

# Kalorimetrie

Kalorimetrie je experimentální vědní obor zabývající se měřením tepla. Zkoumá fyzikální, chemické a biologické pochody, ale i statické systémy, na které nahlíží z termofyzikálního hlediska. V lékařství nachází kalorimetrie široké uplatnění. Budeme-li vycházet z předpokladu, že veškerá energie je v těle nakonec přeměněna v teplo, můžeme kalorimetrickými hodnotami měřit energetické požadavky organismu a určovat energetické hodnoty potravin.

## Jednotky

Původní jednotkou fyziologické kalorické hodnoty živin, popř. spalného tepla byla **kalorie**. V současné době je však postupně nahrazována **jouly**. Kalorie (značka *cal*) **udává množství energie zvyšující teplotu 1 g vody ze 14,5 na 15,5 °C**. Přesná teplota je v definici uvedena proto, že měrná tepelná kapacita, ze které definice také vychází, závisí i na teplotě, a bez tohoto údaje by jednotka nebyla určena přesně. Kalorie však představuje velmi malé množství energie, proto jsou často používány její násobky, **kilokalorie** (značka *kcal*). Jelikož měrná tepelná kapacita vody je  $4185 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  platí, že **1 cal = 4,185 J** (a naopak:  $1 \text{ J} = 0,2389 \text{ cal}$ )  $Q = mc\Delta T$

## Kalorimetrické měřicí přístroje

Nezákladnější klasifikace rozlišuje kalorimetry podle podmínek, za kterých pracují na **adiabatické a izotermní**. V adiabatických systémech je veškeré spalné teplo využito k *ohřátí obsahu kalorimetru* a měří se teplotní změna obsahu. V izotermních zařízeních se *teplota po celou dobu experimentu nemění*. Vzniklé teplo je odváděno a v další fázi např. působí fázovou přeměnu čisté látky.

## Měření energetického obsahu potravin

Pro účely změření energetického obsahu nutričních substrátů (sacharidy, tuky, bílkoviny) je nejvhodnější **adiabatický bombový kalorimetr**. Vzorek se umístí do hermeticky uzavřené tlakové nádoby, zvané kalorimetrická bomba, a napojí se na něj zápalné drátky. Následně je výbušně zapálen. Okolo celé kalorimetrické bomby je nádržka naplněná vodou. Voda je ohřívána a přídatný mixér distribuuje teplo rovnoměrně v prostoru. Účelem zkoumání je zjišťovat velikost teplotního nárůstu vody, čili velikost spalného tepla daného vzorku.

V lidském těle se energie uvolněná z potravy ukládá jako **chemická energie** (nejčastěji v ATP, GTP) a v případě potřeby je převedena na jiné formy energie. Z daných makroergických vazeb je energie uvolňována **oxidací**. Tento proces je významný pro měření energetických hodnot potravin. Nezáleží na tom, zda je energie uvolňována postupně, nebo proběhne rychlé spálení v některém z kalorimetrických měřicích přístrojů. Musíme však brát v úvahu, že lidské tělo není stoprocentně účinný stroj, a tudíž nedokáže využít všechno spalné teplo. Hodnoty spalných tepel naměřených v kalorimetru a pravé fyziologické kalorické hodnoty (množství energie, které se v organismu skutečně uvolní a využije) se proto nepatrně liší (viz tabulka).

	Spalné teplo	Fyziologická kalorická hodnota
<b>Sacharidy</b>	17,2	17,2
<b>Tuky</b>	39,1	38,9
<b>Bílkoviny</b>	23,4	17,2

Tyto běžně udávané fyziologické kalorické hodnoty jsou však pouze orientační a u jednotlivých druhů nutričních substrátů se mohou lišit. **Sacharidy** jsou spalovány za vzniku oxidu uhličitého a vody. Energetický obsah jednotlivých sloučenin závisí na struktuře dané látky (jednoduché sacharidy/ maltodextriny/ polysacharidy). Např. při spalování glukózy se uvolňuje pouze 15,7 kJ/g. Oxidace **tuků** také vede ke vzniku oxidu uhličitého a vody, ale energetický potenciál tuků je využíván obtížněji než u sacharidů, jelikož se jedná především o složitější molekuly, jejichž rozklad není v organismu úplný. Pro přesné určení energetických hodnot musíme brát v úvahu rozdíly způsobené odlišnou strukturou mastných kyselin. MK se středně dlouhým řetězcem (8 uhlíků) uvolňují okolo 36 kJ/g, zatímco MK s dlouhým řetězcem mohou uvolnit až 40,2 kJ/g. Při spalování **proteinů** se z aminokyselin uvolňuje ještě dusík, který je vylučován ledvinami jako součást močoviny. Spolu s atomy dusíku je z těla vyloučena i část vodíkatých iontů a další látky. Energetický potenciál proteinů závisí na obsahu dusíku, jelikož dusík není energeticky využitelný. Jeho koncentrace v jednotlivých proteinových substrátech potravin kolísá přibližně od 15 % do 19 %. Energetický potenciál bílkovin ovlivňují také mnohé další faktory, např. podíl bílkovin na celkovém energetickém příjmu nebo fyzická aktivita pacienta.

## Měření energetického výdeje

Kalorimetricky měříme objektivní aktuální energetickou potřebu pacienta dvěma způsoby, **přímou a nepřímou kalorimetrií**. Měření přímou kalorimetrií je u člověka prakticky téměř neproveditelné. Přímý kalorimetr funguje na stejném principu jako jednoduchý adiabatický kalorimetr. Sledovaný živočich je umístěn do tepelně izolovaného prostoru, kolem kterého je nádoba s chladícím médiem (nejčastěji voda). Měříme změnu teploty chladícího média a

zároveň snímáme příjem kyslíku, výdej oxidu uhličitého a vyloučení dusíku močí a stolicí. Kvůli technickým obtížím přímé kalorimetrie je využívám zjednodušený způsob, čili kalorimetrie nepřímá. Základním principem této metody je měření spotřeby nutričních substrátů a výměny plynů v daném čase a určení respiračního koeficientu.

## Respirační koeficient

$$RQ = VCO_2 / VO_2$$

Respirační koeficient je poměr mezi vydaným  $CO_2$  a spotřebovaným  $O_2$ . Jeho hodnoty závisejí mimo jiné na proporciální oxidaci jednotlivých nutričních substrátů. Hlavně změny trendu hodnot při změnách složení výživy mohou vést k interpretaci změn v utilizaci jednotlivých substrátů. RQ pro běžné jídlo se pohybuje okolo **0,85**. Hodnoty RQ při oxidaci základních nutričních komponent a RQ některých metabolických dějů jsou uvedeny v tabulce:

Substrát nebo metabolický děj	RQ
sacharidy glykogen	1
tuky	0,7
proteiny	0,9
glukogeneze	0,4
lipolýza	0,7
lipogeneze	2,75

Ze základních nutričních substrátů mají nejvyšší RQ sacharidy. Molekuly mastných kyselin tuků obsahují málo kyslíku vůči celkovému uhlíku, a proto je na jejich oxidaci potřeba více kyslíku přijatého dýcháním. Z metabolických dějů ovlivňují nejvýrazněji hodnoty RQ děje, které navozují lipogenezi. Proto hodnota  $RQ > 1$  indikuje lipogenezi a nadměrnou nabídku glukózy, hodnota  $< 0,7$  je ukazatelem neschopnosti oxidovat glukózu a hladovění, tedy lipolýzu a glukoneogenezi. V případě bílkovin je situace složitější, jelikož jejich katabolismus probíhá neúplným metabolismem. Nejprve tedy zjišťujeme RQ pro množství metabolizovaných bílkovin, ale pro další zkoumání pracujeme s tzv. nebílkovinným RQ. Korekce na nebílkovinný RQ spočívá v tom, že 1 gram dusíku v moči se rovná takovému množství bílkovin, na jejichž oxidaci je třeba 5,92 l kyslíku a vznikne 4,75 l oxidu uhličitého.

## Technické provedení kalorimetrie (teoreticky)

Nejprve měříme spotřebu  $O_2$  a produkci  $CO_2$  a zároveň snímáme podíl dusíku v moči a stolicí. V nemocnici se takové měření provádí 24 hodin, pro základní měření však postačí i 30 minut. Naměřené hodnoty uvolněného dusíku použijeme pro výpočet množství spotřebovaného kyslíku na oxidaci proteinů ( $xO_2 * 5,92$ ) a množství uvolněného  $CO_2$  ( $xCO_2 * 4,75$ ). Zbývající množství celkové naměřené spotřeby  $O_2$  a vyloučeného  $CO_2$  připadá na oxidaci sacharidů a tuků. V další fázi vypočteme nebílkovinný RQ podle vzorce  $RQ = VCO_2 / VO_2$ . Dané hodnotě RQ odpovídá vždy tabulková hodnota pro množství sacharidů a tuků. Celkové množství využitých sacharidů a tuků se pak vypočítá vynásobením tabulkových údajů množstvím kyslíku potřebného na oxidaci sacharidů a tuků. Současně lze z vyloučeného dusíku vypočítat množství metabolizovaných bílkovin. Vynásobíme-li množství každého nutričního substrátu jeho fyziologickou kalorickou hodnotou, získáme celkové množství tepla uvolněného při oxidaci živin.

## Technické provedení nepřímé kalorimetrie (prakticky)

V praxi se používají automatické kalorimetrické přístroje. Přístroj vypočítává respirační kvocient a na jeho základě kalkuluje aktuální metabolickou potřebu nemocného a poměr utilizovaných živin (v procentech i v g/den). Po zadání odpadu dusíku v moči a základních antropometrických ukazatelů přístroj vypočítá tělesný povrch a podle Fleischovy rovnice vypočítá bazální metabolickou potřebu. Dále nám poskytne např. údaje o procentuelním rozdílu mezi BMI a aktuální metabolickou potřebou, nebo nebílkovinný RQ. Testy mohou být provedeny dlučnickou metodou pomocí kanopy, s obličejovou maskou nebo s volitelným příslušenstvím u pacientů připojených na umělou plicní ventilaci na jednotkách intenzivní péče.

## Využití

Metodou nepřímé kalorimetrie se stanovují např. nutriční diety, nebo tréninkové dávky pro aktivní sportovce. V klinické praxi má tato metoda široké využití. Používá se pro zhodnocení, diagnostiku a monitorování terapie. Umožňuje individuálně modelovat denní dávky potravin pro pacienty a předejít tak podvýživě, či překrmování (overfeeding). Zpravidla dostávají pacienti 110% naměřené aktuální denní energetické potřeby (AEE).

**⚠ Normální hodnoty metabolické spotřeby: sacharidy 50 %, proteiny 15 %, lipidy 35 %.**

**Větší spotřeba proteinů identifikuje patologický stav:**

- $> 25$  % bílkovin → katabolismus
- $> 30$  % bílkovin → "katabolický" debakl

**Při poklesu zásob dusíku v těle** v souvislosti s deplecí proteinů ze 100 % na 70 % hrozí **riziko tzv. dusíkové smrti**. V intervalu této 30% ztráty dochází postupně ke snížení hmoty příčně pružného svalstva, svaloviny srdce a svalstva hladkého. Při progresi se snižují hladiny viscerálních proteinů a proteinů transportních. Postižení imunitních reakcí se odráží ve funkci lymfocytů, polymorfonukleárů, poklesu tvorby protilátek a APP. Je postiženo hojení ran. Dochází k alteraci orgánových funkcí – GIT, jater, srdce.

## Odkazy

### Související články

- Základní nutriční ukazatelé

### Externí odkazy

- Kalorimetrie (česká wikipedie)
- Calorimetry (anglická wikipedie)

### Zdroj

- KUBATOVA, Senta. *Biofot* [online]. [cit. 2011-01-31]. <<https://uloz.to/!CM6zAi6z/biofot-doc>>.
- HAVRÁNEK, Jiří: *Ostatní monitoring*.
- INSTITUT GALENUS

| url = <http://galenus.cz/clanky/vyziva/bioenergetika-kaloricka-hodnota-potravin>

- Vysoká škola chemicko-technologická v Praze: *Návody laboratoře*

| url = <https://www.vscht.cz/>

- MIROSLAV PETR: *prezentace Energometrie a kalorimetrie*
- L.NAVRÁTIL, J. ROSINA: *Medicínská biofyzika*