

Regulacija tjelesne topline i prvi zakon termodinamike

Aleksandra Milošević¹



Ljeti obično kažeš da ti je vruće, a zimi da ti je hladno. Kako bi objasnio zašto ti je vruće, a zašto hladno?

Netko će reći da je osjećaj toplog i hladnog subjektivni osjećaj. To je točno, ali što utječe na stvaranje subjektivnog osjećaja topline?

Vjerojatno ti se dogodilo da ti netko od roditelja pipne rukom čelo i kaže: “Ti goriš”! Kako bi objasnio, zašto “goriš”? Reći ćeš mi da si dobio temperaturu. Što je to tjelesna temperatura?

Tjelesna temperatura je stupanj zagrijanosti organizma. Kada govorimo o temperaturi organizma razlikujemo tri temperature:

- unutarnja temperatura
- površinska temperatura
- srednja tjelesna temperatura

Kada se govori o tjelesnoj temperaturi misli se na temperaturu unutar organizma, koja se naziva unutarnja temperatura. Temperatura kože smatra se površinskom temperaturom kao i temperatura potkožnog tkiva. Ova temperatura se mijenja (raste ili opada) ovisno o temperaturi okoline. Kada se prehladiš, tvoja unutarnja tjelesna temperatura poraste. Kada govorimo o regulaciji tjelesne temperature mislimo na unutarnju temperaturu.

Kada se javi osjećaj hladnoće (rekli bismo subjektivni) tada koža predaje toplinu okolini i govorimo o površinskoj temperaturi. Srednju tjelesnu temperaturu čine različiti udjeli unutarnje i vanjske temperature [1]:

$$T_s = 0.7T_u + 0.3T_p$$

T_s – srednja tjelesna temperatura

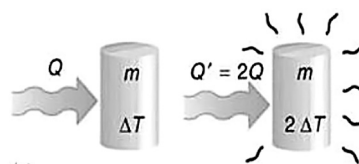
T_u – unutarnja temperatura

T_p – površinska temperatura

Toplina se kontinuirano stvara u tijelu kao nusprodukt metaboličkih reakcija.

Tjelesna temperatura se povećava kada je stupanj stvaranja topline veći od gubitka. Kada čovjek daje više topline nego što je stvara i prima, tjelesna temperatura se smanjuje.

Odnos tjelesne topline i temperature predstavlja toplinski kapacitet tkiva.



(a)



(b)

¹ Autorica je diplomirani fizičar u Beogradu; e-pošta: einstein65.beotel.net

U medicini se za količinu topline koristi jedinica kalorija (cal). U suvremenoj literaturi iz fizike, uobičajen je Joule ($1 \text{ cal} = 4.1868 \text{ J}$) [2].

$$Q = cm\Delta T$$

Q – toplina

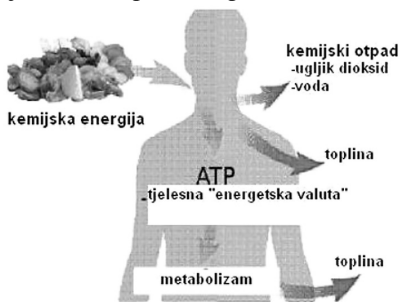
c – specifična toplina tkiva

m – tjelesna masa

ΔT – promjena temperature

Specifična toplina tkiva predstavlja promjenu unutarnje topline (energije) tijela pri njegovom zagrijavanju ili hlađenju. Specifična toplina tkiva (po kilogramu tjelesne mase i stupnju Kelvina) iznosi 0.83 cal/ (kgK) ($= 3.475 \text{ J/ kgK}$).

Primjer 1. Čovjeku mase 70 kg mora se dovesti oko 58 cal (243 J) da bi mu se tjelesna temperatura povećala za 1°C [1].



Toplinu u organizmu stvara [1]:

1. bazalni (osnovni) metabolizam
2. mišićna aktivnost
3. utjecaj tiroksina (hormon kojeg luče folikularne stanice štitne žlijezde) na stanice
4. utjecaj adrenalina na stanice
5. utjecaj temperature na stanice

Adenozin trifosfat ili ATP je glavno kemijsko unutarstanično skladište energije, [3], [4].

Primjer 2. Zdrav mlad muškarac stvara oko 40 cal topline na sat po kvadratnom metru površine tijela. Kada ne bi gubio toplinu, ova količina topline bi za jedan sat (1 h) tjelesnu temperaturu povisila za 1°C .

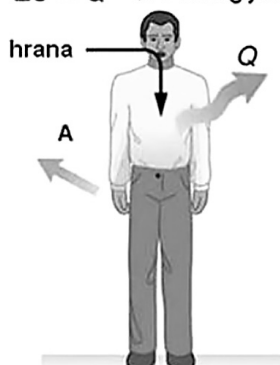
Primjer 3. Jetra stvara 20–30% tjelesne topline putem bazalnog metabolizma, dok mozak stvara oko 15%. Tijelo dobiva oko 25% topline od mišićne aktivnosti. Tijekom napora, utrošak kisika u mišićima može narasti toliko da je 60 puta veći od normalnog, te se povećava i toplina koja se stvara kemijskim reakcijama u mišićima.

Štitnjača luči hormon tiroksin, koji povećava lokalni metabolizam, što dovodi do stvaranja znatne količine topline. Ljudsko tijelo može se promatrati kao otvoreni termodinamički sustav koji mora održati svoju tjelesnu temperaturu od oko 37°C , i onda kada je temperatura sredine u kojoj se nalazi manja ili veća od nje, [1], [4].

Da bi čovjek mogao funkcionirati, odnosno obavljati sve aktivnosti mora posjedovati energiju. Potrebnu energiju osigurava unosom hrane i na taj način zadovoljava metaboličke potrebe tijela. Putem hrane čovjek u organizmu “skladišti” kemijsku energiju. Najveći dio energije koji se oslobađa u tijelu poprima oblik topline. Najveći dio topline stvaraju mišići. Manji dio topline stvaraju žljezdani organi – osobito jetra.

Veliki dio energije koju je čovjek osigurao unosom hrane troši se za rad mišića. Energija služi za svladavanje viskoznosti samih mišića, ili tkiva kako bi se udovi pokretali. Pri pokretima viskoznost uzrokuje trenje u tkivima i stvara se toplina. Energija koja je potrebna za izbacivanje krvi iz srca troši se na rastezanje arterijskog sistema. Rastezanje je samo po sebi spremnik potencijalne energije. Kada krv teče perifernim žilama međusobno trenje pojedinih slojeva krvi i trenje krvi o zidove krvnih žila pretvara tu energiju u toplinu. Kada nema vanjskih utrošaka energije, sva energija koju oslobodi metabolički proces prelazi u toplinu.

$$\Delta U = Q - A + \text{energija hrane}$$



Kada čovjek spušta teret dolazi do kontrakcije mišića koji su napeti i skraćeni. U njima je “uskладиštena” potencijalna energija koja se oslobađa tijekom relaksacije i prelazi u toplinu. Skraćivanjem mišići mogu dizati i micati predmete i na taj način obavljaju rad. Za to vrijeme se u mišićima iz ATP (adenozin trifosfata) oslobađa dodatna količina energije koja je jednaka sumi izvršenog rada i proizvedene topline.



Učinkovitost mišićne kontrakcije je dio uložene energije koji se pretvara u rad. Energija u mišićima (kemijska energija u hrani) koja se može pretvoriti u rad iznosi oko 20–25%, dok se ostatak pretvara u toplinu. Ako se mišići kontrahiraju sporo, oslobađa se velika količina topline. Ako se brzo kontrahiraju velika energija se troši za savladavanje viskoznog trenja unutar samog mišića.

Toplina nije korisna kod kretanja ili izvođenja mehaničkog rada. Ona je izgubljena u istom smislu kao i toplina koja se stvara pri radu motora ili strojeva. S druge strane toplina je neophodna za normalan rad stanica, kojima je potrebna stalna temperatura za održavanje fizioloških procesa. Svaka promjena temperature makar i za 1–2 °C remeti njihov normalan rad [4]. Kada čovjek drhti od hladnoće stvaranje topline postaje primarna funkcija mišića, a oslobođena energija stavlja se na raspolaganje za održanje tjelesne temperature. Tijekom dugotrajnog teškog fizičkog rada oslobađa se više topline nego što je iskoristivo za održanje tjelesne temperature tijela.

Kao što se u strojeve ugrađuju rashladni sustavi, tako i čovjek ima svoje mehanizme za oslobađanje viška topline. Vrlo efikasan sistem, isparavanje hlapljive tekućine, koji se koristi u modernim hladnjacima, kod regulacije temperature ljudskog tijela znamo kao znojenje.

Otpuštanje topline

Čovjek gubi toplinu iz organizma putem:

- radijacije
- kondukcije
- konvekcije
- evaporacije (ishlapijvanje)



Radijacija topline



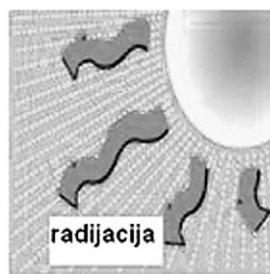
Zašto se led topi na tvojoj ruci?

Temperatura tvog tijela je između 36°C i 37°C , dok je temperatura leda oko 0°C . Kada kocku leda staviš na dlan tvoje tijelo zrači toplinu koju prima kocka leda, pri čemu joj se povećava unutarnja energija.

Proces zračenja topline ne vidimo jer se ono odvija u obliku infracrvenog zračenja koje naše oko ne registrira zbog velike valne duljine, ali ga osjećamo zbog povećanja odnosno smanjenja unutarnje energije. Zračenje topline

smanjuje unutarnju energiju tijela – mjesto na dlanu gdje se nalazi led hladi se, dok se led počinje topiti zbog povećanja svoje unutarnje enegije.

Većina emitiranih infracrvenih zraka koji zrače iz tijela ima valnu duljinu od 5 do 20 mikrometara, što je 10 do 30 puta više od valne duljine vidljive svjetlosti. Sva tijela koja imaju temperaturu veću od apsolutne nule emitiraju toplinsko zračenje. Ljudsko tijelo zrači toplinske zrake u svim smjerovima, međutim toplinske zrake emitiraju i zidovi, i predmeti u neposrednom okruženju tijela. Ako je temperatura tijela viša od temperature okoline, veća količina topline zrači iz tijela prema okolini nego prema tijelu.



Ljeti je temperatura okoline veća od temperature tijela. Tada se radijacijom toplina prenosi na tijelo. Čovjek je svakodnevno izložen radijaciji koja potječe sa Sunca. Oko 45% te energije otpada na infracrvene zrake, 7% na ultraljubičasto zračenje, a ostatak odnosi vidljivi dio spektra [5]. Pri sunčevom svjetlu tamna koža apsorbira više topline nego bijela, svjetla put.

Kondukcija



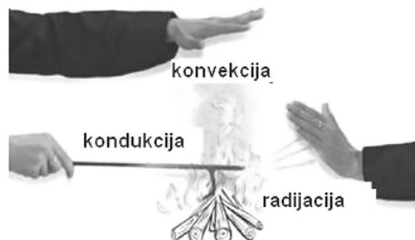
Pri lijepom vremenu sigurno si sjedio u kratkoj odjeći na stijeni ili nekom kamenu. Opiši što si uočio po pitanju topline.

Kada sjediš na stijeni i golom kožom dodiruješ stijenu, dolazi do kondukcije odnosno provođenja topline iz tvog tijela na stijenu. Nakon par minuta temperatura stijene se poveća i izjednači se s temperaturom tvog tijela. Stijena postaje izolator koji sprečava dalje gubljenje topline dok sjediš na njoj.

Toplina je molekulsko gibanje. Molekule kože tijela neprekidno su podvrgnute vibracijskom odnosno oscilatornom gibanju i ono može povećati kretanje molekula zraka koji dolaze u neposredni dodir s kožom. Kada se temperatura zraka koji je u kontaktu s kožom izjednači s temperaturom kože, prestaje prijenos topline iz tijela. Ako zrak struji (puhanje vjetra) onda stalno pristižu novie molekule i proces kondukcije traje.

Konvekcija

Gibanje zagrijanog zraka poznato je kao konvekcija. Toplina se kondukcijom prenosi zraku, a onda se odvodi strujama konvekcije. Slaba konvekcija uvijek postoji oko tijela zbog tendencije odvajanja ugrijanog zraka od kože. Čovjek kada sjedi u prostoriji gdje nema većeg strujanja zraka (propuha) konvekcijom gubi oko 15% svoje topline [4]. Kada se tijelo izloži vjetru, sloj zraka koji iz-



ravno prijanja uz kožu, zamjenjuje se novim zrakom znatno brže nego u normalnim uvjetima, stoga se gubitak topline putem konvekcije povećava. Kada vjetar ohladi kožu do temperature zraka, toplina se ne gubi u većoj mjeri, bez obzira na brzinu vjetra. Brzina kojom se toplina sada gubi ovisi o pristizanju topline iz unutrašnjosti tijela na površinu.

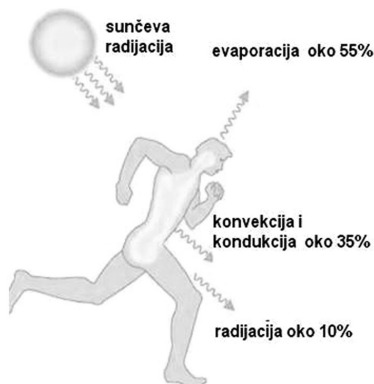
Što se događa kada se tijelo nađe u vodi?

Voda ima nekoliko tisuća puta veći toplinski kapacitet od zraka tako da svaki jedinični dio vode koji prijanja uz kožu može apsorbirati mnogo veću količinu topline nego zrak. Kondukcija (provođenje) topline kroz vodu je mnogo veće od kondukcije topline kroz zrak.

Evaporacija

Kada voda ishlapljuje s površine tijela tada se gubi približno 0.64 cal/gr isparene vode. Voda hlapi neprimjetno iz kože i pluća u količini od oko 600 ml dnevno. To uzrokuje kontinuirani gubitak topline od 15–20 cal/h. Ovo je posljedica kontinuirane

difuzije molekula vode kroz kožu i alveole bez obzira na tjelesnu temperaturu. Evaporacija je nužni mehanizam hlađenja pri visokim temperaturama zraka.



Pri ljetnim vrućinama tijelo se više znoji nego obično. Razlog tome je što je zrak zasićen vlagom skoro do maksimuma, pa je evaporacija svedena na minimum, stoga izlučeni znoj ostaje u tekućem stanju. Tjelesna temperatura se bliži temperaturi okoline ili postaje nešto veća iako se tijelo znoji.

Čovjek koji se nađe u sauni gubi na težini jer je u njoj vlažnost 100%, pa evaporacija nije moguća. Gubitak tjelesne mase u ovom slučaju je posljedica gubitka ekstracelularne tekućine, što šteti tijelu, jer se ne topi mast.

Kada se čovjek pregrrije iz žlijezda znojnica na površinu kože izlučuje se velika količina znoja koja omogućuje brzo hlađenje evaporacijom.

Tijekom hladnog vremena znoj se slabo izlučuje, ali tijekom vrućine čovjek koji nije aklimatiziran na toplinu izlučuje oko 1.5 litara znoja na sat, dok čovjek maksimalno aklimatiziran na toplinu izlučuje oko 3.5 litara na sat i time može izgubiti nekoliko kilograma tjelesne mase. Ovako jako znojenje iscrpljuje elektrolite iz ekstracelularne tekućine, u prvom redu natrij i kalcij. Stoga je vrlo važno unositi dovoljnu količinu tekućine i jesti umjereno posoljenu hranu, [1], [4].

Zašto koristimo ventilator?

Reći ćeš, zato da se rashladimo. Točno, a što to znači?

Zrak koji prijanja uz kožu slabo se pomiče, osim kada postoji konvekcija. Zrak uz kožu postaje zasićen vodenom parom pa ishlapljivanje prestaje. Strujanje zraka s kože odvodi zrak zasićen parom na čije mjesto dolazi nezasićen zrak. To omogućuje veću evaporaciju (ishlajpljivanje). Konvekcija je važnija za gubitak tjelesne topline evaporacijom, nego kontaktom, kondukcijom.



Literatura

- [1] ARTHUR C. GUYTON, M. D., *Medicinska fiziologija*, Medicinska knjiga, Beograd – Zagreb 1990.
- [2] <http://hr.wikipedia.org/wiki/Kalorija>
- [3] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/biology/atp.html>
- [4] SARAH R. RLEDMAN, *The Physiology of Work and play*, New York: Dryden Press, 1950.
- [5] http://www.medioteka.hr/portal/ss_geografija2.php?ktg=2&pktg=&mid=38