

Energetická bilance člověka

TOMÁŠ NEČAS

Gymnázium Brno, třída Kapitána Jaroše 14

V článku je na úvod stručně vyložen základní biofyzikální rozbor fungování lidského metabolismu z hlediska zákona zachování energie. Na jeho základě je pak představena metoda, jak změřit příkon člověka při různých činnostech pomocí senzoru CO₂ a spirometru. Na závěr jsou zmíněny možné aplikace do výuky.

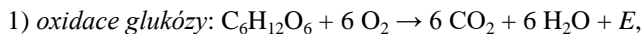
Člověk jako stroj

Na světě existuje skupina lidí, kteří si říkají brethariáni. Podle jejich názoru je možné žít bez jídla a vyživovat se pouze přijímáním prány – duchovní potraviny. Avšak my, kteří věříme v platnost zákona zachování energie, jej můžeme aplikovat na lidské tělo a tím snadno dokázat, že bez jídla to nejde. Můžeme se trochu podrobněji zamyslet nad tím, jak vlastně náš metabolismus pracuje.

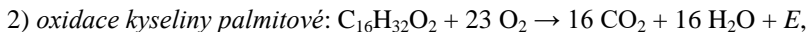
Z pohledu fyziky musí mít člověk, který si udržuje stálou tělesnou konstituci (hmotnost a chemické složení), vyrovnanou energetickou bilanci. Je to stroj, který přijímá potravu plus kyslík a oxidací uvolňuje vnitřní energii z chemických vazeb. energii používá ke konání mechanické práce, činnosti orgánů a produkci tepla.

Základní metabolismus

Pro náš další postup bude stačit nalézt v literatuře základní chemické rovnice pro optimální celkový metabolismus cukrů a tuků (viz např. [1]).



přičemž vztaženo na 1 kg cukru platí $E_C = 17\,000$ kJ/kg (glukózy). Vidíme také, že na jednu molekulu O₂ připadá jedna molekula CO₂.



přičemž $E_T = 38\,000$ kJ/kg (kyseliny palmitové). Vidíme, že na jednu molekulu O₂ připadá přibližně 0,7 molekuly CO₂. Tento poměr množství vydechovaného oxidu uhličitého k spotřebovanému kyslíku se nazývá *respirační kvocient* a dá se podle něj určit poměr spalování cukrů a tuků. V našem jednoduchém měření

hodnotu kvocientu nedokážeme určit, ovšem pro výsledný výpočet energie to naštěstí nehraje velkou roli.

Energii lze získat i štěpením bílkovin, to má ale za normálních okolností jen malý význam. V podstatě kombinací výše uvedených energií se získávají hodnoty energetického obsahu potravin. Například jablko, které obsahuje 12 % sacharidů a minimum tuku a bílkovin bude mít energetický obsah přibližně $0,12 \cdot 17\,000 \text{ kJ/kg} = 2\,040 \text{ kJ/kg}$. Dobrým zdrojem informací o složení potravin a jejich energetickém obsahu jsou například kalorické tabulky [4]. Zajímavé je rovněž si uvědomit, že uvedené energetické obsahy se prakticky shodují s výhřevností. Opět platí zákon zachování energie, je tedy celkem jedno, jakým způsobem například olej spálíme.

Nepřímá kalorimetrie

Výše uvedené znalosti o metabolismu nám stačí k návrhu měření spotřeby energie. Pokud je člověk v klidu, nevykonává žádnou mechanickou práci a veškerý výkon se projeví jako uvolněné teplo. Měřit však přímo toto uvolněné teplo není jednoduché, myšlenkou nepřímého měření je proto sledování produkce oxidu uhličitého (viz [3]). Pokud se vrátíme k uvedeným rovnicím, můžeme snadno dopočítat, kolik energie se uvolní při produkci 1 kg CO_2 . Stačí uvážit relativní molekulové hmotnosti a dostaneme hodnoty energie připadající na 1 kg vzniklého CO_2 :

$$1) \text{ oxidace glukózy: } E_{C_1} = E_c \frac{M_r(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)}{6 \cdot M_r(\text{CO}_2)} = 11\,600 \text{ kJ/kg},$$

$$2) \text{ oxidace kyseliny palmitové: } E_{T_1} = E_c \frac{M_r(\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2)}{16 \cdot M_r(\text{CO}_2)} = 13\,800 \text{ kJ/kg}.$$

Rozdíl mezi hodnotami pro cukry a tuky po přepočtu na vyprodukovaný kg CO_2 tedy není nijak zásadní.

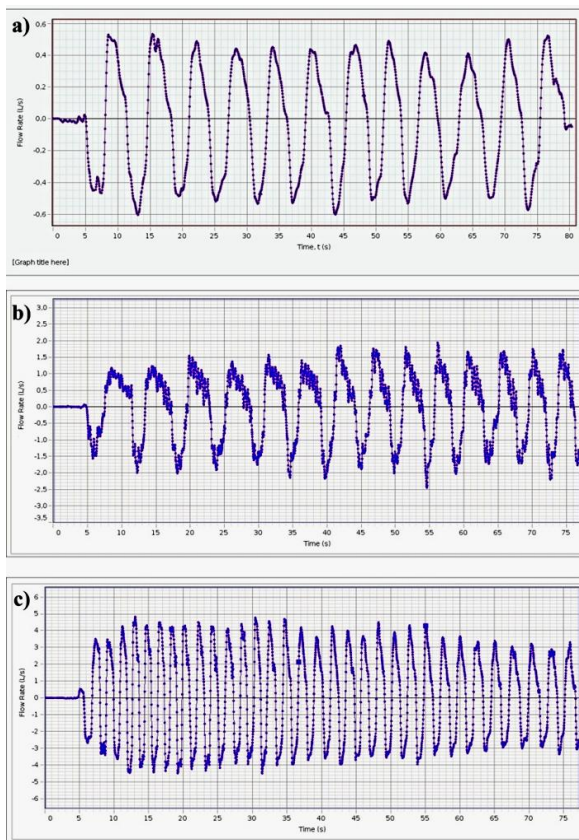
Produkcí CO_2 můžeme měřit poměrně snadno pomocí spirometru, který je běžnou součástí biologických senzorů pro střední školy (Pasco, Vernier). Spirometr měří tok vzduchu v závislosti na čase. Proto celkové množství vzduchu během měřeného intervalu určíme numerickou integrací horní či spodní plochy (nádechy či výdechy).

Posledním nezbytným parametrem je koncentrace CO_2 ve vydechovaném vzduchu. Dle lékařské literatury by to mělo být mezi 4 a 5 procenty. Hodnotu je

možné ověřit pomocí senzoru CO₂. Měření realizujeme jednoduše nadýcháním do mikrotenového sáčku a následným vsunutím senzoru.

Výsledky měření

Na úvod je třeba říci, že testovanou osobou byl autor článku – muž o hmotnosti 75 kg. Obrázek 1 ukazuje data ze spirometru pro tři různé situace testované osoby a) klid, b) chůze rychlostí 5 km/h a c) běh rychlostí 10 km/h.



Obr. 1 Data ze spirometru pro tři různé situace: a) klid, b) chůze rychlostí 5 km/h a c) běh rychlostí 10 km/h

Je výhodné spočítat nejprve příkon člověka v klidu. Z pořízeného grafu ze spirometru určíme integrací hodnotu $Q = 8,7$ l/min, senzorem CO₂ ověříme koncentraci ve vydechaném vzduchu. Pro tyto koncentrace udává výrobce nejistotu měření samotného senzoru 20%, takže se spokojíme se zaokrouhlenou hodnotou koncentrace $c = 5$ %. Bylo zjištěno, že této koncentrace dosahují i při rychlém dýchání a je tedy možné ji považovat za konstantu. Posledním parametrem je hustota vzduchu při teplotě 30 °C $\rho = 1,16$ kg/m³.

Příkon v klidu je pak pro cukry $P_C = E_{C1}c\rho Q = 98$ W a pro tuky $P_T = E_{T1}c\rho Q = 116$ W. Jelikož neznáme respirační kvocient a nedokážeme jej ani změřit, vypočítáme jednoduše průměr obou hodnot: $P = 107$ W.

Hodnoty pro chůzi a běh pak dostaneme snadno jako násobky základního příkonu. Výsledky shrnuje tabulka

	tok vzduchu [l/min]	příkon P [W]
klid	8,7	107
chůze 5 km/h	29	357
běh 10 km/h	100	1 230

Závěr

Uvedená metoda umožňuje v domácích podmínkách změřit příkon člověka při různých činnostech. To je možné například v rámci studentských projektů. Dalším zajímavým měřením by bylo sledování souvislosti dýchání se srdečním tepem (na tomto principu pracují sportovní měřidla spálené energie). Ale jsou tu i jednodušší možnosti bez měření vlastním spirometrem. Na internetu můžeme najít docela spolehlivé zdroje informací o energetickém obsahu potravin [4] a rovněž již změřené hodnoty příkonu při různých činnostech [2]. Každý si pak může zaznamenávat svoji energetickou bilanci během určitého období.

Literatura

- [1] https://en.wikipedia.org/wiki/Basal_metabolic_rate
- [2] <https://is.muni.cz/do/fsps/e-learning/kapitolysportmed/pages/16-vyziva.html>
- [3] https://en.wikipedia.org/wiki/Indirect_calorimetry
- [4] <https://www.kaloricketabulky.cz/>