

# Metabolismus

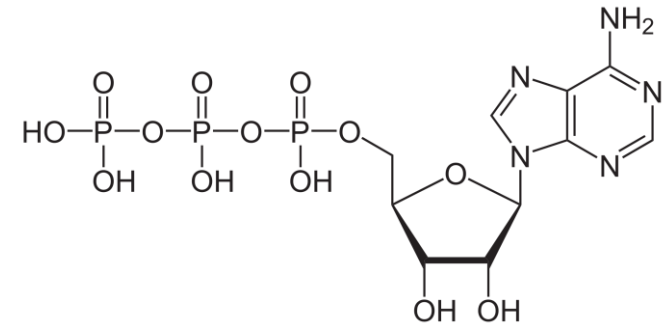
Bi3031 Demonstrační úlohy z fyziologie živočichů

# Metabolismus = látková přeměna

---

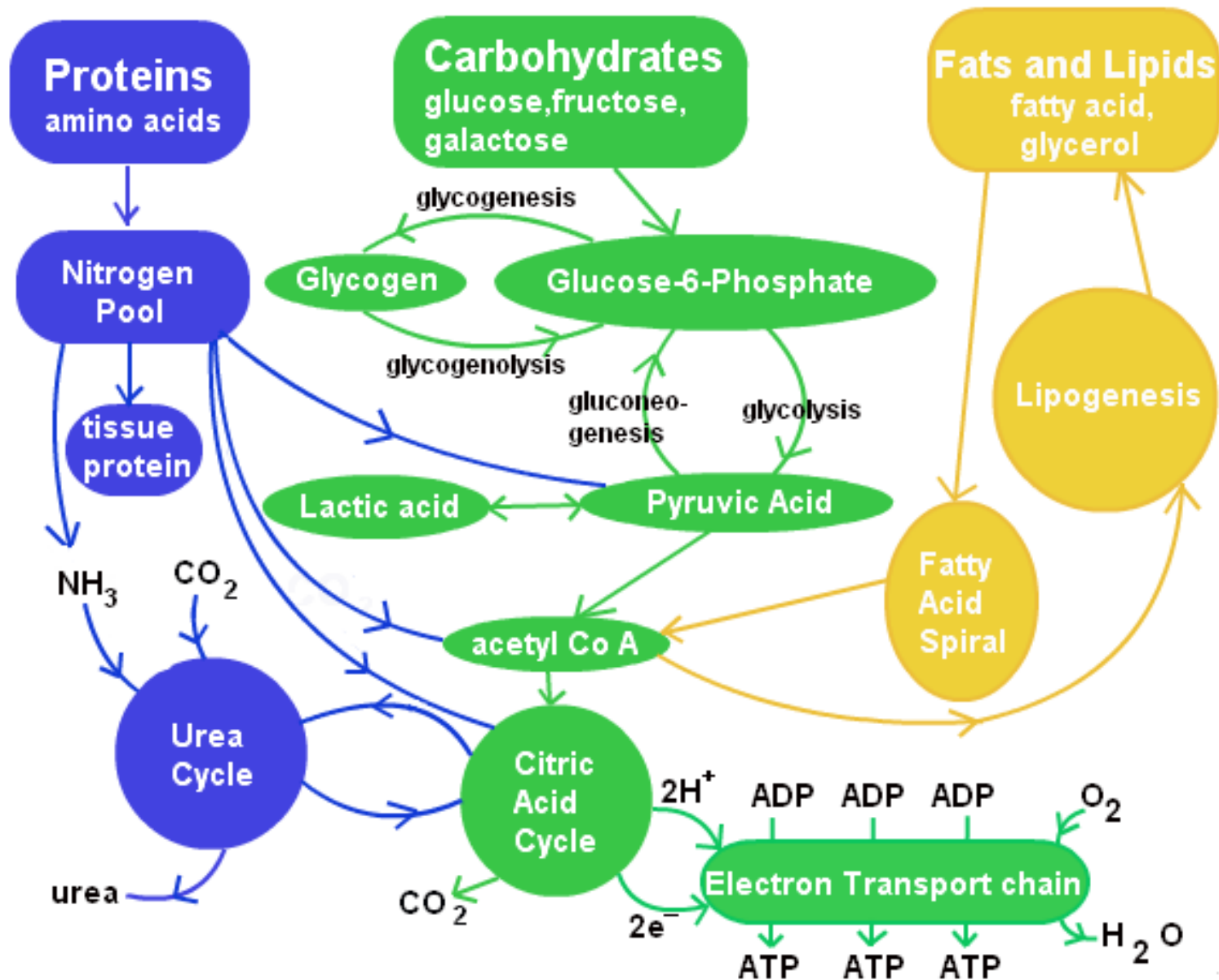
- katabolismus + anabolismus látek
- příjem a distribuce živin, vody a kyslíku, jejich biotransformace, odstranění zplodin a metabolitů látek
- získání energie z chemických vazeb v potravě, konverze na ATP

- **spotřeba energie:** svalové kontrakce  
Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> transport  
proteosyntéza  
Ca<sup>2+</sup> export



- **energeticky nejnáročnější orgány:** svalovina  
srdce  
ledviny
- řízena hypotalamo-hypofyzárním systémem (endokrinní, parakrinní, poptávka - spotřeba)

# Metabolismus = látková přeměna



# Metabolismus = látková přeměna

---

- živočichové získávají energii z chemických vazeb živin (**chemotrofní**)
- zdrojem uhlíku jsou pro živočichy organické látky (**heterotrofní**)
- organismy autotrofní (CO<sub>2</sub> zdrojem uhlíku) a fototrofní (zdrojem E je světlo)
- živočichové jsou chemoheterotrofní a zpracovávají organické látky prostřednictvím jejich oxidace vzdušným O<sub>2</sub> až na CO<sub>2</sub> a vodu

**Mezi spotřebou O<sub>2</sub> a množstvím uvolněné energie je přímý vztah.**

# Bazální a celkový metabolismus

---

- **bazální M** = nejmenší množství energie nutné k zajištění základních funkcí organismu za definovaných (bazálních) podmínek:
  - osoba je v absolutním duševním a tělesném klidu
  - měření v termoneutralní zóně (pro osobu nahou 27 °C, pro osobu oblečenou 20 °C)
  - poslední příjem potravy byl uskutečněn minimálně před 12 h a po 3 dny byl omezen příjem bílkovin
- udává se v **kJ** a u člověka činí zhruba **7000 kJ/den**
- norma: muži 171 kJ/hod/m<sup>2</sup>, ženy 151 kJ/hod/m<sup>2</sup>

**kalorie (cal;** množství energie zvyšující teplotu 1 g vody z 15 °C na 16 °C)

$$\text{cal} = 4,18 \text{ J}$$

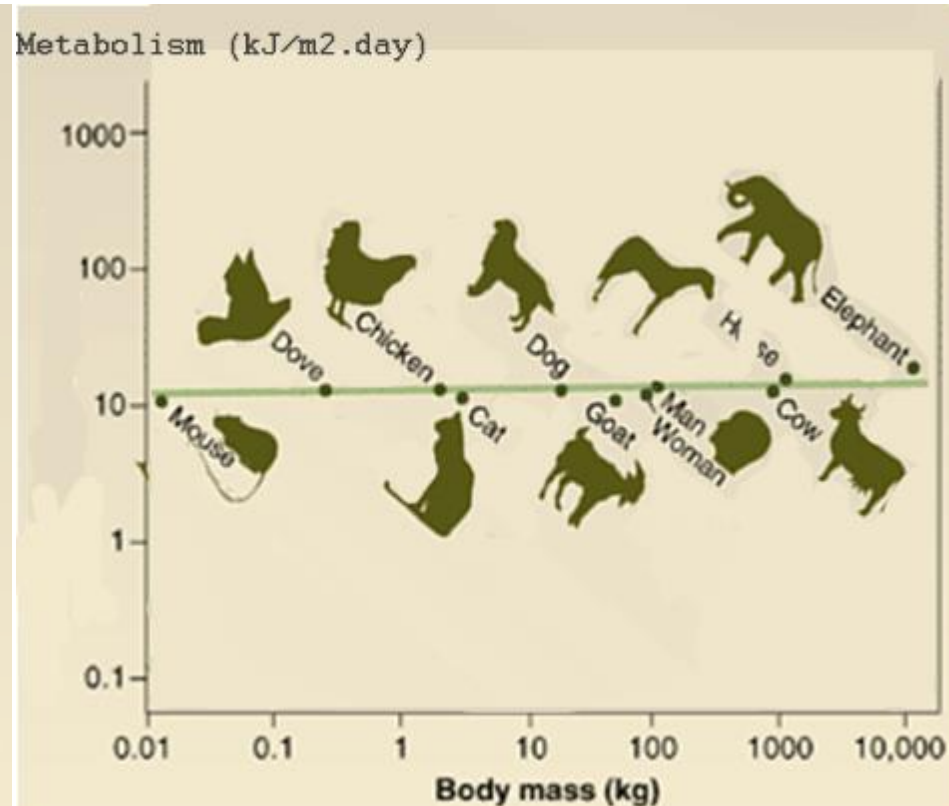
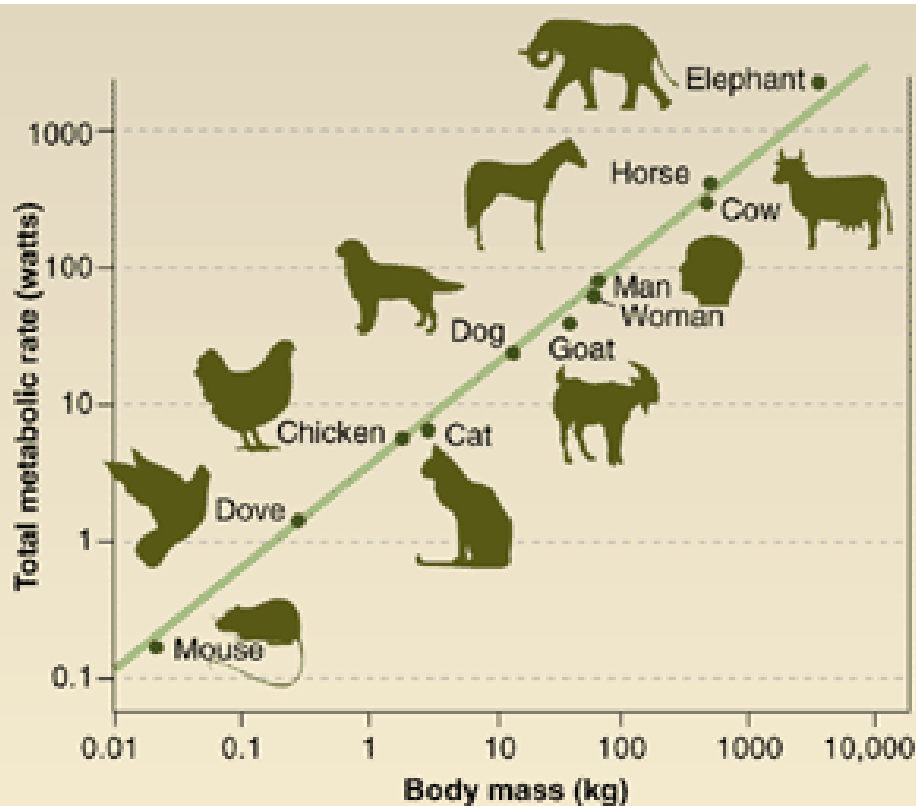
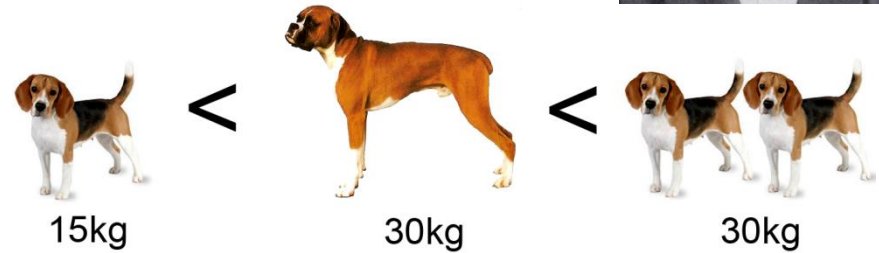
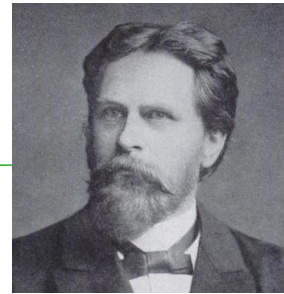
$$\text{J} = 0,239 \text{ cal}$$

$$\text{kcal} = 1000 \text{ cal} = 4,18 \text{ kJ}$$

- faktory ovlivňující BM: věk, pohlaví (u žen nižší), hmotnost, výška, povrch těla, svalová hmota, genetické faktory, teplota okolí, specificko-dynamický účinek potravy, dieta, hormony, fyziologické stavy (těhotenství, laktace), patologické stavy
- **celkový M** = BM + aktivita (práce) + teplotní vliv okolí

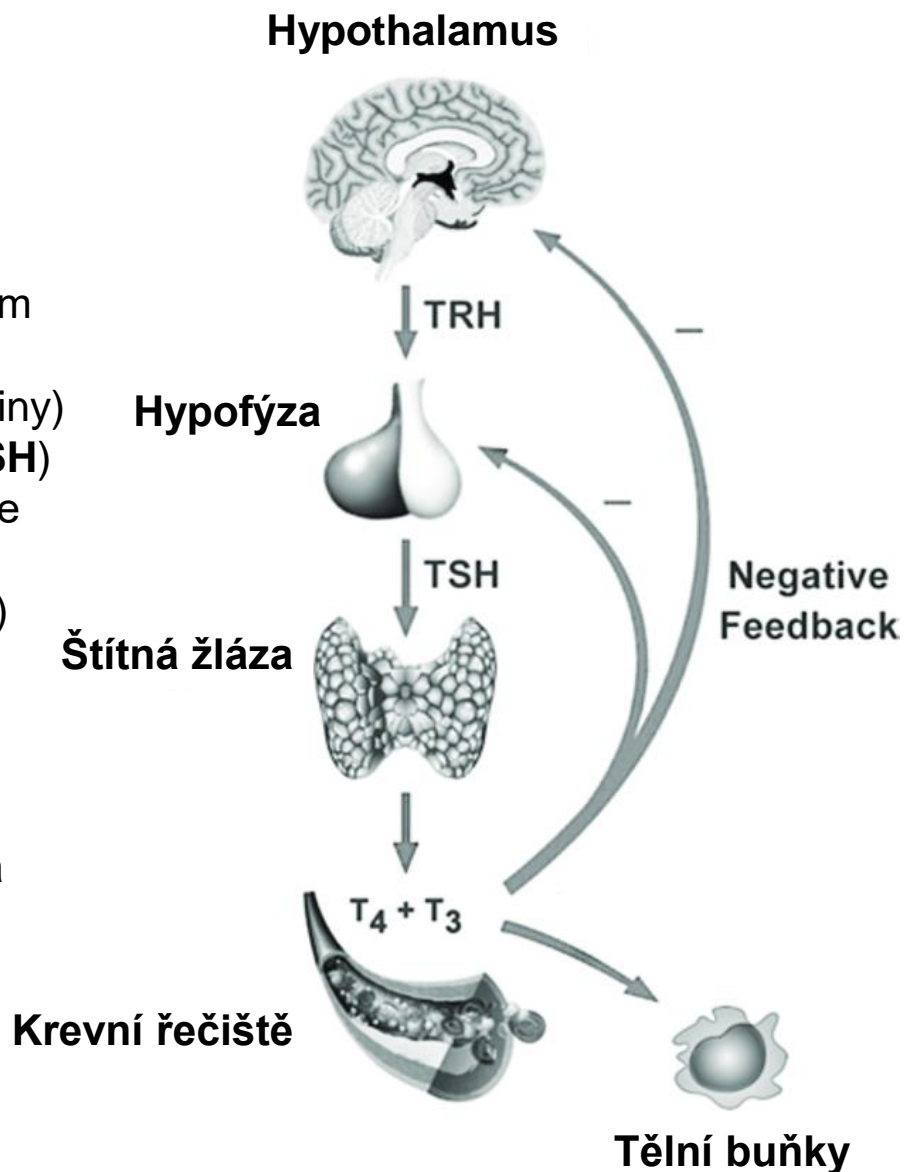
# Rubnerův povrchový zákon

- Max Rubner (1854 - 1932)
- hodnota BM vztažená na kg hmotnosti těla se u jednotlivců liší (těžší jedinci mají relativně nižší úroveň BM)
- s relativním zvětšováním povrchu těla homoiotermních živočichů se zvětšuje i jejich metabolismus (BM na povrch těla je shodný)



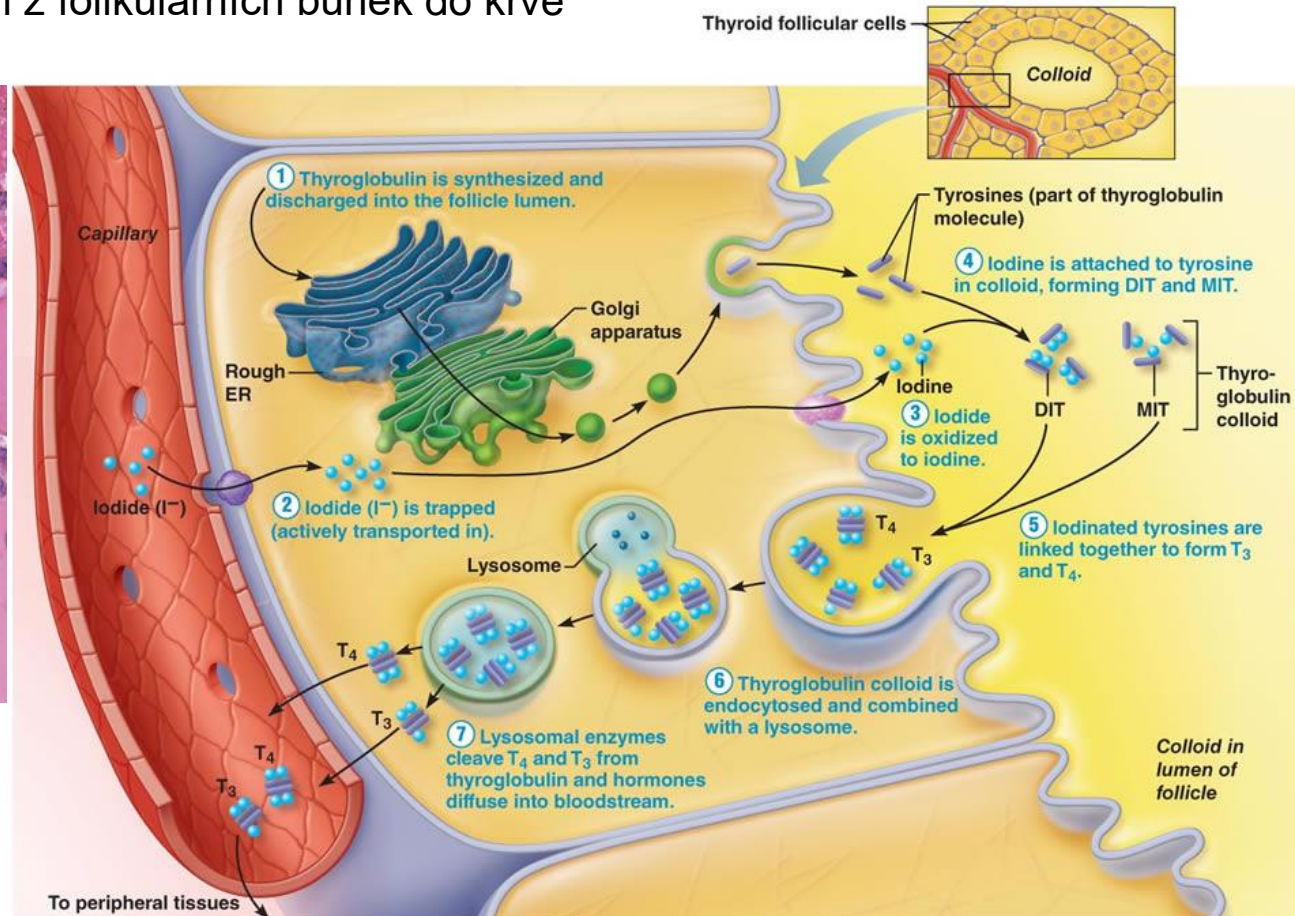
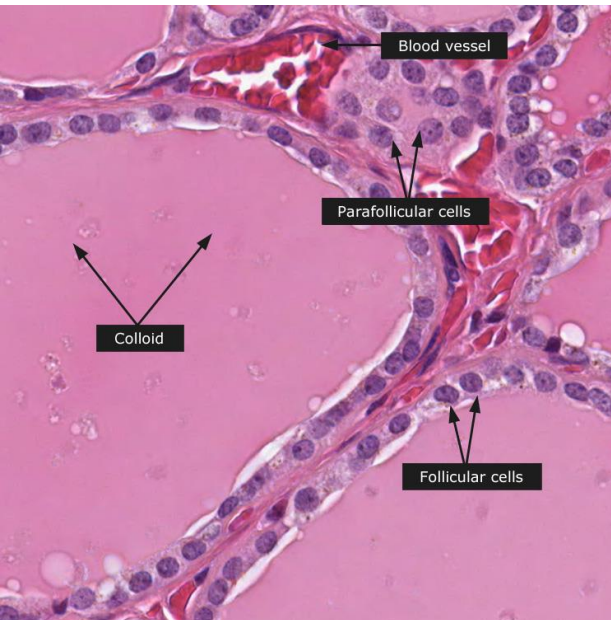
# Regulace metabolismu

- osa hypothalamus > hypofýza > štítná žláza
- buňky **hypothalamu** syntetizují skupiny hormonů nazývané liberiny a statiny
- **tyreotropin stimulující hormon** (tyroliberin, thyrotropin-releasing hormone, **TRH**) z hypothalamu je portálním krevním systémem dopraven do adenohypofýzy
- **adenohypofýza** vytváří tropní hormony (tropiny)
- **tyreotropin** (thyroid-stimulating hormone, **TSH**) je krví dopraven do štítné žlázy, kde stimuluje tvorbu hormonů štítné žlázy
- **štítná žláza** vytváří hormony trijodtyronin ( $T_3$ ) a tetrajodtyronin ( $T_4$ , tyroxin)
- aktivita osy je regulována zpětnou vazbou
- v krvi převažuje tyroxin > v cílových buňkách je přeměněn na účinnější trijodtyronin
- přebytečný tyroxin se může metabolizovat na neúčinný reverzní trijodtyronin



# Štítná žláza

- endokrinní žláza na kraniálním konci průdušnice, někdy zasahuje až na hrtan
- na povrchu vazivové pouzdro; uvnitř lalůčky (lobuli), které se skládají z váčků (folliculi) oddělených vazivem, kapilárními a lymfatickými pleteněmi
- folikuly z jedné vrstvy kubických folikulárních buněk a vyplněné koloidem (homogenní tekutina obsahující bílkovinu **tyreoglobulin**)
- vychytává z krve jód ve formě anorganických solí a váže ho na tyreoglobulin v koloidu
- vytvořený  $T_3$  a  $T_4$  uvolněn z folikulárních buněk do krve





# Štítná žláza

---

## Funkce hormonů štítné žlázy:

- diferenciační faktory během nitroděložního vývoje a krátce po narození
- synergie s růstovým hormonem
- **zvyšují úroveň BM a spotřebu kyslíku většiny tkání**
- **zvyšují produkci tepla**
- ovlivňují činnost nervstva a pohlavních žláz, zrychlují reflexní odpověď
- snižují hladinu cholesterolu v krvi
- zvyšují srdeční výdej a tepovou frekvenci

## Poruchy štítné žlázy:

- nedostatek hormonů štítné žlázy (hypofunkce) = **hypothyreóza**
- nedostatek jódu v potravě > kompenzace zvětšením štítné žlázy (struma)
- zpomalení metabolismu, únava, pocit chladu, klesá výkonost, poruchy paměti, stoupá hladina cholesterolu v krvi a riziko aterosklerózy, zácpa, bolesti svalů, u žen poruchy menstruačního cyklu, u nenarozených dětí a novorozenců mentální retardace
- léčba hormonální substitucí
  
- nadbytek hormonů štítné žlázy (hyperfunkce) = **hypertyreóza**
- nadbytek tyroxinu (Graves-Basedowova choroba)
- hubnutí, nadměrný příjem potravy, zvýšená dráždivost, vypoulení očí, zvětšení štítné žlázy
- léčba tyreostatiky tlumícími tvorbu hormonů ve štítné žláze (karbimazol, thiamazol, **propylthiouracil**)

# Výživa a energetické zásoby

---

## ▪ proteiny

- asi 18 % E zásob
- nejsou běžně využitelné, ale jsou základní stavební složkou všech buněk
- maso, ryby, vejce, mléčné výrobky, luštěniny, obiloviny atd.

## ▪ sacharidy

- pohotový zdroj E
- ovoce, zelenina, slazená jídla a nápoje atd.
- **glykogen** (zásobní cukr) cca 500 g (400 g ve svalech a 100 g v játrech); zásoba vyčerpána po 30-90 min aktivity
- **glukóza** energie zejména pro mozek a krvinky

## ▪ tuky

- asi 80 % všeho paliva v těle
- energeticky nejvydatnější
- nasycené (máslo, maso, sýr, mléko), nenasycené (zdravější - rostlinný olej, margarín, ryby, ořechy, semena)
- využití vitamínů A, D, E a K, které jsou rozpustné v tucích, syntéza hormonů

## ▪ vitamíny, minerální látky, vláknina

# Denní příjem a energetická rovnováha

- rovnováha mezi E přijímanou z potravy a jejím výdejem fyzickou aktivitou > optimální tělesná hmotnost a zdraví
- normální, snížená a zvýšená hmotnost se určují pomocí **indexu tělesné hmotnosti (body-mass index, BMI – [odkaz na kalkulačku](#))**

$$\text{BMI} = \frac{\text{tělesná hmotnost v kg}}{(\text{tělesná výška v m})^2}$$

- normální tělesná hmotnost (BMI 20-25), podváha (BMI<20), nadváha (BMI>25), obezita (BMI>30); liší se v závislosti na věku

## Denní příjem E:

- dospělý muž: 2200-2400 kcal (9240-11340 kJ)
- dospělá žena: 1800-2200 kcal (7560-9240 kJ)
- dítě: 1500-2000 kcal (6300-8400 kJ)

## Energetická hodnota živin:

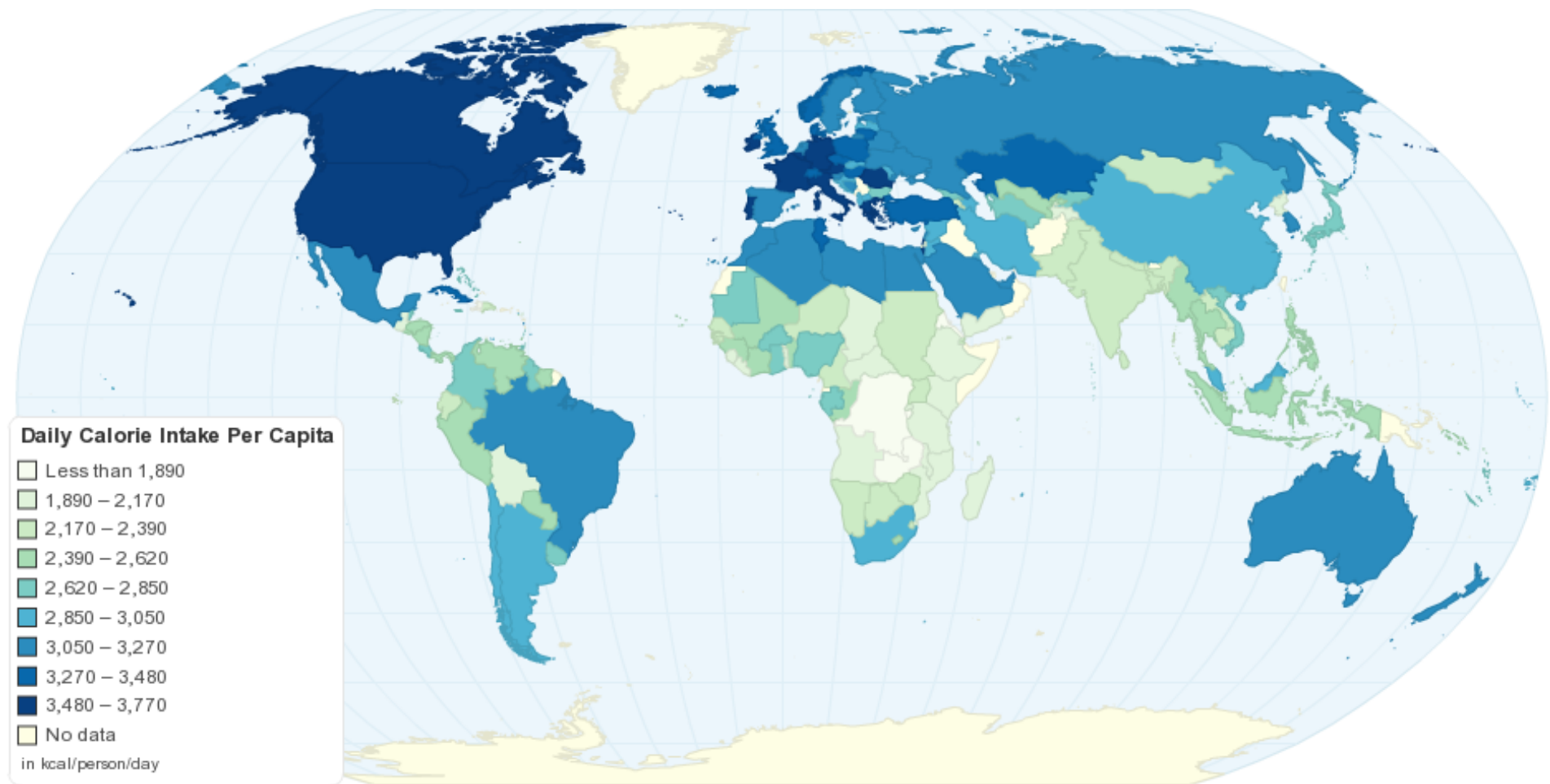
- 1 g bílkoviny = 4 kcal = 17 kJ
- 1 g sacharidu = 4 kcal = 17 kJ
- 1 g tuku = 9 kcal = 37 kJ

Výživové údaje			
	100 g	20 g	%*/ 20 g
Energetická hodnota / Energia	2120 kJ 507 kcal	424 kJ 101 kcal	5 %
Tuky	25 g	5,0 g	7 %
z toho nasycené / nasýtené mastné kyseliny	14 g	2,9 g	15 %
Sacharidy	60 g	12 g	5 %
z toho cukry	25 g	5,1 g	6 %
Vláknina	5,1 g	1,0 g	-
Bílkoviny / Bielkoviny	7,0 g	1,4 g	3 %
Sůl / Soľ	0,19 g	0,04 g	1 %

**Estimated Calorie Requirements (in Kilocalories) for Each Gender and Age Group at Three Levels of Physical Activity<sup>a</sup>**

Gender	Age (years)	Activity Level <sup>b,c,d</sup>		
		Sedentary <sup>b</sup>	Moderately Active <sup>c</sup>	Active <sup>d</sup>
Child	2–3	1,000	1,000–1,400 <sup>e</sup>	1,000–1,400 <sup>e</sup>
Female	4–8	1,200	1,400–1,600	1,400–1,800
	9–13	1,600	1,600–2,000	1,800–2,200
	14–18	1,800	2,000	2,400
	19–30	2,000	2,000–2,200	2,400
	31–50	1,800	2,000	2,200
Male	51+	1,600	1,800	2,000–2,200
	4–8	1,400	1,400–1,600	1,600–2,000
	9–13	1,800	1,800–2,200	2,000–2,600
	14–18	2,200	2,400–2,800	2,800–3,200
	19–30	2,400	2,600–2,800	3,000
	31–50	2,200	2,400–2,600	2,800–3,000
	51+	2,000	2,200–2,400	2,400–2,800

Source: HHS/USDA Dietary Guidelines for Americans, 2005



400 kJ

# NÁPOJE



mléko odstředěné 0,1% 285 g  
odstředěné 0,5% 250 g  
polotučné 2% 210 g  
plnotučné 3% 154 g  
smetana 12% 70 g  
šlehačka 33% 32 g



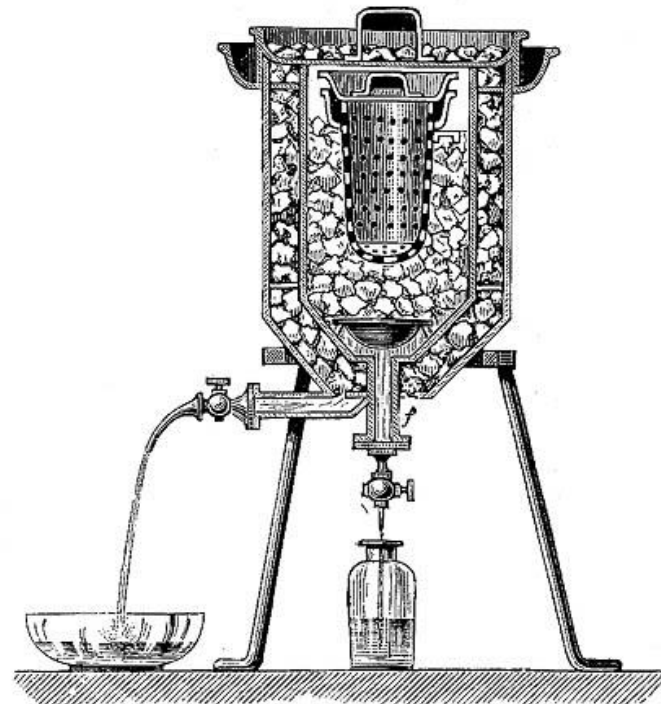
Coco-Cola 2,2 dl  
Fanta 1,9 dl  
světlé pivo 3,1 dl  
bílé víno 1,6 dl  
vinný střík 1/2 4,8 dl  
fernet 0,4 dl  
Cinzano 0,6 dl  
sekt 1,2 dl

# Měření metabolismu

## Přímá kalorimetrie

- **Antoine-Laurent de Lavoisier** (1743-1794)
- souvislost úrovně metabolismu a vydaného tepla
- měření produkce tepla v uzavřených komorách (Lavoisierův, Atwaterův kalorimetr)
- přesné, ale technicky náročné

**Teplo uvolněné z modelového organismu rozpouští led...**  
**„respirační výměna plynů je spalování“**



# Měření metabolismu



## Nepřímá kalorimetrie (respirometrie)

- **August Krogh** (1874 - 1949), **Barcroft** (1872 - 1947)
- souvislost spotřebovaného  $O_2$ , vydaného  $CO_2$  a úrovně metabolismu
- **energetický ekvivalent** (EE) je množství energie uvolněné ze substrátu při spotřebě 1 litru  $O_2$  (průměrně 20,2 kJ)
- **respirační koeficient** (RQ) se používá pro přesnější určení složení spalované směsi; závisí na specificko-dynamickém účinku živin

$$RQ = \frac{CO_2}{O_2}$$

	Fyzikální spalné teplo ( $ST_{fy}$ )	Fyziologické spalné teplo ( $ST_{fl}$ )	Energetický ekvivalent (EE)	Respirační kvocient (RQ)
Sacharidy	17,2 kJ/g	17,2 kJ/g	21,14 kJ/l $O_2$	1
Proteiny	23,0 kJ/g	17,2 kJ/g	18,67 kJ/l $O_2$	0,8
Lipidy	38,9 kJ/g	38,9 kJ/g	19,85 kJ/l $O_2$	0,7
Průměr			20,2 kJ/l $O_2$	0,85

- čisté sacharidy (RQ = 1), proteiny (RQ = 0,8), lipidy (RQ = 0,7)
- průměrný RQ 0,85
- hladovění, diabetes:  $P + L \Rightarrow S$  (RQ<1), lipogeneze:  $S \Rightarrow L$  (RQ>1)



# Výpočet BM

---

- Harris a Benedict, 1918

## BMR (ženy)

=  $665,51 + (9,56 \times \text{váha v kg}) + (1,85 \times \text{výška v cm}) - (4,68 \times \text{věk v letech})$   
**kcal/den** (převést na kJ/den)

## BMR (muži)

=  $66,47 + (13,75 \times \text{váha v kg}) + (5,00 \times \text{výška v cm}) - (6,76 \times \text{věk v letech})$   
**kcal/den** (převést na kJ/den)

1 kcal = 1000 cal = 4,18 kJ

Běh 12 km/h.....	900% BM
Běh 16 km/h.....	1280% BM
Běh 20 km/h.....	2000% BM
Jízda na kole 12 km/h.....	340% BM
Jízda na kole 18 km/h.....	560% BM
Jízda na kole 24 km/h.....	1060% BM
Plavání prsa 50 m/min.....	780% BM
Plavání kraul 50 m/min.....	1180% BM
Chůze 5 km/h.....	300% BM
Chůze 7 km/h.....	440% BM

# Praktická úloha: Metabolismus larev hmyzu

- komůrka dle Barcrofta (mod. Vácha)
- modelový organismus *Galleria mellonella*



1. Zvážit modelové organismy ...  $m$  (g)
2. Sestrojit komůrku (velké, malé špunty)
3. 3 x 3 minuty měřit spotřebu  $\Delta O_2$  (ml / 3 min /  $m$  g)
4. Spočítat průměr  $\Delta O_2$  (ml / 3 min /  $m$  g)
5. Převést na **litry** a vynásobit **EE** (kJ / 3 min /  $m$  g)
6. Převést na den a jeden kilogram váhy (**kJ/den/kg**)

čas (min)	$\Delta O_2$ (ml)
3	
6	
9	
průměr	

průměr (x ml / 3 min)

# Metabolismus člověka

- spirometricky podle Krogha
- natrokalcid: NaOH (absorbce CO<sub>2</sub>) + CaCl<sub>2</sub> (absorbce H<sub>2</sub>O)

$$V_5 = x \text{ (l O}_2 \text{ za 5 min)}$$

$$V_1 = x / 5 \text{ (l O}_2 \text{/min)}$$

$$BM_1 = V_1 \times EE \text{ (kJ/min)}$$

$$BM = BM_1 \times 60 / m \text{ (kJ/hod/kg)}$$

$$BM = \dots \text{ (kJ/den/kg)}$$

