

# **Energetický metabolismus**

Fyziologie II přednáška

Bi4182, BKFY0222p, BLFY0222p, BOFY0222p, BPFY0222p, BSFY0222p, BZFY0222p, MBFY0222p

**Tibor Stračina**

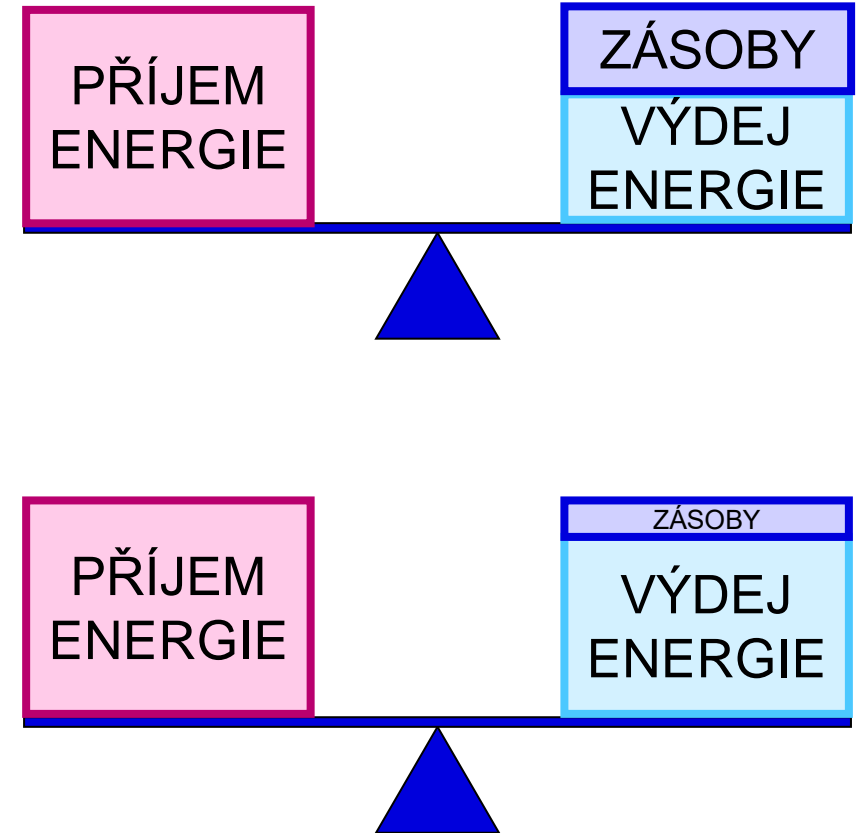
Audiovizuální obsah prezentovaný během přednášky je autorským dílem vytvořeným zaměstnanci Masarykovy univerzity. Jakékoliv další šíření tohoto obsahu nebo jeho části bez svolení Masarykovy univerzity je v rozporu se zákonem.

# Energetický metabolismus

- Příjem energie
- Energetický výdej
- Tvorba energetických zásob

- Energetická rovnováha

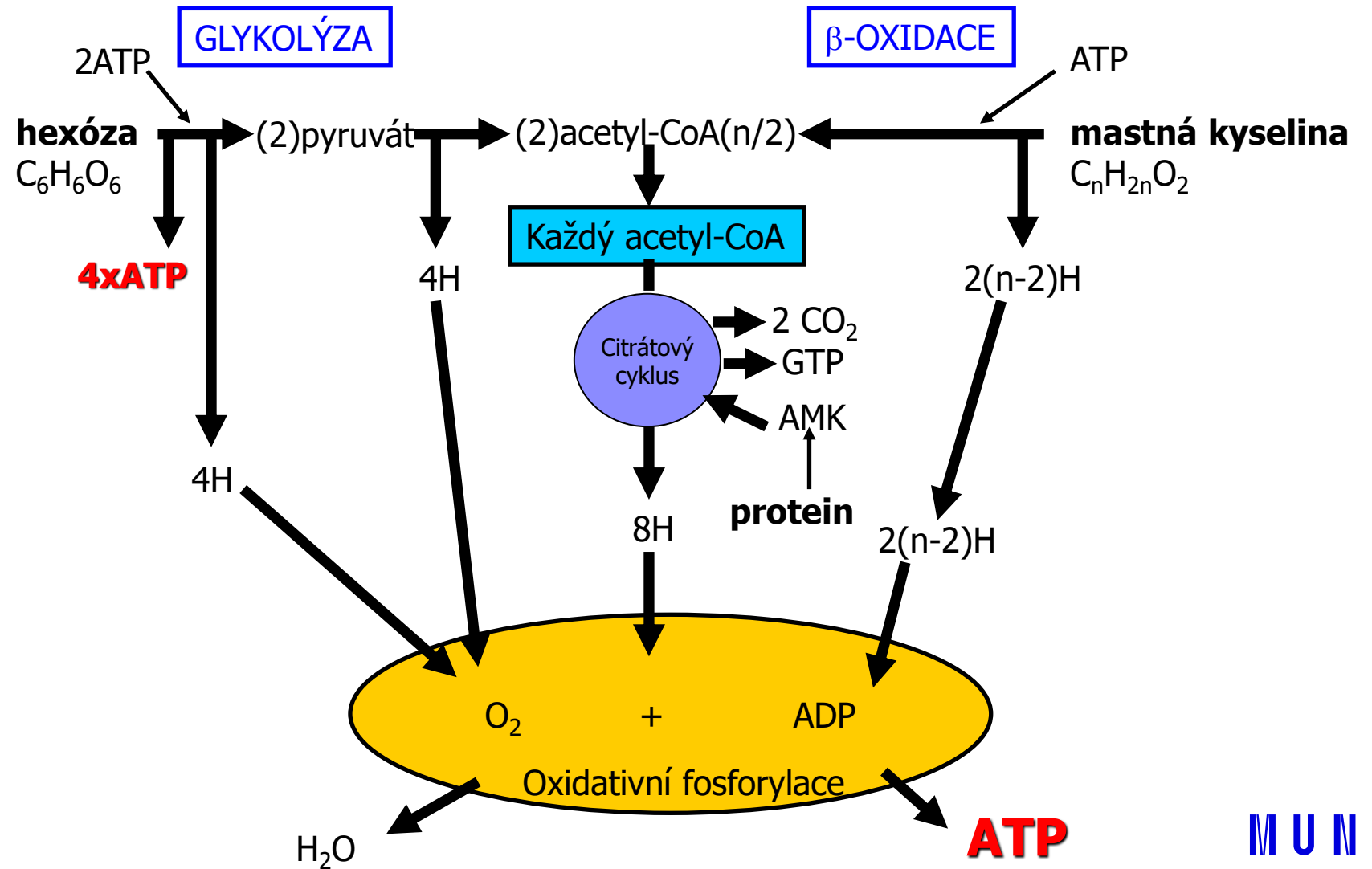
$$\text{PŘÍJEM} = \text{VÝDEJ} + \text{tvorba ZÁSOb}$$



# 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 energetických zásob**

# Spalování živin



# Výdej energie

- **Bazální energetický výdej** – *~75% výdeje u sedícího člověka v klidu*
- **Termický účinek potravy** – *~7% výdeje u sedícího člověka v klidu*
- **Termoregulace**
- **Spontánní fyzická aktivita** (mimovolné pohyby) – *~18% výdeje u sedícího člověka v klidu*
- **Fyzická práce**

# Bazální energetický výdej

- Nejmenší množství energie potřebné na udržení homeostázy (vitálních funkcí) za **bazálních podmínek**
  - Alespoň 12 h fyzický a psychický klid (v leže na lůžku)
  - Alespoň 24 h žádná fyzická aktivita vysoké intenzity
  - Alespoň 12 h lačnění
  - Neutrální teplota prostředí
  
- *BEE (basal energy expenditure) / BRM (basal metabolic rate)*

# Bazální energetický výdej

- Závisí na **věku, pohlaví a tělesné stavbě** (výška, hmotnost, tělesný povrch, svalová hmota / tuk)
- Je ovlivněn **tělesnou teplotou a hladinou některých hormonů** (hormony štítné žlázy, katecholaminy, růstový hormon)
- Klesá při velkém nedostatku spánku a dlouhodobé malnutrici



# Aktuální energetický výdej: Termický účinek potravy (TÚP)

- Energie potřebná na **zpracování potravy a živin** z ní přijatých
- Velikost TÚP závisí od složení stravy
  - Proteiny 30% energetického obsahu
  - Sacharidy 6% energetického obsahu
  - Tuky 4% energetického obsahu
- Pro smíšenou stravu je TÚP ~ 8-10% energie obsažené v potravě
- TÚP též označujeme jako specifický dynamický účinek jídla

# Aktuální energetický výdej: Termoregulace

- Všechny **termoregulační mechanismy zvyšují energetický výdej**
- Pokud je okolní teplota nízká – potřeba zamezit ztrátám a zvýšit produkci tepla
- Pokud je okolní teplota vysoká – potřeba zvýšit výdej tepla

# Aktuální energetický výdej: Spontánní fyzická aktivita a fyzická práce

- Jakákoliv **svalová práce zvyšuje** energetický výdej
  - AEE v leže < AEE ve stoji
- Zvýšení spotřeby energie je **přímo úměrné intenzitě zátěže**
  - Spánek 1,1x; studium 1,4x; osobní hygiena 2,4x; rychlá chůze 4,5x; běh 8,5-10x BEE
- Po zátěži vysoké intenzity je energetický výdej **zvýšený i po ukončení zátěže** (desítky minut až desítky hodin)
  - Kyslíkový dluh (laktát), obnova energetických substrátů (glykogen), reparační procesy

# Aktuální energetický výdej: Somatické nemoci

- Jakékoliv somatické „poškození“ zvyšuje energetický výdej
  - Po operaci 1,1x; sepse 1,3x; mnohočetná poranění 1,5x; popáleniny 50-70% 1,8x BEE
- Zvýšení tělesné teploty o 1°C zvýší energetický výdej o 10%
  - Teplota 38°C 1,1x; 40°C 1,3x BEE
- Některé nemoci – specifický vliv na energetický výdej
  - Hyper-/hypo-tyreóza, chronické záněty, nádorová onemocnění

# Uskladnění a přesuny energie

- Příjem a výdej energie je nepravidelný – nutnost uskladnění energie
- **Pohotová zásoba energie** – makroergní sloučeniny
  - ATP, kreatinfosfát, příp. GTP, CTP, UTP, ITP
- **Krátkodobá zásoba energie** – cirkulující živiny
  - glukóza, mastné kyseliny, příp. aminokyseliny v krevní plasmě
- **Dlouhodobé zásoby energie** – zásobní substráty
  - Glykogen, tuky, proteiny

# Adenosin trisfosfát (ATP)

- univerzální makroergní sloučenina

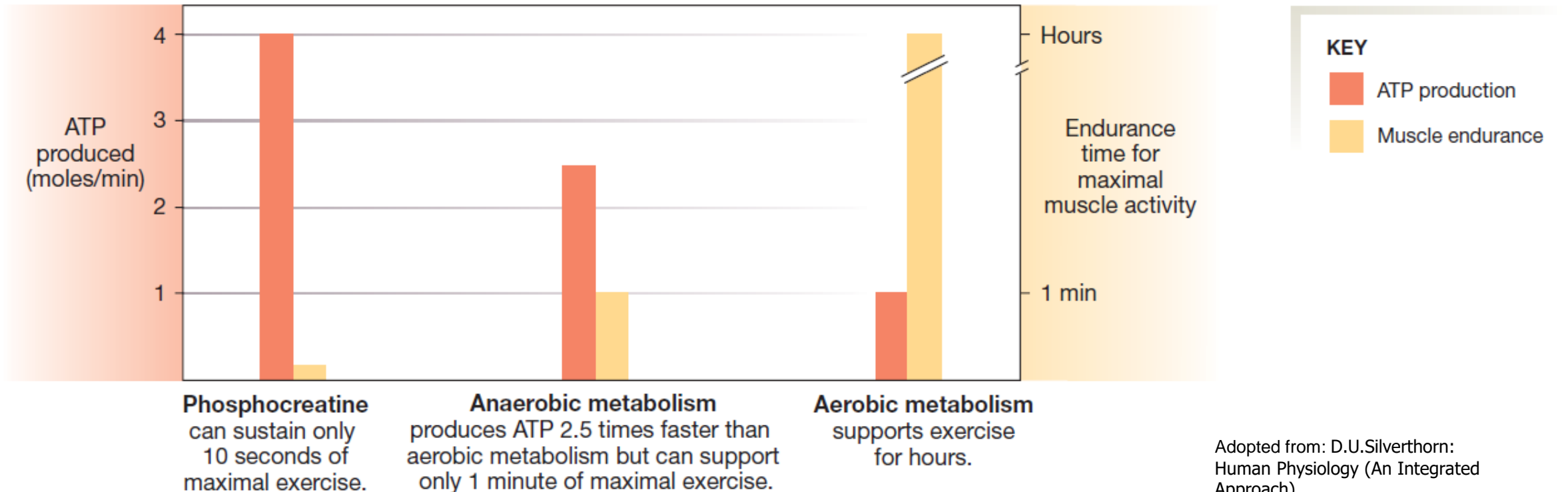
## Tvorba

- denně asi 63 kg (128 mol)
- oxidativní fosforylace živin
- anaerobní glykolýza – jen krátkodobý zdroj (vzniká laktát)
- přeměna z jiných makroergních sloučením (kreatinfosfát)

## Využití

- štěpení makroergní vazby uvolní energii pro nejrůznější buněčné pochody
- účinnost není 100%, uvolňuje se teplo

# Produkce ATP a svalová výdrž



# Zásobní substráty: Glykogen (polysacharid)

- **Pouze omezené množství** – méně než 1% celkových energetických zásob
- Rychle dostupná **zásoba glukózy**
  
- **Syntéza (glykogenosyntéza)** polymerizací glukózy
  - Syntéza a **skladování v játrech** (asi 25%) a **ve svalech** (asi 75%)
  
- **Jaterní glykogen** – po glykogenolýze možnost uvolnění glukózy do krve
  - Důležité pro CNS (stálá potřeba glc) a pokrytí energetické spotřeby během fyzické práce
- **Svalový glykogen** – využití pouze ve svalech (chybí glukoso-6-fosfatáza)



# Zásobní substráty: Triacylglyceroly (tuky)

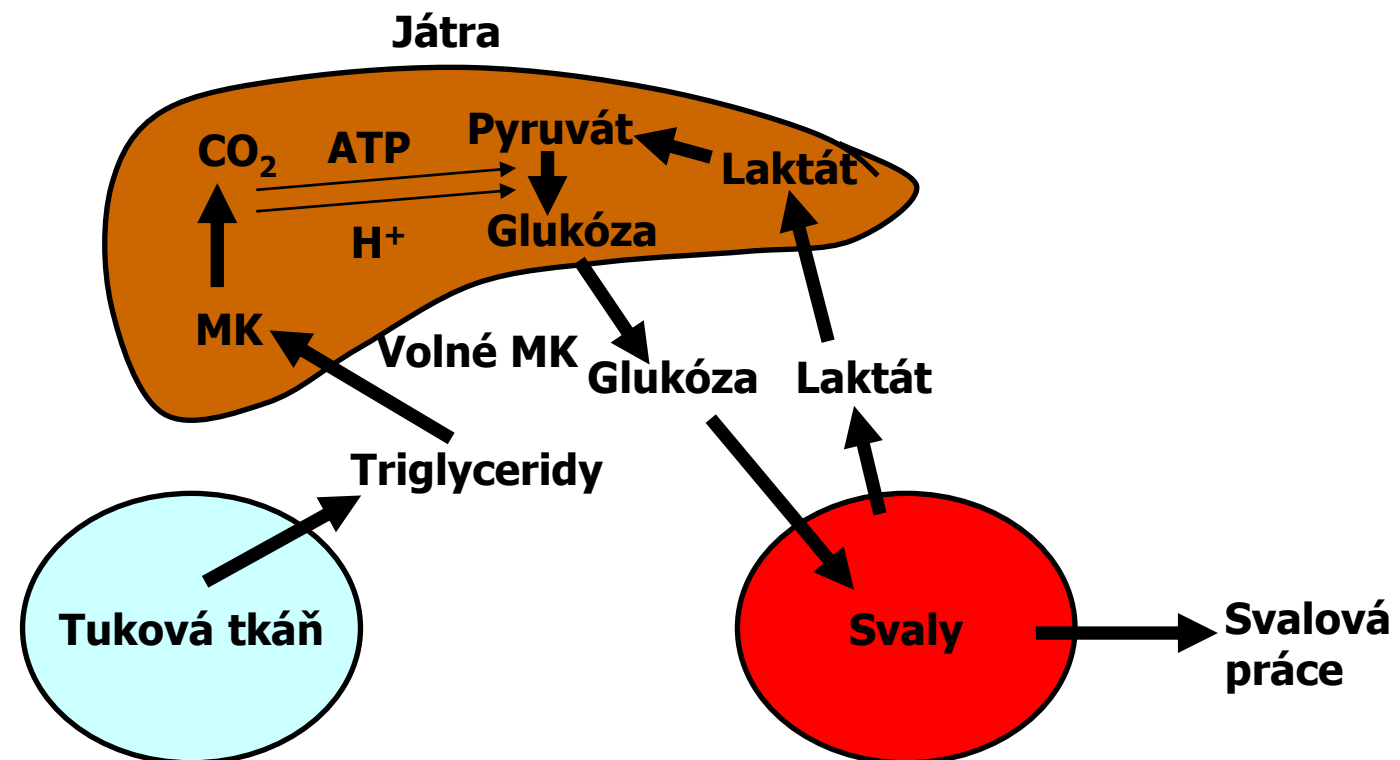
- Až 75% celkových energetických zásob organismu
- Syntéza: esterifikace mastných kyselin s  $\alpha$ -glycerolfosfátem (tuková tkáň + játra)
  - Mastné kyseliny z potravy
  - Syntéza mastných kyselin je možná též z acetyl-CoA z glykolýzy (přeměna cukrů na efektivnější zásobu energie = tuk)
  - Syntéza se zvyšuje v energetickém nadbytku (příjem >> výdej)
- Uskladnění se v **bílé tukové tkáni** (téměř neomezená kapacita)
  - V podkoží
  - Kolem vnitřních orgánů (viscerální tuk)

# Zásobní substráty: Proteiny

- Asi 25% celkových energetických zásob
- Využívají se pouze v krizových situacích – katabolismus, hladovění
- Mobilizace proteinů jako zdroje energie (proteolýza) – uvolnění aminokyselin
  - Příímá oxidace aminokyselin – zdroj ATP
  - možná přeměna glukogenních aminokyselin na cukry (glukoneogeneze; stimulováno glukokortikoidy)
- Z pohledu energetických zásob důležité proteiny v **krevní plasmě a kosterních svalech**
  - Plasmatické proteiny (IG, albumin) – rychle využitelné; vede k hypoproteinémii, snížení specifické látkové imunity
  - Mobilizace svalových proteinů vede k úbytku svalové hmoty (sarkopénii)

# Přesuny energie mezi orgány

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



# Stanovení energetického výdeje

- Měřením: **kalorimetrie**

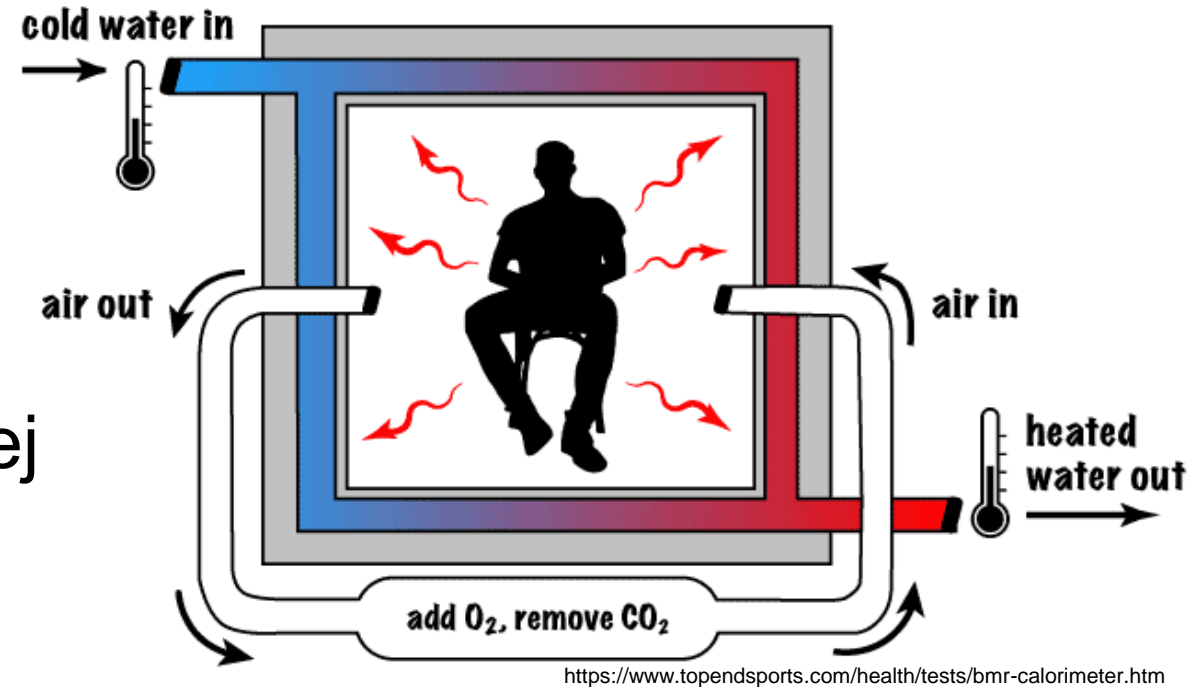
- Kalorimetrie přímá
- Kalorimetrie nepřímá

- Výpočtem: BEE z antropometrických parametrů nebo tělesné kompozice

- Odhadem: AEE na základě úrovně fyzické aktivity

# Přímá kalorimetrie

- **Předpoklad:** při štěpení každé molekuly ATP se uvolňuje teplo
- Produkce tepla  $\approx$  energetický výdej
  
- Měří se přímo **produkce tepla**
- Technicky náročné



# Nepřímá kalorimetrie

- **Předpoklad:** množství spotřebované ATP je stejné jako množství vzniklé ATP, přičemž ATP vzniká za **spotřeby O<sub>2</sub>** a **tvorby CO<sub>2</sub>**
- Měří se **spotřeba O<sub>2</sub>** a/nebo **produkce CO<sub>2</sub>**
- **Energetický ekvivalent O<sub>2</sub>:** množství energie uvolněné za spotřeby 1 litru O<sub>2</sub>
  - Cukry: 21,15 kJ/l
  - Tuky: 19,6 kJ/l
  - Proteiny: 19,65 kJ/l
  - Směsná dieta: 20,1 kJ/l
- Otevřený vs. uzavřený systém (Kroghův respirometr – praktická cvičení)

# Respirační kvocient

- poměr objemu vyprodukovaného CO<sub>2</sub> a spotřebovaného O<sub>2</sub>
- $RQ = V_{CO_2} / V_{O_2}$
- Přináší informaci o **složení substrátů**, které organismu metabolizuje
  - Cukry (glukóza) RQ = 1
  - Tuky RQ = 0,7
  - Smíšené zdroje RQ ≈ 0,85
  - Po intenzivní zátěži RQ > 1 (hrazení kyslíkového dluhu)

# Výpočet bazálního energetického výdeje (BEE)

## – BEE z antropometrických parametrů

### – Harris-Benedictovy rovnice:

$$\text{Muži: BEE [kcal/den]} = 66,5 + (13,75 \times m) + (5,003 \times h) - (6,755 \times v)$$

$$\text{Ženy: BEE [kcal/den]} = 665,1 + (9,563 \times m) + (1,850 \times h) - (4,676 \times v)$$

### – Rovnice podle Mifflina a St. Jeora:

$$\text{Muži: BEE [kcal/den]} = (10 \times m) + (6,25 \times h) - (5 \times v) + 5$$

$$\text{Ženy: BEE [kcal/den]} = (10 \times m) + (6,25 \times h) - (5 \times v) - 161$$

## – Klidový energetický výdej (REE) z tělesné kompozice

### – Katch-McArdleho rovnice:

$$\text{REE [kcal/den]} = 370 + 21,6 \times \text{FFM}, \text{ FFM} - \text{aktivní tělesná hmota (fat-free mass)}$$



# Odhad energetického výdeje z úrovně fyzické aktivity

Celkový denní energetický výdej (TDEE) je přímo úměrný intenzitě fyzické aktivity

$$\text{TDEE [kcal/den]} = \text{BMR} \times \text{PAL}$$

PAL – úroveň fyzické aktivity

Životní styl	Příklad	PAL
<b>Extrémně neaktivní</b>	Ležící imobilní pacient	<1,40
<b>Sedavý</b>	Lehce pracující osoba bez pravidelné fyzické aktivity	1,40-1,69
<b>Mírně aktivní</b>	Středně těžce pracující osoba nebo osoba s pravidelnou fyzickou aktivitou	1,70-1,99
<b>Výrazně aktivní</b>	Těžce pracující osoba nebo osoba s denní intenzivní fyzickou aktivitou	2,00-2,40
<b>Extrémně aktivní</b>	Závodní sportovci (plavci, cyklisté apod.)	>2,40

# **Stav výživy a příjem potravy**

Fyziologie II přednáška

Bi4182, BKFY0222p, BLFY0222p, BOFY0222p, BPFY0222p, BSFY0222p, BZFY0222p, MBFY0222p

**Tibor Stračina**

# Stav výživy a jeho hodnocení

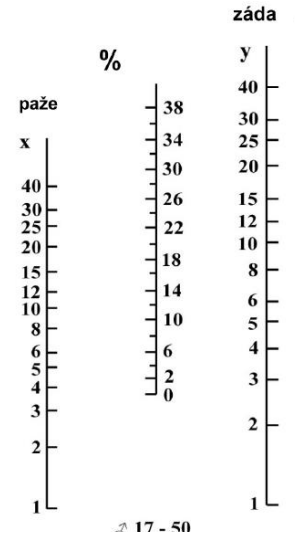
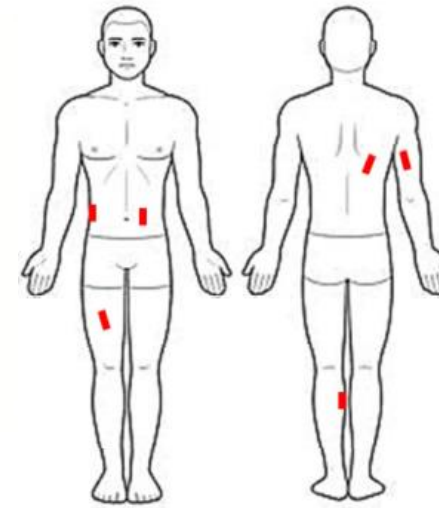
- Fyzický stav jedince, který zohledňuje hmotnost a stav energetických zásob (svalová hmota, tuková tkáň)
- Stav výživy přímo ovlivňuje zdraví
  - Obezita vs. podvýživa
- Výživový stav se hodnotí nejčastěji na základě **antropometrických parametrů a tělesné kompozice**

# Antropometrické parametry

- Výška, hmotnost
- Body mass index:  $BMI = \text{hmotnost [kg]} / (\text{výška [m]})^2$ 
  - Podváha <20; norma 20-24,9; nadváha 25-29,9; obezita 30-34,9; těžká obezita >40
- Obvod pasu, obvod boků, poměr pas/boky
  - Pro hodnocení distribuce tukové tkáně a stanovení zdravotního rizika obezity
- Obvod svalstva paže
  - Pro hodnocení úbytku svalové hmoty u katabolických stavů

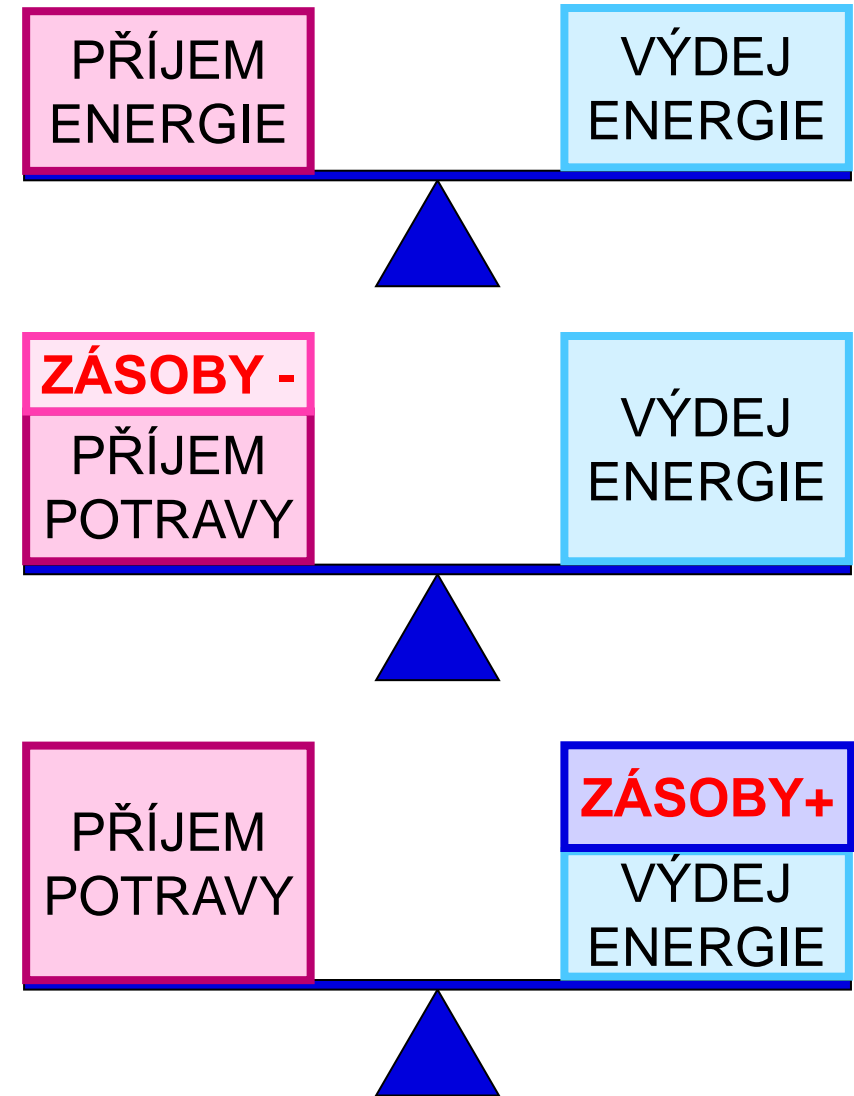
# Tělesná kompozice

- Množství tělesného tuku [%]
- Aktivní tělesná hmota (*fat-free mass*)
- Měření **tloušťky kožní řasy** pomocí kaliperačních kleští
  - Distribuce podkožního tuku; odhad množství tělesného tuku (z nomogramu)
- **Bioimpedanční analýza** (např. InBody®)
  - Analýza elektrického odporu tkání – odpor tukové tkáně >> odpor svalů



# Energetická rovnováha

- PŘÍJEM energie = VÝDEJ energie
- **Dlouhodobá nerovnováha vede k poruchám stavu výživy**
- Příjem << výdej → podvýživa
- Příjem >> výdej → obezita



# Regulace příjmu potravy

- Centrum: **hypotalamus** (pocit hladu a sytosti, chuť k jídlu)
- Množství tukové tkáně (lipostatická hypotéza)
- Kolísání glykémie (glukostatická hypotéza)
- Teplota tělesného jádra (termostatická hypotéza)
  - Též další vstupní informace z vnitřních receptorů
- Zpracování potravy v gastrointestinálním traktu
  - Význam hormonů GIT

# Pocit sytosti

- Centrum sytosti: hypotalamus (n. ventromedialis)

## Pocit sytosti je navozen:

- Příjmem potravy (preresorptivní sycení)
  - Žvýkací pohyby, chuťové a čichové vjemy, mechanoreceptory hltanu a žaludku
- Resorpcí živin (resorptivní sycení)
  - Chemoreceptory GIT, zvýšením glykémie a teploty jádra, změnami lipidového metabolismu (centrální gluko-, termo- a lipo-receptory)



# Pocit hladu

- Centrum hladu: hypotalamus (n. arcuatus a laterální jádra)
- **Spouští se, pokud není stimulován pocit sytosti**
- K pocitu hladu přispívají **hladové kontrakce žaludku**

# Chuť k jídlu a pocit hladu/sytosti

## Orexigenní faktory

- Neuropeptid Y
- Orexin A a B
- Hormon koncentrující melanin
- ARP (agouti-related peptide)
- Ghrelin
- Insulin
- Cukry (fruktóza)

## Anorexigenní faktory

- Proopiomelanokortin
- Kortikoliberin
- CART
- Peptid YY
- Cholecystokinin (z GIT)
- Glukagon
- Leptin

# Tuková tkáň a leptin

- Tuková tkáň – nejdůležitější dlouhodobá energetická zásoba
- Leptin – informace o zásobách tělesného tuku
  - více tukové tkáně = více leptinu
  - z tukové tkáně vylučován do krve (vázaná / volná forma)
  - cílová tkáň: **hypotalamus**, hypofýza, gonády
  - ↑ leptinu způsobí ↓ apetytu (příjmu potravy), ↑BEE
  - ↓ leptinu způsobí ↑ apetytu, ale též ↓reprodukčních funkcí, ↓tělesné teploty, ↓BEE
  - Ovlivňuje též funkci hypotalamo-hypofyzární osy, imunitní funkce, kostní metabolismus
  - Dlouhodobě vysoká hladina leptinu vede k **leptinové rezistenci**

# Ghrelin

- Vylučován zejména z žaludku, ale též dalších částí GIT (enteroendokrinní buňky)
- Produkce je nejvyšší mezi jídly (signál prázdného žaludku)
- **Hormon hladu** - podílí se na aktivaci pocitu hladu
- Další funkce
  - Podílí se na regulaci glukózového metabolismu
  - Protizánětlivý účinek, moduluje imunitní odpověď
  - Inhibuje vylučování gonadoliberinu, pravděpodobně ovlivňuje i další hormony hypotalamu

# Obezita

- Nadměrný stav výživy spojený s akumulací tělesného tuku
- **Alimentární** (z přejídání) vs. sekundární (důsledek jiných nemocí)
- Vysoká incidence v populaci (rozvinuté vs. rozvojové země)
  
- Rizikový faktor pro vznik mnoha nemocí
  - Hypertenze a další KVO, DM 2.typu, poruchy krevních lipidů (= **metabolický syndrom**)
  - Zhoubné nádory
  - Poruchy kloubů z opotřebení
  - Poruchy plodnosti