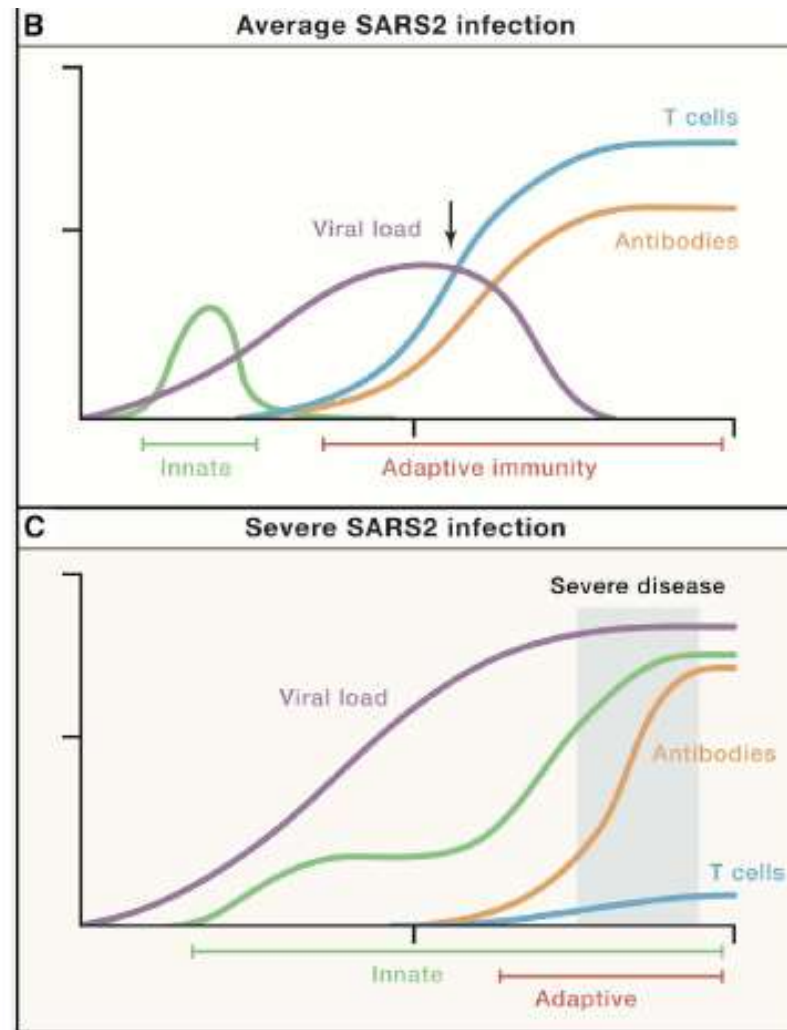
Adaptive immunity = specifická imunita

Antibodies = protilátky

CD4 = pomocné T-lymfocyty

CD8 = cytotoxické T-lymfocyty

COVID-19



Sette and Crotty (2021)

Literatura a zdroje obrázků:

- ROKYTA, R. a kol. *Fyziologie a patologická fyziologie pro klinickou praxi*. Praha: GRADA Publishing. 2015. ISBN 978-80-247-4867-2.
- KOOLMAN, J., RÖHM, K.H., *Barevný atlas biochemie*. Praha: GRADA Publishing. 2012. ISBN 978-80-247-2977-0.
- Sette and Crotty (2021). Adaptive immunity to SARS-CoV-2 and COVID-19, *Cell*.
<https://doi.org/10.1016/j.cell.2021.01.007>
- Domínguez-Andrés et al. (2019). Induction of innate immune memory: the role of cellular metabolism. *Current Opinion in Immunology*, 56, 10-16.

Struktura a funkce kosterního svalu při zatížení

Email: lukas.cipryan@osu.cz

Web: www.sportdefacto.cz

Twitter: [@LukasCipryan](https://twitter.com/LukasCipryan)

Klíčová slova:

- aktin
- akční potenciál
- adenosintrifosfát (ATP)
- adenosintrifosfatáza (ATPáza)
- α -motoneuron
- koncentrická kontrakce
- excentrická kontrakce
- isometrická (statická) kontrakce
- spojení excitace-kontrakce
- motorická jednotka
- svalové vlákno
- svalově-kosterní systém
- myofibrila
- myozin
- nebulin
- plasmolema
- principy zapojování motorických jednotek
- sarkolema
- sarkomera
- sarkoplazmatické retikulum
- posuvná teorie svalové kontrakce
- titin
- transverzální tubuly
- tropomyozin
- troponin

Klíčové otázky:

- Popište anatomickou stavbu svalového vlákna.
- Popište skladbu motorické jednotky.
- Co je to spojení excitace-kontrakce?
- Jakou úlohu hrají ionty vápníku při svalové kontrakci?
- Popište posuvnou teorii svalové kontrakce.
- Definujte rozdíly mezi svalovými vlákny I. a II. typu.
- Jak dochází k zapojování motorických jednotek?

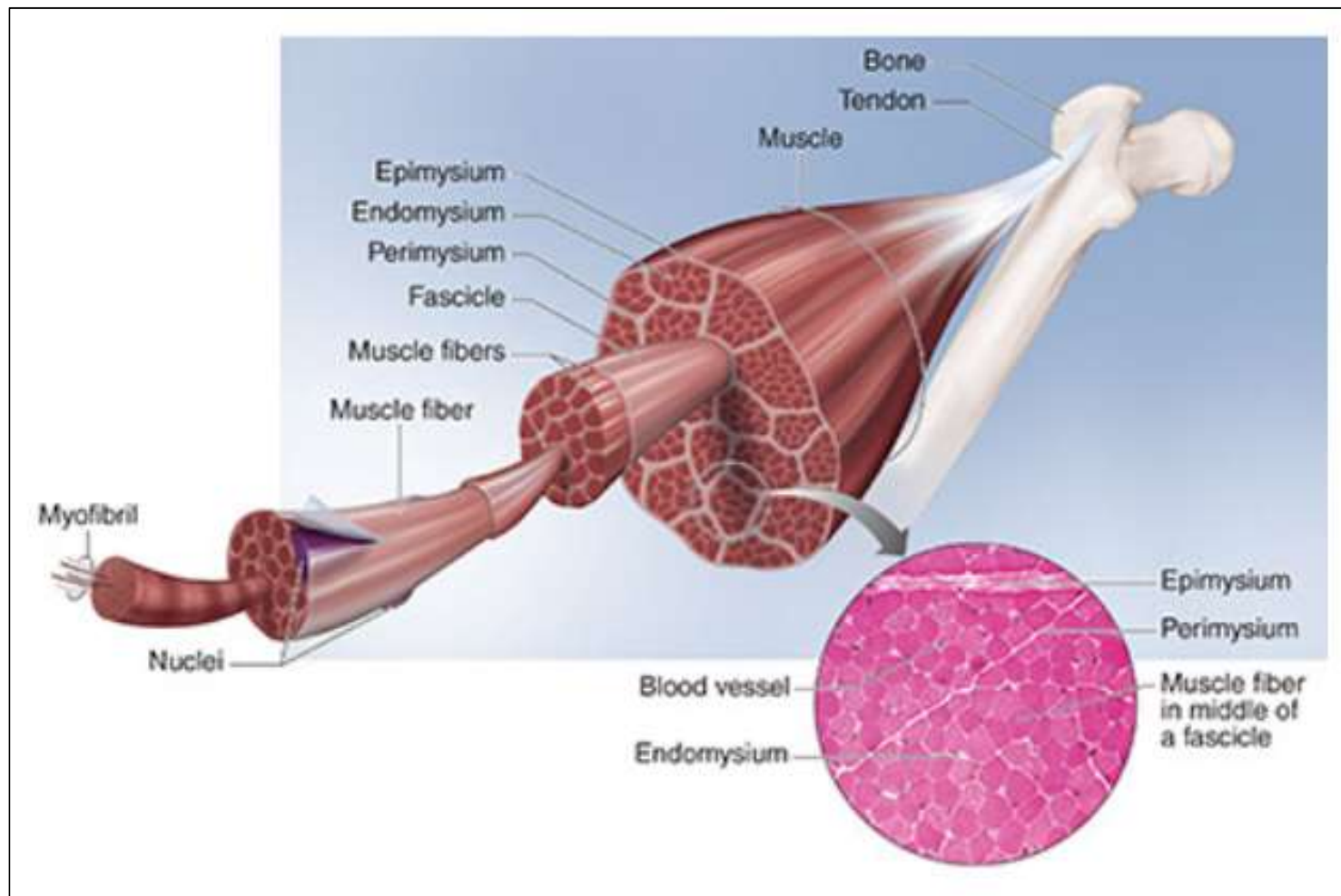
Svalová tkáň

Základní typy svalové tkáně:

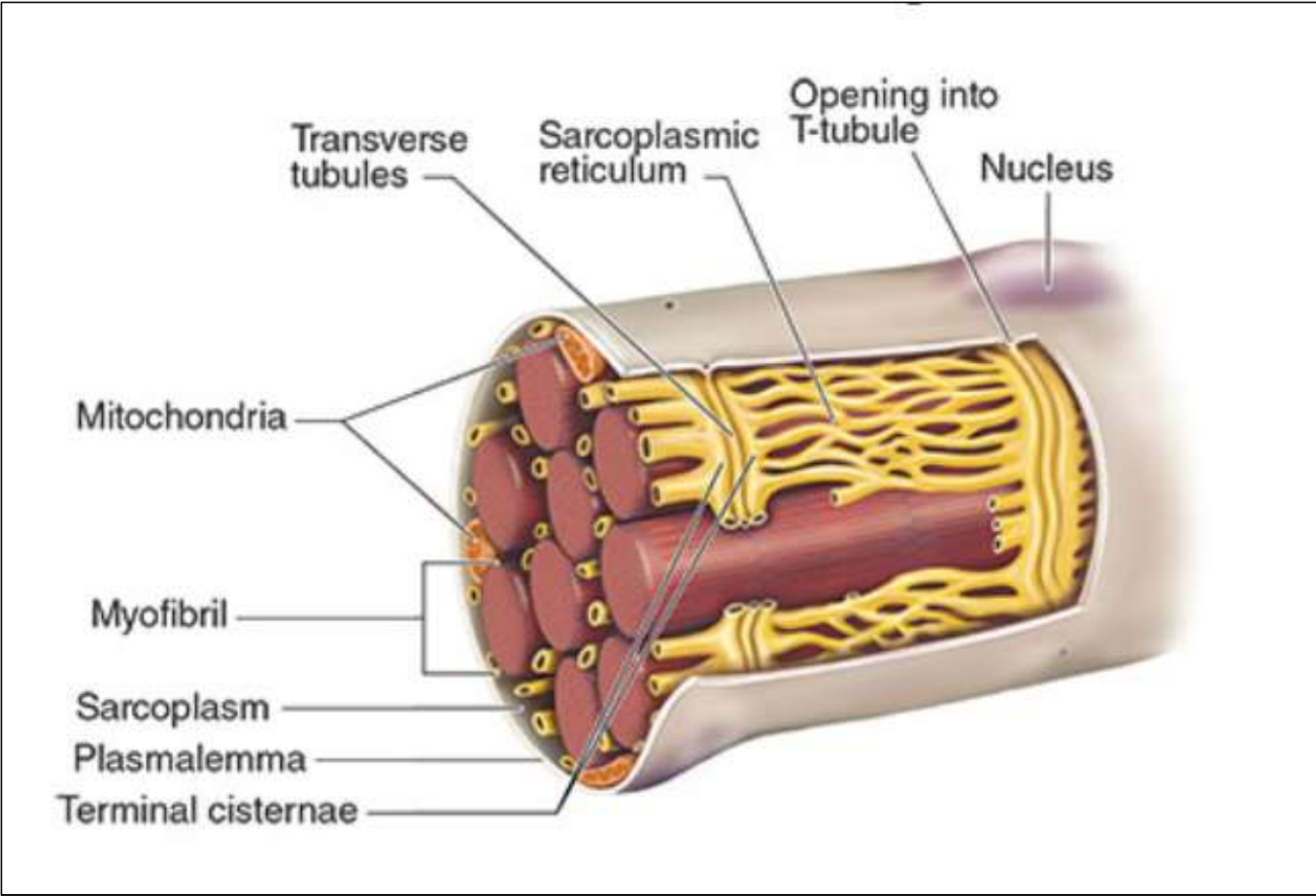
- kosterní svalovina (příčné pruhované svaly)
- hladká svalovina
- srdeční svalovina (myokard)

Anatomie kosterního svalu

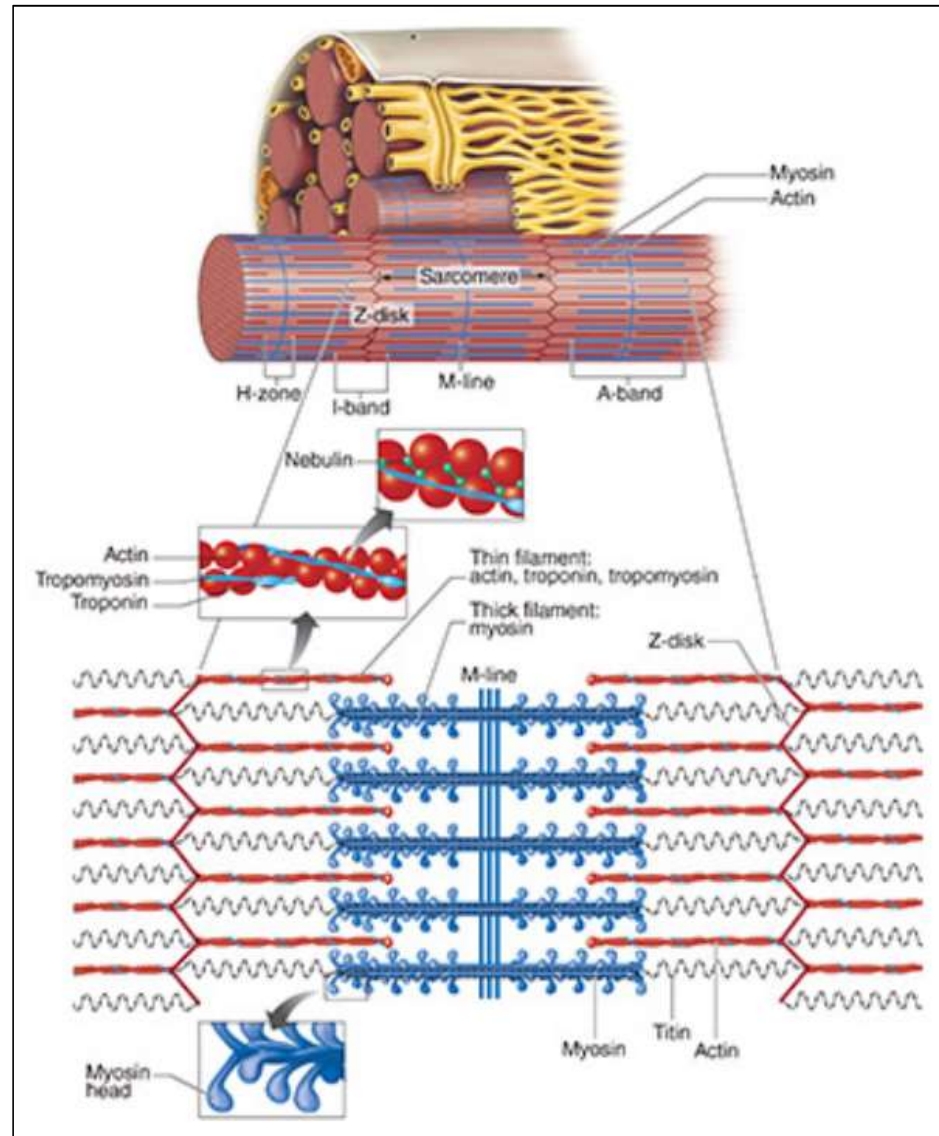
- svalová buňka (vlákno) = **myocyt**
- délka svalové buňky až 12 cm (tzn. 500 000 sarkomer)
- průměr vláken 10-120 μm
- 10 až 1000 vláken – snopeček
- snopečky \rightarrow snopce
- **myostatin** – produkován buňkami kosterního svalu; brání dalšímu růstu těchto buněk



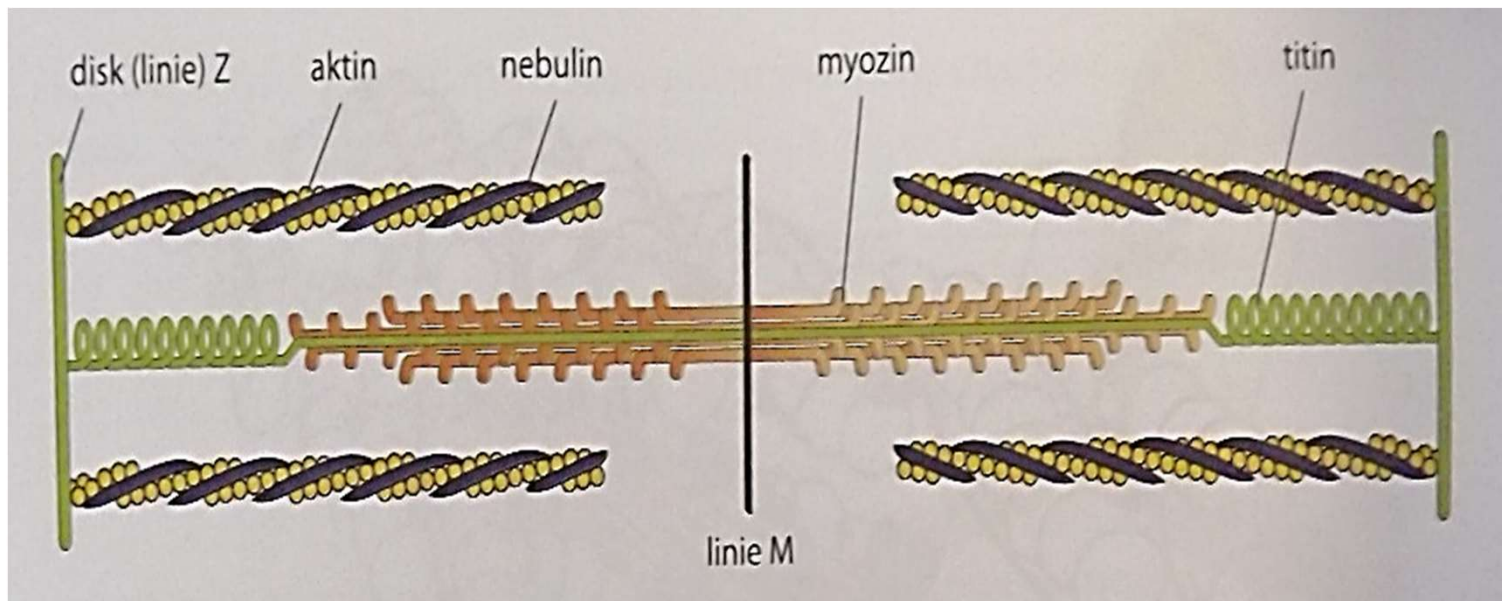
Kenney et al. (2020)



Kenney et al. (2020)



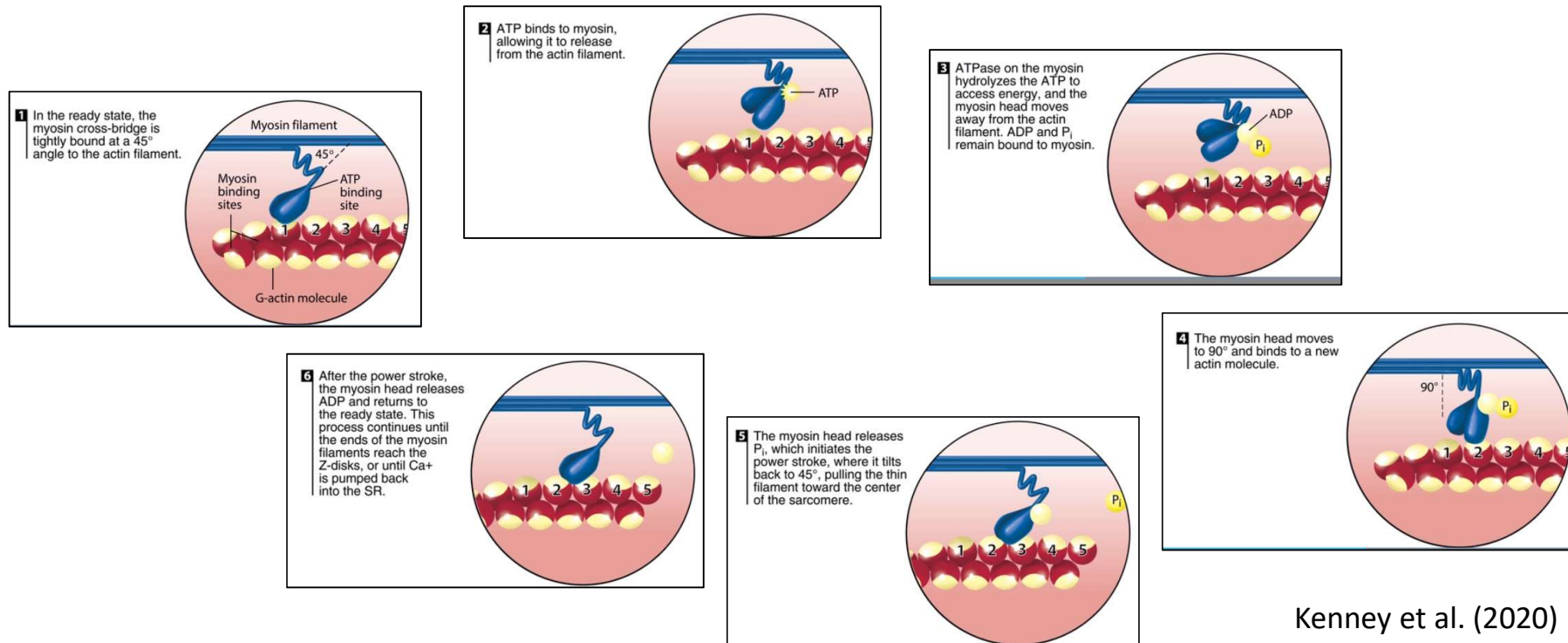
Kenney et al. (2020)



Rokyta a kol. 2015

Svalová kontrakce

- **posuvná** vs. navíjecí teorie („*sliding vs. winding theory*“)



Typy svalových vláken

Typ I

červená, pomalá, SO („*slow oxidative*“)

- ✓ velmi tenká a bohatě kapilarizovaná
- ✓ vytrvalostní výkony; posturální funkce
- ✓ resyntéza ATP hlavně aerobní cestou (hlavním zdrojem mastné kyseliny)
- ✓ nízká aktivita myozinové ATPázy (pomalá forma)
- ✓ malá glykolytická kapacita v porovnání s rychlými vlákny
- ✓ rychlost kontrakce asi 3x nižší než u rychlých vláken
- ✓ frekvence impulsů z motoneuronu 5-30 Hz
- ✓ velké množství mitochondrií, myoglobinu
- ✓ větší množství tuků, méně glykogenu a glukózy

Typy svalových vláken

Typ IIa

„FOG (fast oxidative glycolytic), FR (fast fatigue resistant), FTa (fast twitch a)“

- ✓ středně silná a kapilarizovaná
- ✓ rychlý a silový pohyb, vysoce intenzivní pohyb
- ✓ středně velká oxidativní kapacita
- ✓ vysoká glykolytická kapacita
- ✓ střední unavitelnost

Typy svalových vláken

Typ IIX

bílá, rychlá, „FG (*fast glycolytic*), FF (*fast fatigable*), FTx (*fast twitch x*)“

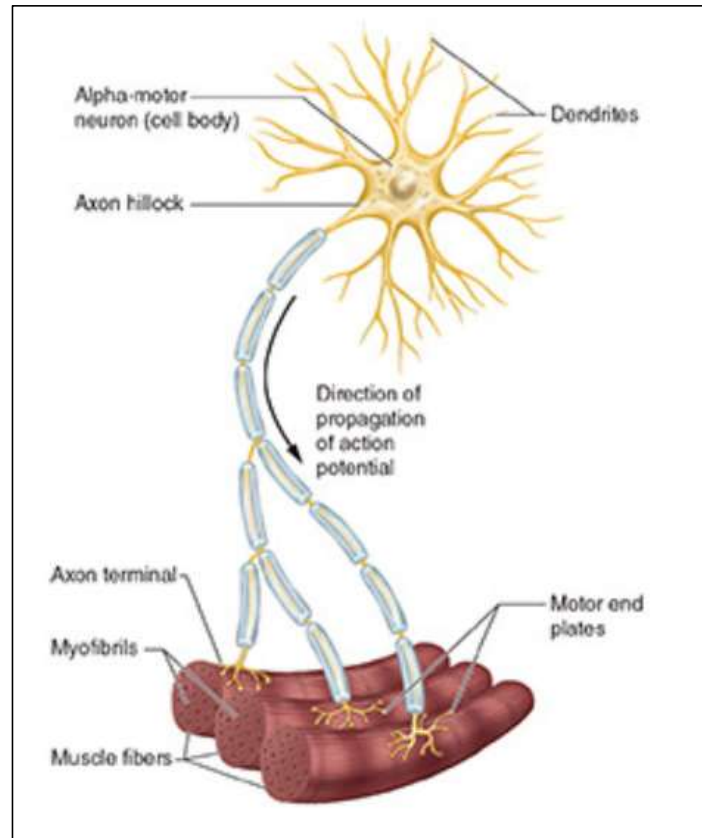
- ✓ velmi silná a málo kapilarizovaná
- ✓ maximální „výbušný“ pohyb
- ✓ rychlá unavitelnost
- ✓ přednostní využívání GL a GG jako zdroje energie
- ✓ více rozvinuté sarkoplazmatické retikulum a systém T-tubulů
- ✓ rozklad ATP 3-4x rychlejší než I.typ (rychlá forma ATPázy)
- ✓ pracují méně ekonomicky než I.typ
- ✓ frekvence impulsů z motoneuronu 30-65 Hz

Motorická jednotka (MJ)

= motoneuron včetně axonu a větvení + všechny sv. vlákna inervována tímto motoneuronem

- MJ Typ I. - jeden motoneuron typicky inervuje ≤ 300 svalových vláken
- MJ Typ II. - jeden motoneuron typicky inervuje ≥ 300 svalových vláken
- při zvyšující se intenzitě se zapojují další MJ, a to v pořadí **Typ I** → **Typ IIa** → **Typ IIx**
- vliv únavy a vyčerpání energetických zásob (glykogenu)

Motorická jednotka



Kenney et al. (2020)

Zdroje:

- KENNEY, W. L., WILMORE, J. H., COSTILL, D. L., *Physiology of Sport and Exercise*. 7. vyd. Champaign: Human Kinetics, 2020. ISBN 978-1-4925-7229-9.
- Rokyta et al. (2015). *Fyziologie a patologická fyziologie pro klinickou praxi*. Praha: GRADA Publishing.

Nervové řízení motoriky

Email: lukas.cipryan@osu.cz

Web: www.sportdefacto.cz

Twitter: [@LukasCipryan](https://twitter.com/LukasCipryan)

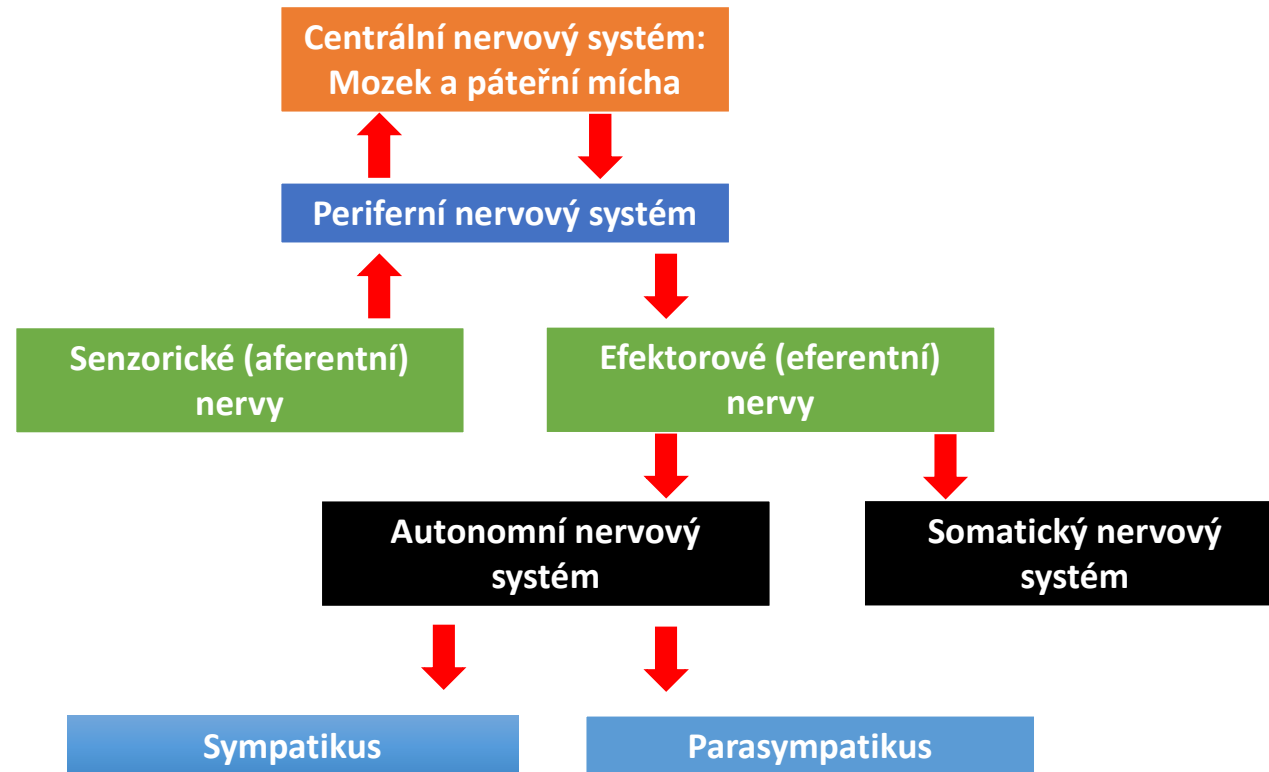
Klíčová slova:

- Acetylcholin
- Axon
- Centrální nervový systém (CNS)
- Depolarizace
- Eferentní nervy
- Motorický neuron
- Motorický reflex
- Myelinová pochva
- Nervosvalová ploténka
- Neuron
- Neurotransmitter
- Periferní nervový systém
- Klidový membránový potenciál
- Akční potenciál
- Aferentní (senzorické) nervy
- Senzoricko-motorické propojení
- Sodíko-draslíková pumpa
- Synapse

Klíčové otázky:

- Popište rozdělení hlavních částí nervového systému.
- Jaké jsou funkce jednotlivých hlavních částí nervového systému?
- Vysvětli pojem klidový membránový potenciál. Čím je způsoben a jak je udržován?
- Popište vznik akčního potenciálu. Co je zapotřebí k jeho vzniku?
- Co je to synapse a jak dochází k přenosu akčního potenciálu v tomto místě?
- Co je to nervosvalová ploténka?
- Které části mozku se podílí na kontrole pohybu a jaká je jejich role?
- Co je to autonomní nervový systém?
- Co je to sympatikus a parasympatikus a vysvětlete jejich fungování.
- Vysvětlete, jak probíhá reflexní pohyb po dotyku horkého předmětu.

Organizace nervového systému



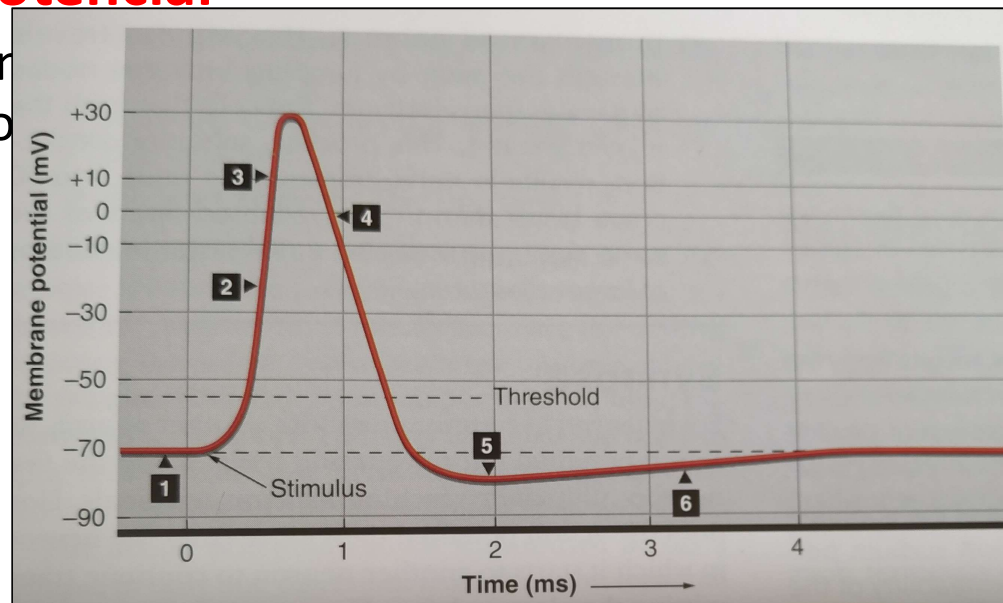
Nervový impuls

- **Klidový membránový potenciál**

- Negativní elektrický náboj membrány neuronu (-70 mV)
- Nerovnoměrné rozložení iontů způsobené polopropustnou membránou a činností Na-K pumpy

- **Akční potenciál**

- Vedení
neuro

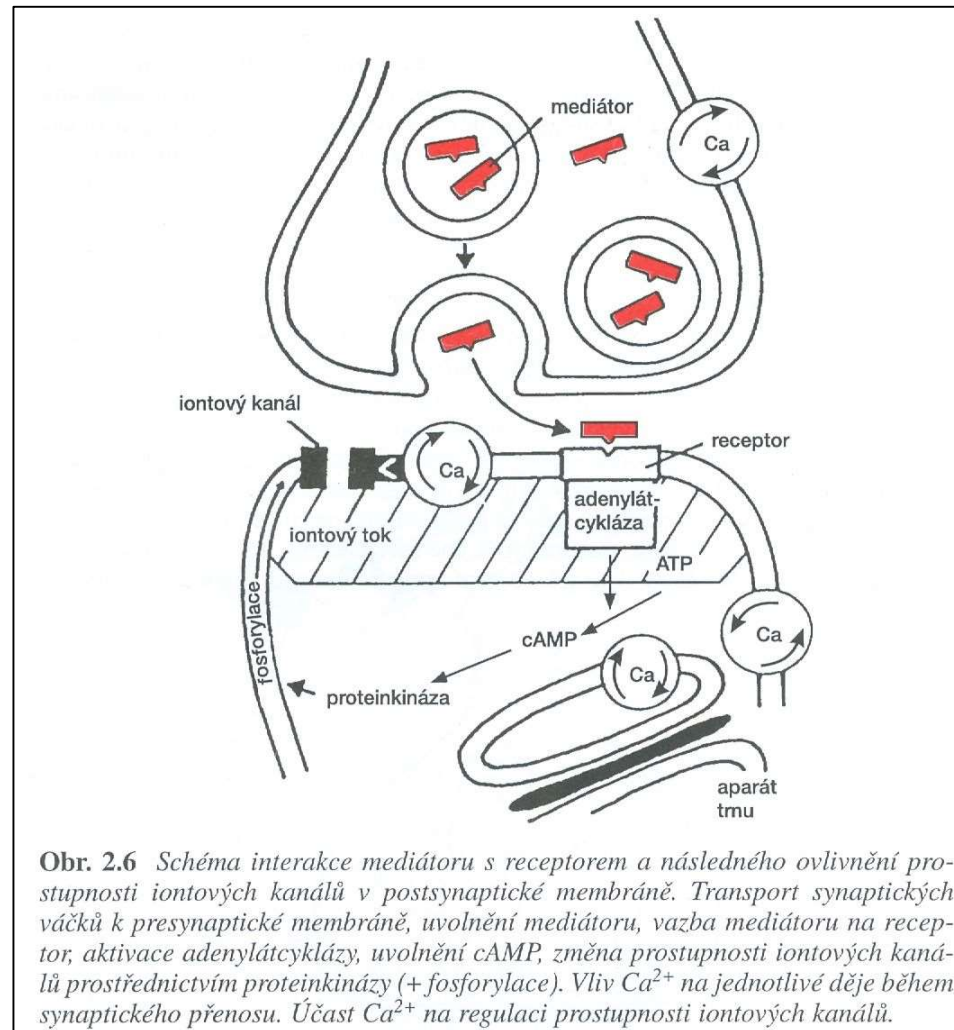


Doc. PhDr. Lukáš Cipryan, Ph.D.

Kenney et al. (2020)

Synapse

- **všechny funkční kontakty mezi membránami dvou buněk, z nichž alespoň jedna je nervového původu**
- interneuronální, neuroefektorové, neuroreceptorové
- u člověka zejména **synapse chemické** – přenos zprostředkovaný prostřednictvím **mediátoru (transmiteru)**
- **presynaptický a postsynaptický útvar oddělený synaptickou štěrbinou**

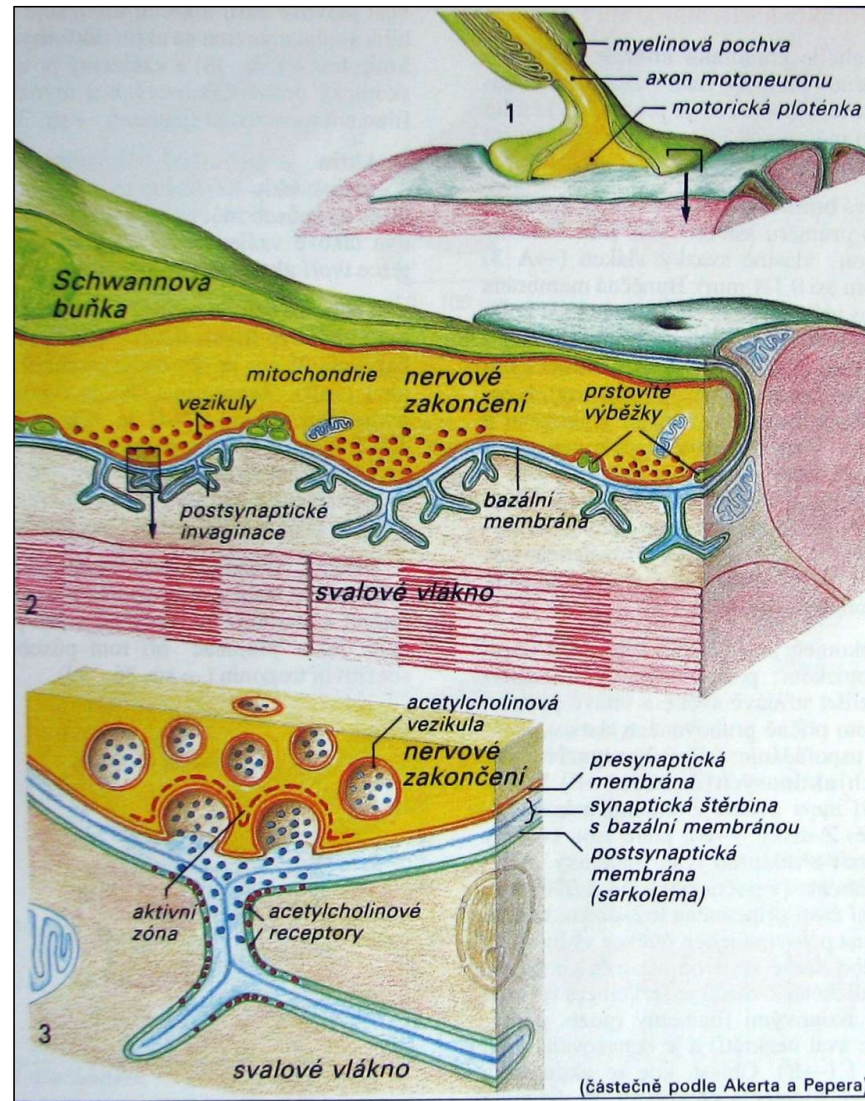


Obr. 2.6 Schéma interakce mediátoru s receptorem a následného ovlivnění propustnosti iontových kanálů v postsynaptické membráně. Transport synaptických váčků k presynaptické membráně, uvolnění mediátoru, vazba mediátoru na receptor, aktivace adenylátcyklázy, uvolnění cAMP, změna propustnosti iontových kanálů prostřednictvím proteinkinázy (+ fosforylace). Vliv Ca²⁺ na jednotlivé děje během synaptického přenosu. Účast Ca²⁺ na regulaci propustnosti iontových kanálů.

Ganong (2005)

Nervosvalová ploténka

- Spojení α -motoneuron a sval
- Neurotransmitter: acetylcholin



Centrální nervový systém

MOZEK

- **Koncový mozek – laloky:**
 - **Frontální** (obecně intelekt a kontrola motoriky)
 - **Temporální** (zvukové podněty a jejich interpretace)
 - **Parietální** (obecné sensorické podněty a jejich interpretace)
 - **Okcipitální** (zrakové podněty a jejich interpretace)
 - **Insulární** (různé podněty ve vztahu k emocím a sebevnímání)

Centrální nervový systém

MOZEK

- **Koncový mozek – laloky:**
 - **Primární motorická oblast (kůra)** – ve frontálním laloku
 - Kontrola jemných a diskrétních pohybů
 - Místo rozhodnutí volního pohybu
 - **Bazální ganglia** – v bílé hmotě mozkové pod mozkovou kůrou
 - Zahájení cyklických pohybů
 - Udržování vzpřímené polohy a svalového tonu
 - **Primární senzorická oblast** – v parietálním laloku

Centrální nervová soustava

MEZIMOZEK (DIENCEPHALON)

- **Thalamus** – senzorické integrační centrum
- **Hypothalamus** – hlavní centrum udržování homeostázy

(krevní tlak, dýchání, zažívání, tělesná teplota, žízeň a vodní hospodářství, neuroendokrinní funkce, apetit a příjem potravy, cyklus spánek-bdění)

Centrální nervový systém

MOZEČEK

- Klíčová úloha v koordinaci pohybu, kontrole všech rychlých a složitých svalových aktivit
- Integrační centrum pro rozhodnutí, jak nejlépe provést pohyb

MOZKOVÝ KMEN

- Střední mozek, Varolův most, prodloužená mícha
- Retikulární formace

Periferní nervový systém

- 43 párů nervů: 12 párů hlavových nervů, 31 párů páteřních nervů

Senzorická část – aferentní dráhy z krevních cév, vnitřních orgánů, svalů a šlach, kůže a smyslových orgánů (chuť, hmat, čich, sluch, zrak)

Motorická část – eferentní dráhy vedou motorické impulsy z CNS ke svalům a dalším orgánům

Autonomní nervový systém

- Sympatický a parasympatický nervový systém

Mechanoreceptory	Kožní taktilní citlivost (epidermis a dermis)
	Hluboká citlivost - např. šlachová tělíska a svalová vřeténka
	Sluch - receptory zvuku uvnitř hlemýždě
	Rovnovážné ústrojí - receptory vestibulárního orgánu
	Arteriální tlak - baroreceptory v aortě a sinus caroticus
Termoreceptory	Chlad
	Teplo
Nocireceptory	Bolest
Elektromagnetické receptory	Zrak - tyčinky a čípky
Chemoreceptory	Chuť
	Čich
	O₂ v arteriální krvi
	Osmolalita
	CO₂ v krvi
	Glukóza, aminokyseliny a mastné kyseliny v krvi - receptory v hypotalamu

Senzoricko-motorické propojení

- 1. Podnět zachycený smyslovým receptorem.**
- 2. Informace je přenesena akčním potenciálem do CNS.**
- 3. V CNS se vyhodnotí a rozhodne, která reakce je nejvhodnější.**
- 4. Akční potenciál pro určitou reakci je veden z CNS přes α -motoneurony.**
- 5. Reakce kosterních svalů.**

Zdroje:

KENNEY, W. L., WILMORE, J. H., COSTILL, D. L., *Physiology of Sport and Exercise*. 7. vyd. Champaign: Human Kinetics, 2020. ISBN 978-1-4925-7229-9.

Rokyta et al. (2015). *Fyziologie a patologická fyziologie pro klinickou praxi*. Praha: GRADA Publishing.

Silbernagl, S., & Despopoulos, A. (1993). *Atlas fyziologie člověka*. Praha: Grada Avicenum

Koolman, J., Klaus-Heinrich, R.(2012). *Barevný atlas biochemie* (Překlad 4. vydání). Praha: Grada Publishing, a.s.

Ganong, W. F. (2005). *Přehled lékařské fyziologie*. Praha: Galén.

Matouš, B. (2010). *Základy lékařské chemie a biochemie*. Praha: Galén.

Preskripce zatížení pro zdraví a fyzickou zdatnost

Email: lukas.cipryan@osu.cz

Web: www.sportdefacto.cz

Twitter: [@LukasCipryan](https://twitter.com/LukasCipryan)

Klíčová slova:

- Borgova škála (RPE)
- zátěžový elektrokardiogram
- preskripce zatížení
- stupňovaný zátěžový test
- tepová rezerva
- metabolický ekvivalent (MET)
- ACSM
- PAR-Q
- kardiorespirační zdatnost
- VO_{2max}
- FITT-VP
- Karvonenova metoda (tepová rezerva)
- princip individuálnosti
- princip specifičnosti
- princip reverzibility
- princip postupného zvyšování zatížení
- princip periodizace
- kontinuální aerobní zatížení
- intervalový trénink
- ATP-PCr systém
- glykolytický anaerobní systém
- oxidativní systém

Klíčové otázky:

- Na jaká chronická onemocnění může mít pravidelná pohybová aktivita prospěšný efekt?
- Vysvětlete tzv. vztah „dávka-odpověď“, v kontextu pohybové aktivity a zdraví a fyzické zdatnosti.
- Uveďte základní obecná doporučení pro pohybovou aktivitu pro zdraví a udržení nebo zvyšování fyzické zdatnosti.
- Popište strategii rozhodnutí, zda je nutné lékařské vyšetření před zahájením tréninkového programu.
- Co je to PAR-Q dotazník?
- Které pohybové schopnosti můžeme testovat v rámci tréninkového programu a co je cílem takového testování?
- Vysvětlete FITT-VP model pro aerobní a silový trénink.
- Jak můžeme monitorovat intenzitu zatížení?
- Vysvětlete obecné principy sportovního tréninku.
- Co je to vysoce intenzivní intervalový trénink (tzv. HIIT), jak se sestavuje a proč se využívá při tvorbě tréninkového plánu?

ACSM (*American College of Sports Medicine*) a AHA (*American Heart Association*) doporučení (2007):

- Všichni zdraví dospělí ve věku 18-65 let by se měli účastnit **aerobní aktivity o střední intenzitě po dobu alespoň 30 min a 5x týdně** nebo **aerobní aktivity o vysoké intenzitě po dobu alespoň 20 min a 3x týdně**.
- **Kombinace aktivit o střední a vysoké intenzitě** mohou být realizovaná pro dosažení předchozího cíle.
- 30 min aerobní aktivity střední intenzity může být **nakumulováno i po 10 minutách**.
- Každý dospělý by měl provádět takové aktivity, které vedou **k udržení nebo rozvoji svalové síly, a to alespoň 2x týdně**.
- Na základě vztahu „dávka-odpověď“ („dose-response“) mezi pohybovou aktivitou a zdravím, každý kdo chce dále zlepšit fyzickou kondici, redukovat riziko chronických nemocí a nadváhy, může tato minimální doporučená kritéria dále posouvat.

„Physical Activity Guidelines for Americans“

U.S. Department of Health and Human Services (2008)

- 150 min aerobní aktivity střední intenzity za týden nebo 75 min aerobní aktivity vysoké intenzity za týden (nebo kombinace) pro významné zdravotní benefity
- „dávka – odpověď“: další zdravotní efekt při 300 min aerobní aktivity střední intenzity za týden a 150 min aerobní aktivity vysoké intenzity za týden (nebo kombinace)
- silový trénink o střední až vysoké intenzitě velkých svalových skupin alespoň 2x týdně

Strategie pro rozhodnutí o nutnosti lékařského vyšetření pro jedince, kteří **pravidelně NEsportují**

(tj. plánovaná a strukturovaná pohybová aktivita minimálně 30 min na střední až vysoké IZ alespoň 3 dny v týdnu v průběhu posledních alespoň 3 měsíců)

	Lékařské vyšetření		Intenzita zatížení		
	Doporučeno	Není nutné	30-40 % HRR	40-60 % HRR	≥60% HRR
Žádné CV, metabolické nebo ledvinové onemocnění a žádné příznaky.		X	doporučeno	doporučeno	může postupně
CV, metabolické nebo ledvinové onemocnění a bez příznaků.	X		doporučeno po lékařském vyšetření	doporučeno po lékařském vyšetření	může postupně
Jakékoli příznaky CV, metabolického nebo ledvinového onemocnění.	X		doporučeno po lékařském vyšetření	doporučeno po lékařském vyšetření	může postupně

Vysvětlivky: CV – kardiovaskulární onemocnění, metabolické onemocnění – Diabetes Mellitus 1. a 2. typu, HRR – tepová rezerva.

Strategie pro rozhodnutí o nutnosti lékařského vyšetření pro jedince, kteří **pravidelně sportují**

(tj. plánovaná a strukturovaná pohybová aktivita minimálně 30 min na střední až vysoké IZ alespoň 3 dny v týdnu v průběhu posledních alespoň 3 měsíců)

	Lékařské vyšetření		Intenzita zatížení		
	Doporučeno	Není nutné	30-40 % HRR	40-60 % HRR	≥60% HRR
Žádné CV, metabolické nebo ledvinové onemocnění a žádné příznaky.		X		může pokračovat na této IZ	může pokračovat na této IZ nebo dál zvyšovat
CV, metabolické nebo ledvinové onemocnění a bez příznaků.		X		může pokračovat na této IZ	
	X			může pokračovat na této IZ	může pokračovat po lékařském vyšetření
Jakékoli příznaky CV, metabolického nebo ledvinového onemocnění.	X STOP cvičení		může znovu začít po lékařském vyšetření	může znovu začít po lékařském vyšetření	může znovu začít po lékařském vyšetření

Vysvětlivky: CV – kardiovaskulární onemocnění, metabolické onemocnění – Diabetes Mellitus 1. a 2. typu, HRR – tepová rezerva.

„The Physical Activity Readiness Questionnaire“ (PAR-Q)

1. Řekl Vám někdy lékař, že máte zdravotní problémy se srdcem nebo vysoký krevní tlak?	ANO	NE
2. Cítíte bolesti na hrudníku v klidu, při běžných denních činnostech nebo při pohybové aktivitě?	ANO	NE
3. Ztrácíte rovnováhu, máte závratě nebo ztratili jste vědomí v posledních 12 měsících?	ANO	NE
4. Bylo Vám někdy diagnostikováno jiné chronické onemocnění? Pokud ano, jaké	ANO	NE
5. Užíváte v současnosti nějaké léky? Pokud ano, jaké	ANO	NE
6. Měli jste v posledních 12 měsících problémy s klouby nebo svaly, které se v průběhu pohybové aktivity zhoršují? (Uveďte NE, pokud jste měli v minulosti, ale v současnosti Vás při pohybové aktivitě neomezují.)	ANO	NE
7. Řekl Vám někdy lékař, že byste měli provádět pohybovou aktivitu pouze pod lékařským dohledem?	ANO	NE

Testování před tréninkovým programem

- **složení těla**

- ✓ zejména analýza množství svalové a tukové hmoty (vč. její distribuce) má silný vztah ke zdravotnímu stavu

- **svalová síla a vytrvalost**

- **flexibilita**

- **kardiorespirační zdatnost**

- ✓ maximální testy - VO_{2max} v terénním nebo laboratorním testu (na běhátku nebo bicyklovém ergometru)
- ✓ submaximální testy

Preskripce aerobního zatížení

FITT-VP model pro aerobní cvičení dle ACSM:

- **frekvence zatěžování (3-5x / týden)**
- **intenzita zatížení (IZ) (40-90 % tepové rezervy (HRR) nebo VO_{2max})**
- **trvání zatížení ($\geq 20-30$ min; možnost kumulace)**
- **typ zatížení**
- **objem tréninku ($> 500-1000$ MET-minuty nebo kalorie za týden)**
- **progres**

Monitorování intenzity zatížení

1. Srdeční frekvence (HR – „heart rate“)

- lineární vztah SF a VO_2
- % HR_{max} versus % VO_{2max}
- Karvonenova metoda – **tepová rezerva** (HRR – „heart rate reserve“)

$$HRR = HR_{max} - HR_{klid}$$

Příklad výpočtu tréninkové HR. Cíl – zatížení na 75 % maximální HRR.

$$HR_{75\%} = HR_{klid} + 0.75 (HR_{max} - HR_{klid})$$

$$\begin{aligned} HR_{max} &= 220 - \text{věk} \text{ nebo} \\ &= 208 - (0.7 \times \text{věk}) \end{aligned}$$

Monitorování intenzity zatížení

2. Metabolický ekvivalent (MET)

- 1 MET = 3.5 ml O₂ / kg / min
- limitace – klidová hodnota VO₂ i metabolická efektivita jsou individuální

3. Škála subjektivního vnímání úsilí (RPE)

- velmi přesné hodnocení IZ u zkušených sportovců
- Borgova škála 6-20 nebo 1-10

Borgova škála subjektivního vnímání úsilí „Rate of Perceived Exertion“ (RPE)

Bodové hodnocení (RPE)	Subjektivní vyjádření
6	
7	velmi velmi lehké
8	
9	velmi lehké
10	
11	docela lehké
12	
13	poněkud těžší
14	
15	těžké
16	
17	velmi těžké
18	
19	velmi velmi těžké
20	

Srovnání metod monitorování IZ

Klasifikace IZ	Relativní intenzita zatížení				Silový trénink
	HR_{max}	HRR	VO_{2max}	RPE	1RM
velmi lehké	<57%	<30%	<37%	<9	<30%
lehké	57-63%	30-39%	37-45%	9-11	30-49%
střední	64-76%	40-59%	46-63%	12-13	50-69%
těžké	77-95%	60-89%	64-90%	14-17	70-84%
téměř maximální až maximální	≥96%	≥90%	≥91%	≥18	≥85%

Vysvětlivky: HR_{max} – maximální srdeční frekvence, HRR – tepová rezerva, VO_{2max} – maximální spotřeba kyslíku, RPE – Borgova škála, 1RM – jedno opakovací maximum.

Obecné principy sportovního tréninku

1. **princip individuálnosti** – individuální rozdíly v reakci i adaptaci na zatížení, odlišné genetické predispozice, „high responders“ vs. „low responders“
2. **princip specifičnosti** – reakce i adaptace jsou specifické pro konkrétní typ aktivity, objem a intenzitu zatížení
3. **princip reversibility** – „*use it or lose it*“, tzn. získaná adaptace se ztrácí, pokud není udržována
4. **princip postupného zvyšování zatížení**
5. **princip periodizace**

SILOVÝ TRÉNINK

- 1. výběr konkrétního cvičení**
- 2. pořadí cvičení**
- 3. počet setů pro každé cvičení**
- 4. čas zotavení mezi sety a každým cvičením**
- 5. intenzita nebo zátěž (velikost odporu), počet opakování, rychlost pohybu**

Preskripce silového tréninku

FITT-VP model pro silový trénink dle ACSM:

- **frekvence zatěžování** (2-3x / týden)
- **intenzita zatížení (IZ)** ($\geq 20\%$ 1RM, viz tabulka 9.2)
- **trvání zatížení** (optimální trvání nebylo stanoveno)
- **typ zatížení** (velké svalové skupiny, „vícekloubní“ cvičení, „jednokloubní“ cvičená také jako možnost)
- **počet opakování a setů** (viz tabulka 9.2)
- **progres**

TABLE 9.2 American College of Sports Medicine's Recommendations for Resistance Training Programs^a

Primary goal of resistance training program	Training level	Loading	Volume	Velocity	Frequency (times per week)
Strength development	Novice	60%-70% 1RM	1-3 sets, 8-12 reps	Slow, moderate	2-3
	Intermediate	70%-80% 1RM	Multiple sets, 6-12 reps	Moderate	3-4
	Advanced	80%-100% 1RM	Multiple sets, 1-12 reps	Unintentionally slow to fast	4-6
Muscle hypertrophy	Novice	70%-85% 1RM	1-3 sets, 8-12 reps	Slow, moderate	2-3
	Intermediate	70%-85% 1RM	1-3 sets, 6-12 reps	Slow, moderate	4
	Advanced	70%-100% 1RM; emphasis on 70-85%	3-6 sets, 1-12 reps	Slow, moderate, fast	4-6
Development of muscle power	Novice	0%-60% 1RM—lower body; 30%-60% 1RM—upper body	1-3 sets, 3-6 reps	Moderate	2-3
	Intermediate	0%-60% 1RM—lower body; 30%-60% 1RM—upper body	1-3 sets, 3-6 reps	Fast	3-4
	Advanced	85%-100% 1RM	3-6 sets, 1-6 reps, various strategies ^b	Fast	4-5
Increased local muscular endurance	Novice	Light	1-3 sets, 10-15 reps	Slow—moderate reps Moderate—high reps	2-3
	Intermediate	Light	1-3 sets, 10-15 reps	Slow—moderate reps Moderate—high reps	3-4
	Advanced	30%-80% 1RM	Various strategies, ^b 10-25 reps or more	Slow—moderate reps Moderate—high reps	4-6

^aThese recommendations also include the type of muscle action (eccentric and concentric), single-joint versus multiple-joint exercises, order or sequence of exercises, and the rest intervals. See text for further information.

^bPeriodized—see text for explanation of periodization.

Adapted from information in ACSM (2009).

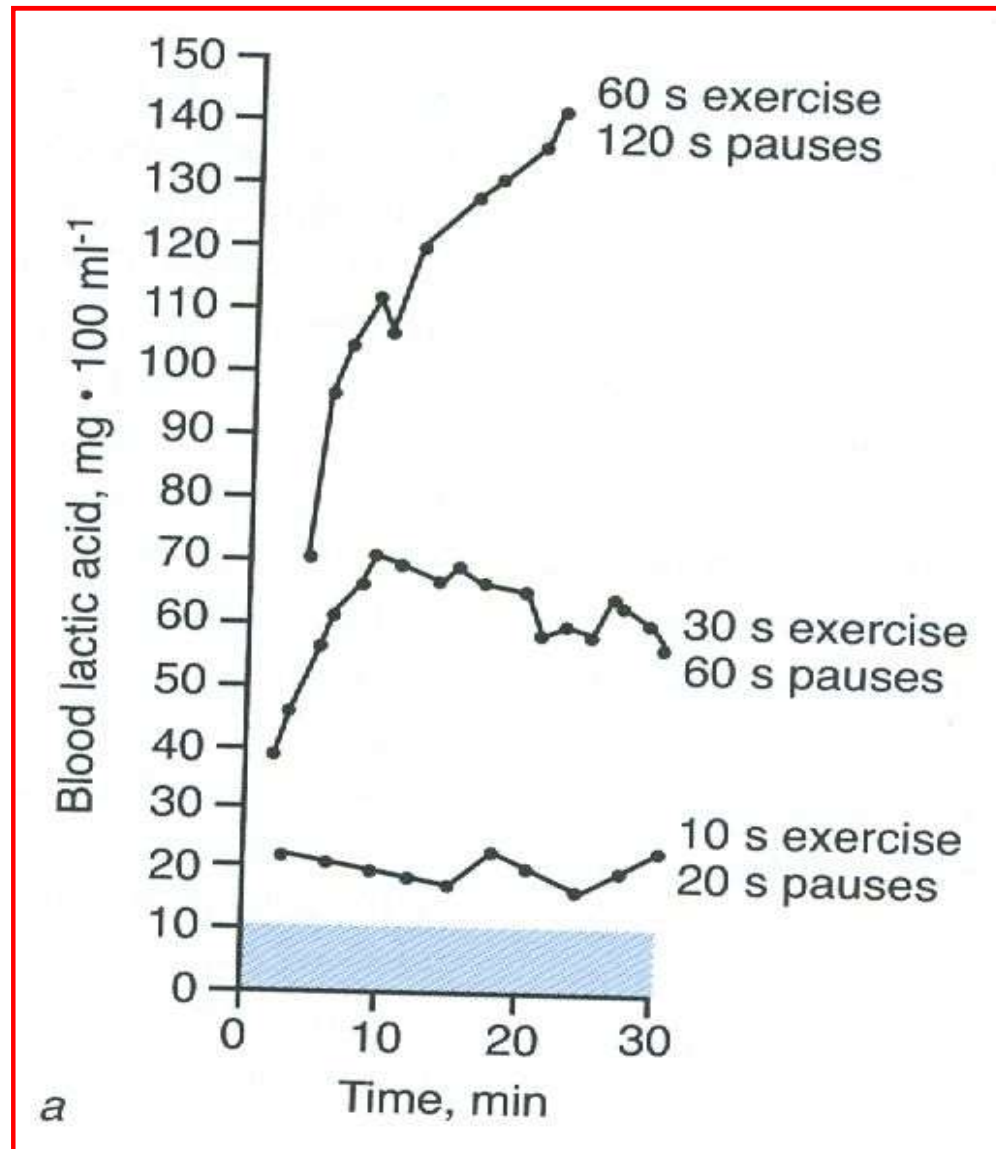
Kenney et al. (2020)

AEROBNÍ A ANAEROBNÍ TRÉNINK

- ATP-PCr systém, anaerobní glykolytický systém, oxidativní systém
- **kontinuální zatížení**
- **intervalový trénink** (manipulace s intenzitou a délkou intervalů, počtem opakování a setů, délkou odpočinku, typem aktivního odpočinku, apod.)

Intervalový trénink

- **pokud interval zatížení trvá poměrně krátce (do 10 s, 5-10 s odpočinek) nedochází ke vzniku acidózy a sportovec může takto vydržet vysoce intenzivní práci až 30 min**
- zásoby O₂ umožňují vykonat v krátkém čase a s malými přestávkami vyčerpávající práci, a to vše s relativně malými nároky na respirační a oběhový systém



Astrand et al. (2003)

Zdroje:

- KENNEY, W. L., WILMORE, J. H., COSTILL, D. L., *Physiology of Sport and Exercise*. 7. vyd. Champaign: Human Kinetics, 2020. ISBN 978-1-4925-7229-9.
- ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription (10th ed.), 2018, Wolters Kluwer.
- Astrand et al., *Textbook of Work Physiology* (4th ed.), Champaign: Human Kinetics, 2003. ISBN 0-7360-0140-9.