

Energetický metabolismus

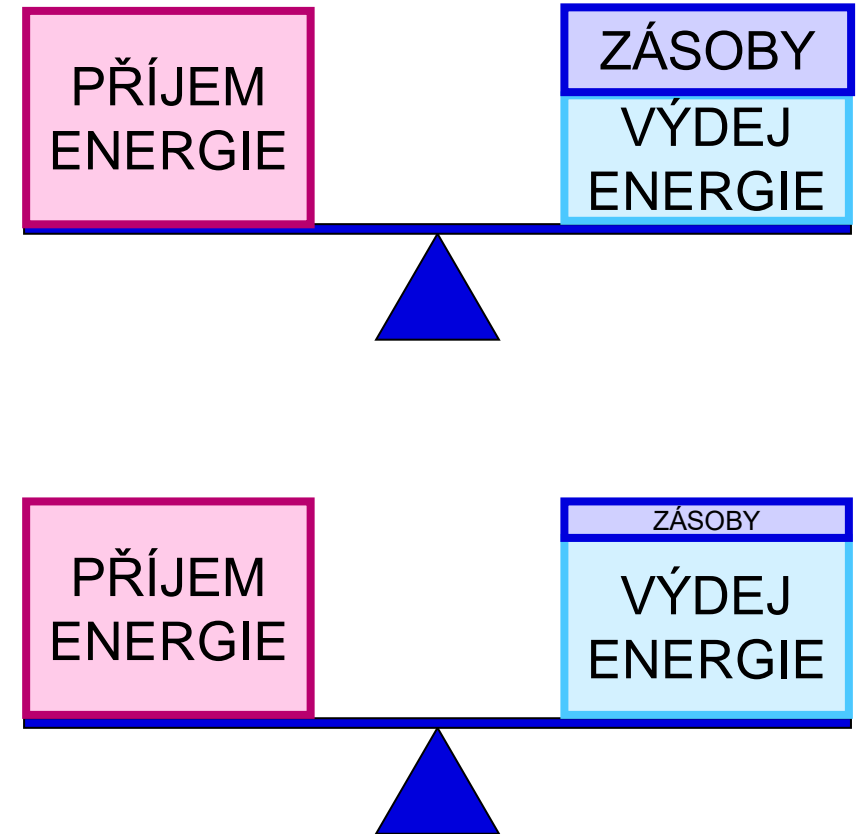
Fyziologie II přednáška (VLFY0422p)

Tibor Stračina

Audiovizuální obsah prezentovaný během přednášky je autorským dílem vytvořeným zaměstnanci Masarykovy univerzity. Jakékoliv další šíření tohoto obsahu nebo jeho části bez svolení Masarykovy univerzity je v rozporu se zákonem.

Energetický metabolismus

- Příjem energie (vnější i vnitřní zdroje)
- Výdej energie
- Tvorba energetických zásob
- $\text{PŘÍJEM} = \text{VÝDEJ} + \text{ZÁSoby}$



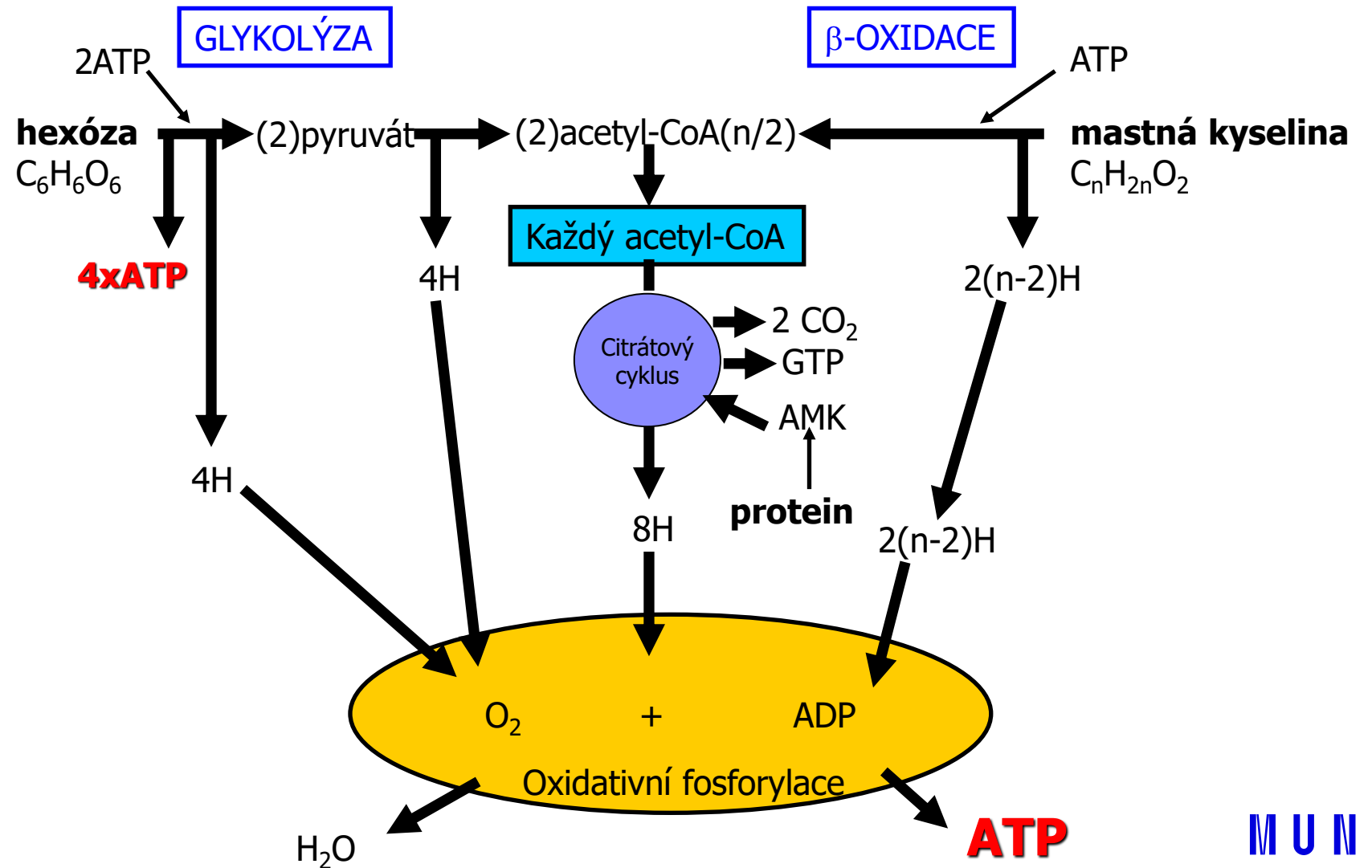
Příjem energie

- Základní substráty: **cukry, tuky a bílkoviny**

- Energie se získává spalováním (oxidací) substrátů
 - cukry 4,1 kcal/g
 - tuky 9,3 kcal/g
 - bílkoviny 5,3 kcal/g (v lidském organismu 4,1 kcal/g)

- Zdroj substrátů: **příjem potravy** nebo **mobilizace zásob**

Spalování živin



Výdej energie

- **Bazální metabolismus** – výdej energie na udržení homeostázy za bazálních podmínek (vitální funkce) – *~75% výdeje u sedícího člověka v klidu*
- **Specifický dynamický účinek jídla** – malé zvýšení energetického výdeje po najezení – *~7% výdeje u sedícího člověka v klidu*
- **Termoregulace**
- **Spontánní fyzická aktivita** (mimovolné pohyby) – *~18% výdeje u sedícího člověka v klidu*
- **Fyzická práce** – obvykle největší část energetického výdeje organismu

Uskladnění a přesuny energie

- Příjem a výdej energie nepravidelný – nutnost uskladnění energie

- Pohotová zásoba – makroergní sloučeniny
 - ATP
 - kreatinfosfát
 - GTP, CTP, UTP, ITP

- Dlouhodobé zásoby – zásobní substráty
 - Tuky, proteiny, cukry

Adenosin trisfosfát (ATP)

- univerzální makroergní sloučenina

Tvorba

- denně asi 63 kg (128 mol)
- oxidativní fosforylace
- glykolýza – jen krátkodobý zdroj, tvorba laktátu

Využití

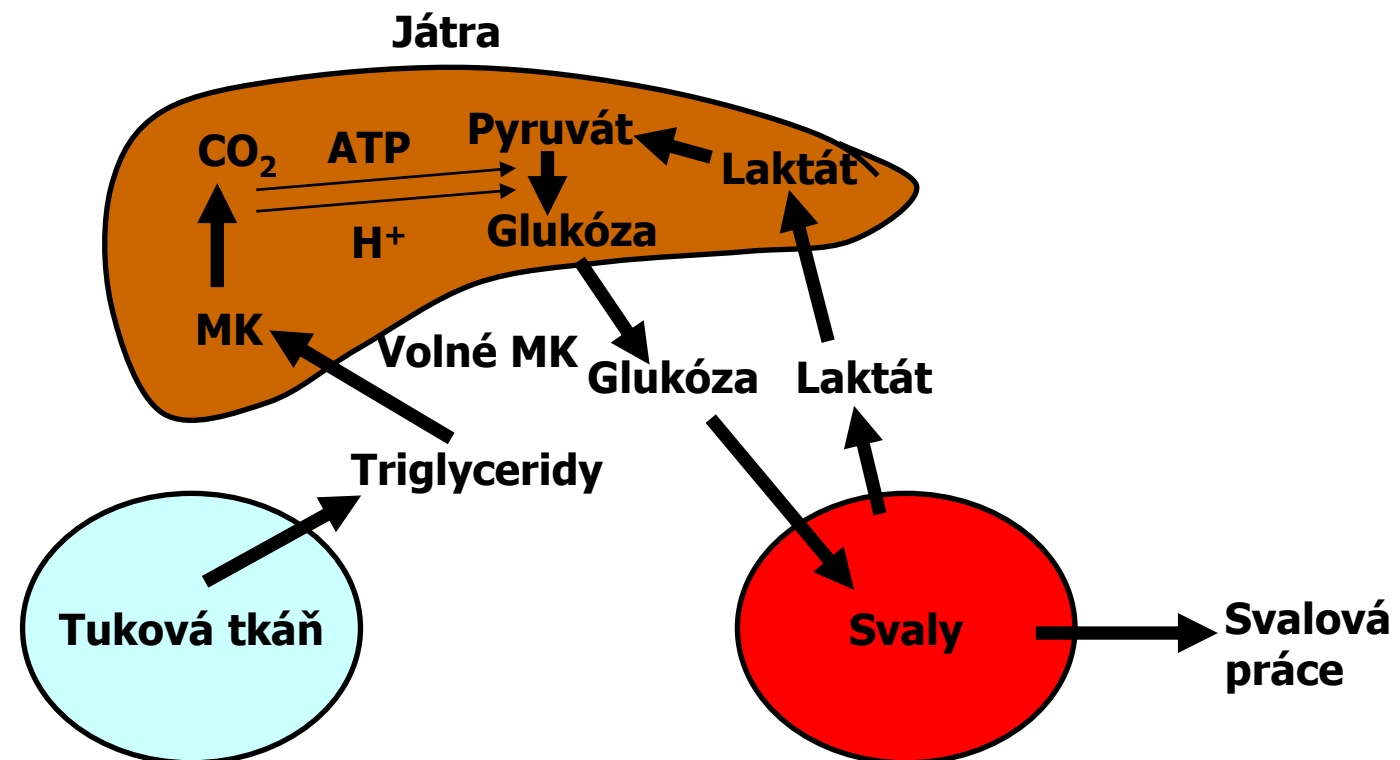
- štěpení makroergní vazby – účinnost není 100%, uvolňuje se teplo

Zásobní substráty

- Triglyceridy v tukové tkáni (75% zásob) – až na 2 měsíce
 - Zdroj: MK z potravy a esterifikace s α -glycerolfosfátem nebo syntéza MK z acetyl-CoA z glykolýzy (přeměna cukrů na efektivnější zásobu energie = tuk)
- Proteiny ve svalech a krevní plasmě (25% zásob)
 - Možná přeměna na cukry (glukoneogeneze; stimulováno glukokortikoidy)
 - Proteiny v krevní plasmě – rychle využitelné; vede k hypoproteinémii, snížení specifické látkové imunity
 - Mobilizace svalových proteinů vede k sarkopénii
- Cukry ve formě glykogenu (méně než 1% zásob)
 - Důležité pro CNS a pokrytí energetických nároků během krátkodobé fyzické práce
 - Glykogen uložen v játrech (asi 25%) a ve svalech (asi 75%)
 - Jaterní glykogen – glykogenolýza – uvolnění Glc do krve
 - Svalový glykogen – využití pouze ve svalech (chybí glukoso-6-fosfatáza)

Přesuny energie mezi orgány

- Pouze ve formě substrátů (glukóza, MK, AMK, laktát, ketolátky, ...)
- Na přesuny se spotřebovává energie (syntéza a štěpení zásobních substrátů, transporty, ...)



Měření energetického výdeje

– Kalorimetrie přímá

– Kalorimetrie nepřímá (*PRAKTIKA!!!*)

– Spotřeba O₂ – **energetický ekvivalent kyslíku** (množství energie uvolněné za spotřeby 1 litru O₂)

Cukry: 21,15 kJ/l

Tuky: 19,6 kJ/l

Proteiny: 19,65 kJ/l

Směsná dieta: 20,1 kJ/l

– Spotřeba O₂ + produkce CO₂ – **respirační kvocient** (poměr objemu vyprodukovaného CO₂ a spotřebovaného O₂;

$$RQ = V_{CO_2} / V_{O_2}$$

Cukry: RQ = 1

Tuky: RQ = 0,7

Proteiny: RQ = 0,8 – 0,9

Fyziologie práce

Fyziologie II přednáška (VLFY0422p)

Tibor Stračina

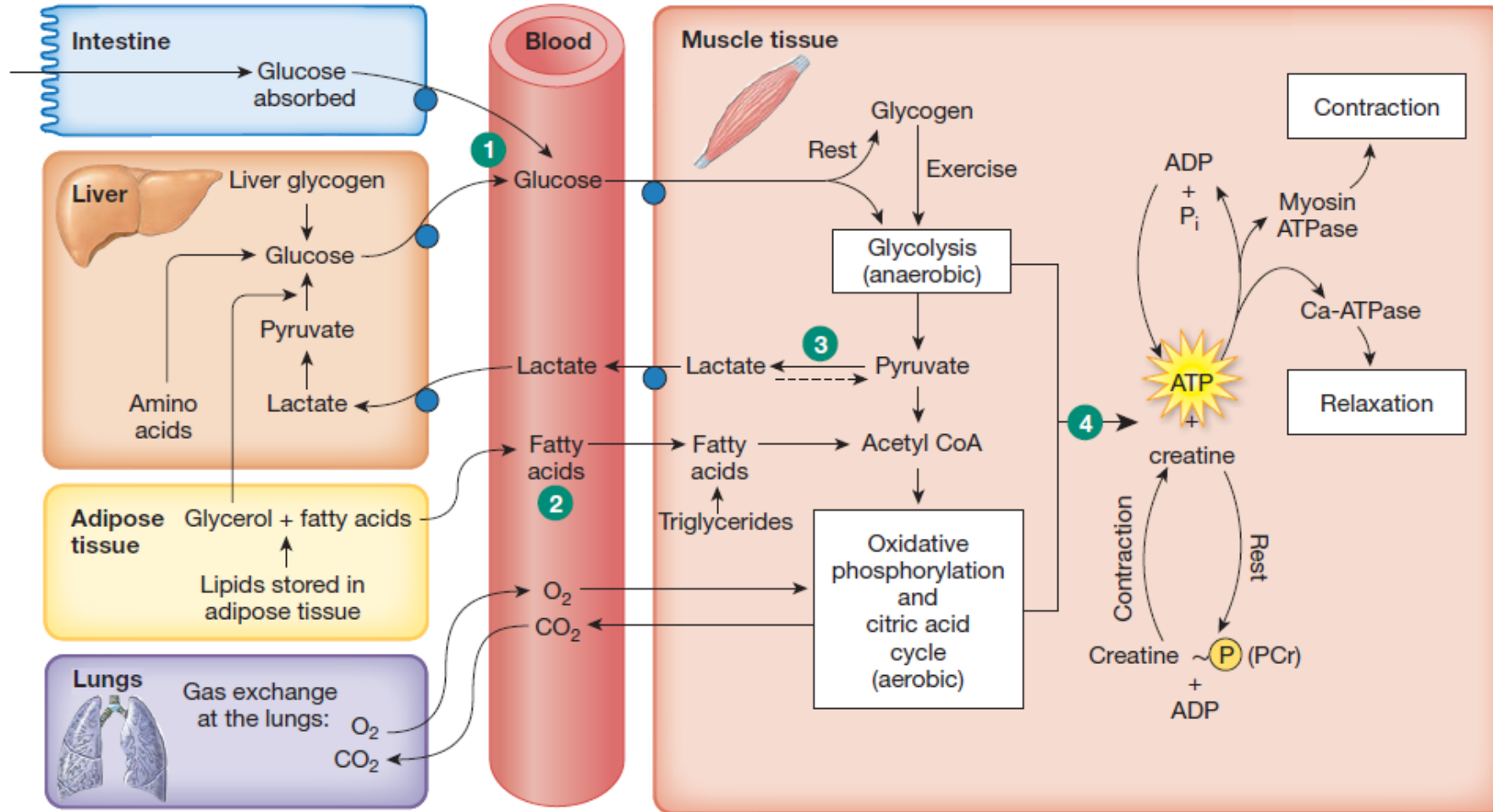
Práce (fyzická aktivita, cvičení)



Kosterní sval

- Kontrakce: isometrická (statická práce) vs. isotonická (dynamická práce)
- Metabolismus: aerobní vs. anaerobní
- Metabolická autoregulace krevního průtoku:
 - ↓pO₂; ↑pCO₂; ↓pH; ↑K⁺; ↑lokální teplota
- Krevní průtok závisí na svalovém napětí (vysoké napětí = snížený průtok)
- Svalová vřeténka – svalové napětí – aferentace – udržuje aktivaci SNS

Metabolismus kosterního svalu



Reakce organismu na zátěž (práci)

- Sympatický nervový systém (ergotropní systém)
- Kardiovaskulární změny
- Respirační změny
- Metabolické změny
- HOMEOSTÁZA

Anticipace fyzického výkonu

- Reakce organismu (zejména KVS) ještě před zahájením práce
- Připravuje organismus na zvýšené metabolické nároky pracujících kosterních svalů
- Změny stejné jako v časně fázy odpovědě na zátěž
- Podobnost s reakcí na stres (fight-or-flight)

Reakce kardiovaskulárního systému na práci

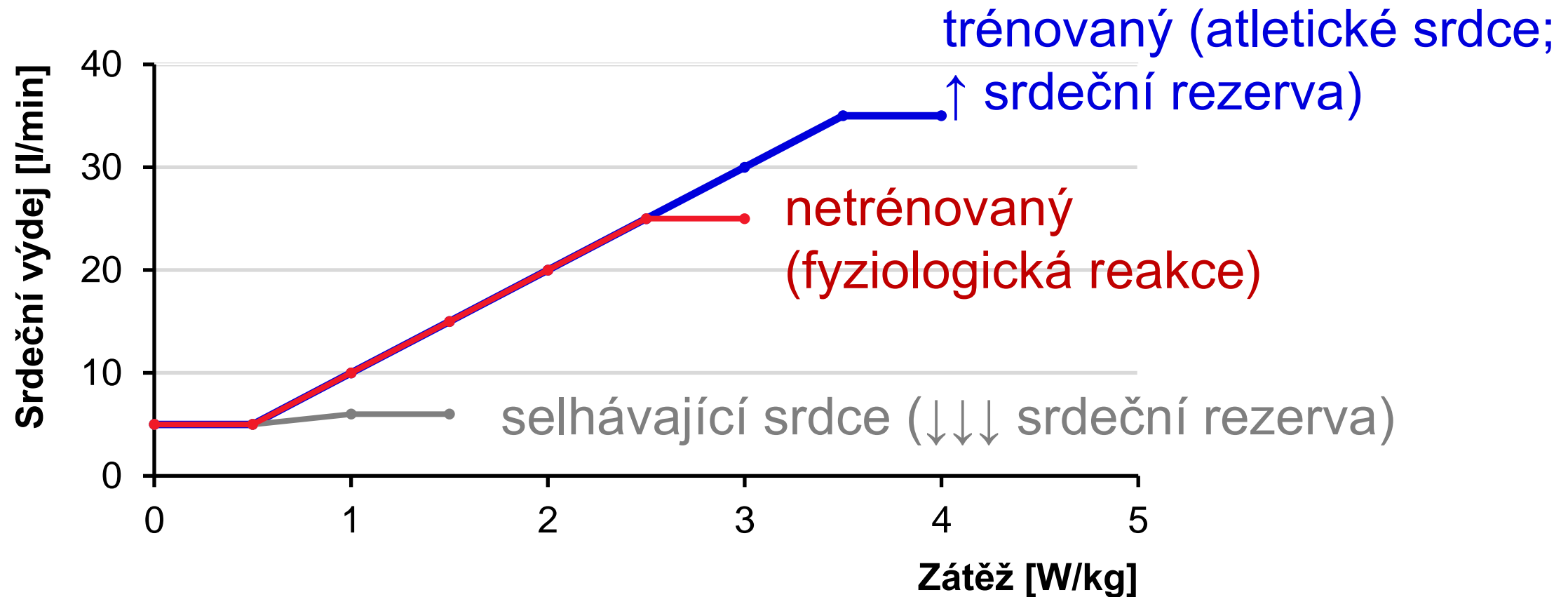
- Zvýšení srdečního výdeje
- Vazokonstrikce v nepracujících kosterních svalech, v GIT, kůži, (ledvinách)
- Vazodilatace v pracujících svalech
- Zvýšení žílného návratu
- Uvolnění histaminu
- Zvýšená produkce adrenalinu (dřeň nadledvin)
- Termoregulace

Zvýšení srdečního výdeje. Srdeční rezerva

- $CO = SV \times HR$ (SNS: pozitivní inotropní a chronotropní efekt)
- **Srdeční rezerva = maximální CO / klidový CO** (4 – 7)
- Koronární rezerva = maximální CF / klidový CF (~3.5)
- Chronotropní rezerva = maximální HR / klidový HR (3 – 5)
- Objemová rezerva = maximální SV / klidový SV (~1.5)

CO – srdeční výdej; CF – koronární průtok; HR – srdeční frekvence; SV – systolický objem

Srdeční rezerva u zdravého a selhávajícího srdce



Změny arteriálního tlaku krvi

PARAMETR	V KLIDU	PŘI ZÁTĚŽI	NÁRŮST (x)
Srdeční výdej [l/min]	5 – 6	25 (35)	4 – 5 (7) <i>srdeční rezerva</i>
Srdeční frekvence [1/min]	(45) 60-90	190 – 200 (220) <i>závisí na věku</i>	3 – 5 <i>chronotropní rezerva</i>
Systolický objem [ml]	75	115	~1.5 <i>objemová rezerva</i>
Systolický TK [mmHg]	120	<i>statická práce</i> ↑ <i>dynamická práce</i> ↑↑	
Diastolický TK [mmHg]	75	<i>statická práce</i> ↑↑↑ <i>dynamická práce</i> – / ↓	
Střední arteriální tlak (MAP) [mmHg]	~90	<i>statická práce</i> ↑ <i>dynamická práce</i> – / ↑	
Perfuze kosterních svalů [ml/min/100g]	2 – 4	60 – 120 (180)	~30

Reakce dýchacího systému na zátěž

- Dýchací centrum - \uparrow ventilace
 - chemoreceptory: \uparrow pCO₂ + \downarrow pH
 - proprioceptory v plicích
- Sympatický nervový systém (stres – anticipace)

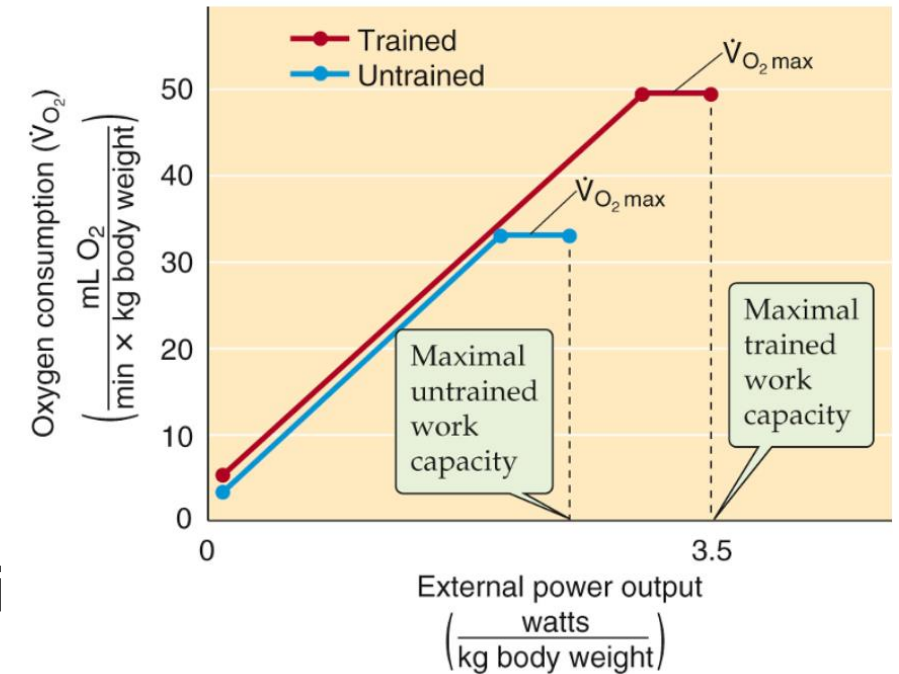
Reakce dýchacího systému na zátěž

PARAMETR	V KLIDU	PŘI ZÁTĚŽI	NÁRŮST (x)
Ventilace [l/min]	6 – 12	90 – 120	15 – 20 <i>respirační rezerva</i>
Frekvence dýchání [1/min]	12 – 16	40 – 60	4 – 5
Dechový objem (V_T) [l]	0.5 – 0.75	~2	3 – 4
Průtok plicnicí (perfuze plic) [l/min]	5 – 6	25 – 35	4 – 6
Spotřeba O_2 (V_{O_2}) [ml/min]	250 – 300	~3000	10 – 12 (25)
Produkce CO_2 [ml/min]	~200	~8000	~40

Spotřeba kyslíku (\dot{V}_{O_2})

- Spiroergometrie
- Klidová \dot{V}_{O_2} : ~**3,6** ml/(min.kg)
- $\dot{V}_{O_2 \max}$ – objektivní ukazatel aerobní výkonnosti
 - klesá s věkem
 - netrénovaná osoba středního věku: **30 – 40** ml/(min.kg)
 - elitní vytrvalostní atlet: **80 – 90** ml/(min.kg)
 - pacient s těžkým srd. selháním /CHOPN : **10 – 20** ml/(min.kg)

Adopted from:
<https://studentconsult.inkling.com/read/boron-medical-physiology-3e/chapter-60/figure-60-6>



Determinanty $V_{O_2 \max}$

1. Příjem O_2 v plicích

– ventilace plic, celková difuzní kapacita plic, perfuze plic

2. Dodávka O_2 do svalů

– průtok krve (tlakový gradient – srdeční výdej vs. odpor)

– koncentrace hemoglobinu (kapacita krve pro transport O_2)

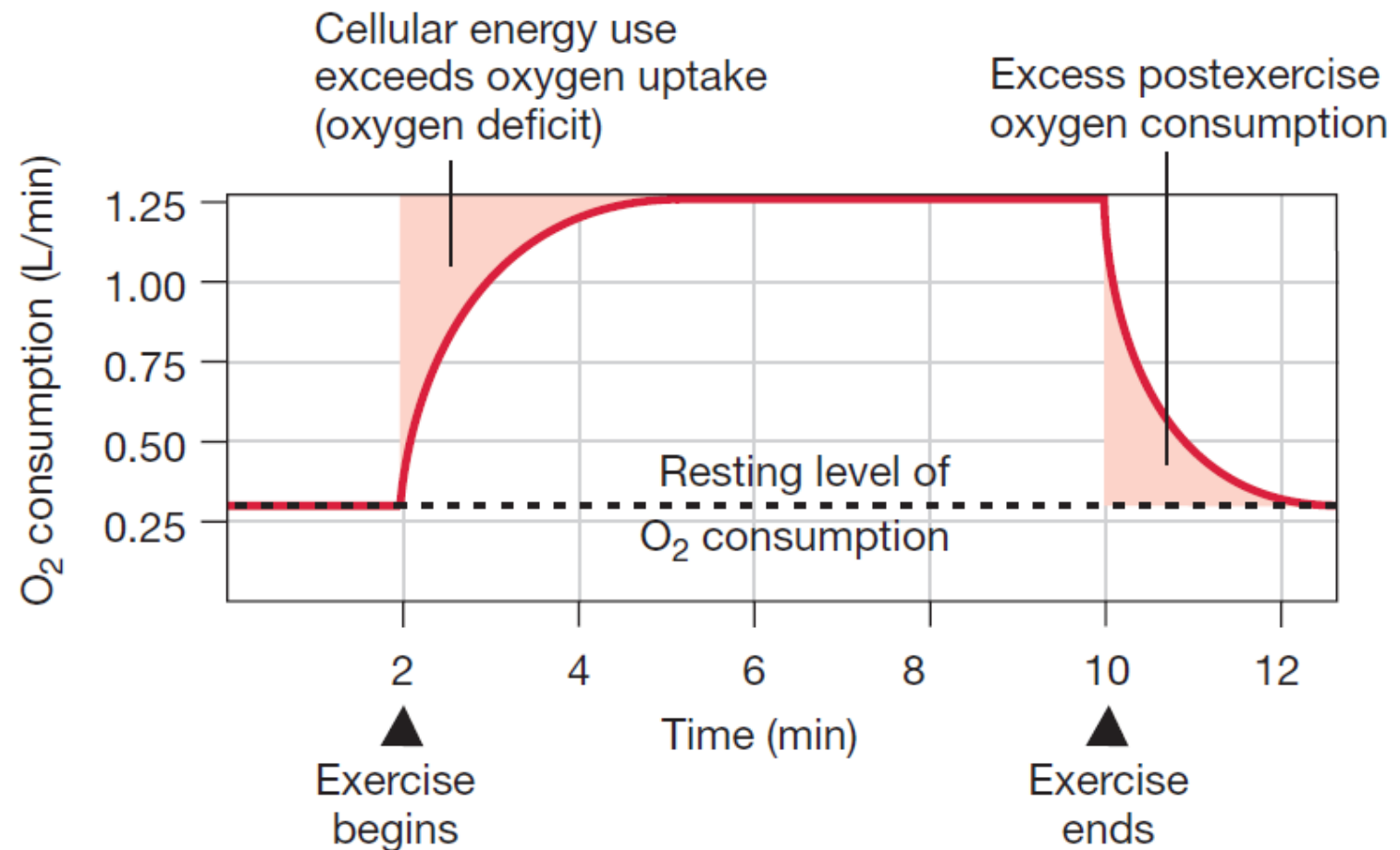
3. Difuze O_2 z krve do svalů

– pO_2 gradient: krev-mitochondrie

Spotřeba kyslíku během zátěže

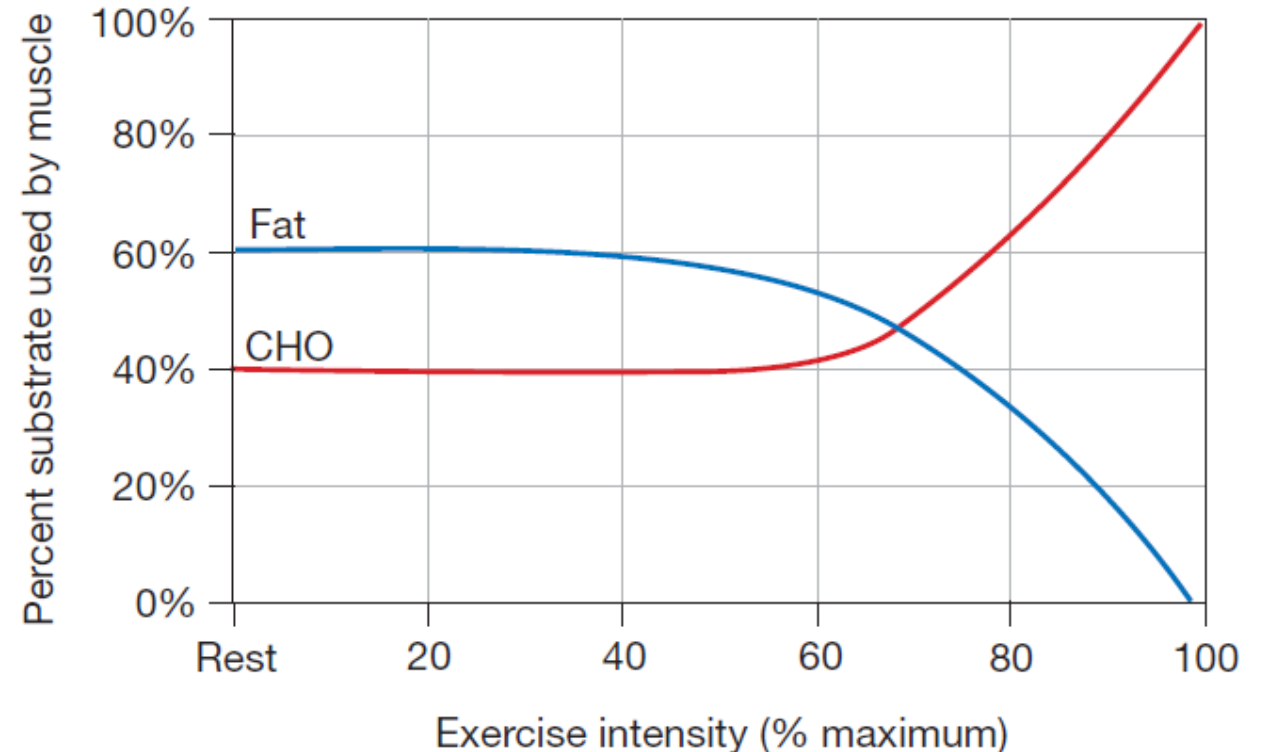
Adopted from: D.U.Silverthorn:
Human Physiology (An Integrated
Approach)

– Kyslíkový dluh



Substráty využívané kosterním svalem během zátěže

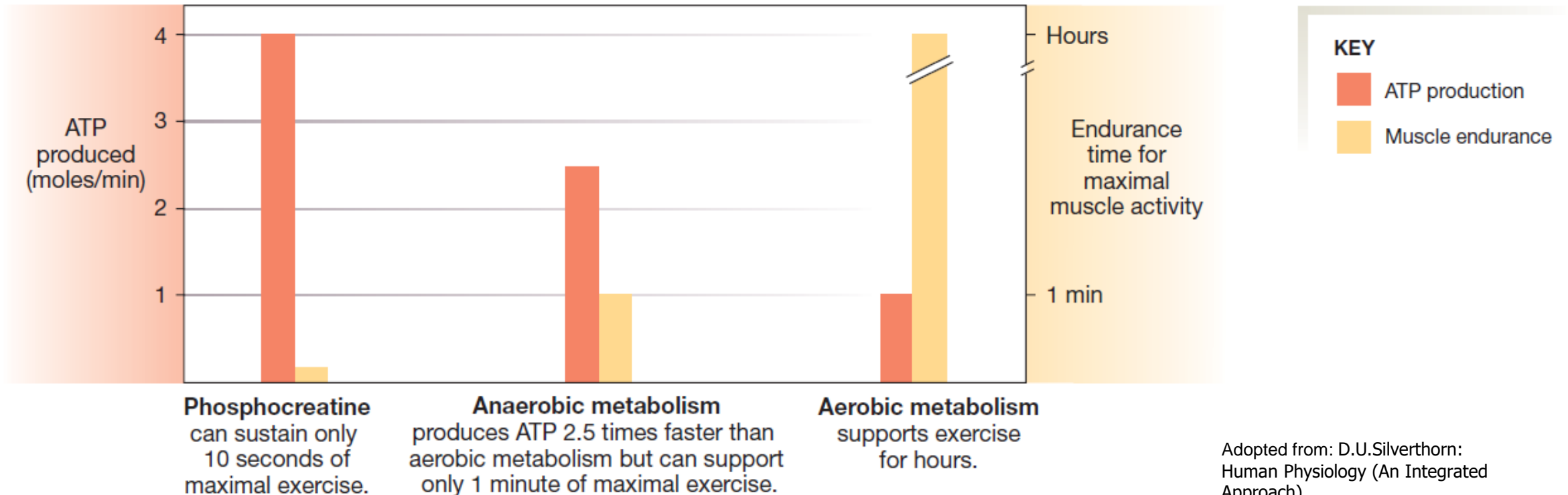
- Nízká intenzita: tuky (MK)
- Vysoká intenzita: glukóza



Data from G. A. Brooks and J. Mercier, *J App Physiol* 76: 2253–2261, 1994

Adopted from: D.U.Silverthorn:
Human Physiology (An Integrated Approach)

Produkce ATP různých zdrojů a svalová výdrž



Testování fyzické zdatnosti (kondice)

- (Spiro)ergometrie
- Standardizovaná zátěž
 - exaktně: W/kg
 - poměrově: MET – metabolický ekvivalent
 - poměr mezi aktuálním metabolickým obratem a metabolickým obratem v klidu v sedě
 - 1 MET = spotřeba 3,5 ml O₂/kg.min ≈ 4,31 kJ/kg.h
 - spánek ≈ 0,9 MET; pomalá chůze ≈ 3-4 MET; sprint, rychlý běh ≈ 16 MET
 - (+) jednoduchost; (-) nutno vyjadřovat individuálně!!!

Ukazatele zdatnosti (fitness)

- W_{170} [W/kg]
- $V_{O_2 \max}$ [ml O_2 / (min.kg)]
- Aerobní / anaerobní práh

- Únava, selhání
- Tréning
- Adaptace