

# ENERGETICKÝ METABOLISMUS

= souhrn všech chemických (a fyzikálních) procesů zahrnutých v:

1. **produkci energie z vnitřních i vnějších zdrojů**
2. **syntéze a degradaci strukturálních a funkčních prvků tkání**
3. **vyučování odpadních látek a toxinů z těla**

**Rychlost metabolismu:** množství energie uvolněné za jednotku času

**Kalorie** (cal) = množství tepelné energie, potřebné ke zvýšení teploty 1g vody o 1°C, z 15°C na 16°C.

# METABOLISMUS

- ▶ Komplexní, pomalý pochod = **KATABOLISMUS** = uvolňování energie v malých použitelných množstvích
- ▶ Energie uskladněná v energeticky bohatých fosfátových sloučeninách a ve formě proteinů, tuků a složitých sacharidů (syntetizovány ze jednodušších molekul).
- ▶ Tvorba těchto sloučenin = **ANABOLISMUS** (energie se spotřebovává).
  
- ▶ KALORIE (cal, malá kalorie, gram kalorie)
- ▶ Kilokalorie = kcal (velká kalorie) = 1000 cal = 4,18 kJ
- ▶ Joul = J = 0,239 cal
- ▶ Kilojoul = kJ = 1000 J

**CUKRY**

**TUKY**

**PROTEINY**

VSTUP  
ENERGIE = SPOTŘEBA  
ENERGIE

**MECHANICKÁ  
PRÁCE**

Svalová kontrakce  
Pohyb buněk, organel,  
bičků

**SYNTÉZA**

Tvorba energetických  
zásob  
Růst tkání  
Tvorba esenciálních  
molekul

**MEMBRÁNOVÝ  
TRANSPORT**

Minerály  
Organické ionty  
AMK

**TVORBA A PŘENOS  
SIGNÁLŮ**

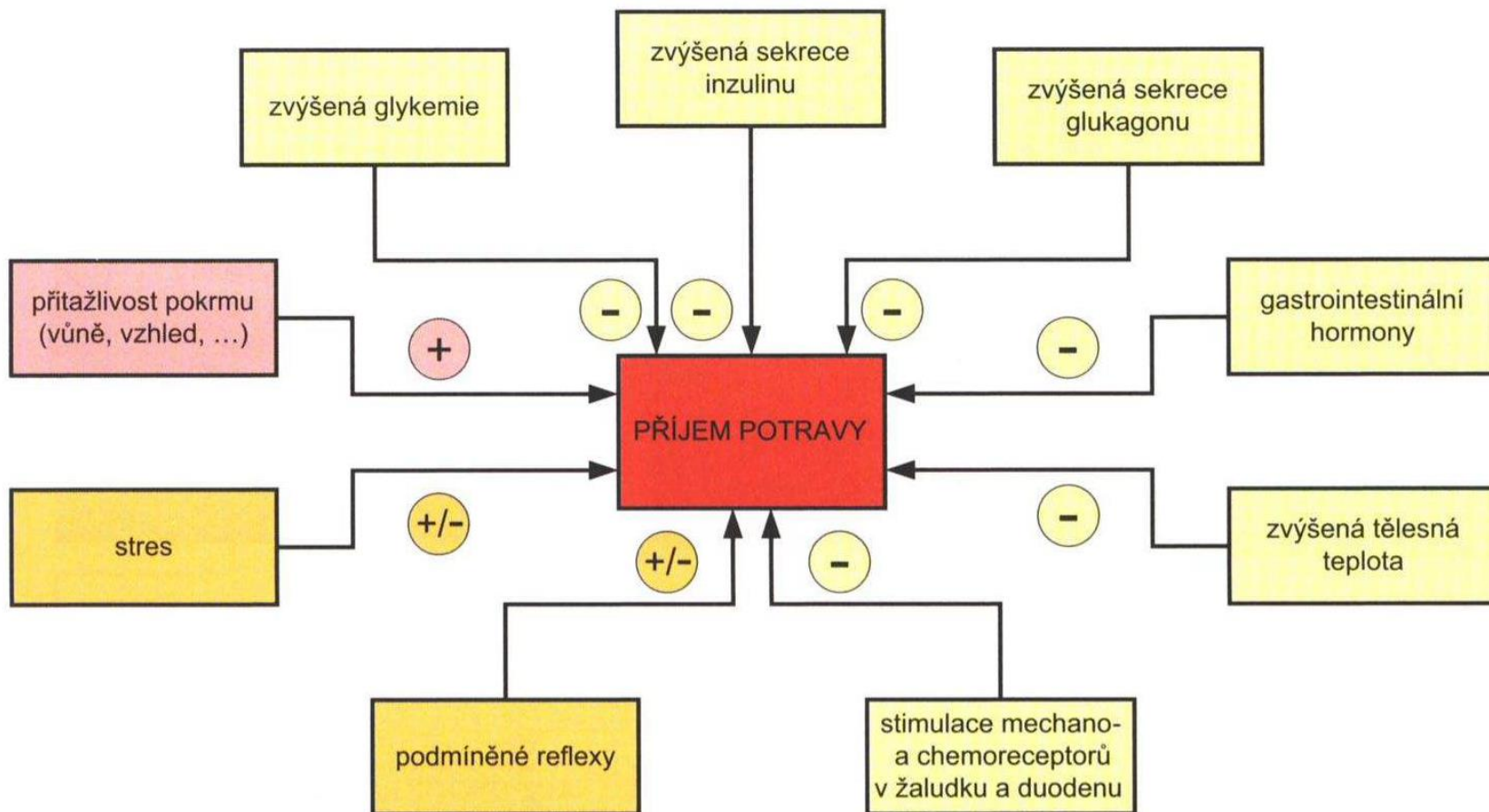
Elektrické  
Chemické  
Mechanické

**PRODUKCE  
TEPLA**

Řízení tělesné teploty  
Neúčinné chemické  
reakce

**DETOXIKACE  
DEGRADACE**

Tvorba moči  
Konjugace  
Oxidace  
Redukce



1. zákon termodynamiky:

**Za ustáleného stavu musí vstup (příjem) energií odpovídat výstupu (výdej)**

Vstup  $\longleftrightarrow$  zásoby

Výdej energie = vnější práce + zásoby energie + teplo

Mezistupně: různé chemické, mechanické a termické reakce

## PŘÍJEM ENERGIE

Cukry, tuky, bílkoviny  $\xrightarrow{\quad}$  ! Kalorická hodnota!

Spalováním vzniká: 4.1kcal/g, 9.3kcal/g, 5.3kcal/g (4.1 v těle)

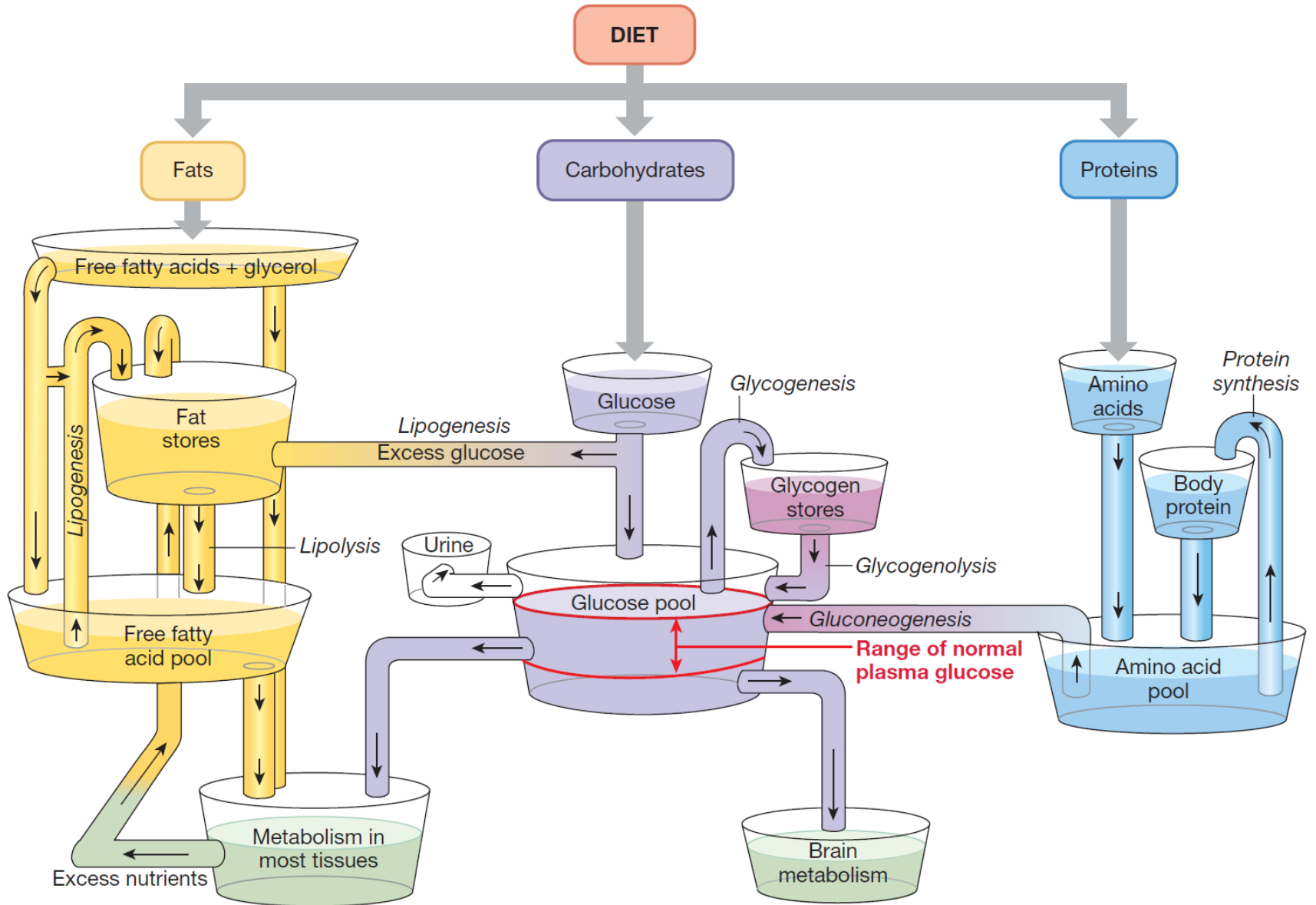
1kcal=4184J

Přeměna proteinů a cukrů na tuky – účinné uložení energie

Přeměna proteinů na cukry – potřeba rychlé energie

**ALE:** neexistuje signifikantní přeměna tuků na cukry

## NUTRIENT POOLS AND METABOLISM



■ **Fig. 22.3** Adapted from L. L. Langley, *Homeostasis* (New York: Reinhold, 1965).

# METABOLISMUS CUKRŮ

1. Zdroj energie

2. Součást glykoproteinů, glykopeptidů, glykolipidů – strukturální či funkční (kolagen bazálních membrán, mukopolysacharidy, myelin, hormony, receptory...)

Karbohydráty z potravy – hexózy (glukóza, fruktóza, galaktóza)

Klíčový substrát – glukóza.

Postprandiální plazmatické hladiny glukózy: **3,5 – 6,5 mmol/l**

Glykémie. Hypoglykémie, hyperglykémie.

Hypoglykémie: pokles kyslíkového zásobení CNS

Glykolýza, glukoneogeneza. Humorální řízení glykémie.

Glykolýza: hlavní produkty – laktát a pyruvát – průměrné koncentrace v plazmě 0,7 a 0,07 mmol/l (poměr 10:1 zůstává zachován i při různém obratu); v hypoxii – 30:1 (metabolická acidóza)





- Glukózový obrat: 2 mg/kg/min (11 mmol/kg/min)~9 g/hod~ 225 g/den
  - 55% glukózové utilizace – terminální oxidace (CNS)
  - 20% - glykolýza, laktát zpět do jater, glukoneogeneza (Coriho cyklus)
  - 20% - zpětné vychytávání játry a splachnickými tkáněmi
  - 70% využití glukózy v klidu je insulin-independentní
- 
- Cirkulující zásobárna (pool) glukózy – jen o trochu větší než výdej játry za 1 hod
  - Mozkovou oxidaci udrží jen cca 3 hod (zásoby glykogenu v mozku – cca 10 min)
  - NUTNOST NEUSTÁLÉ PRODUKCE GLUKÓZY Z JATER za hladovění
  - 80 % - glykogenolýza, 20 % - glukoneogeneza (více než 50 % z laktátu vychytaného játry pro glukoneogenezu, zbytek – AMK, zvl. alanin; laktát z glykolýzy ve svalech, ery, leu, aj.; AMK – z proteolýzy ve svalech)

- Ranní příjem glukózy – 70 % spotřebují periferní tkáně (svaly), 30 % - splachnické orgány (játra)
- 20-30 % přijaté glukózy – oxidováno během 3-5 hod. na pokrytí nároků GIT, 70-80 % uloženo do glykogenu (sval, játra)
- Svalový glykogen – později přesunut do jater (laktát z glykolýzy ve svalech, reuptake, glukoneogeneza v játrech, glykogenolýza)
- Během maximální resorpce exogenní glukózy – vyplavení glukózy z jater je potlačeno (inzulin a glukagon facilitují tento děj)

# JATERNÍ GLUKOSTAT

Udržování konstantní glykémie

Endokrinně řízen:

- glykogenolýza (glukagon, adrenalin, noradrenalin = aktivace glykogenfosforylázy)
  - proč pouze játra a ne svaly? (glukóza-6-fosfatáza v játrech)
- glukoneogeneze (glukagon, adrenalin, noradrenalin, glukokortikoidy, hormony štítné žlázy)

# REGULACE ODBOURÁVÁNÍ GLYKOGENU

**ADRENALIN** (působí na játra i sval)  
**GLUKAGON** (působí jen na játra)

**adenylátcyklasa**

ATP → cAMP

**glykogensynthasa I**

**fosforylase b**

fosfatasa

fosfatasa

**proteinkinasa**

**fosforylasakinas**

aktivovatelná svalovou  
prací

**glykogensynthasa D**

aktivovatelná glukosa-6-fosfátem

**fosforylase a**

**POKLES TVORBY (převaha odbourávání) GLYKOGENU**

Poznámky:

Glykogensynthasa I = aktivní defosforylovaná, nezávislá na Glc-6-P

Glykogensynthasa D = fosforylovaná, méně aktivní, závislá na aktivaci Glc-6-P

Fosforylase a = fosforylovaná, aktivní tetramer

Fosforylase b = inaktivní dimer

# METABOLISMUS TUKŮ

- Tuk – cca 50 % denní dávky substrátů pro oxidaci (100g, 900kcal)
- Hlavní a nejvýhodnější forma zásoby energie
- Denní příjem: cca 100g (40% denní diety)
- Hlavní komponenta potravinových zdrojů i zásob v těle: triglyceridy
- Neexistuje striktní dietní doporučení (část MK syntetizována v játrech a tukové tkáni)
- ALE: 3-5% MK polynenasycené!!! – **ESENCIÁLNÍ MK**
- Prekurzory membránových fosfolipidů, glykolipidů, prostaglandinů
- Cholesterol – součást membrán, prekurzor žlučových kyselin, steroidních hormonů; denní příjem – 300-600 mg/den, též syntetizován
- Lipoproteiny: transport lipidů krevní plazmou
- Apoproteiny (z jater či střeva), katalytická funkce, receptory

- Chylomikrony – z potravy, nejmenší densita, lipoproteinová lipáza (endotel kapilár), aktivace apoproteinem C-II, transport HDL
- volné MK vstřebány adipocyty (resyntéza triglyceridů, zásoba) i ostatními tkáněmi (oxidace)
- Zbytek lipoproteinových částic (více cholesterolu) – chylomikronové zbytky – degradace v játrech
- VLDL – endogenní syntéza v játrech (méně střevo), v postabsorpční fázi
- Densní, více cholesterolu, delší poločas v plazmě
- Rychlost tvorby: 15-90 g/den
- Začátek metabolismu – viz. chylomikrony
- Produkty účinku lipoproteinové lipázy – IDL (intermediate-density lipoprotein)
- 50% IDL – zpět do jater (jako chylomikronové zbytky)
- 50% IDL – obohaceny cholesterolem – LDL
- Kolující LDL – transport cholesterolu do buněk
- Vstřebání LDL, IDL, zbytků ch. – apoproteiny, receptory, endocytóza

Uptake LDL-cholesterolu do buněk – downregulace LDL receptorů (zpomalení vstřebávání) a zpomalení syntézy de novo



- HDL – dlouhý plazmatický poločas, syntéza v játrech a střevě
- Facilitace pohybu ostatních partikulí
- Výměna klíčových apoproteinů
- Akceptují molekuly volného cholesterolu, esterifikují je (lecithin-cholesterol-acetyltransferáza) a inkorporují zpět do partikulí
- Hlavní účinek: zrychlení clearance triglyceridů z plazmy a regulace poměru volný:esterifikovaný cholesterol

- Volné MK
- Průměrná koncentrace: 400 $\mu$ M/l
- Vázané na molekuly albuminů
- Rychlý obrat (cca 8g/hod): 50% - oxidace, 50% - reesterifikace do triglyceridů

- Celkový cholesterol: 185mg/l
- LDL cholesterol: 120mg/l
- HDL cholesterol
- Ateroskleróza, genetické predispozice (LDL apo či receptor)



## PORUCHY METABOLISMU CUKRŮ

1. **Diabetes mellitus**

2. **McArdleův syndrom:** glykogeneze z deficitu myofosforylasy

Hromadění glykogenu ve svalech

Svalová ztuhlost, ztuhlost při námaze, snížená tolerance k výkonu

3. **Galaktosémie** (vrozený deficit fosfogalaktosauridyltransferasy; poruchy růstu a vývoje)

## PORUCHY METABOLISMU TUKŮ

1. **HYPERLIPIDÉMIE, HYPERLIPOPROTEINÉMIE**

2. **VZÁCNÉ PORUCHY LIPIDOVÉHO METABOLISMU**

Ad 1) 5% obyvatelstva

Primární a sekundární formy

Ateroskleróza

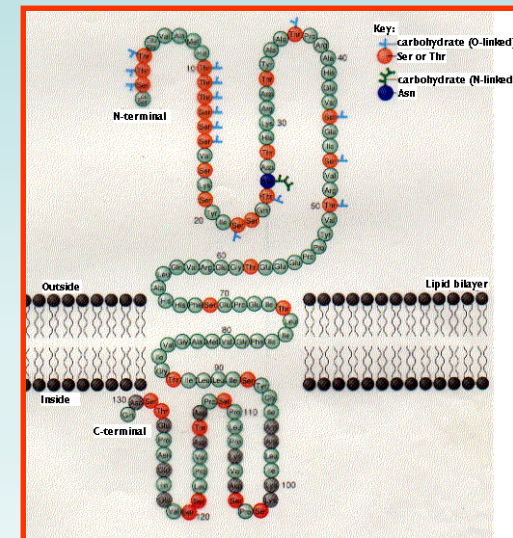
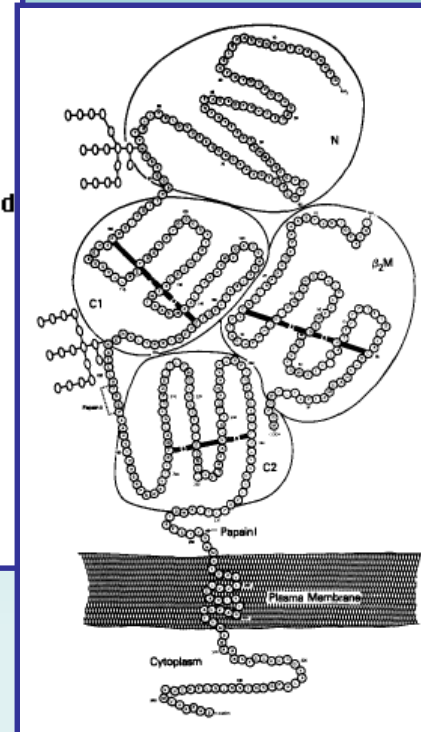
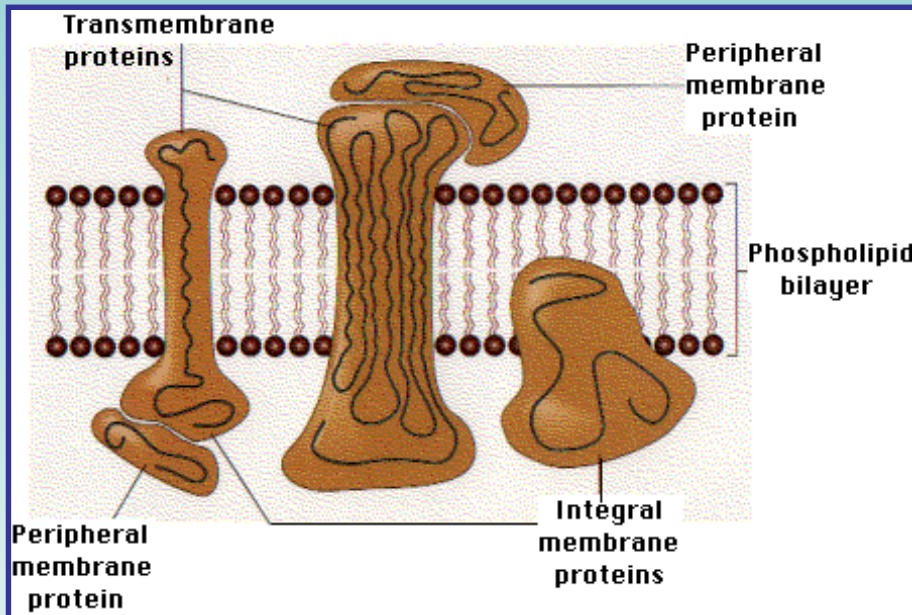
- Tuky indukovaná hyperlipoproteinémie
- Familiární hypercholesterolémie (xantomatóza)
- Smíšená hyperlipoproteinémie
- Familiární hypercholesterolémie s hyperlipémií
- Sacharidy indukovaná triglyceridémie
- Sekundární hyperlipoproteinémie (druhotné; alimentární)

Ad 2)

- Lipidózy
- Abetalipoproteinémie (LDL, VLDL; hromadění lipidů v epitelu střeva)
- Analfalipoproteinémie (HDL; hromadění esterů CHOL v tkáních)
- Vrozený defekt acetyltransferázy LCAT (hromadění lecitinu)

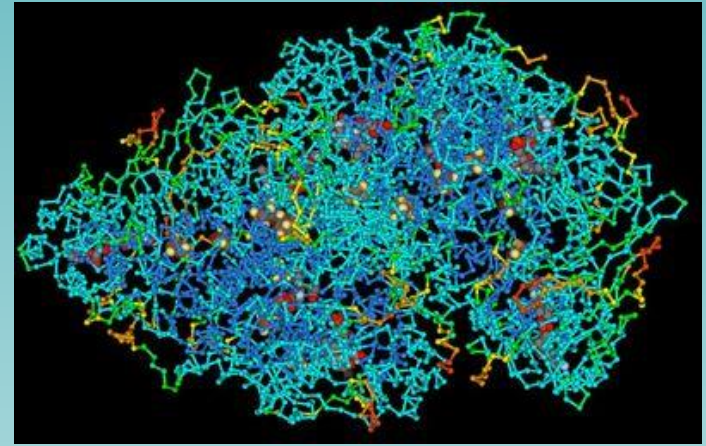
# METABOLISMUS PROTEINŮ

- Proteiny = AMK spojené peptidovými vazbami (nad 100 AMK)
- Peptidy (2-10 AMK), polypeptidy (10-100 AMK)
- Primární, sekundární, terciární a kvartérní struktura proteinu



- Proteiny, lipoproteiny, glykoproteiny

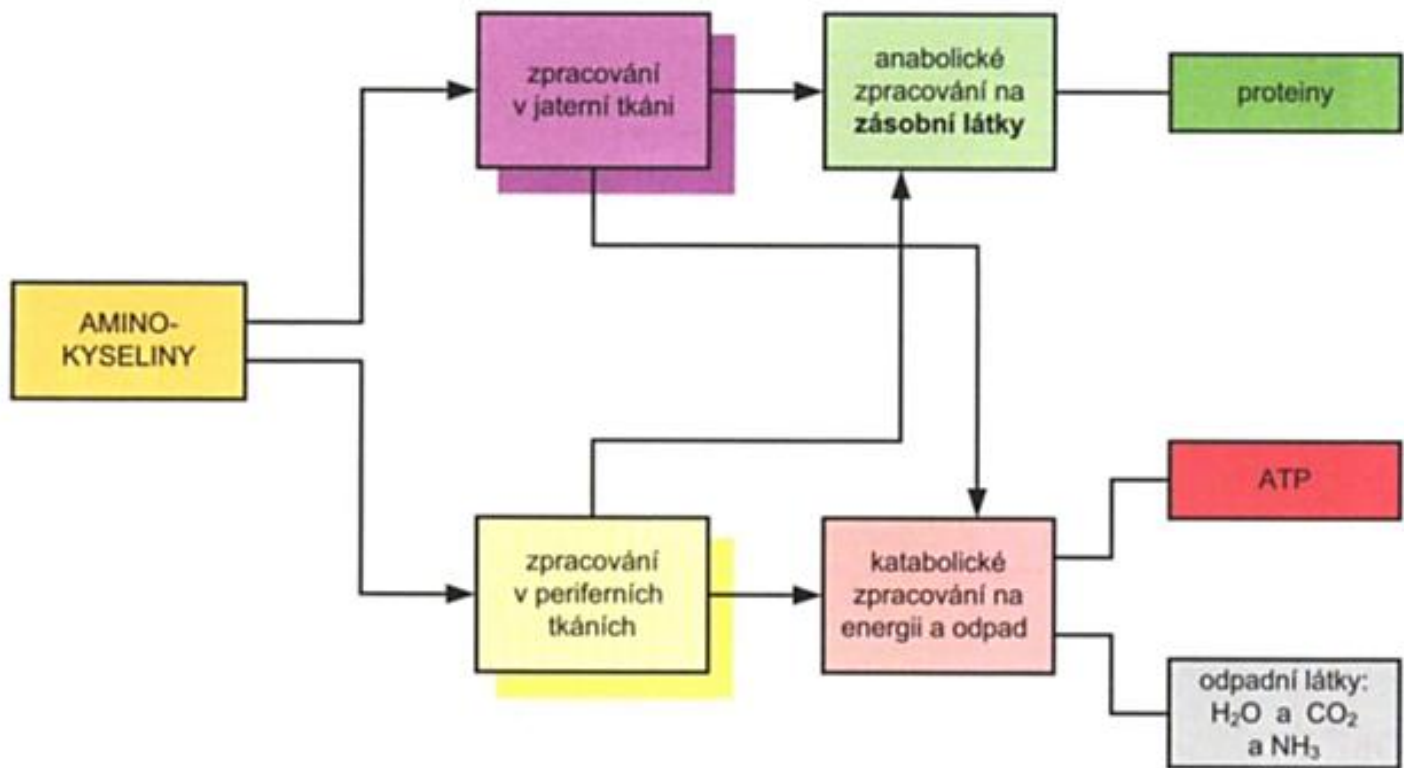
- Celkové proteiny v těle: 10 (- 14) kg
- Z toho metabolicky aktivní: 6 kg
- Proteolýza svalů: 50 g proteinů / den
- Minimální denní příjem: 50 g
- Bílkovinné **minimum**: 0,5 g / kg tělesné hmotnosti
- Bílkovinné **optimum**: 0,7 g / kg tělesné hmotnosti
- Zvýšený přísun (růst, rekonvalescence, těhotenství, kojení): 1,5 – 2,0 g / kg
- Turnover – cca 300 g



## AMINOKYSELINY

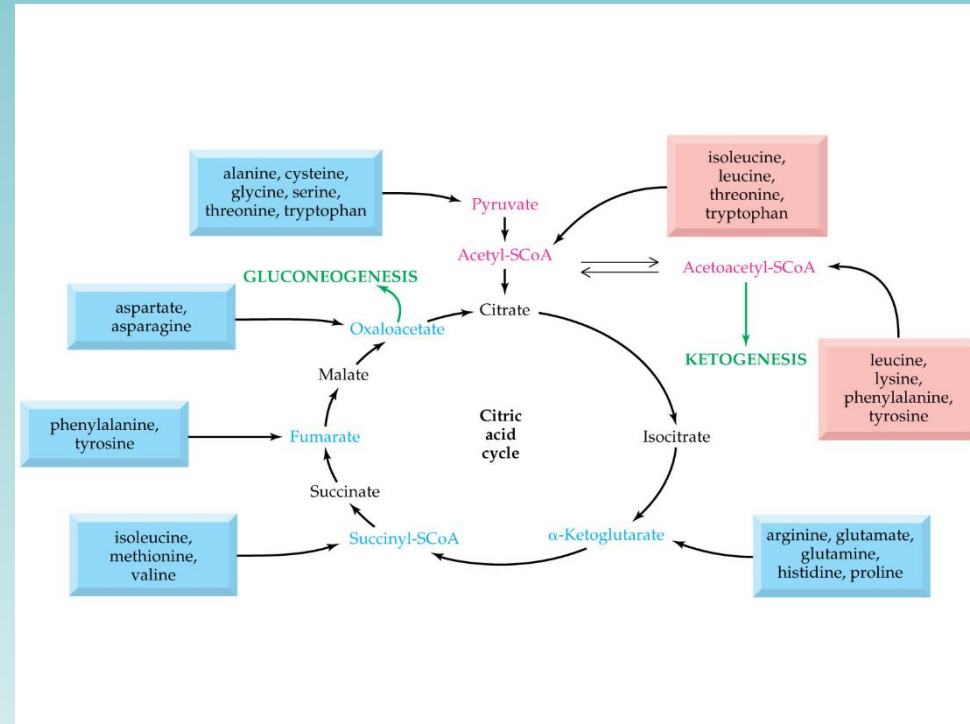
Esenciální (nejsou syntetizovány), semi-esenciální (Arg, His, růst)

- Non-esenciální (z glukózového metabolismu – citrátový cyklus)
- Aminokyselinový pool (hotovost)
- Potřeba esenciálních AMK: 0,5 – 1,5 g / den
- Poruchy proteosyntézy
- Nejvhodnější zdroj E-AMK:NE-AMK mléko, vejce
- V růstu: 40% E-AMK, v dospělosti: 20%
- Prekurzory: puriny, pyrimidiny, polyaminy, fosfolipidy, kreatin, karnitin, donory metylové skupiny, katecholaminy, hormony štítné žlázy, neurotransmitery



## AMINOKYSELINY – nadbytek v potravě

- Degradace, využity tělem jako zdroj energie
- AMK jako další substráty:
  - Glukogenní AMK – výstavba sacharidů
  - Ketogenní AMK – ketolátky + lipidy



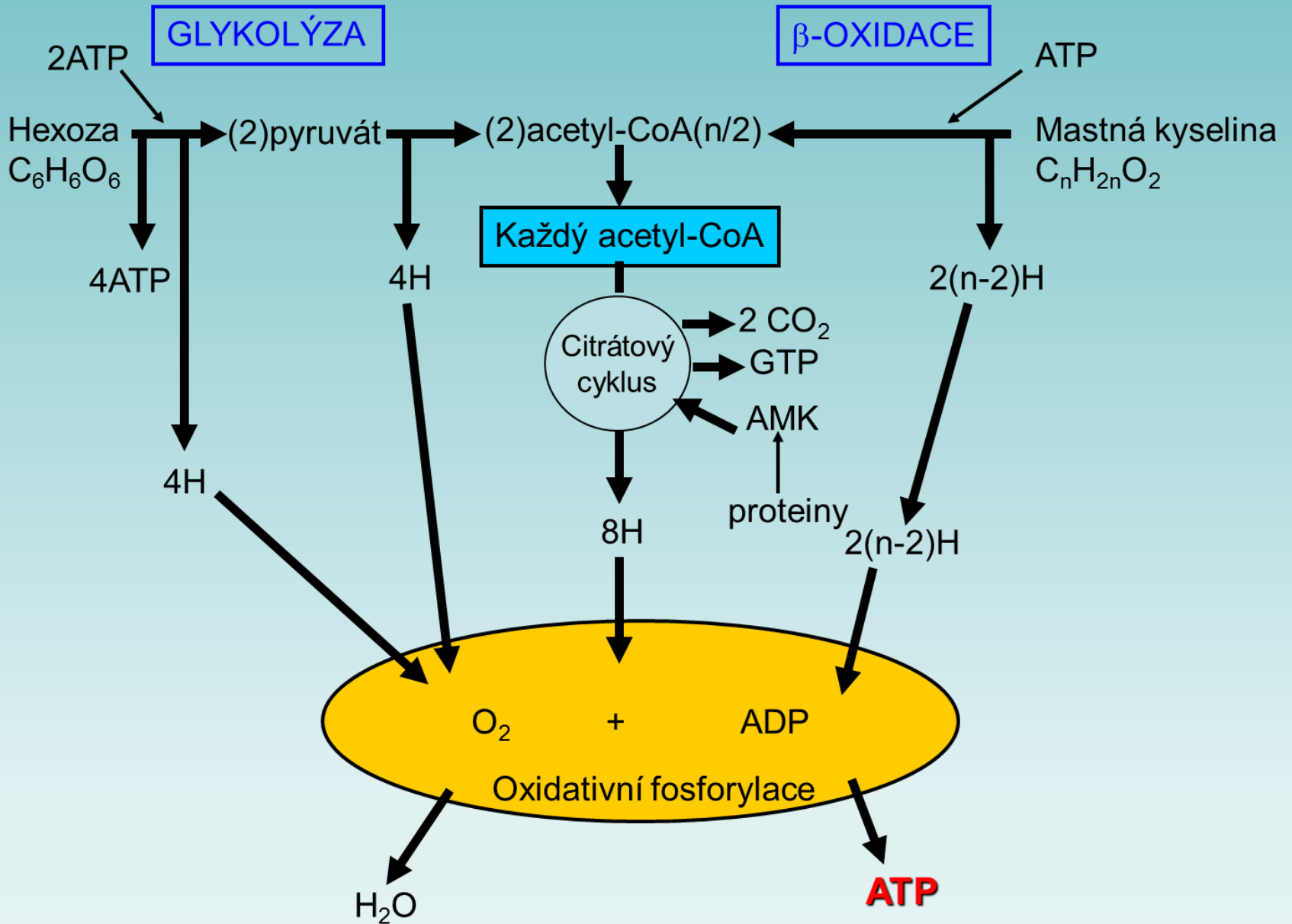


## VÝDEJ ENERGIE

- 1. V klidu:** bazální metabolismus; 8 000 kJ / den; 200-250 ml O<sub>2</sub>/min; přímo závislý na hmotnosti a **povrchu těla**; klesá s **věkem**; stoupá s okolní **teplotou**;  
ve spánku klesá o 10-15%; geneticky determinován **75%BM**
- 2. Po najezení:** malé zvýšení energetického výdeje – **specifický dynamický efekt** (SDA) – např. na tvorbu glykogenu **7%BM**
- 3. Fakultativní termogeneza:** netřesová
- 4. U sedících lidí:** spontánní fyzická aktivita **18%BM**
- 5. Při tělesné aktivitě:** největší část energetických nároků organismu;  
individuální; mění se podle ročního období

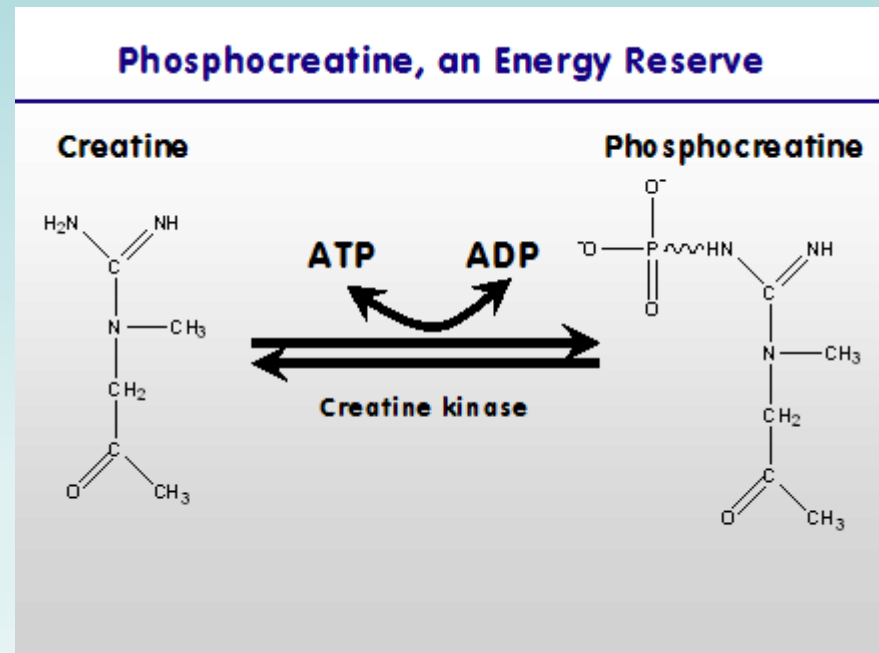
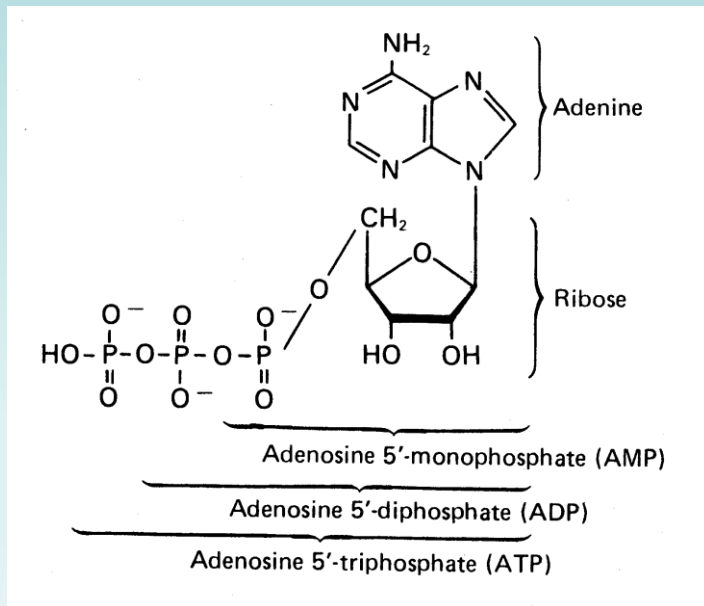


# TVORBA ENERGIE



- **Zásoba** energie: ATP, kreatinfosfát, GTP, CTP (cytidin), UTP (uridin), ITP (inosin)
- Makroergní vazba – 12kcal/mol
- Účinnost není 100% - 18kcal substrátu na 1 vazbu v ATP
- Denně: 63 kg ATP (128 mol)
- Glykolýza: jen krátkodobý zdroj energie (2 pyruváty – jen asi 8% energie glc);

přísun glc je omezený, laktát



# USKLADNĚNÍ A PŘESUNY ENERGIE

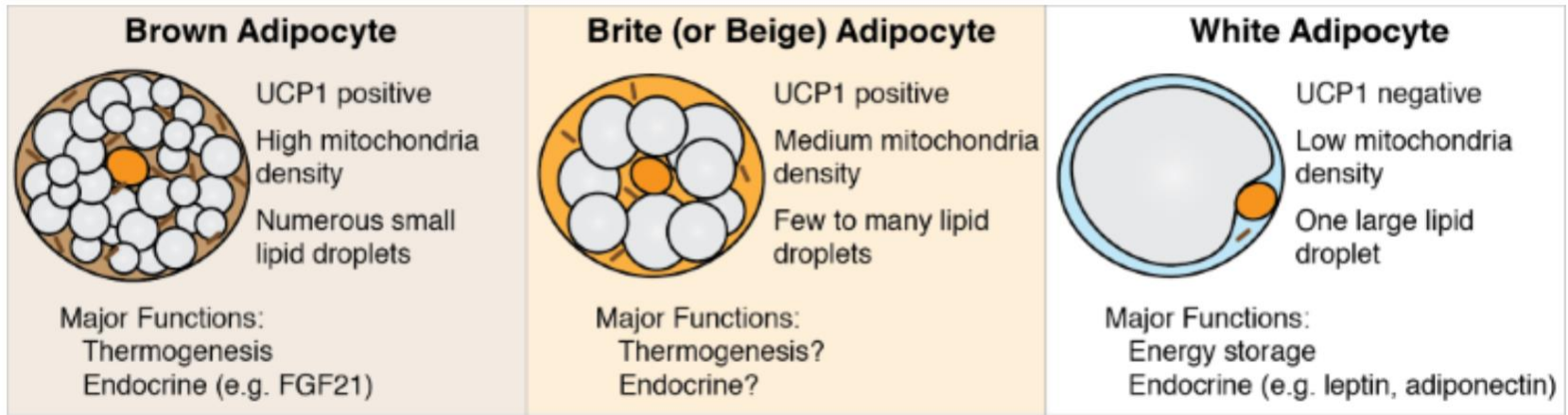
- Vstup energie stejně jako výdej je nepravidelný – **nutnost uskladnění**
- 75%** zásob: triglyceridy (9kcal/g) **v tukové tkáni** (10-30% tělesné hmotnosti), vydrží až 2 měsíce ; zdroj – MK z potravy a esterifikace s  $\alpha$ -glycerolfosfátem nebo syntéza MK z acetylCoA z glykolýzy – přeměna cukrů na efektivnější zásobu energie = tuk
- 25%** zásob: **proteiny** (4kcal/g); přeměna na cukry (glukoneogeneza při stresu); nepříznivé následky pro organismus
- Méně než **1%** zásob: **cukry** (4kcal/g) ve formě glykogenu; důležité pro CNS!!! a krátkodobou velkou zátěž;  $\frac{1}{4}$  zásob glykogenu v játrech (75-100g), zbytek ve svalech (300-400g); jaterní glykogen – glykogenolýza – uvolnění glukózy; svalový glykogen – využití jen ve svalech (není glukoso-6-fosfatáza)
- Glukoneogeneza**: z pyruvátu, laktátu a glycerolu a AMK (kromě leucinu); NE z acetyl-CoA
- Uskladnění a přenos energie vyžaduje vstup další energie**: 3% z původní energie – tuky (triglyceridy do tukové tkáně), 7% - glukóza (glykogen), 23% - přeměna cukrů na tuky, 23% - přeměna AMK na proteiny nebo glukózu (glykogen)

## GLUKOZA a MK

- Alternativní
- Vzájemné vztahy mezi utilizací, syntézou a skladováním
  
- NADBYTEK GLUKÓZY** – zrychlení glykolýzy – více pyruvátu, více citrátu – citrát aktivuje 1.krok v syntéze MK (acetyl CoA – malonyl CoA)
- Zrychlená glykolýza – více glycerol fosfátu; zvýšená syntéza MK a zvýšená dostupnost glycerol fosfátu = stimulace syntézy triglyceridů a snížení  $\beta$ -oxidace
  
- TEDY: **zvýšená utilizace cukrů posune metabolismus tuků od oxidace k ukládání**
  
- NADBYTEK MK** – zrychlení  $\beta$ -oxidace; její meziprodukty zpomalují glykolýzu a urychlují glukoneogenezu a glykogenogenezu
  
- TEDY: **zvýšená utilizace MK posune metabolismus cukrů od oxidace k ukládání**
  
- Vliv humorální regulace


# Tuková tkáň - adipocyty

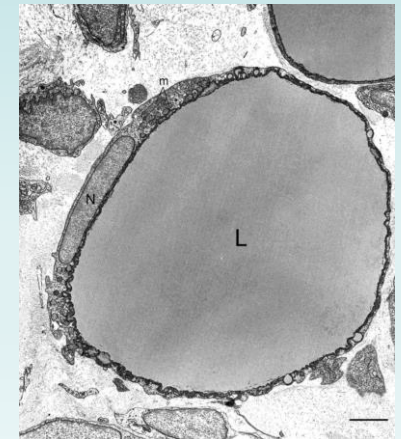
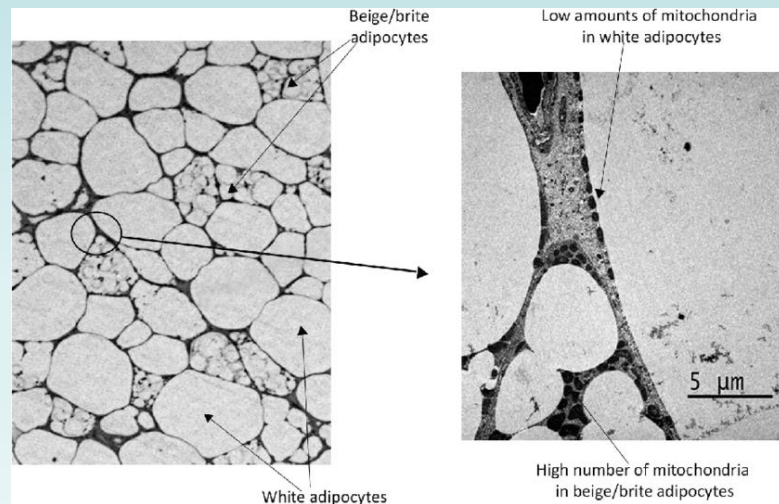
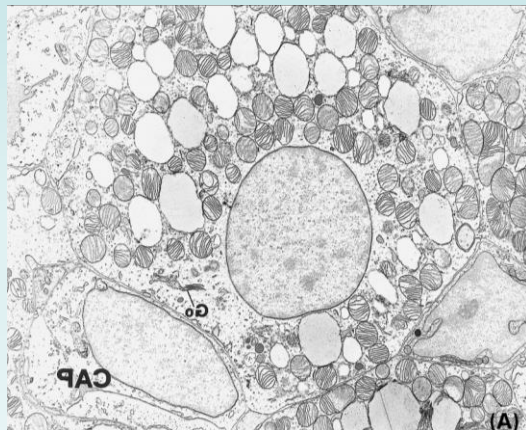
## Types of Adipocytes



 Mitochondria

 Nucleus

 Lipid droplet





# HNĚDÝ TUK

LIPIDY: strukturální, neutrální a hnědý

Specifická lokalizace

Sympatická inervace jak cév, tak lipocytů

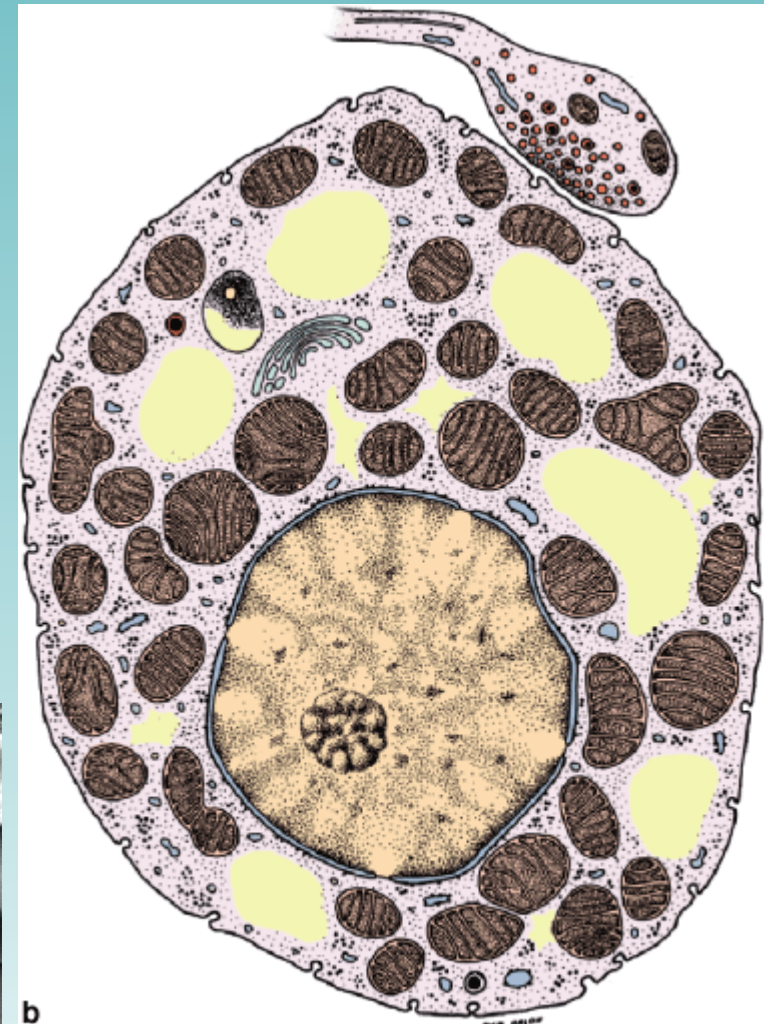
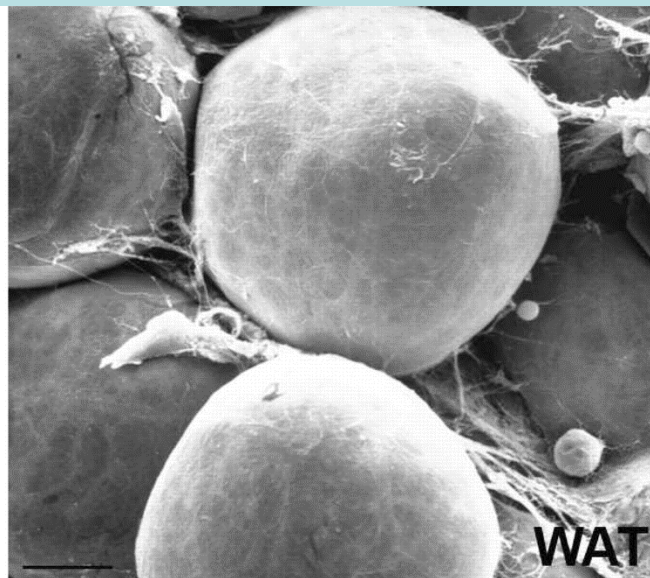
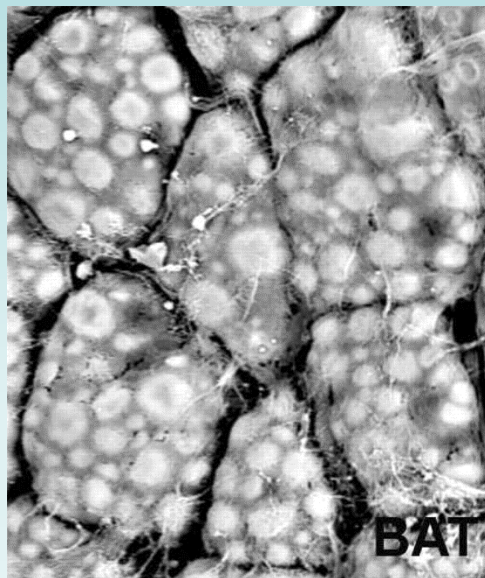
Několik kapének tuku v lipocytu

Více mitochondrií

Produkce tepla

Adaptace na chlad

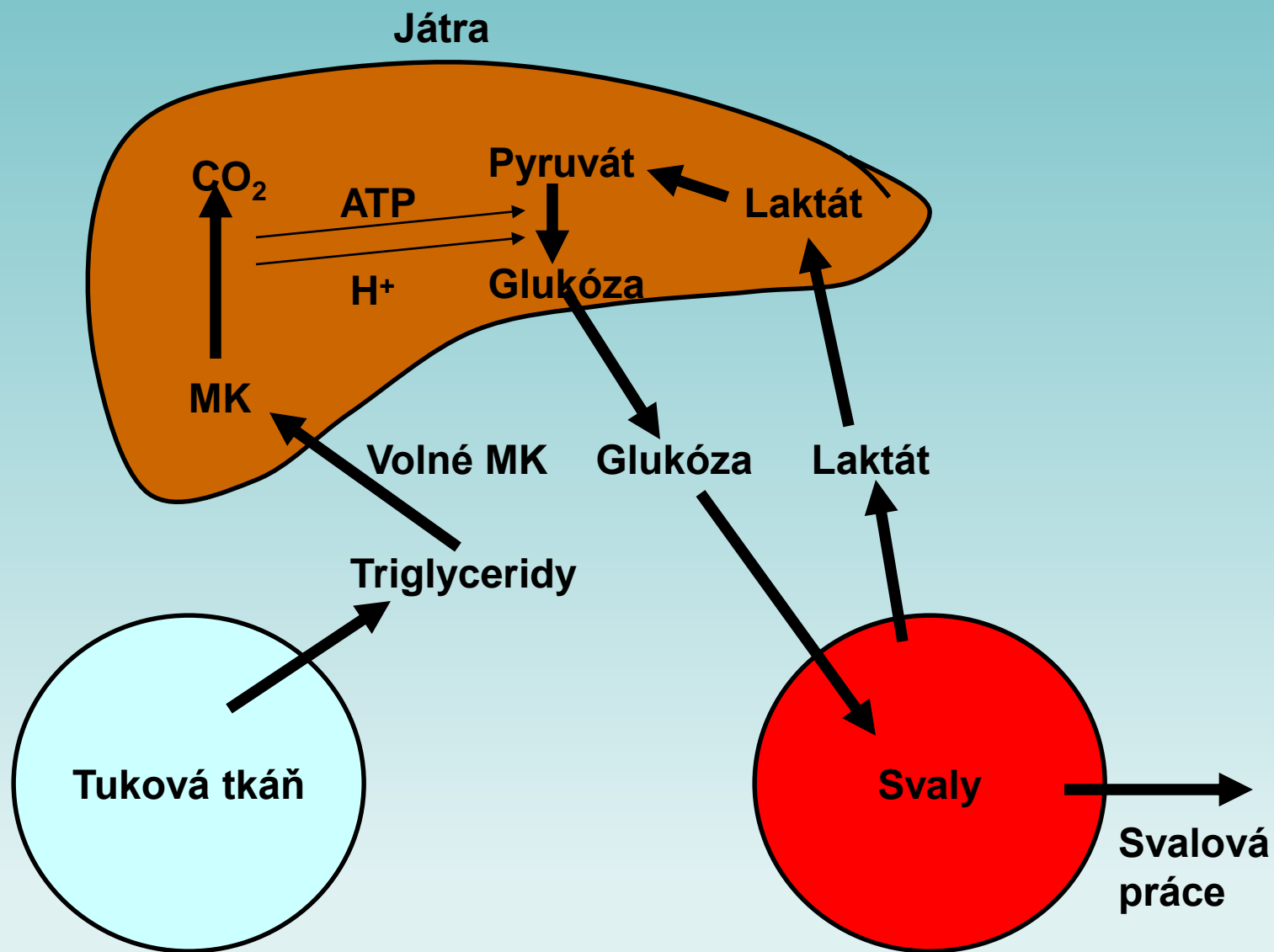
Po najezení se zvyšuje produkce tepla



**b**

Source: Mescher AL: *Junqueira's Basic Histology: Text and Atlas, 12th Edition*: <http://www.accessmedicine.com>  
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved.

# PŘESUNY ENERGIE MEZI ORGÁNY



# Sval – zdroj energie a metabolismus

- = přeměna energie na mechanickou práci
- Kreatinfosfát – hydrolýza na kreatin a fosfát
- V klidu část ATP předává v mitochondriích fosfát kreatinu = zvýšení celkové zásoby kreatinfosfátu
- Při svalové zátěži hydrolýza kreatinfosfátu u spojení mezi myozinovými hlavami a aktinem a vzniká ATP z ADP = pokračování kontrakce
- Klidový stav = hlavní zdroj energie FFA, se stoupající zátěží pak sacharidy
  - Energie pro resyntézu kreatinfosfátu a ATP ze štěpení Glu na  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2\text{O}$
  - Pyruvát a aerobní glykolýza
  - Pozn. Anaerobní glykolýza – pyruvát nevstupuje do citrátového cyklu, je redukován na laktát = bez potřeby kyslíku!
  - Laktát se hromadí ve svalech, posléze pokles pH a inhibice některých enzymů
  - Po skončení námahy odstranění nadbytku laktátu a obnova zásob ATP a kreatinfosfátu + kyslíku
  - Kyslíkový dluh
  - Pozn. Rigor – vyčerpání zásob ATP a kreatinfosfátu



# Tvorba tepla ve svalu

- Příjem = výdej
- Tvorba makroergních vazeb a tvorba tepla
- Celková mechanická účinnost při izotonické kontrakci je asi 50 %, nulová při izometrické kontrakci
- Značná produkce tepla
- Klidové teplo
- Iniciální teplo = teplo produkované v průběhu kontrakce nad teplo klidové
  - = aktivační teplo (teplo, které sval vydá, kdykoliv se stahuje) + teplo zkrácení (úměrné délce, o jakou se sval zkrátil)
- Teplo zotavení = teplo uvolněné metabolickými procesy, které vracejí sval do původního stavu
- Relaxační teplo = sval, který se stahuje izotonicky; projev práce, resp. vrácení svalu na původní délku

# Hormony a metabolismus sacharidů

- Inzulin, IGF-I/II, glukagon, somatostatin, adrenalin, hormony štítné žlázy, glukokortikoidy, růstový hormon
- Fyzická aktivita
  - Vstup Glu do kosterního svalu nezávisle na inzulínu – zvýšení počtu GLUT-4
  - Přetrvává několik hodin po námaze
  - Zvýšení citlivosti na inzulin
  - ! Diabetici - hypoglykémie

- Katecholaminy

- Aktivace přes beta-adrenergní receptory = zvýšení obsahu cAMP
- Alfa-adrenergní receptory zvyšují obsah intracelulárního ATP
- Zvýšení výdeje Glu z jater = hyperglykémie
- Aktivace fosforylázy svalů přes cAMP a vápenaté ionty
- Vytvořený glukóza-6-P konvertován pouze na pyruvát! (chybí příslušná fosfatáza)
- Pyruvát dále konvertován na laktát, ten difunduje ze svalů do krve
- V játrech je oxidován na pyruvát a následně konvertován na glykogen
- Kalorigenní účinek = oxidace laktátu
- Uvolnění FFA do krve = snížení periferní utilizace glukózy

- Hormony štítné žlázy

- Diabetogenní účinek thyroideálních hormonů je dán zvýšením resorpce Glu ve střevě
- Ztráty glykogenu v játrech
- Zrychlení degradace inzulínu
- Významný kalorigenní účinek = zvýšení spotřeby kyslíku téměř ve všech tkáních

- **Glukokortikoidy**

- Zvýšení glykémie
- Glukoneogenetický účinek, ale zejména permisivní působení
- Značně komplexní účinek

- **Růstový hormon**

- Mobilizace volných MK z tukové tkáně = ketogeneze
- „antiinzulínový“ účinek – snižuje vychytávání Glu v některých tkáních
- Snížení počtu receptorů pro inzulín a glukokortikoidy

**Tab. 19-9.** Účinky glukokortikoidů působících na metabolismus sacharidů<sup>1</sup>

1. Zvýšený katabolismus proteinů v tkáních, vedoucí ke zvýšení koncentrace aminokyselin v plazmě
2. Zvýšení jaterního vychytávání (»trapping«) aminokyselin
3. Zvýšení deaminace a transaminace aminokyselin
4. Zvýšení jaterní konverze oxalacetátu na fosfopyruvát
5. Zvýšená aktivita jaterní fruktózadifosfatázy, urychlující defosforylaci fruktóza-1,6-difosfátu
6. Zvýšená aktivita jaterní glukóza-6-fosfatázy, vedoucí k uvolnění více glukózy do krve
7. Snížení utilizace glukózy na periférii a v játrech, patrně působené inhibicí fosforylace
8. Zvýšení hladiny krevního laktátu a pyruvátu
9. Snížená lipogeneze v játrech
10. Zvýšení plazmatických hladin FFA a zvýšená tvorba ketolátek (když je pankreatická rezerva nízká)
11. Zvýšená tvorba aktivní glykogensyntázy

<sup>1</sup> Čísla 1–6 představují reakce vedoucí ke zvýšení glykémie následkem zvýšené glukoneogeneze

# Metabolismus a jeho měření

# RESPIRAČNÍ KVOCIENT

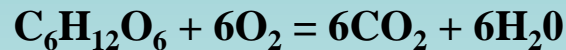
$$\mathbf{RQ = V_{CO_2} : V_{O_2}}$$

(za jednotku času, za ustáleného stavu, obvykle vztažený k 1 l kyslíku)

Cukry:	RQ = 1
Tuky:	RQ = 0,7
Proteiny:	RQ = 0,8

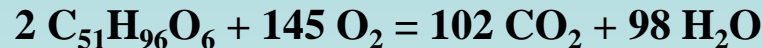
**R** – poměr respirační výměny (není ustálený stav!, v kterémkoliv časovém úseku)

- Sacharidy (glukoza)



$$\mathbf{RQ = 6/6 = 1,00}$$

- Tuky (tripalmitin)



$$\mathbf{RQ = 102/145 = 0,703 \text{ (obecně 0,70)}}$$

- Při hyperventilaci RQ stoupá (vydechován více CO<sub>2</sub>).
- Při intenzivní zátěži RQ až 2,00 (vydechován více CO<sub>2</sub> a kyselina mléčná se mění na CO<sub>2</sub>).
- Po skončení zátěže klesá RQ až na 0,50.
- Při metabolické acidóze RQ stoupá.
- Při metabolické alkalóze RQ klesá.

- **INTENZITA (= rychlost) METABOLISMU**

**1. Tělesná práce** (v průběhu i během zotavení - kompenzace kyslíkového dluhu).

**2. Specificko-dynamický účinek potravy** (asimilace živin v těle).

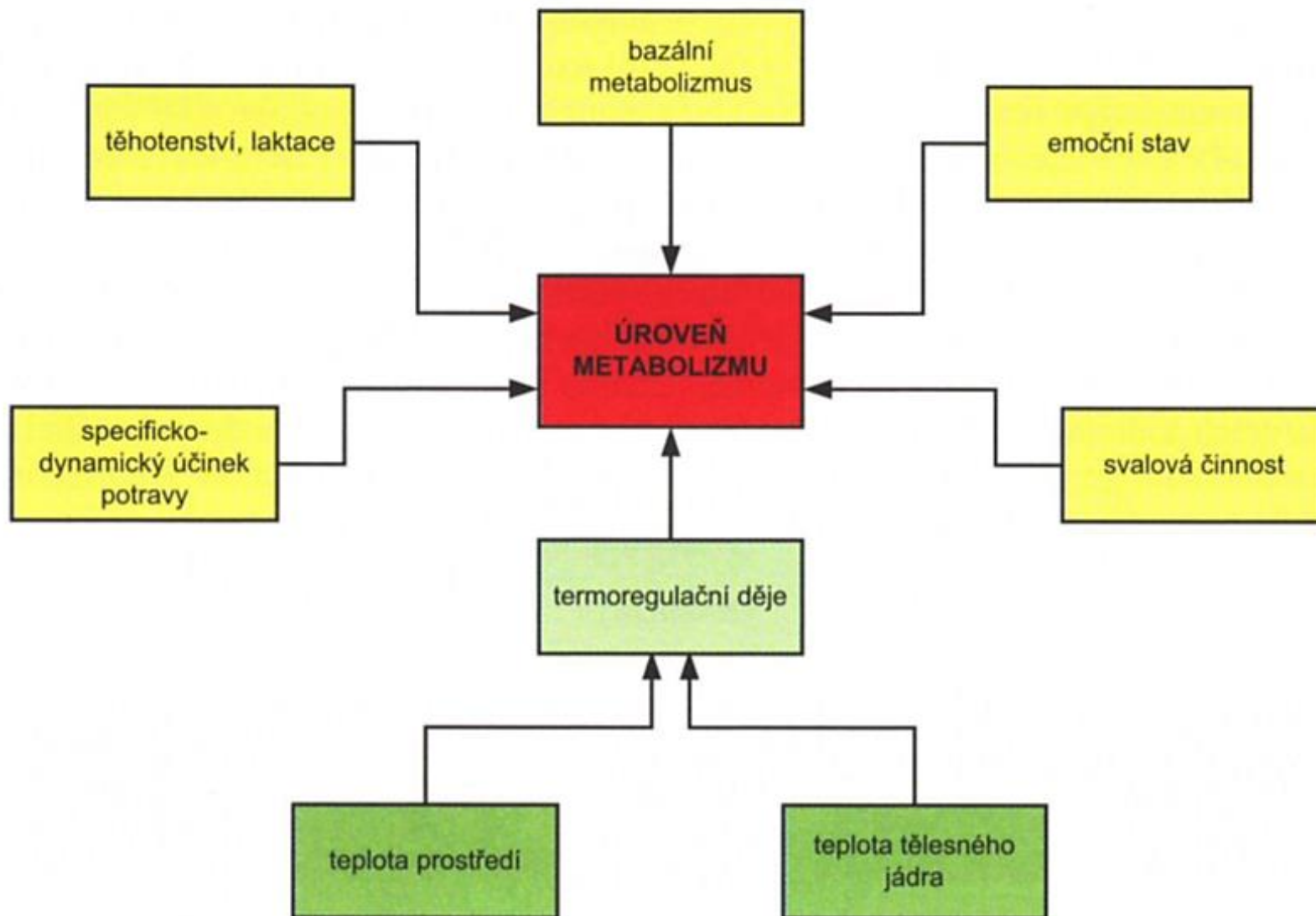
- A) Množství **proteinu**, které poskytuje 100 kcal,  
zvyšuje rychlost metabolismu o **30 kcal**.
- B) Množství **sacharidu**, které poskytuje 100 kcal,  
zvyšuje rychlost metabolismu o **6 kcal**.
- C) Množství **tuku**, které poskytuje 100 kcal,  
zvyšuje rychlost metabolismu o **4 kcal**.
  
- Množství energie z živin se snižuje o uvedené množství energie, která byla použita k jejich asimilaci.
- **Proteiny mají nejvyšší SDÚ,**
- místo 100 kcal organismus získá 70 kcal.

- **3. Vnější teplota - tvar písmene U**
- a) nižší než tělesná teplota -  
aktivace mechanismů pro udržení tepla (např. třes)  
intenzita metabolismu vzrůstá
- b) vyšší než tělesná teplota -  
zvyšuje se teplota těla a vzrůstá metabolismus



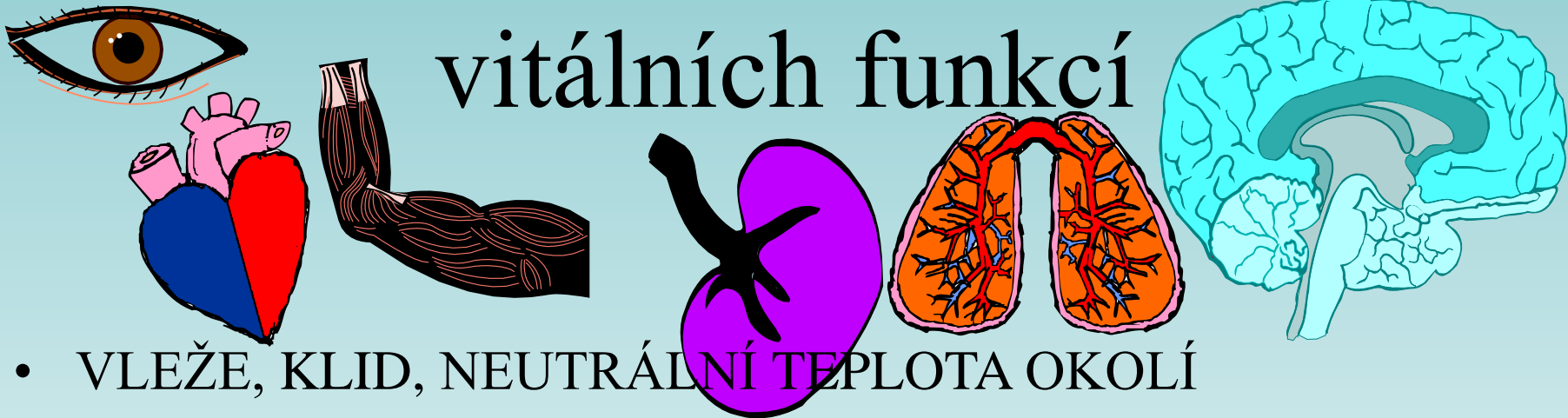


- 4. Výška, váha a povrch těla (čím větší - tím větší)**
- 5. Pohlaví (muži vyšší)**
- 6. Věk (čím vyšší, tím menší)**
- 7. Emoce (vzrušení zvyšuje metabolismus - adrenalin zvyšuje svalové napětí v klidu, apatie a deprese snižují metabolismus)**
- 8. Tělesná teplota (vzestup o 1° C, vzestup o 14%)**
- 9. Hladina hormonů štítné žlázy v krvi (T4, T3)**
- 10. Hladina adrenalinu a noradrenalinu v krvi**



# BAZÁLNÍ METABOLISMUS (BMR)

Potřeba energie pro udržení všech  
vitálních funkcí



- VLEŽE, KLID, NEUTRÁLNÍ TEPLOTA OKOLÍ
- 12 - 14 HODIN PO JÍDLE, 24 HODIN BEZ VYČERPÁVAJÍCÍ TĚLESNÉ PRÁCE
- ELIMINACE POKUD MOŽNO VŠECH NEGATIVNÍCH FYZICKÝCH A PSYCHICKÝCH FAKTORŮ
- U MLADÝCH MUŽŮ PRŮMĚRNÉHO VZRŮSTU ASI 2000 KCAL

# BAZÁLNÍ METABOLISMUS (BMR)

- U ČLOVĚKA KORELUJE S POVRCHEM TĚLA - k výměně tepla dochází na povrchu těla.
- Jaký je vztah mezi hmotností, výškou a povrchem těla?

$$S = 0,007184 \cdot W^{0,425} \cdot H^{0,725}$$

S = povrch těla v m<sup>2</sup>

W = tělesná hmotnost v kg

H = tělesná výška v cm

**NOMOGRAM**



# BAZÁLNÍ METABOLISMUS (BMR)

## 1. Harris-Benedictova rovnice

$$BMR (kcal) = 66,5 + 13,8 \times hmotnost (kg) + 5,0 \times výška (cm) - 6,8 \times věk (roky)$$

Rovnice 1: Výpočet BMR pro muže

$$BMR (kcal) = 655 + 9,6 \times hmotnost (kg) + 1,8 \times výška (cm) - 4,7 \times věk (roky)$$

Rovnice 2: Výpočet BMR pro ženy

## 2. Faustova rovnice

Výpočet pomocí Faustova vzorce není přesný, jedná se pouze o orientační předpoklad energetického výdeje.

$$BMR (kcal) = hmotnost (kg) \times 24$$

Rovnice 3: Výpočet BMR pro muže

$$BMR (kcal) = hmotnost (kg) \times 23$$

Rovnice 4: Výpočet BMR pro ženy

## 3. Cunninghamova rovnice

Výpočet pomocí Faustova vzorce nerozlišuje pohlaví.

$$BMR (kcal) = 500 + 22 \times FFM (kg)$$

Rovnice 5: Výpočet BMR pro muže

## Výpočet optimální tělesné hmotnosti

### 1. Výpočet optimální tělesné hmotnosti I.

$$(0,655 \times výška [cm]) - 44,1$$

Rovnice 6: Výpočet pro muže

$$(0,593 \times výška [cm]) - 38,6$$

Rovnice 7: Výpočet pro ženy

### 2. Výpočet optimální tělesné hmotnosti II.

$$22,0 \times výška^2 (m)$$

Rovnice 8: Výpočet pro muže

$$20,8 \times výška^2 (m)$$

Rovnice 9: Výpočet pro ženy

### 3. Výpočet optimální tělesné hmotnosti III.

$$(výška [cm] - 100) \times 0,85$$

Rovnice 10: Výpočet pro muže

$$(výška [cm] - 100) \times 0,90$$

Rovnice 11: Výpočet pro ženy

### 4. Výpočet BMI

$$BMI = \frac{kg}{m^2}$$

# BAZÁLNÍ METABOLISMUS (BMR)

**Dospělý muž asi 40 kcal/m<sup>2</sup>/hod  
(tzn. asi 2000 kcal/24 hod)**

**Ženy - nižší  
Starší - nižší**

**(kg)**

**(cm)**

**(roky)**

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

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

Harris-Benedictův vzorec (BEE – bazální energetický výdej)

# BAZÁLNÍ METABOLISMUS

## VLIV POHLAVÍ

**BMR muži =  $66 + (13,7 \cdot \text{hmotnost}) + (5,0 \cdot \text{výška}) - (6,8 \cdot \text{věk})$**

**BMR ženy =  $655 + (9,6 \cdot \text{hmotnost}) + (1,85 \cdot \text{výška}) - (4,7 \cdot \text{věk})$**

**Muž 20 let, 80 kg, 185 cm  
BMR = 1950 kcal**

**Žena 20 let, 55 kg, 165 výška  
BMR = 1395 kcal**

# BAZÁLNÍ METABOLISMUS

## VLIV POHLAVÍ

**BMR muži =  $66 + (13,7 \cdot \text{hmotnost}) + (5,0 \cdot \text{výška}) - (6,8 \cdot \text{věk})$**

**BMR ženy =  $655 + (9,6 \cdot \text{hmotnost}) + (1,85 \cdot \text{výška}) - (4,7 \cdot \text{věk})$**

**Muž 20 let, 80 kg, 185 cm  
BMR = 1950 kcal**

**Žena 20 let, 80 kg, 185 výška  
BMR = 1730 kcal**

**ROZDÍL ASI 10%**



# BAZÁLNÍ METABOLISMUS

## VLIV VĚKU

**BMR muži =  $66 + (13,7 \cdot \text{hmotnost}) + (5,0 \cdot \text{výška}) - (6,8 \cdot \text{věk})$**

**BMR ženy =  $655 + (9,6 \cdot \text{hmotnost}) + (1,85 \cdot \text{výška}) - (4,7 \cdot \text{věk})$**

**Muž 20 let, 75 kg, 180 cm  
BMR = 1860 kcal**

**Muž 70 let, 75 kg, 180 cm  
BMR = 1520 kcal**

**ROZDÍL ASI 20%**

# BAZÁLNÍ METABOLISMUS

## VLIV VĚKU

**BMR muži =  $66 + (13,7 \cdot \text{hmotnost}) + (5,0 \cdot \text{výška}) - (6,8 \cdot \text{věk})$**

**BMR ženy =  $655 + (9,6 \cdot \text{hmotnost}) + (1,85 \cdot \text{výška}) - (4,7 \cdot \text{věk})$**

**Žena 20 let, 60 kg, 165 cm  
BMR = 1440 kcal**

**Žena 70 let, 60 kg, 165 cm  
BMR = 1200 kcal**

**ROZDÍL ASI 15%**

# BAZÁLNÍ METABOLISMUS

## VLIV VĚKU

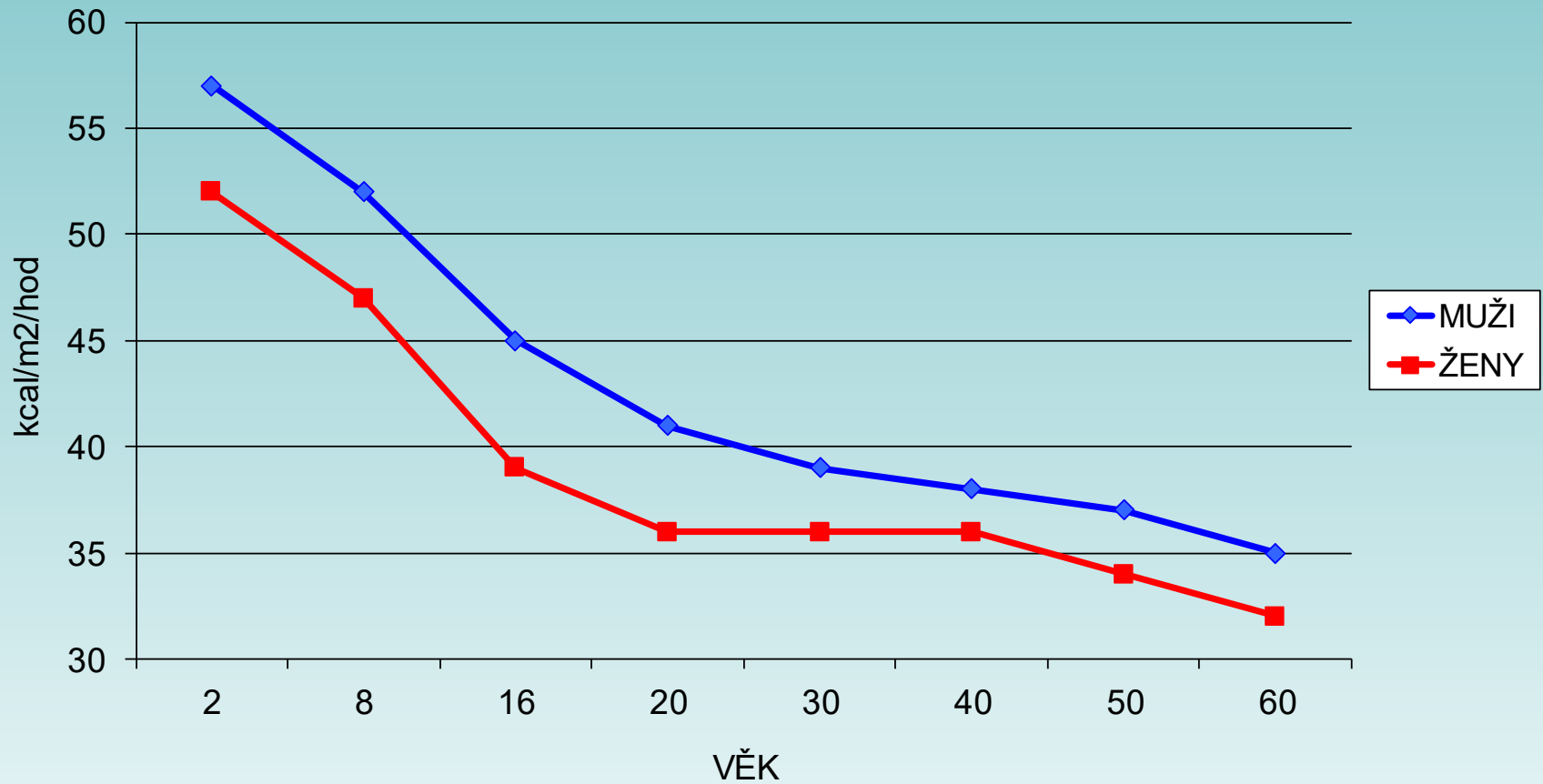
**BMR muži = 66 + (13,7 . hmotnost) + (5,0 . výška) - (6,8 . věk)**

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

**U ženy se BMR prakticky nemění mezi 20 a 40 lety,  
u mužů stále zvolna klesá (o 2 - 3% ročně).**

**Pokles BMR ženy mezi 40 a 50 roky  
je prudší než u mužů.**

## BMR - ZÁVISLOST NA VĚKU A POHLAVÍ



# BAZÁLNÍ METABOLISMUS VLIV VĚKU

**K NEJVĚTŠÍMU POKLESU BMR  
DOCHÁZÍ V PUBERTĚ**

**NEJMENŠÍ POKLES BMR U MUŽE  
JE MEZI 30 A 50 ROKY,  
U ŽENY MEZI 20 A 40 ROKY**

**V OBDOBÍ MENOPAUY KLESÁ BMR ŽENY  
PRUDČEJI NEŽ VE STEJNÉM VĚKU U MUŽŮ**

# BAZÁLNÍ METABOLISMUS

## Dlouhodobé hladovění - pokles BMR

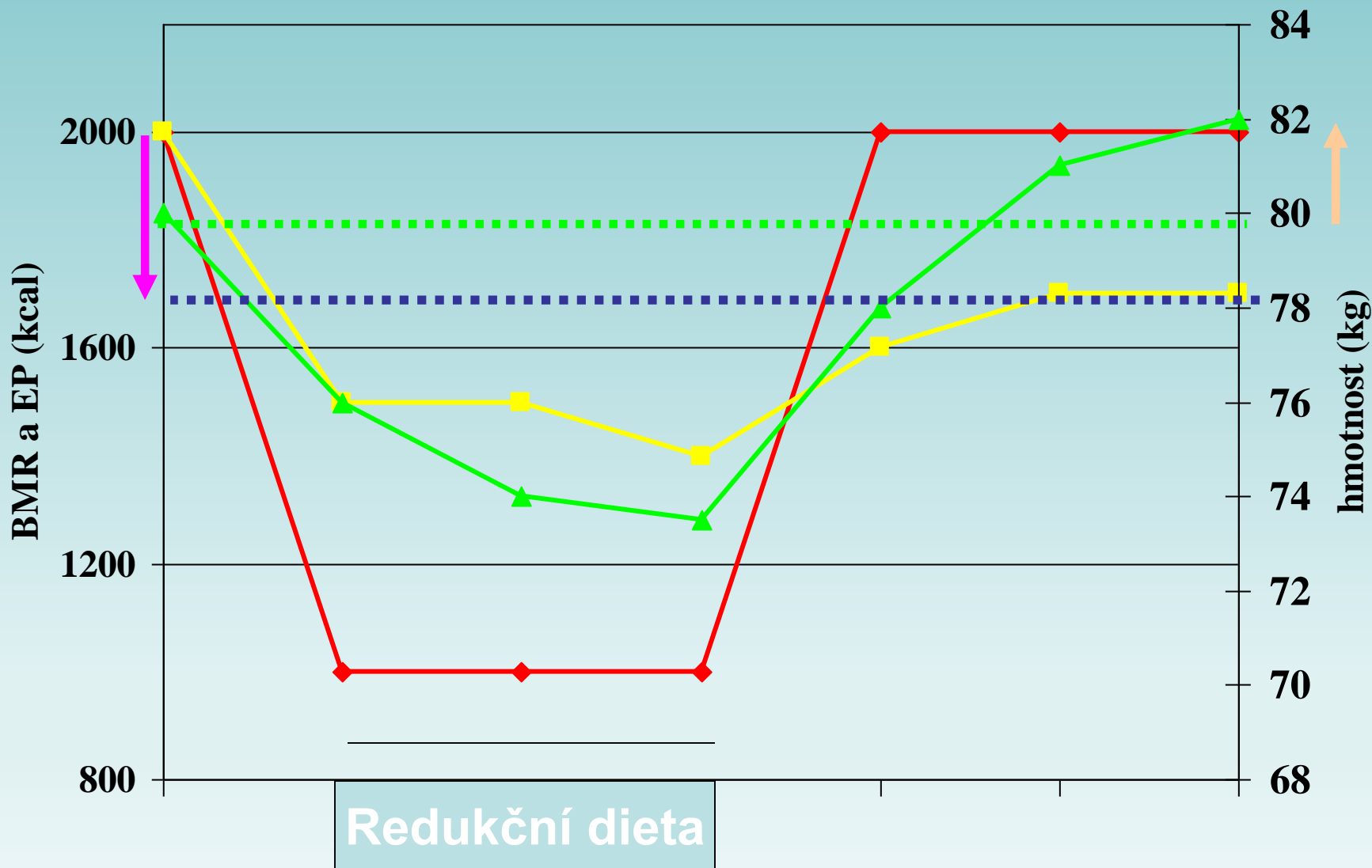
- ☞ **klesá aktivita sympatiku**
- ☞ **klesají katecholaminy**
- ☞ **klesají hormony štítné žlázy**

**Proto při redukční dietě zpočátku prudký pokles hmotnosti, později zpomalení poklesu hmotnosti**

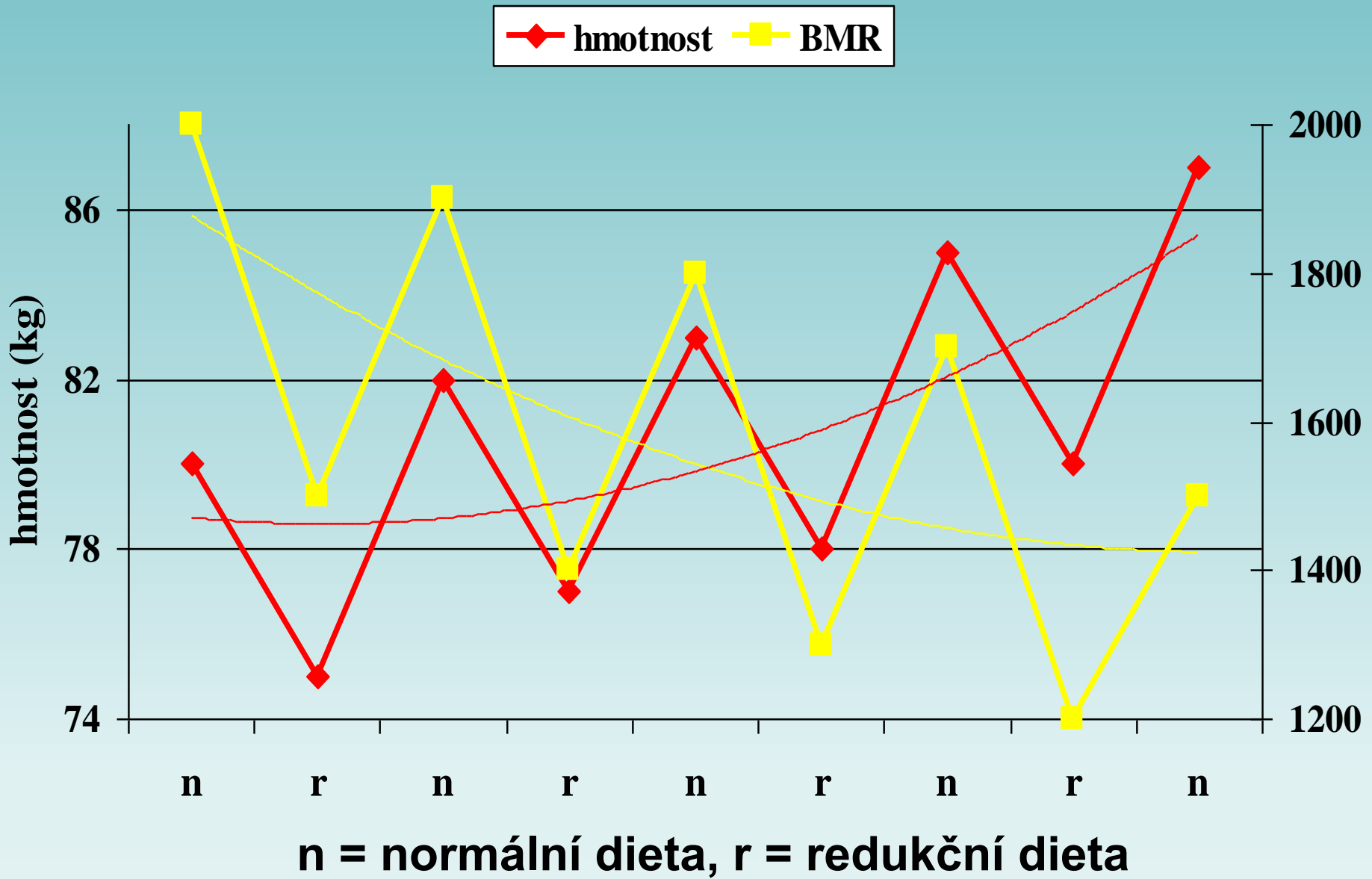
**Po jídle stoupá aktivita sympatiku a BMR stoupá**

# BMR, EP, REDUKČNÍ DIETA A HMOTNOST

◆ EP    ■ BMR    ▲ hmotnost



# JO-JO EFEKT





# Energetická rovnováha

- **Rovnováha mezi energetickým příjmem a výdejem**
- **Při negativní energetické bilanci se spotřebovávají vnitřní zásoby katabolizují se glykogen, proteiny a tuk =  
= **HUBNUTÍ****
- **Při pozitivní energetické bilanci (příjem převažuje před výdejem) =  
= **TLOUSTNUTÍ****

# Energetická rovnováha

## S výjimkou člověka

a některých domestikovaných a hibernujících zvířat  
chuť k jídlu reguluje příjem potravy

**OBEZITA JE VZÁCNOSTÍ**

**Přes 70% lidské populace  
trpí nadváhou nebo obezitou**

# ENERGETICKÝ VÝDEJ

## ENERGETICKÝ EKVIVALENT (EE)

množství energie (Q)

uvolněné při spotřebě 1 litru kyslíku

$(Q/\dot{V}O_2)$

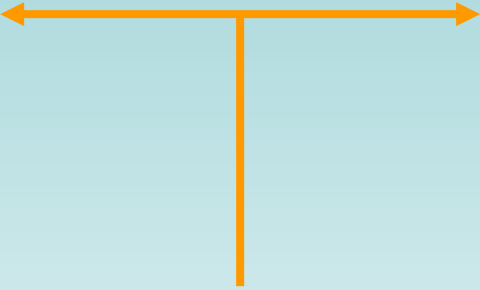
Termický koeficient kyslíku

jednotlivých živin se liší,

**proto se liší i EE.**

# ENERGETICKÝ VÝDEJ

## ENERGETICKÝ EKVIVALENT (EE)

- sacharidů  $21,1 \text{ kJ} = 5,05 \text{ kcal}$
  - proteinů  $18,0 \text{ kJ} = 4,31 \text{ kcal}$
  - lipidů  $19,0 \text{ kJ} = 4,55 \text{ kcal}$
- 

Neúplná katabolizace  
(lidský organismus není schopen  
využít energii z dusíkatých sloučenin)

# ENERGETICKÝ VÝDEJ

## ENERGETICKÝ EKVIVALENT (EE)

Při smíšené potravě  
(60 % sacharidů, 30 % tuků, 10 % proteinů)

$$EE = 20,1 \text{ kJ} = 4,81 \text{ kcal}$$

**4,8 kcal**

# ENERGETICKÝ VÝDEJ

**V klidu spotřebuje člověk asi 3,4 - 3,6 ml O<sub>2</sub>/kg/min**

**1 MET (metabolický ekvivalent)**

**JAKÁ JE TO ENERGIE?**

$$\text{VO}_2 \text{ (ženy)} = 3,4 \cdot 4,8 = 16,3 \text{ cal/kg/min}$$

$$\text{VO}_2 \text{ (muži)} = 3,6 \cdot 4,8 = 17,3 \text{ cal/kg/min}$$

(asi o 5 - 15% méně)



# ENERGETICKÝ VÝDEJ

## 1 MET

**množství kyslíku, které člověk  
spotřebuje v klidu  
za 1 min/1 kg hmotnosti**

**asi 3,5 ml/kg/min**

# ENERGETICKÝ VÝDEJ

Muž 20 let, 75 kg, 180 cm  
BMR = 1860 kcal (24 hod)

**Výpočet na základě MET:**

- **17 cal/kg/min**
- **1275 cal/min**
- **76500 cal/hod = 76,5 kcal/hod**
- **1836 kcal/24 hod**

Hodnoty jsou přibližně stejné



**MET****VO2 (l/min)****TF (/min)****lehká****< 3,0****< 0,5****< 90****střední****3,0 – 4,5****0,5 – 1,0****90 – 110****těžká****4,6 – 7,0****1,0 – 1,5****110 – 130****velmi těžká****7,1 – 10,0****1,5 – 2,0****130 – 150****vyčerpávající****> 10****> 2,0****> 150**

# LIMITY UVEDENÉHO HODNOCENÍ:

- **Není zohledněna pracovní kapacita**

Při maximální pracovní kapacitě 10 METs bude práce při 5 METs čerpat kapacitu z 50% (**střední**)

Při maximální pracovní kapacitě 5 METs bude práce 5 METs prací maximální (**vyčerpávající**)

# LIMITY UVEDENÉHO HODNOCENÍ:

- **Není zohledněna pracovní kapacita**
- **Není zohledněna maximální aerobní kapacita**

Při  $VO_2/\text{kg max} = 50 \text{ ml/kg/min}$  bude práce při  $25 \text{ ml/kg.min}$  čerpat kapacitu z 50% (**střední**).

Při  $VO_2/\text{kg max} = 30 \text{ ml/kg.min}$  bude práce  $25 \text{ ml/kg.min}$  čerpat kapacitu z 83% (**velmi těžká až vyčerpávající**)

# LIMITY UVEDENÉHO HODNOCENÍ:

- **Není zohledněna pracovní kapacita**
- **Není zohledněna maximální aerobní kapacita**
- **Není zohledněna maximální tepová rezerva**

**Maximální tepová rezerva (MTR) = TF max - TF klid**

**Při TF max = 200 a TF klid = 70  
bude práce při TF = 120 čerpat MTR z 38%  
(120 - 70 / MTR) (**lehká**)**

**Při TF max = 150 a TF klid = 70  
bude práce při TF = 120 čerpat MTR z 63%  
(120 - 70 / MTR) (**těžká**)**

# Energetické hodnoty jednotlivých činností

## Lehká práce

## METs

- řidič 1,5
- laborant 2,1
- barman 2,7
- automechanik 2,7
- údržbář 2,8

# Energetické hodnoty jednotlivých činností

## Střední práce

## METs

- elektrikář 3,4
- zdravotní sestra 3,4
- zedník 4,0
- malíř pokojů 4,1
- práce s motorovou pilou 4,4

# Energetické hodnoty jednotlivých činností

## **Těžká práce**

## **METs**

- **dělník v továrně** 5,4
- **tradiční zemědělství** 5,9
- **horník** 6,2
- **kopáč** 6,2
- **nosič těžkých břemen** 6,2

# Energetické hodnoty jednotlivých činností

## Velmi těžká práce

- |                      | METs |
|----------------------|------|
| • obsluha pecí       | 7,4  |
| • řezání ruční pilou | 7,8  |
| • kácení stromů      | 8,9  |
| • struskař           | 10,1 |

vyčerpávající práce





# **Energetické hodnoty jednotlivých činností volného času**

## **METs**

- zametání, vaření, mytí nádobí 2,9**
- čištění oken, leštění podlahy, nákupy 3,7**
- klepání koberce, leštění nábytku 4,5**

# **Energetické hodnoty jednotlivých činností volného času**

## **METs**

- hraní karet, poslech hudby 1,5**
- energická hra na hudební nástroje 2,7**
- hraní kulečnicku 2,5**
- volné společenské tance 4,1**
- lidové a moderní tance 6,5**
- velmi energické tance 11,3**

# Energetické hodnoty jednotlivých činností volného času

## METs

- sběr lesních plodů 2,5
- hrabání listí 3,9
- rytí, okopávání 5,0
- házení lopatou 5 kg/10x za min 6,6
- štípání dřeva 6,7
- rybaření v tekoucí vodě 3,9
- rybaření v proudu 5,5

# Energetické hodnoty jednotlivých sportovních odvětví

## 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

# **Energetické hodnoty jednotlivých sportovních odvětví**

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

# Energetické hodnoty jednotlivých sportovních odvětví

**METs**

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

# KALORIMETRIE PŘÍMÁ

= měření energie uvolněné spálením potravy mimo tělo (oxidace sloučenin v **kalorimetru**)

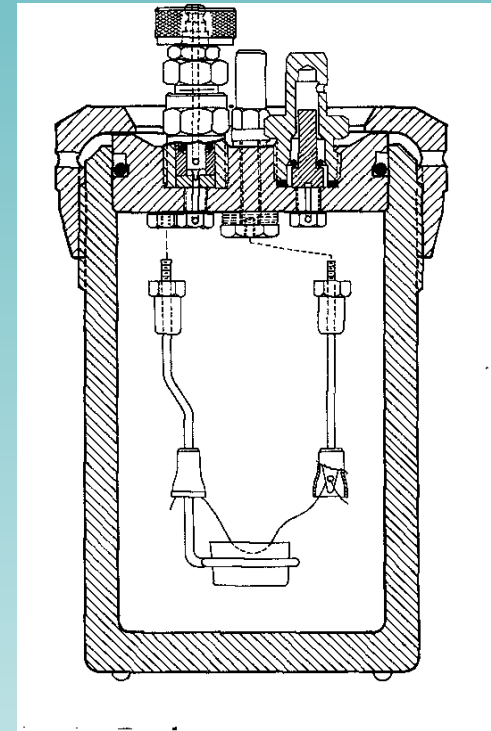
- Kalorimetry:

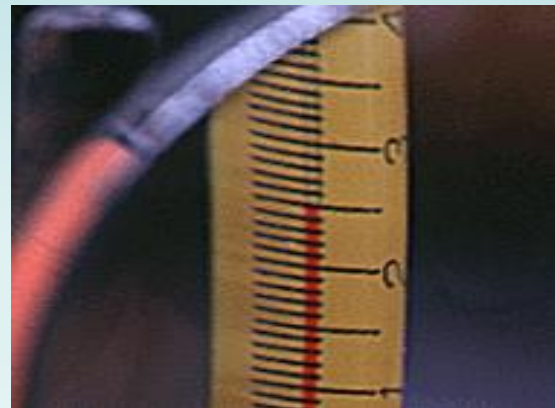
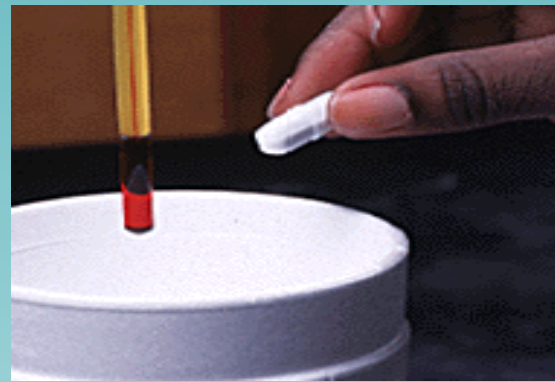
- adiabatické = ohřátí obsahu kalorimetru
- Izotermní = vzniklé teplo je odváděno

1. Kalorická bomba – adiabatický bombový kalorimetr

1. Vzorek
2. Zápalné drátky
3. Výbušné zapálení celého obsahu
4. Ohřívání vody + mixér pro rovnoměrnou distribuci tepla

2. Celotělový kalorimetr (pro laboratorní zvířata, pro člověka)







# Human Calorimeter

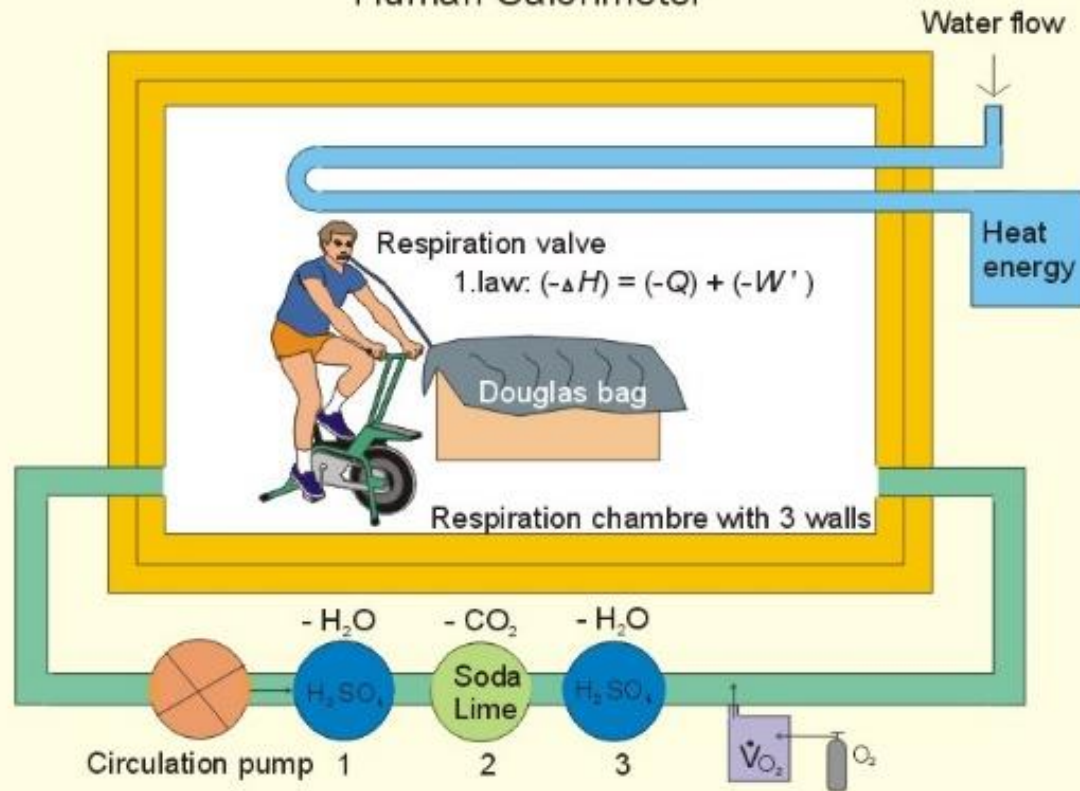
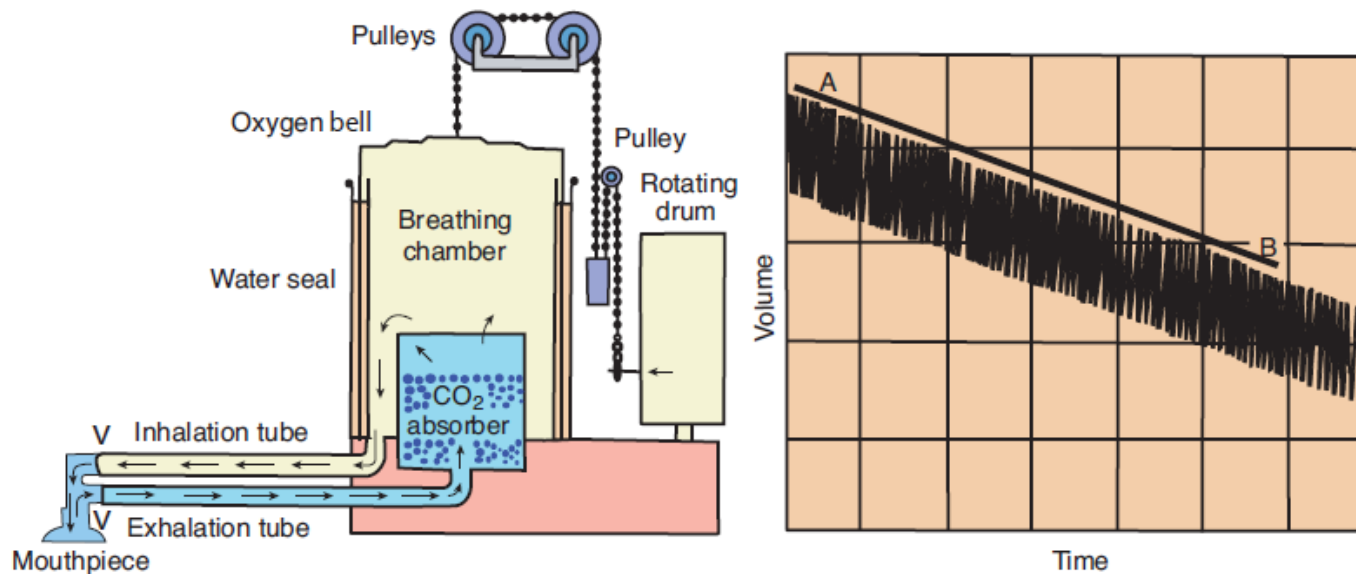


Fig. 20-4

KMc

- Množství spotřebovaného  $O_2$
- Množství energie uvolněné na 1 mol spotřebovaného  $O_2$  se liší s typem oxidované látky (vliv skladby potravy) – **energetický ekvivalent = univerzální konstanta pro výpočet energetického výdeje za předpokladu příjmu smíšené stravy**
- Otevřené nebo uzavřené systémy
- Otevřený = osoba vdechuje atmosférický vzduch a vydechuje do analyzátoru
- Uzavřený = osoba vdechuje kyslík z rezervoáru = uzavřený systém

# KALORIMETRIE NEPŘÍMÁ



**FIGURE 27-8** Diagram of a modified Benedict apparatus, a recording spirometer used for measuring human  $O_2$  consumption, and the record obtained with it. The slope of the line AB is proportionate to the  $O_2$  consumption. V: one-way check valve.

Barret, K.E., Boitano, S., Barman, S.M., Brooks, H.L. Ganong's Review of Medical Physiology. 23rd Ed. McGraw-Hill Companies 2010

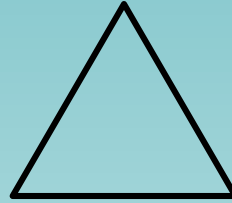


# Regulace příjmu potravy

PŘÍJEM



VÝDEJ



CENTRUM SYTOSTI



CENTRUM HLADU  
(trvale aktivní)

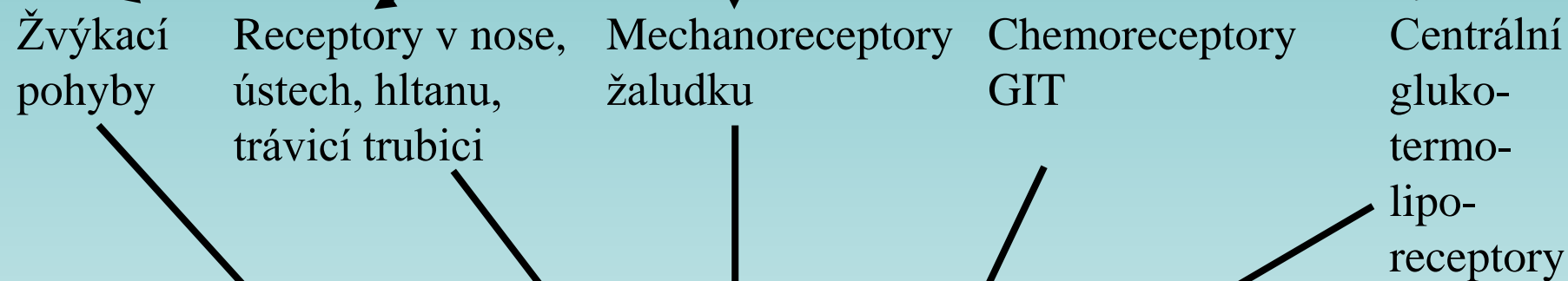
ncl. ventromedialis v hypothalamu

laterální hypothalamus

(jádro pod fasciculus telencephalicus medialis)

# VZNIK POCITU SYTOSTI

## PŘÍJEM POTRAVY



ZPRACOVÁNÍ INFORMACÍ V CNS  
(CENTRUM SYTOSTI = ncl. ventromedialis v hypotalamu)

PRERESORPTIVNÍ SYCENÍ

**SYTOST**

RESORPTIVNÍ SYCENÍ

# VZNIK POCITU HLADU

## SNÍŽENÝ PŘÍJEM POTRAVY

Hladové  
kontrakce  
žaludku

Snížená  
dostupnost  
glukózy

Snížení  
produkce tepla

Změny lipidového  
metabolismu

Mechanoreceptory

Glukoreceptory

Vnitřní termoreceptory  
(hypotalamus)

„Liporeceptory“

**HLAD**

KRÁTKODOBÁ REGULACE

DLOUHODOBÁ REGULACE

Kompenzace dietních chyb



# REGULACE PŘÍJMU POTRAVY

## HYPOTÉZA:

1. Lipostatická – *množství energetických zásob (tuková tkáň)*
2. H. střevních peptidů – *význam střevních peptidů*
3. Glukostatická – *kolísání glykémie*
4. Termostatická – *vnitřní receptory, pokles produkce tělesného tepla*

## OREXIGENNÍ FAKTORY

- Neuropeptid Y
- Orexin A a B (hypocretin 1 a 2)
- Hormon koncentrující melanin
- ARP (agouti-related peptide)
- Ghrelin (lenomorelin) – tzv. hormon hladu (sekrece z „prázdného“ žaludku)
- Insulin
- Cukry (fruktóza)

## ANOREXIGENNÍ FAKTORY

- POMC – pouze MC4-R!
- CRH (kortikoliberin)
- CART (cocaine- and amphetamine-regulated transcript)
- Peptid YY (pankreatický peptid; L-buňky v ileum a kolon, tlumí žaludeční motilitu, zvyšuje resorpci)
- CCK (cholecystokinin)
- glukagon

LÉKY !!!