

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
Sacharidy	17,2	17,2
Tuky	39,1	38,9
Bílkoviny	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 živočiš 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*