

## Energetický metabolismus

**METABOLISMUS** = změna. Vyjádření všech chemických a energetických přeměn organismu. Živočišný organismus oxiduje sacharidy, proteiny a tuky a produkuje  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  a energii nezbytnou pro životní pochody. Oxidace živin v organismu je komplexní, pomalý, postupný proces, jímž se energie uvolňuje v malých použitelných množstvích. Energie je v těle uskladněna v makroergních fosfátech (adenosintrifosfát – ATP), které jsou jediným okamžitým zdrojem energie pro životní děje v buňce. Dostupné množství ATP v organismu je pouze od několika sekund do několika minut. Energie uvolněná oxidací substrátů se používá k udržení tělesných funkcí, štěpení a metabolizování potravy, pro termoregulaci, fyzickou aktivitu a schopnost bránit se infekcím.

**Oxidace (štěpení) sacharidů, proteinů a tuků → vzniká  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2\text{O}$  a energie (teplo).**

Komplexní, pomalý pochod = **KATABOLISMUS** = uvolňování energie v malých použitelných množstvích. Štěpení a rozklad substrátů za **vzniku energie**. Je charakterizován absencí glykogenových rezerv.

Energie je uskladněná v energeticky bohatých fosfátových sloučeninách a ve formě proteinů, tuků a složitých sacharidů. Tvorba těchto sloučenin = **ANABOLISMUS (energie se spotřebovává)**. Dochází k vytváření složitějších a větších molekul, ukládání energie do zásoby. Především syntéza bílkovin – pozitivní dusíková bilance, dále např. tvorba glykogenu.

**Měrné jednotky které používáme k hodnocení energetického metabolismu**

**KALORIE (cal) jednotka tepelné energie**

Množství energie zvyšující teplotu 1 g vody z 15 na 16st. C.

**Kilokalorie = kcal = 1000 cal = 4,18 kJ**

Joul = J = 0,239 cal

Kilojoul = kJ = 1000 J

**Aktuální energetický výdej organismu lze stanovit pomocí KALORIMETRIE:**

1) Přímá kalorimetrie

Je založena na skutečnosti, že určitá část energie organismu se při biotransformacích mění na teplo. Změření tepelné energie, vydané organismem do okolí, pak přímo vypovídá o aktuální energetické spotřebě organismu. Tato metoda je technicky náročná v praxi se příliš nevyužívá. (kalorimetr - nádoba obložená vodou uvnitř tepelně izolovaného pláště. Změna teploty vody = uvolněná energie)

2) Nepřímá kalorimetrie

V praxi se více užívá měření metodou nepřímé kalorimetrie, kdy je spotřeba nutričních substrátů vypočítána ze spotřeby kyslíku ( $V \text{O}_2$ ) a výdeje oxidu uhličitého ( $V \text{CO}_2$ ). Oba plyny jsou vhodné k výpočtu vzhledem k tomu, že spotřeba kyslíku a výdej oxidu uhličitého závisí kvantitativně na utilizaci nutričních substrátů. Znalost spotřebovaného kyslíku a vyprodukovaného oxidu uhličitého nám přímo určí spotřebovanou energii.

Souvislost s nepřímou kalorimetrií mají termíny fyziologická spalná hodnota, respirační kvocient a energetický ekvivalent.

### **Fyziologická spalná hodnota**

Vyjadřuje kolik energie se uvolní ze substrátu při jeho utilizaci za přítomnosti kyslíku v organismu. Sacharidy a lipidy se odbourávají úplně až na kyslík a oxid uhličitý (fyziologická spalná hodnota je rovna fyzikálnímu spalnému teplu), v případě proteinů neproběhne úplné odbourání (fyziologická spalná hodnota je nižší ve srovnání s fyzikálním spalným teplem) a proto je výsledná hodnota proteinů nižší.

### **Energetická hodnota živin: energie uvolněná oxidací 1 g živin**

Sacharidy → 17,2 kJ/g

Lipidy → 38,9 kJ/g

Proteiny → 17,2 kJ/g

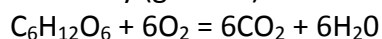
**Energetický ekvivalent (EE)** je množství energie, kterou je organismus schopen využít při spotřebě 1 litru kyslíku. Uvolněná energie je u různých živin různá. Pro sacharidy platí 21,1kJ, pro lipidy 19kJ a pro proteiny 18,0 kJ. Při smíšené stravě (60 %-S/25 %-T/15 %-B) je energetický ekvivalent **20,1 kJ** (4,82kcal). Někdy také označovaný střední energetický ekvivalent kyslíku.

### **Respirační kvocient (RQ)**

Při oxidaci energetických substrátů (B,T,S) se spotřebovává kyslík a vylučuje oxid uhličitý. Informaci o tom, jaké substráty jsou aktuálně metabolizovány, umožňuje stanovení respiračního kvocientu (RQ) nepřímou kalorimetrií. Jedná se o bezrozměrné číslo a udává poměr mezi objemem vyprodukovaného CO<sub>2</sub> a objemem spotřebovaného O<sub>2</sub>. Určení RQ při spalování proteinů v těle je složitější, protože při metabolismu bílkovin nevzniká pouze oxid uhličitý a voda, ale i nebílkovinný dusík. Respirační kvocient se liší v různých podmínkách, např. při hyperventilaci stoupá, protože je vydechován ve zvýšené míře oxid uhličitý. Při intenzivní námaze RQ stoupá, protože kyselina mléčná, která vzniká při intenzivní námaze, se mění na CO<sub>2</sub> a ten je ve zvýšené míře vydechován. Při acidóze RQ stoupá a při alkalóze klesá.

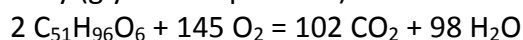
RESPIRAČNÍ KVOCIENT (RQ) – příklady pro utilizaci S a T

Sacharidy (glukóza)



$$RQ = 6/6 = 1,00$$

Tuky (glycerol-tripalmitát)



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

**RQ celkem = 0,82 (pro smíšenou stravu)**

**RQ sacharidů = 1,00**

**RQ tuků = 0,70**

**RQ proteinů = 0,82 (složitý výpočet)**

**BAZÁLNÍ METABOLISMUS = Potřeba energie pro udržení všech vitálních funkcí**

Potřeba energie je ovlivnitelná mnoha faktory, proto stanovujeme tzv. bazální metabolismus organismu za přesně definovaných podmínek. BM má význam při určování energetického výdeje organismu.

Pro měření základní (bazální) energetické spotřeby je třeba dodržet podmínky tělesného a duševního klidu - což znamená nejméně půlhodinovou relaxaci na lůžku v klidném, zvukově izolovaném prostředí (vyšetřovaný nebude spát). Stav nalačno - 14 až 16 hod. od posledního jídla, které by nemělo obsahovat bílkoviny pro jejich největší specificko - dynamický efekt, termoneutrální prostředí - aby byly co nejméně namáhány termoregulační mechanismy (to zajišťuje měření při teplotě 20-22 °C) a alespoň 24hod. odstup od poslední pohybové aktivity.

Vlastní klidovou energetickou přeměnu měříme nejčastěji metodou nepřímé kalorimetrie. Při této metodě se stanovují buď konečné produkty metabolismu (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, močovina a další), nebo je možné změřit spotřebovaný O<sub>2</sub>. Měření všech konečných produktů je obtížné, mnohem snadnější a pohodlnější je stanovení spotřeby O<sub>2</sub>.

Protože O<sub>2</sub> není v organismu skladován a jeho spotřeba je úměrná okamžitým potřebám, je **množství O<sub>2</sub> spotřebované za jednotku času, v rovnovážném stavu, úměrné množství uvolněné energie**. Průměrné množství uvolněné energie na 1 litr spotřebovaného O<sub>2</sub> je 20,1 kJ (cca 5 kcal) a označuje se jako střední energetický ekvivalent kyslíku. Toto množství energie se uvolní při spálení (oxidaci) směsi živin v jejich optimálním poměru 1 litrem O<sub>2</sub>. (viz výše)

K zajištění klidové energetické přeměny 1,3 kcal/min je třeba asi 250 ml kyslíku. **V klidu činí spotřeba kyslíku přibližně 3,5 ml/kg/min-1. Tato hodnota se označuje jako metabolický ekvivalent nebo 1 MET.** Během práce organismu roste spotřeba kyslíku až na 2 – 5 l/min-1. Organismus musí být schopen zvládnout široké rozmezí požadavků na kyslík od hodnot 250 ml v klidu po hodnoty 20násobně vyšší při maximální zátěži, tedy hodnoty MET kolem 13.

MET lze tedy použít pro srovnání energetické spotřeby v průběhu různých tělesných aktivit s klidovými hodnotami. V průběhu fyzické aktivity se spotřeba kyslíku vyjadřuje v litrech za minutu nebo mililitrech na kg hmotnosti za minutu. **Známe-li hmotnost a spotřebu kyslíku, můžeme výdej v kaloriích (joulech) odhadnout.**

**Příjem energie je zajišťován přísunem a zpracováním základních živin (bílkovin, cukrů, tuků).** Dále jsou potřebné minerální látky, vitamíny a voda. Závisí tedy na kvalitě i kvantitě přijímané potravy, tj. správné výživě. Může být bez škody pro organismus přerušen i na řadu dní. Mezičlánkem, z kterého je možné energii čerpat nebo naopak do něj ukládat, jsou zásoby organismu. Výdej energie je plynulý děj, jehož přerušování je neslučitelné se životem, a proto nemůže být závislý na okamžitém příjmu potravy. Představuje jednak podíl využití energie, jednak podíl, který připadá na ztráty (zejména tepelné).

Využitá energie znamená energii používanou pro základní energetickou přeměnu (bazální metabolický obrat - BM), tj. energii nutnou k udržení základních funkcí organismu nezbytných k životu (krevní oběh, dýchání, činnost žláz s vnitřní sekrecí, membránový transport ap.). Energetická potřeba nad tuto základní úroveň je dána další činností organismu. Hodnota energetické přeměny závisí na řadě faktorů, zejména na věku, výšce, hmotnosti a pohlaví. *Viz níže.*

Z bilanční rovnice plyne, že dlouhodobá převaha příjmu nad výdejem vede k růstu zásob (obezitě), naopak dlouhodobá převaha výdeje k postupnému vyčerpání rezerv a využívání vlastní tělesné hmoty (hubnutí, kachexie). Kvalitativní poruchy pak vznikají při specifickém

nedostatku jedné nebo více esenciálních složek potravy (proteinová malnutrice, hypovitaminosa, avitaminosa). Tento nedostatek může vzniknout jak nedostatečným přívodem dané složky potravy, tak i poruchami vstřebávání a špatným metabolickým zpracováním.

**Představa o množství využití energie v organismu a správném složení přijímané potravy je nezbytná pro rovnováhu mezi příjmem a výdejem a také, abychom dokázali zhodnotit, zda dochází ke kvantitativním (zda přijímáme dostatek potravy zajišťující aktuální energetické požadavky) či kvalitativním (zda nechybí některé důležité esenciální nutriety) poruchám výživy, nebo zda jde o podíl změn účinnosti metabolismu.**

Příklad: Energetické rezervy organismu (u 80 kg jedince bez zdravotních komplikací)

- sacharidy:  $0,6 \text{ kg} = 600 \times 4 \text{ kcal} = 2\,400 \text{ kcal}$
- lipidy:  $15 \text{ kg} = 15\,000 \times 9 \text{ kcal} = 135\,000 \text{ kcal}$
- proteiny:  $10 \text{ kg} = 10\,000 \times 4 \text{ kcal} = 40\,000 \text{ kcal}$

#### Metody stanovení BM:

1. Měřením – KALORIMETRIE
2. Odhadem (dle rovnic), např.

1.  $BM (\text{Ž}) = 23 \times H \text{ (kcal/den)}$   
 $BM (\text{M}) = 24 \times H \text{ (kcal/den)}$

2. Harris-Benedictova formule (z r. 1919)

$BM \text{ muži} = 66 + (13,7 \times \text{hmotnost}) + (5,0 \times \text{výška}) - (6,8 \times \text{věk}) \text{ (kcal)}$

$BM \text{ ženy} = 655 + (9,6 \times \text{hmotnost}) + (1,85 \times \text{výška}) - (4,7 \times \text{věk}) \text{ (kcal)}$

3.  $1 \text{ kcal/kg/hod}$  (muži)  
 $1 \text{ kcal/kg/hod}$  (ženy)

Stanovení **celkového denního výdeje energie (CEV)** provedeme tak, že k hodnotě bazálního metabolismu připočteme přírůstek na trávicí činnost a na specificko-dynamický účinek živin (DIT - 10 % bazálního metabolismu). Živiny totiž zvyšují metabolismus samy o sobě, i kdyby neprošly trávicím ústrojím. Přírůstek na výdej energie spojený s tělesnou činností získáme z tabulek. Chceme-li znát přesný údaj, musíme zaznamenat veškerou tělesnou aktivitu během 24 hod a dle tabulek dopočítat. Např. pomocí násobků bazálního výdeje dle tabulky.

#### Odhad denního výdeje energie na tělesnou činnost

Intenzita činnosti	Typ aktivity	Faktor aktivity (x BV)	Energetický výdej (kcal/kg/d)
--------------------	--------------	---------------------------	-------------------------------------

---

<b>Velmi lehká</b>	Sezení a stání, řízení, labor. práce,	1,3 (muži)	31
	student, sekretářka, řidič, šití, psaní, žehlení, vaření, hraní karet, hraní na hudební nástroje, malování	1,3 (ženy)	30
<b>Lehká</b>	Chůze (2,5-3mph), práce v garáži,	1,6 (muži)	38
	truhlář, elektrikář, práce v restauraci, v domácnosti, péče o dítě, golf, plachtění, stolní tenis	1,5 (ženy)	35
<b>Střední</b>	Chůze (3,5-4mph), práce na zahrádce,	1,7 (muži)	41
	nesení zátěže, cyklistika, lyžování, tenis, tanec	1,6 (ženy)	37
<b>Těžká</b>	Chůze do kopce, těžké manuální rytí,	2,1 (muži)	50
	basketbal, horolezectví, fotbal	1,9 (ženy)	44
<b>Mimořádná</b>	Profesionální sportovci	2,4 (muži)	58
		2,2 (ženy)	51

### Průměrný denní energetický výdej

M 2500kcal / 4000kcal

Ž 2000kcal / 3500kcal

### Intenzita metabolismu – faktory ovlivňující hodnotu bazálního metabolismu

- Intenzita metabolismu-velmi variabilní hodnota!

**1. Tělesná práce** (+ záleží na mnoha dílčích faktorech- druh svalové práce, hmotnost jedince, počet zapojených svalových skupin, intenzita práce a její trvání, spotřeba kyslíku). Tělesná námaha a práce mohou zvýšit hodnotu metabolismu až na šestnáctinásobek hodnot bazálního metabolismu.

**2. Specificko dynamický účinek stravy (= DIT- dietou indukovaná termogeneze)**- Příjem potravy - ke zvýšení metabolismu dochází, vždy když je potrava nejen přijímána, ale i když je vstřebávána a trávena = **Postprandiální energetický výdej**

Množství energie z živin se snižuje o uvedené množství energie, která byla použita k jejich asimilaci. Jde o energii potřebnou pro odbourávání, přestavbu a ukládání přijatých živin. Maximum zvýšení spotřeby energie v důsledku příjmu a zpracování potravy se dostavuje asi za 3-5hodin po požití potravy. **Průměrná hodnota při smíšené stravě je 10 %** (z hodnoty BM). U bílkovin se jedná o 25-30 %, u sacharidů 4-7 % a u tuků 2-4 %. Jinými slovy, např. množství sacharidu, které poskytuje 100 kcal, zvyšuje rychlost metabolismu o 4-6 kcal.

Dlouhodobé hladovění, popř. redukční diety snižují BM („jo-jo“ efekt)

**3. Vnější teplota** – při vyšší, nebo nižší okolní teplotě než je tělesná teplota se aktivují mechanismy na zahřátí, popř. ochlazení těla a dochází ke zvýšení intenzity metabolismu.

**4. Výška, hmotnost**- souvisí s povrchem těla (zde dochází k výměně tepla). Čím je povrch těla větší, tím větší je BM.

**4. Pohlaví** – muži mají cca o 5-10 % vyšší BM než ženy

**5. Věk** – čím vyšší tím menší

**6. Tělesná teplota** – zvýšení tělesné teploty o 1 st. C zvýší BM o 14 %

**7. Hladina hormonů** - hormony štítné žlázy, insulin, glukagon, glukokortikoidy, hladiny adrenalinu a noradrenalinu (aktivita sympatiku, ovlivňují sekreci řady jiných hormonů hypotalamu)

**8. Stres**

**9. Malnutrice** – nedostatečná výživa kvantitativní i kvalitativní

**10. Stavba těla** - (mnoho tukové tkáně-nižší BM ve srovnání s jedincem se stejnou hmotností, ovšem vyšším podílem aktivní tělesné hmoty)

### Energetický metabolismus – získávání energie (rovnice)

Reakce probíhá ve 3 navazujících procesech. Všechny tyto metabolické procesy poskytují energii:

**1. ATP – CP anaerobní energetický systém:**

Ve svalu uložený ATP slouží jako zdroj energie asi 2s. poté se sloučí s CP, proces pokračuje až do vyčerpání CP. Vše trvá přibližně 4-20s. ( $ATP + H_2O \rightarrow ADP + P$ ,  $CP + ADP \rightarrow C + ATP$ ,  $ADP + ADP \rightarrow ATP + AMP$ )

**2. Anaerobně laktátový systém, anaerobní glykolýza:**

(glukóza  $\rightarrow$  2 ATP + 2 LA)

Po vyčerpání CP se začne z glykogenu uvolňovat glukóza, která slouží jako zdroj energie. Vše se děje v anaerobních podmínkách, tzn., že produktem tvorby energie jsou 2 molekuly ATP a 2 molekuly laktátu. Tento proces se podílí na tvorbě energie již od začátku procesu, svého maxima dosahuje po 40-50 sekundách. Po této době klesá podíl tohoto systému na tvorbě energie a nastupuje systém další aerobní. Pokud ovšem intenzita zátěže neklesá (>60-70 % maxima), tento způsob přeměny energie trvá dál.

**3. Aerobní energetický systém, aerobní fosforylace:**

(glukóza +  $O_2 \rightarrow$  36 ATP +  $H_2O$  +  $CO_2$ , palmitát +  $O_2 \rightarrow$  129 ATP +  $CO_2$  +  $H_2O$ ,

alanin +  $\alpha$  – ketoglutarát  $\rightarrow$  pyruvát + glutamát, pyruvát +  $O_2 \rightarrow$  15 ATP +  $CO_2$  +  $H_2O$ )

Tento systém využívá pro resyntézu ATP sacharidy, tuky, i bílkoviny. Převládá při dlouhodobější zátěži. Přeměna je pomalejší, ale zato může probíhat delší dobu, využívá velké zásobní zdroje všech živin.

Všechny procesy probíhají společně od začátku svalové aktivity. Tvoří jeden metabolický systém. Na intenzitě a trvání zátěže závisí, jakým podílem se jednotlivé systémy podílejí na tvorbě energie. Při zátěži zvyšované do maxima převažuje anaerobní laktátový systém, s kumulací laktátu a metabolitů, které přispívají k acidóze. Při zátěži konstantní intenzity se uplatňuje systém aerobní oxidační.

### Krebsův cyklus (SL)

Cyklus biochemických reakcí probíhající v mitochondriích a tvořící ústřední část intermediárního metabolismu. Ve spojení s dýchacím řetězcem má zásadní význam pro získání energie v buňce. Do Krebsova cyklu ústí katabolismus cukrů, tuků a bílkovin, zejména v podobě acetyl-koenzymu A. Jednotlivé meziprodukty Krebsova cyklu jsou východiskem syntézy mnoha látek.