

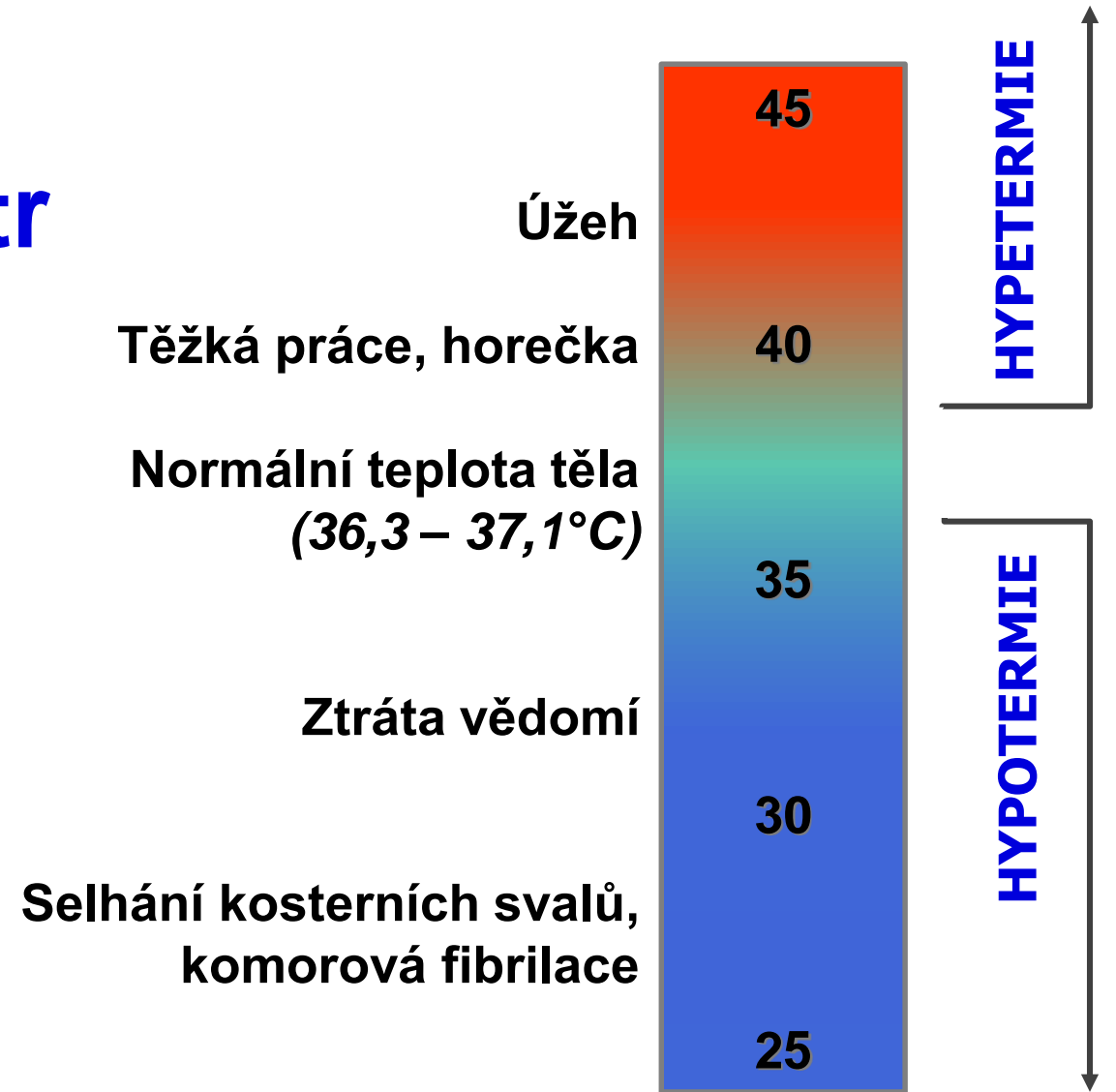
# **Termoregulace**

Fyziologie II přednáška (VLFY0422p)

**Tibor Stračina**

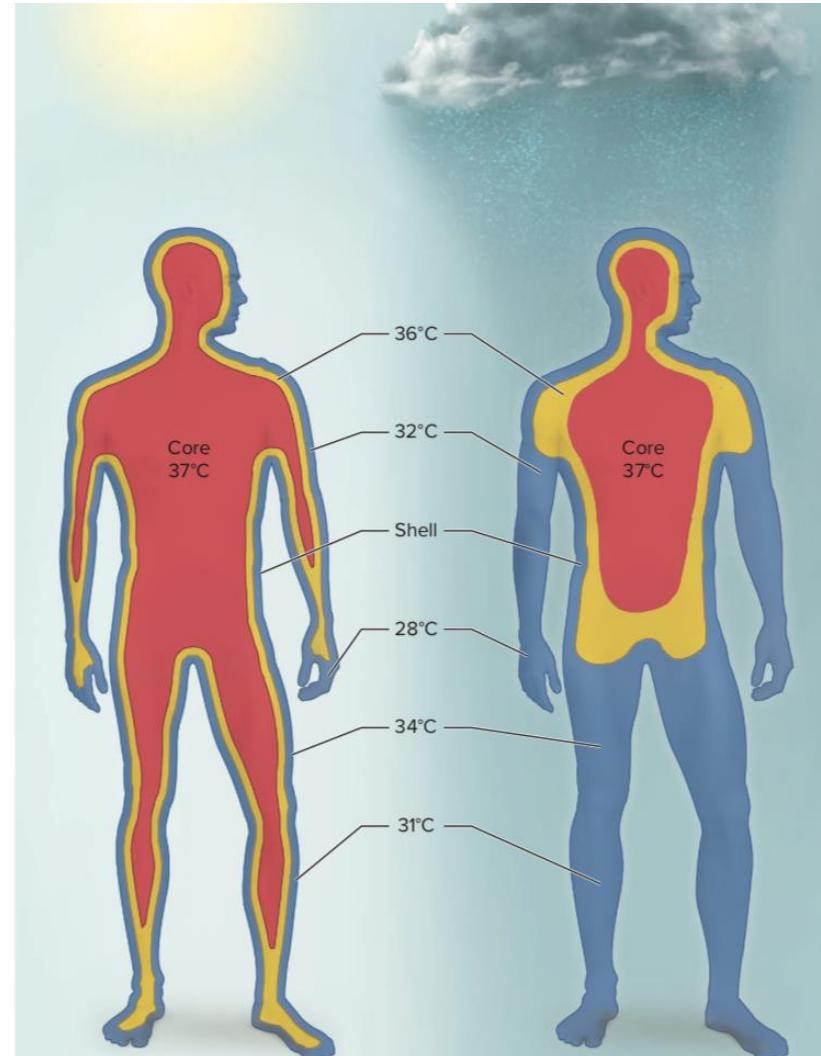
Audiovizuální obsah prezentovaný během on-line přednášky je autorským dílem vytvořeným zaměstnanci Masarykovy univerzity. Jakékoliv další šíření tohoto obsahu nebo jeho části bez svolení Masarykovy univerzity je v rozporu se zákonem.

# Teplota – homeostatický parametr



# Tělesné jádro vs. obal

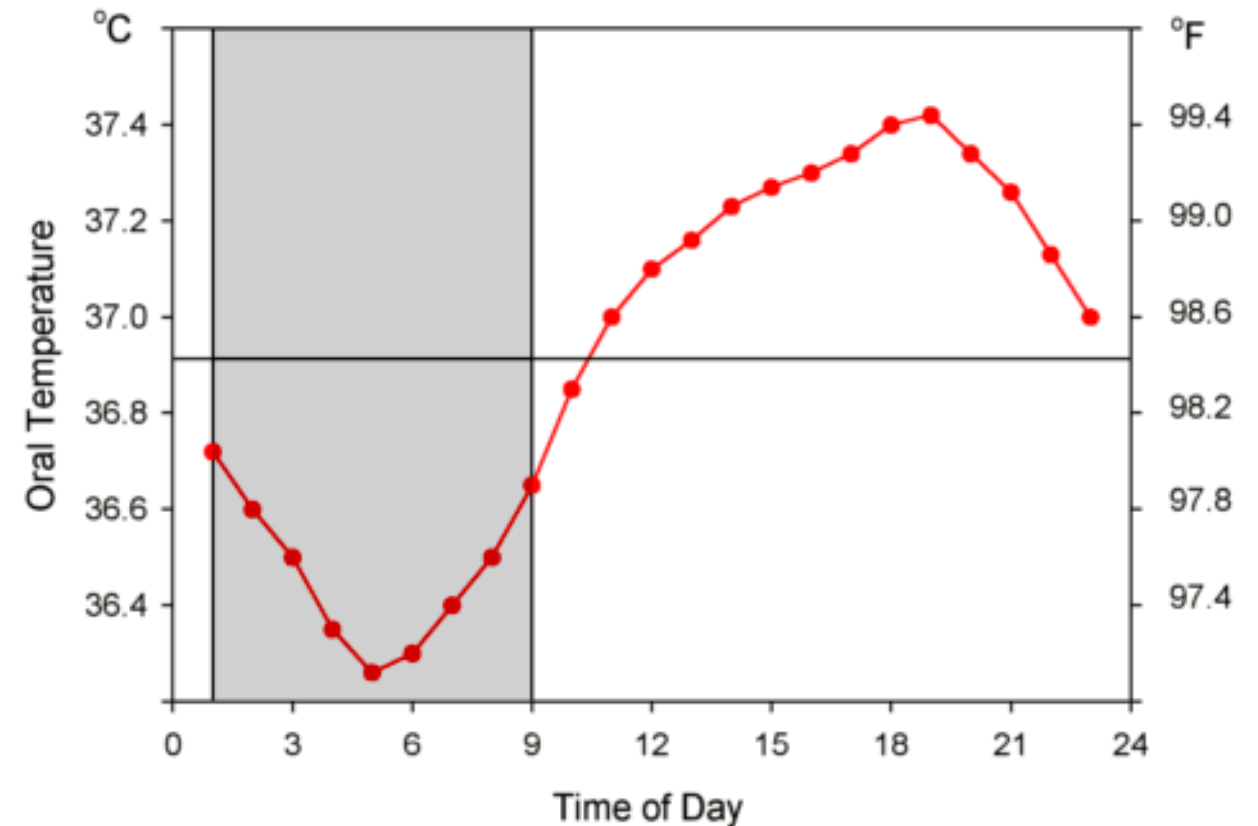
- homeotermní vs. poikilotermní
- Teplota tělesného jádra – udržována v (úzkém) rozmezí
- Kožní teplota (obal) – proměnlivá (teplota jádra, okolní prostředí)



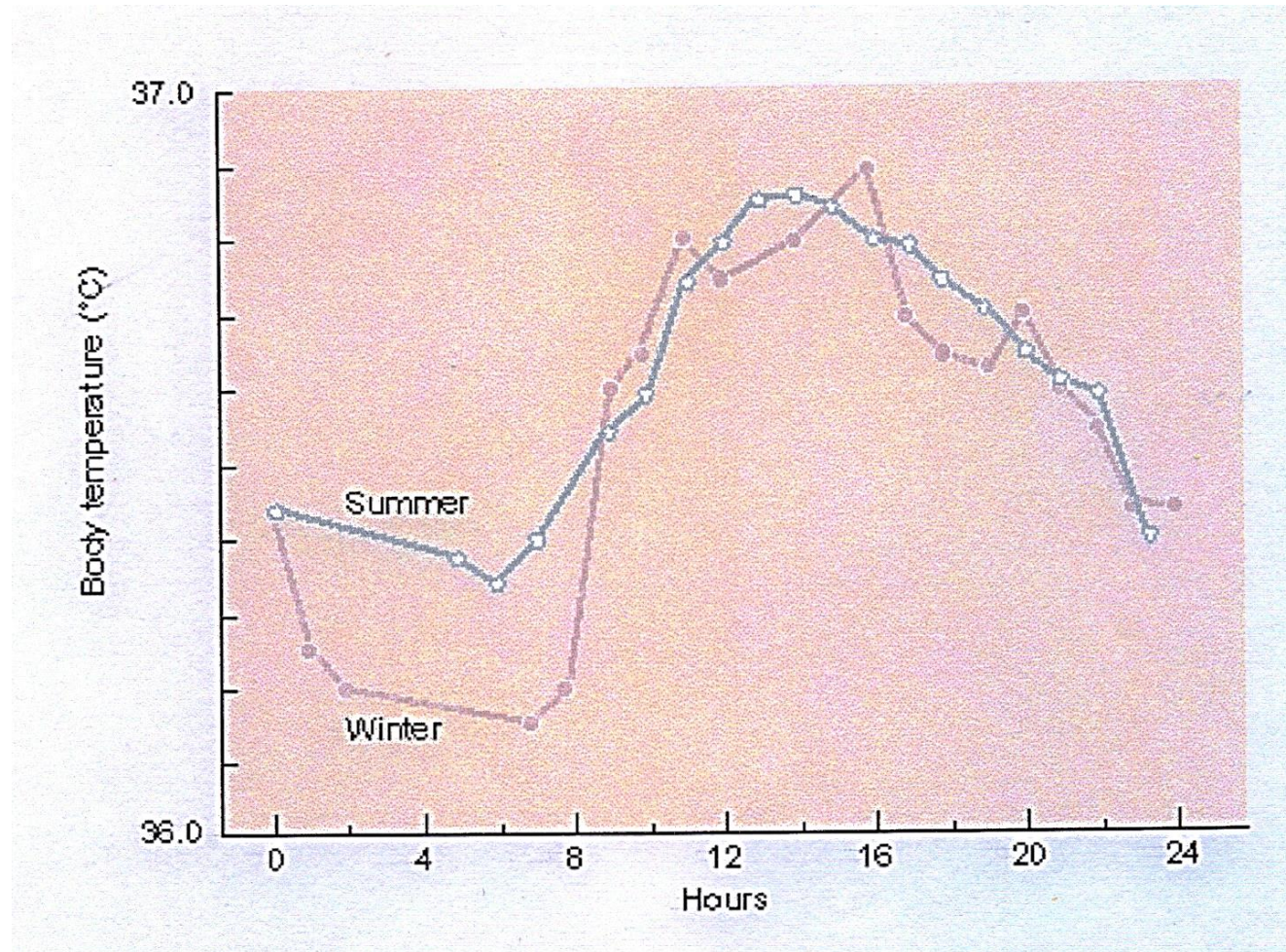
Adopted from: K.S. Saladin, *Anatomy & Physiology—The Unity of Form and Function*, 8th ed. (McGraw-Hill, 2018)

# Variabilita teploty tělesného jádra

- Cirkadiální kolísání
- Cirkamensální rytmus (u žen od puberty do menopausy)
- Sezónní variabilita (cirkanuální rytmus)
- Stárnutí

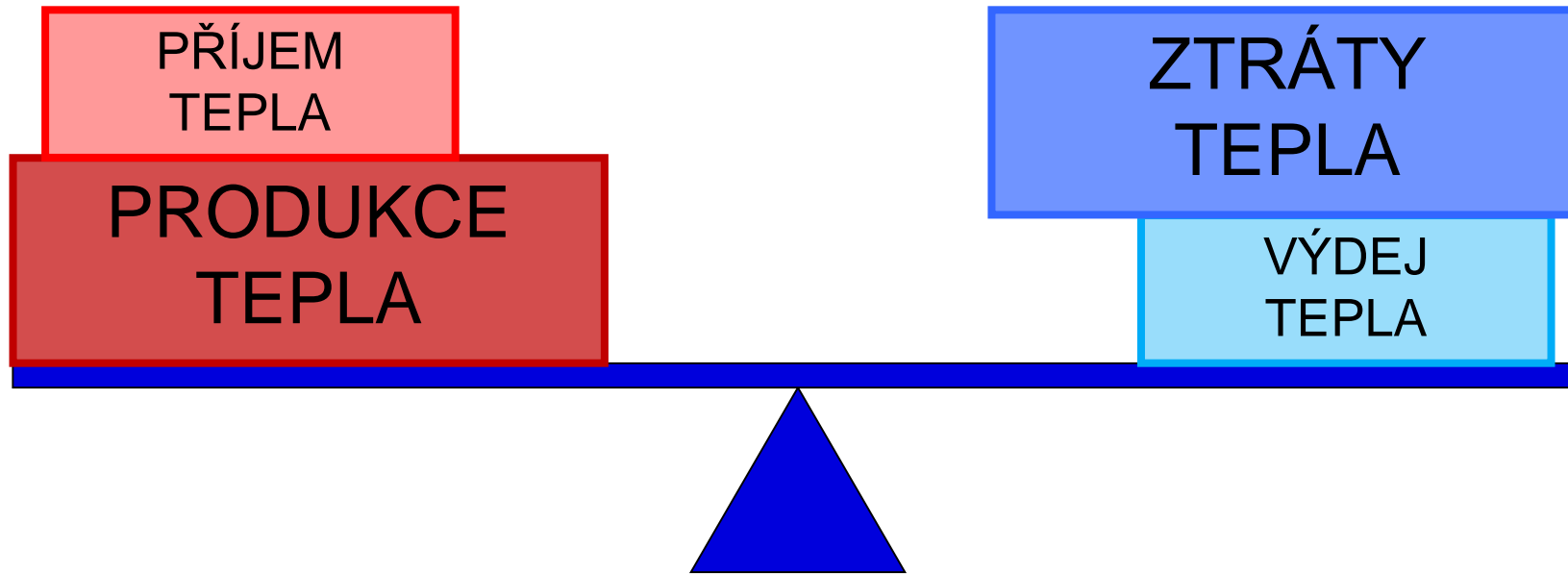


# Variabilita teploty tělesného jádra





# Jemná rovnováha teploty jádra



# Teplo vs. teplota

- **Teplo [J]** – (tepelná) energie přenášená mezi tělesy (odevzdávána nebo přijímána)
- **Teplota [K, °C, °F]** – míra obsahu tepelné energie; střední kinetická energie částic (molekul, iontů)



# Přenos tepla uvnitř organismu

- primárně **KONVEKCE**
- médium = krev
  
- v menší míře **KONDUKCE**

# Produkce tepla

- Metabolismu: metabolický obrat ~ produkce tepla
- Fyzická aktivita (svalová kontrakce) – klid vs. práce
- Postprandiální termogeneze (příjem potravy)
- Třesová termogeneze
- Netřesová termogeneze (hnědá tuková tkáň)

# Příjem a ztráty tepla

- „pasivní“ procesy

- RADIACE

- KONVEKCE

- KONDUKCE

- Závisí na teplotním gradient povrch těla (kůže) – okolní prostředí

# Výdej tepla (aktivní ztráty)

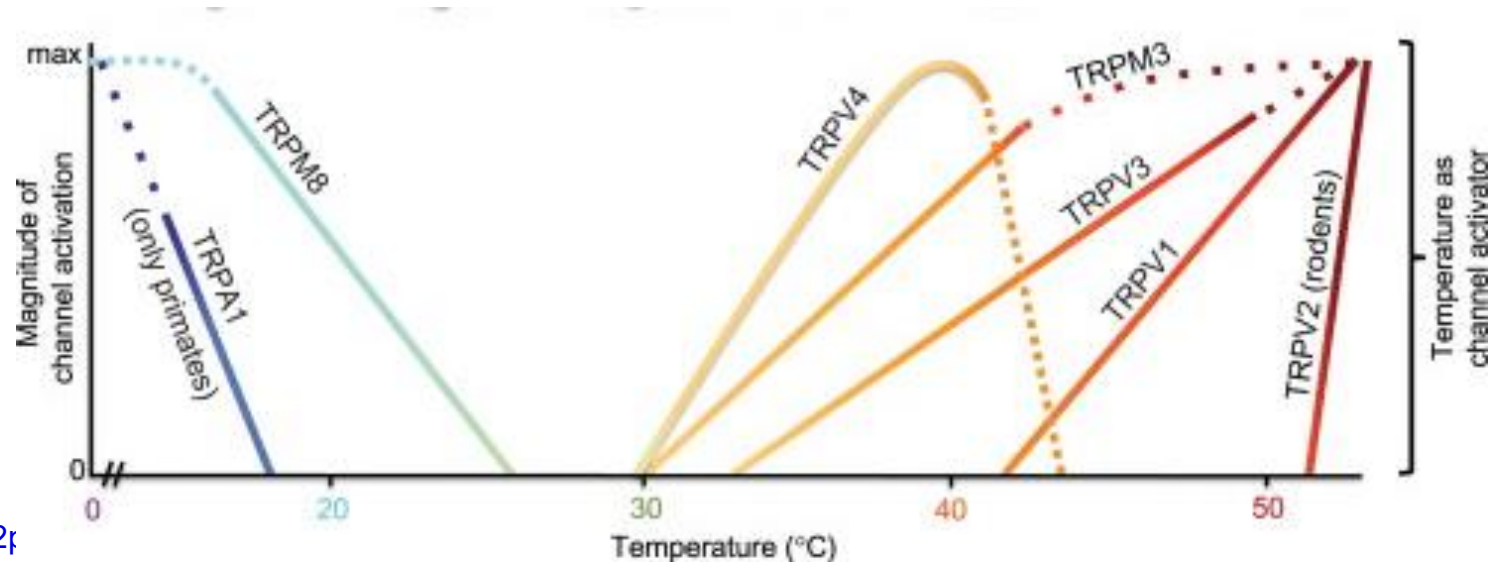
- EVAPORACE
- perspiratio sensibilis = produkce potu (1 l odpařeného potu = - 2 428 kJ)
- perspiratio insensibilis = difuze vody přes kůži a sliznice
  
- (RADIACE)
- (KONDUKCE)
- (KONVEKCE)

# Termoregulace

- Všechny procesy směřující k udržení teploty jádra v požadovaném rozmezí
- Termoregulační chování
- Sociální termoregulace

# Aferentace

- Centrální termoreceptory – teplota mozku
- Teplotně citlivé neurony v předním hypotalamu (area preoptica)
- Periferní termoreceptory – kožní teplota
- TRP kanály



# Termoregulační centrum

- Přední HYPOTALAMUS (area preoptica)
- Integrace aferentních informací
- Modifikace eferentních drah (vegetativní, somatické) – ovlivnění efektorů
- „set-point“ vs. prahová teplota pro efektorové systémy



# Efektorové systémy termoregulace

- Chování
- Kožní cirkulace
- Potní žlázy
- Kosterní svaly (volné pohyby, třesová termogeneze)
- Horipilace (piloerekce)
- Hnědá tuková tkáň (netřesová termogeneze)

# Chladem indukované mechanismy

- Strategie: snížit ztráty tepla
  - Chování: snížit tělesný povrch, tepleji se obléct
  - Vazokonstrikce v kůži. Horipilace
  - Inhibice pocení
- Strategie: zvýšit produkci tepla
  - Kosterní sval: častější volné pohyby (chování). Třes
  - Netřesová termogeneze (hnědá tuková tkáň, NA,  $\beta$ 3R, UCP1)
  - Hlad (zvýšení příjmu potravy)

# Teplem indukované mechanismy

- Strategie: zvýšit ztráty/výdej tepla
  - Kožní vazodilatace
  - Zvýšené pocení (evaporace)
  - Zvýšená ventilace
- Strategie: zvýšit produkci tepla
  - Chování: Vyhledání stínu, lehké oblečení
  - Neaktivita, apatie
  - Ztráta chuti k jídlu (snížený apetit)

# **Fyziologie práce**

Fyziologie II přednáška (VLFY0422p)

**Tibor Stračina**

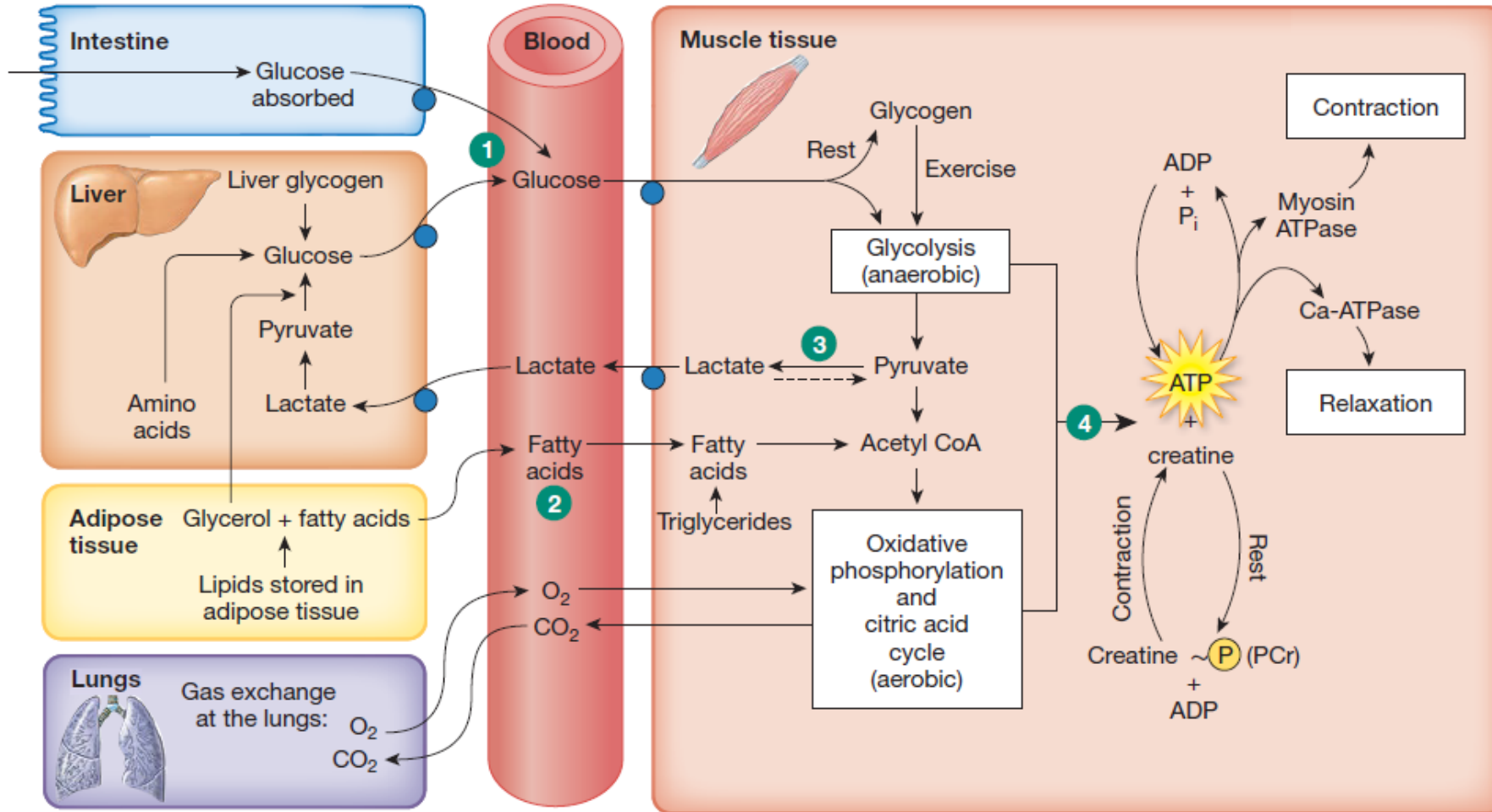
# Práce (fyzická aktivita, cvičení)



# Kosterní sval

- Kontrakce: isometrická (statická práce) vs. isotonická (dynamická práce)
- Metabolismus: aerobní vs. anaerobní
- Metabolická autoregulace krevního průtoku:
  - ↓pO<sub>2</sub>; ↑pCO<sub>2</sub>; ↓pH; ↑K<sup>+</sup>; ↑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

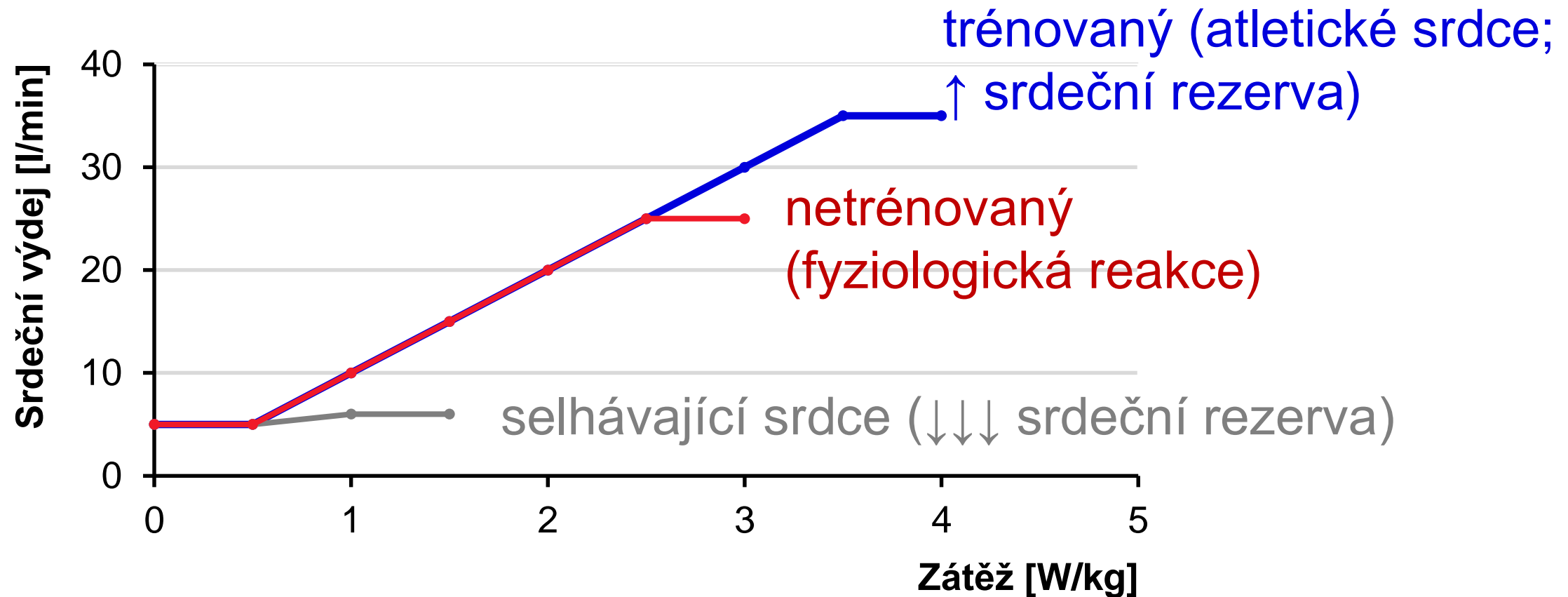
- Zvýšení srdečního výdeje
- Vazokonstrikce v nepracujících kosterních svalech, v GIT, kůži, (ledvinách)
- Vazodilatace v pracujících svalech
- Zvýšení žílného návratu
- Uvolnění histaminu
- Zvýšená produkce adrenalinu (dřeň nadledvin)
- Termoregulace

# 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)
<b>Srdeční výdej</b> [l/min]	5 – 6	25 (35)	4 – 5 (7) <i>srdeční rezerva</i>
<b>Srdeční frekvence</b> [1/min]	(45) 60-90	190 – 200 (220) <i>závisí na věku</i>	3 – 5 <i>chronotropní rezerva</i>
<b>Systolický objem</b> [ml]	75	115	~1.5 <i>objemová rezerva</i>
<b>Systolický TK</b> [mmHg]	120	<i>statická práce</i> ↑ <i>dynamická práce</i> ↑↑	
<b>Diastolický TK</b> [mmHg]	70	<i>statická práce</i> ↑↑↑ <i>dynamická práce</i> – / ↓	
<b>Střední arteriální tlak (MAP)</b> [mmHg]	~90	<i>statická práce</i> ↑ <i>dynamická práce</i> – / ↑	
<b>Perfuze kosterních svalů</b> [mL/min/100g]	2 – 4	60 – 120 (180)	30 (10% CO <sub>max</sub> )

# Reakce dýchacího systému na zátěž

- Dýchací centrum -  $\uparrow$  ventilace
  - chemoreceptory:  $\uparrow$  pCO<sub>2</sub> +  $\downarrow$  pH
  - proprioceptory v plicích
- Sympatický nervový systém (stres – anticipace)



# Reakce dýchacího systému na zátěž

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

# Spotřeba kyslíku ( $\dot{V}_{O_2}$ )

– Spiroergometrie

– Klidová  $\dot{V}_{O_2}$ : **~3.6** mlO<sub>2</sub>/(min.kg)

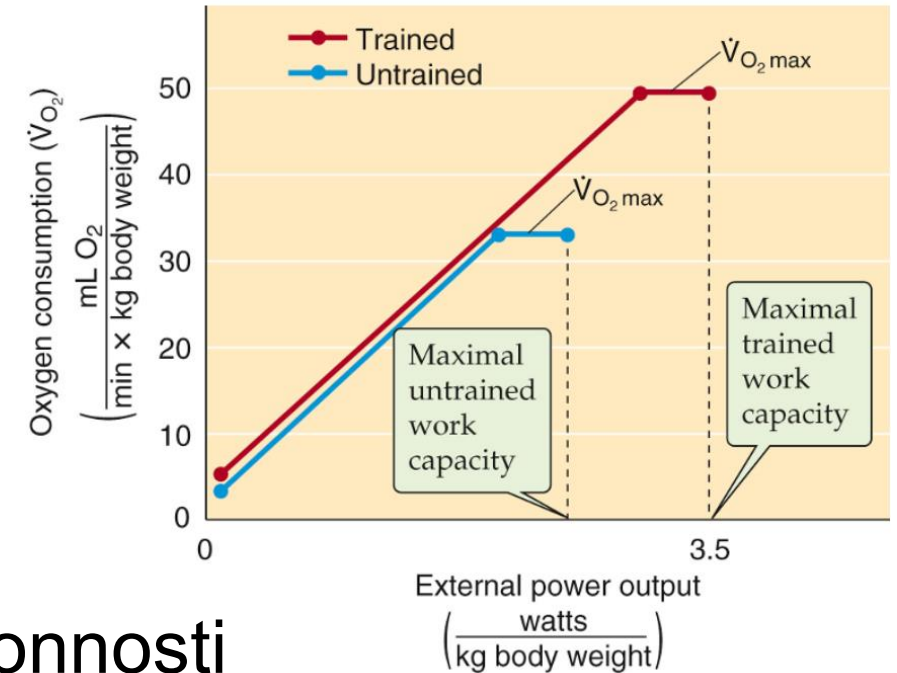
–  $\dot{V}_{O_2 \max}$  – objektivní ukazatel aerobní výkonnosti

– netrénovaná osoba středního věku: **30 – 40** mlO<sub>2</sub>/(min.kg)

– elitní vytrvalostní atlet: **80 – 90** mlO<sub>2</sub>/(min.kg)

– pacient s těžkým srd. selháním /CHOPN : **10 – 20** mlO<sub>2</sub>/(min.kg)

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



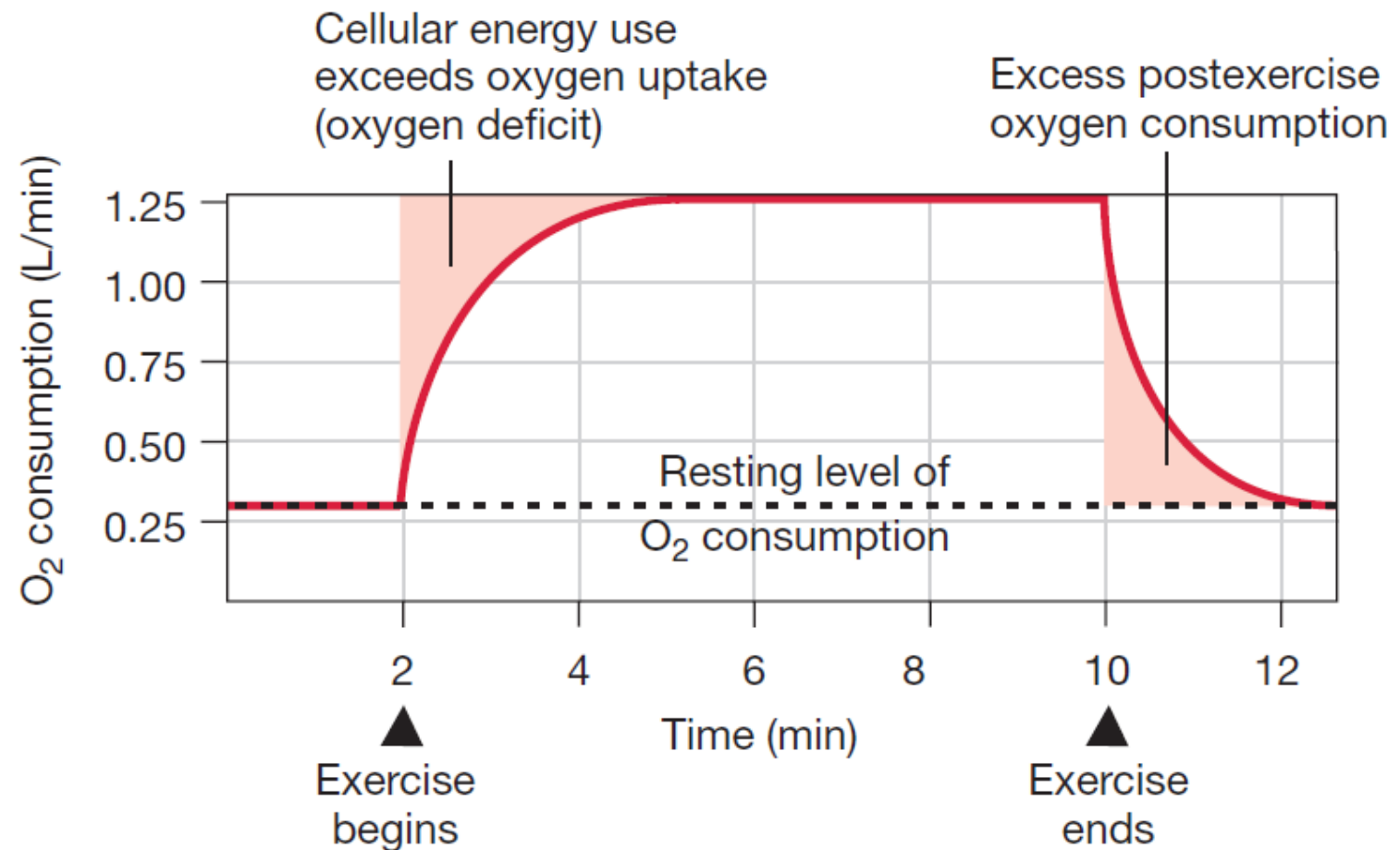
# Determinanty $V_{O_2 \max}$

1. Příjem  $O_2$  v plicích
  - ventilace plic, celková difuzní kapacita plic
2. Dodávka  $O_2$  do svalů
  - průtok krve (tlakový gradient – srdeční výdej vs. odpor)
  - koncentrace hemoglobinu (kapacita krve pro  $O_2$ )
3. Extrakce  $O_2$  z krve do svalů
  - $pO_2$  gradient: krev-mitochondrie

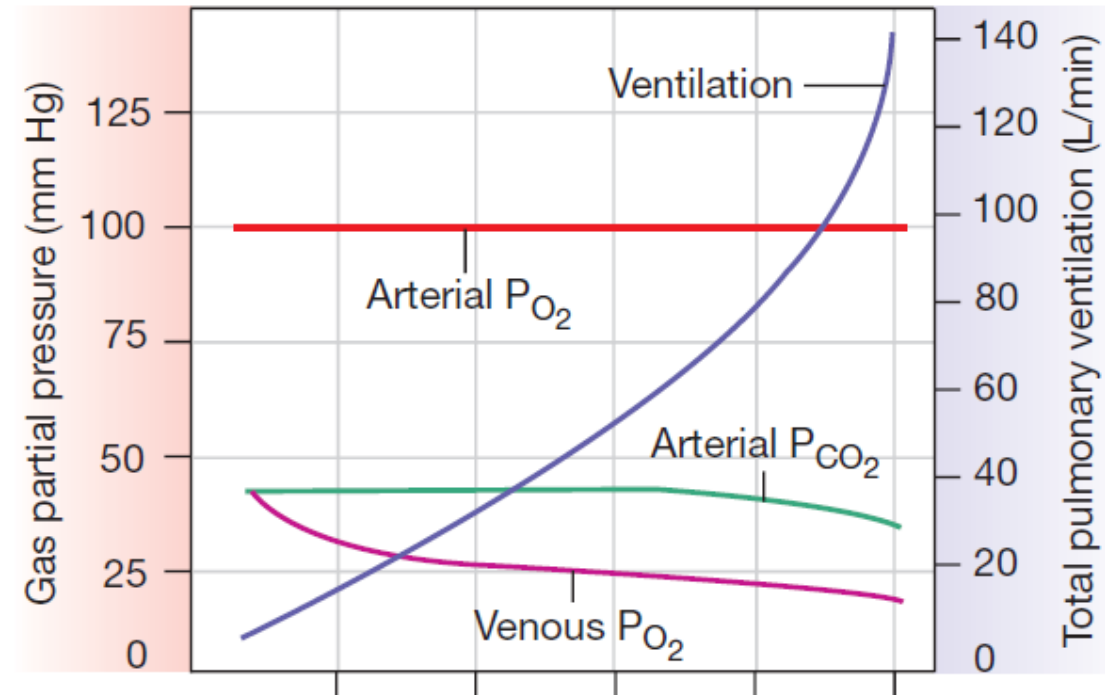
# Spotřeba kyslíku během zátěže

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

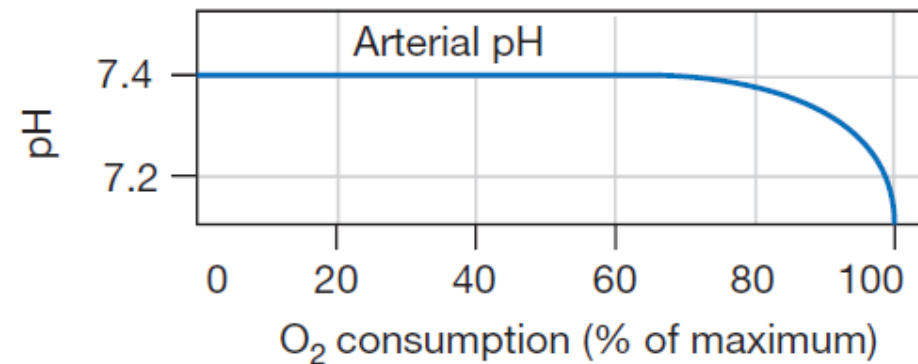
## – Kyslíkový dluh



# Krevní plyny (v závislosti na spotřebě $O_2$ )

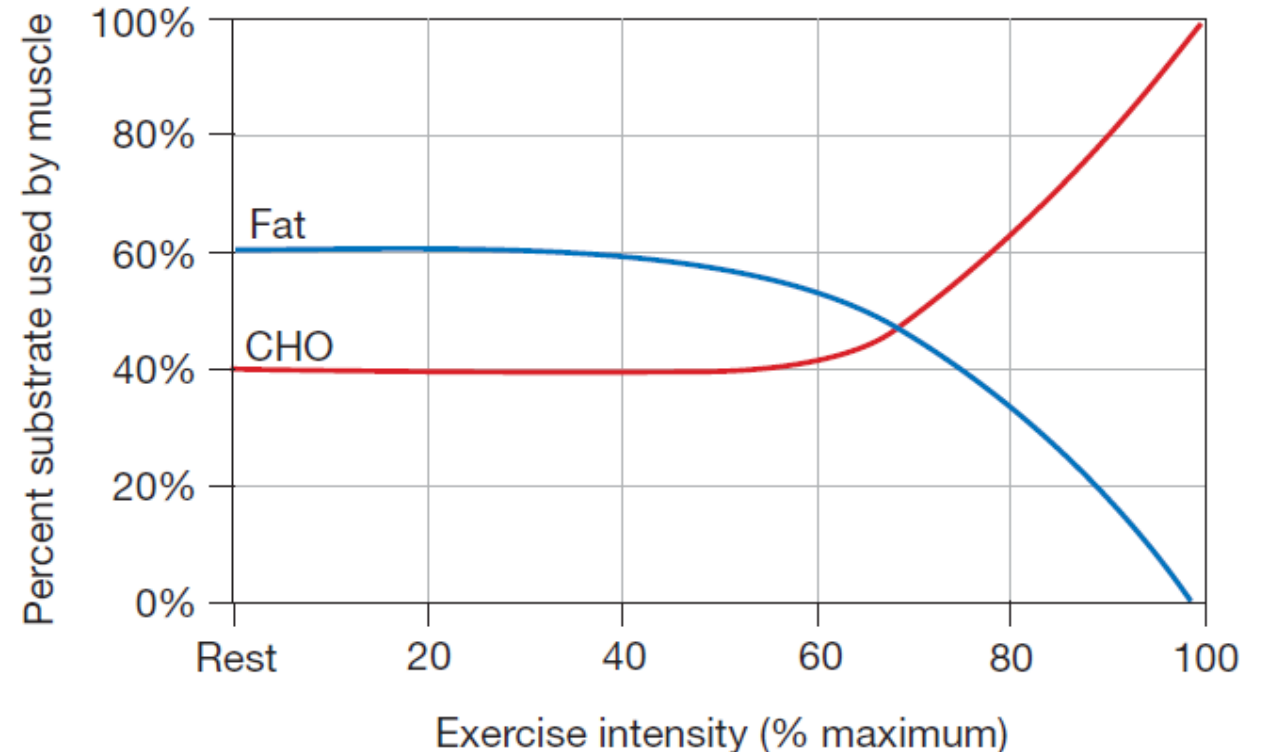


Adopted from: D.U.Silverthorn:  
Human Physiology (An Integrated  
Approach)



# Substráty využívané kosterním svalem během zátěže

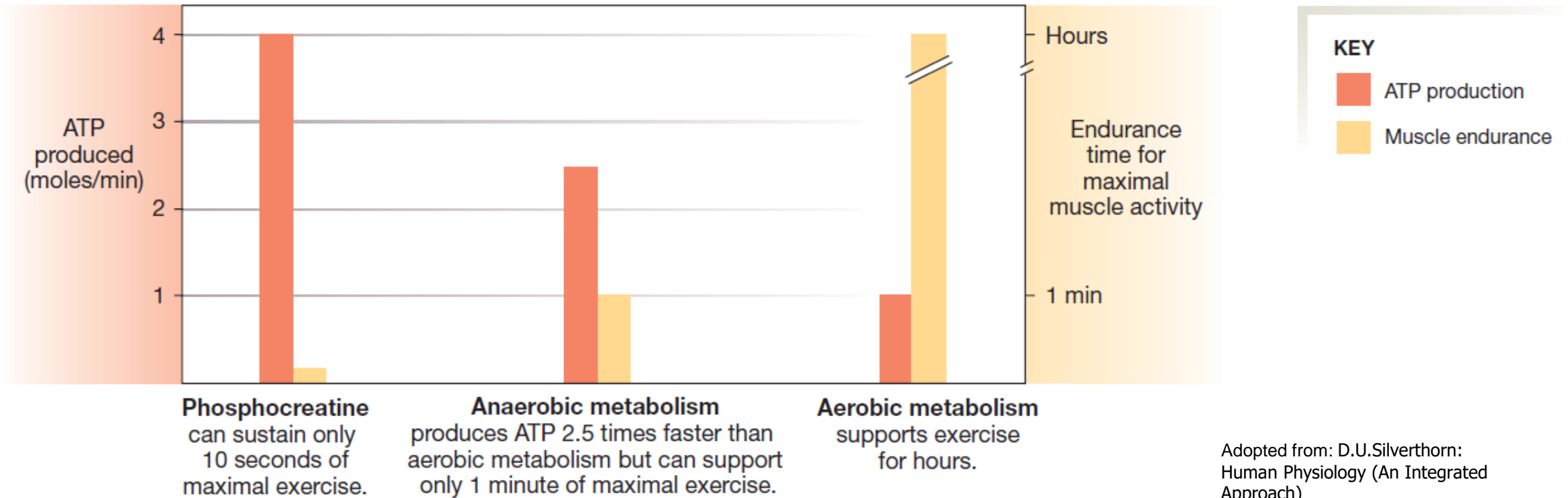
- Nízká intenzita: tuky (MK)
- Vysoká intenzita: glukóza



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 a svalová výdrž při aerobním a anaerobním metabolismu





# 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 O<sub>2</sub>/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

Audiovizuální obsah prezentovaný během on-line 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.