

Úloha III.P ... srdeční

8 bodů; průměr 5,69; řešilo 45 studentů

Odhadněte, jakou práci vykoná lidské srdce na pumpování krve za jeden den. S čím se dá tato energie srovnat? Jaké procento z doporučeného denního příjmu energie tvoří váš odhad?

Karlovi se rozbušilo srdce.

Nejdříve proberme, jak vlastně srdce pracuje. Srdce je sval, který svými stahy zajišťuje oběh krve v těle. Skládá se ze dvou síní a dvou komor. Přes pravou síň a komoru pumpuje krev do plic, skrz levou síň a komoru proudí krev do zbytku celého těla¹. Srdce tedy funguje jako živá pumpa, jejíž nejvýraznější podíl na práci má tlakově-objemová práce W_p . Vedle toho stahy srdce udílí krvi jistou rychlost, můžeme mluvit o kinetické práci W_k . Celkovou práci srdce W tedy budeme počítat jako

$$W = W_k + W_p. \quad (1)$$

Hustota krve je udávána² jako $\rho = 1060 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Objem každé komory je³ zhruba 70 ml. Z těchto údajů můžeme ze známého vzorečku $m = V\rho$ vypočítat hmotnost krve vypuzené při jednom stahu $m = 74,2 \text{ g}$. Také se udává, že srdce udělí krvi při vypuzování rychlost $v = 0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Z těchto údajů už můžeme vypočítat celkovou kinetickou práci srdce

$$W_k = 2 \frac{1}{2} m v^2 = 0,019 \text{ J}$$

kde faktor 2 je přítomen kvůli tomu, že počítáme dvě komory.

Pro výpočet tlakově-objemové práce budeme potřebovat ještě tlaky, pod kterými je krev vypuzována z komory. Protože krev je vypuzována při tzv. systole, budeme v našem přiblížení pracovat se systolickým tlakem, který je v případě levé komory roven $p_l = 16 \text{ kPa}$, v případě pravé komory je to $p_p = 2 \text{ kPa}$ (ještě jednou připomeňme, že objemy obou komor jsou shodně po 70 ml)

$$W_p = V(p_l + p_p) = 1,26 \text{ J}.$$

Z rovnice (1) můžeme vypočítat, že $W = 1,28 \text{ J}$. Vidíme, že kinetická práce je zanedbatelná vůči tlakově-objemové. Navíc díky rozdílům systolických tlaků můžeme tvrdit, že největší podíl na tomto čísle má tlakově-objemová práce levé komory. Uvedená práce srdce W se vztahuje na jeden stah srdce. Proto musíme číslo vynásobit počtem stahů za den, abychom získali práci srdce za jeden den W_{den} . Průměrná tepová frekvence je uváděna⁴ zhruba $70 \text{ tep}\cdot\text{min}^{-1}$. Den má 1440 minut. Za den máme tedy 101 tisíc tepů. Vynásobením prací srdce W dostaneme, že srdce za den spotřebuje $W_{\text{den}} = 130 \text{ kJ}$.

Podívejme se dál, jaký podíl z celkové energie srdce spotřebuje. Samozřejmě to závisí na každém člověku. Pokud vezmeme nějakého konkrétního člověka (70 kg, 175 cm, 25 let, muž) máme doporučenou denní dávku energie⁵ $W_{\text{ddp}} = 9590 \text{ kJ}$.

Z předchozích údajů už můžeme spočítat, že podíl energie, kterou spotřebovává srdce η , je

$$\eta = \frac{W_{\text{den}}}{W_{\text{ddp}}} = 1,4\%.$$

¹<https://cs.wikipedia.org/wiki/Srdce>

²http://www.wikiskripta.eu/index.php/Krevní_řečiště

³http://www.wikiskripta.eu/index.php/Biomechanika_krevního_oběhu

⁴<https://www.sportvital.cz/sport/klidova-srdecni-frekvence>

⁵<http://www.kaloricke-tabulky.cz/nastroje/denni-kaloricky-prijem>

Z různých zdrojů můžeme pro tento podíl najít dvě různé hodnoty (no opravdu, zkuste si to). Toto číslo platí pouze v tom případě, že účinnost srdce je $u' = 100\%$. ale účinnost srdce v klidu je udávána zhruba $u = 10\%$. proto do srdce neputuje pouze 1,4% energie, ale desetkrát vyšší procento.

Do porovnávání nebudeme započítávat účinnost srdce (tzn. budeme brát jen 130 kJ na den) a budeme hledat, jaké množství jídla dokáže pohánět srdce celý den. Hledáme v internetových kalorických tabulkách⁶. Odpovídá tomu například 70 ml pomerančového džusu nebo čtvrtka bílého rohlíku nebo např. 22 g tvarohu.

Kateřina Smítalová
katka@fykos.cz

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty MFF UK. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci MFF UK a podporován Ústavem teoretické fyziky MFF UK, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.
Pro zobrazení kopie této licence navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.

⁶<https://www.kaloricketabulky.cz/search.php>