

# Uravnavanje telesne temperature

*Kristijan Skok, Andrej Markota, Marko Gosak*

Temperatura globlje ležečih struktur človeškega telesa oziroma sredice je pri zdravi osebi stalno uravnavana in se ohranja z natančnostjo  $\pm 0,6$  stopinje Celzija. Uravnavanje telesne temperature je pri živalih in ljudeh eden od najpomembnejših uravnalnih mehanizmov telesa. V prispevku so predstavljeni osnovna načela uravnavanja telesne temperature pri človeku, nekaj edinstvenih primerov termoregulatornih prilagoditev v živalskem svetu in bolezenska stanja, pri katerih se mehanizem uravnavanja temperaturnega ravnovesja poruši.

Človeško telo deluje pod specifičnimi pogoji v ravnovesju oziroma homeostazi. Homeostaza je sposobnost in stanje samouravnavanja funkcij organizma. S tem so zagotovljene razmere za optimalno delovanje organiz-

ma. Med pomembnejše sisteme, ki jih telo uravnava, sodi uravnavanje telesne temperature, ki ga imenujemo tudi termoregulacija in je pod nadzorom živčevja. Pri tem ima pomembno vlogo zlasti sprednji del hipotalamusa, ker skupaj z nekaterimi za toploto občutljivimi predeli v možganih določa ozko območje normalne telesne temperature (tako imenovane *nastavljene temperature*, angleško *setpoint*) in termoregulacijske odzive, potrebne za njeno vzdrževanje (na primer povečanje ali zmanjšanje pretoka krvi skozi kožo, potenje, drgetanje in tako dalje). Hipotalamus vzdržuje ravnotežje med tvorbo toplote, ki nastane predvsem v mišicah in jetrih, in izgubo toplote skozi kožo in pljuča. To opravlja preko hormonov, ki vplivajo na druge endokrine žleze. Območje normalne temperature se lahko med posamezniki



*Severni netopir (Eptesicus nilssonii) v obdobju zimskega spanja (Modum, Norveška). Foto: Magne Flåtén. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eptesicus\\_nilssonii\\_hibernating.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eptesicus_nilssonii_hibernating.JPG). Od avtorja osebno odobrena uporaba za revijo Proteus.*



*Napoleonov pobeg iz Moskve (Napoleon's retreat from Moscow). Avtor: Adolph Northen (1828–1876). ([https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cc/Napoleons\\_retreat\\_from\\_moscow.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cc/Napoleons_retreat_from_moscow.jpg)) Napoleon je leta 1812 v neuspešnem vojaškem pohodu proti carju Aleksandru I. zaradi lakote, utrujenosti in mraza izgubil velik delež svoje vojske in se poražen vrnil domov.*

precej razlikuje. Načeloma velja, da je povprečna temperatura pri zdravem posamezniku, merjena v ustih (oralna temperatura), 36,8 stopinje Celzija in se giblje od 35,8 do 37,8 stopinje Celzija. Telesna temperatura se lahko meri tudi rektalno, pod pazduho in centralno (telesna notranjost). Slednja predstavlja najbolj natančno vrednost.

### **Proizvodnja toplote v človeškem telesu**

Glavni mehanizem proizvodnje toplote je presnova oziroma metabolizem. Metabolizem lahko opredelimo kot vsoto vseh kemičnih reakcij v telesu, v katerih se sprošča energija. Ob tem se tvorita ogljikov dioksid (CO<sub>2</sub>) in voda (H<sub>2</sub>O) ter se hkrati sproščata kemična in notranja energija. Slednja se delno porablja za vzdrževanje stalne telesne temperature, delno pa se oddaja v okolje. Kemično energijo predstavlja predvsem adenozin trifosfat (ATP) oziroma osnovna energetska enota, ki zagotavlja energijo za sekrecijo, mehansko delo (krčenje mišic, premikanje celic in organelov ter podobno), aktivni transport snovi skozi membrane, izgradnjo makromolekul in tako dalje. Celotni dnevni metabolizem sestavljajo: energija za preživetje (bazalni metabolizem), energija za prebavo in presnovo (presnovni metabo-

lizem) ter energija za izvajanje dela (delovni metabolizem). Stopnja metabolizma predstavlja količino sproščene energije v časovni enoti. Stopnja bazalnega metabolizma je minimalna energija, potrebna za preživetje, in navadno predstavlja od 50 do 70 odstotkov dnevne porabe energije. Na bazalni metabolizem vplivajo spol in starost, delovanje osrednjega živčnega sistema, srca, ledvic in drugih organov, velikost telesa in telesna sestava, hormoni ter drugi dejavniki, kot so stres, nosečnost, povišana telesna temperatura in ekstremne zunanje temperature, ki znižajo bazalni metabolizem. Tudi stradanje ali podhranjenost znižata bazalni metabolizem.

### **Če je (pre)hladno**

V hladnih razmerah, ko mora organizem zmanjšati energijske izgube, se zgodi naslednje:

- Preneha se tvoriti znoj.
- Majhne mišice naježevalke (latinsko *musculus erector pili*) se skrčijo, kar postavi dlake pokonci. S tem, ko so dlake pokonci, se tvori izolacijska plast zraka, ki zadržuje toploto. Ta mehanizem je tudi

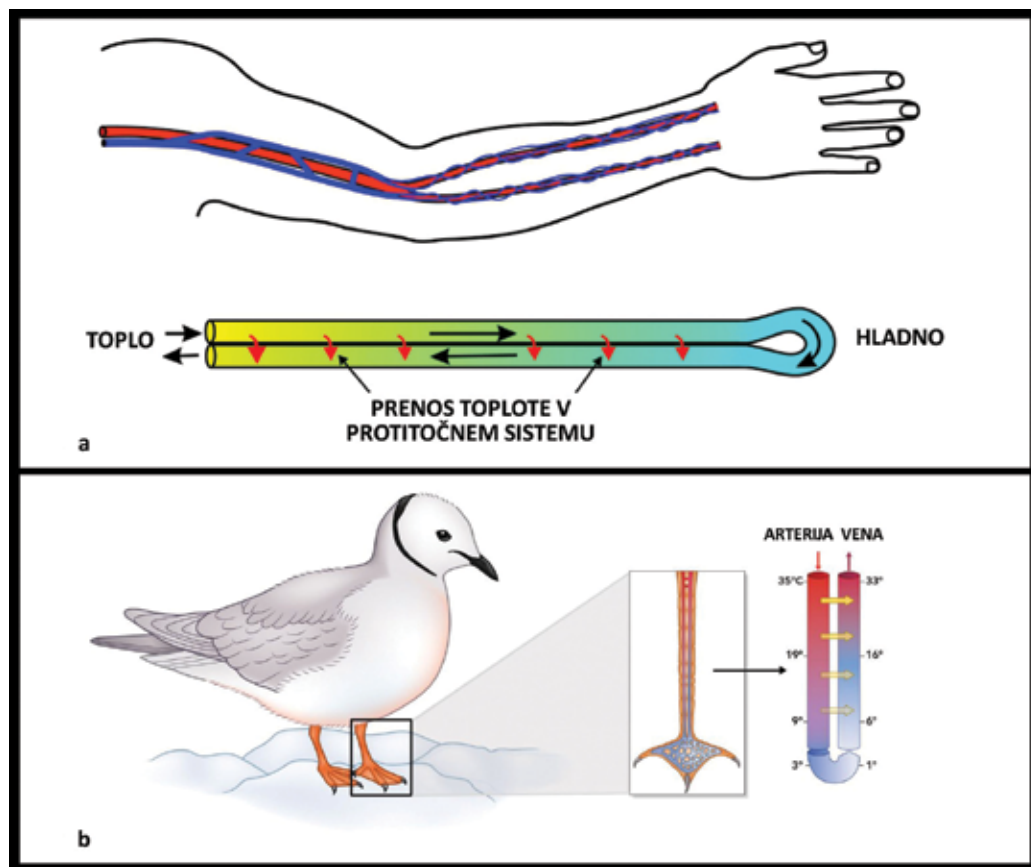
odgovoren za tako imenovano kurjo kožo in izvira še iz časov, ko je bila človeška vrsta bolj poraščena, saj je bil ta mehanizem takrat bolj učinkovit kot danes.

- Arterije in arteriole prenašajo kri do povrhnjih kapilar, ki so tik pod kožo. Arterije se s signalom živčnega sistema lahko skrčijo ali razširijo in tako preusmerijo tok krvi. Ob krčenju (vazokonstrikciji) preprečijo tok do površine in ga centralizirajo. S tem zmanjšajo nadaljnjo izgubo toplote. V izjemno hladnih razmerah lahko pride do pretirane/predolge vazokonstrikcije, ki povzroči izgubo občutka in bledico kože. Poškodbe tkiv zaradi mraza (omrzline) nastanejo, kadar prične voda v celicah in tkivu zmrzovati.
- Mišice prav tako prejmejo navodila iz termoregulatornega središča možganov in pričnejo drgetati. S tem se ustvarja dodatna toplota. V živalskem svetu lahko delimo drgetanje v dve stopnji – stopnjo nizke in stopnjo visoke intenzivnosti. V vsakem primeru je drgetanje bolj koristno pri proizvodnji toplote kot fizična aktivnost, kajti žival lahko ob tem miruje in tako ne izgublja dodatne energije. Med drgetanjem nizke intenzivnosti žival drgeta dalj časa (na primer več mesecev), vendar ne tako izrazito. Ob dalj časa trajajočem drgetanju se energija pridobiva predvsem iz maščobnih tkiv, zato nekatere živali pred zimskim spanjem pojedó velike količine hrane in se zredijo. Do visoke stopnje drgetanja pride ob močni izpostavljenosti mrazu, traja pa kratek čas. V tem primeru je primarno gorivo glukoza.
- Splošno povečanje termogeneze (proizvodnje toplote) s pospešenim metabolizmom in izločanjem hormonov (na primer ščitničnega, adrenalina, noradrenalina). O tem nekoliko več v sledečem odstavku.

Povečana simpatična stimulacija povzroči takojšnje povečanje celičnega metabolizma. Učinek se imenuje kemična termogeneza. Učinkovitost kemične termogeneze je neposredno odvisna od količine rjavega maščevja živali. To je vrsta maščevja z velikim številom mitohondrijev in je preprežena s simpatičnimi živčnimi vlakni. Ta stimulirajo ekspresijo (izražanje) proteina thermogenina, ki spodbudi termogenezo. Aklimatizacija je prav tako pomemben dejavnik, kajti ima pomemben vpliv na intenzivnost kemične termogeneze. Na primer podgane, ki so bile več tednov izpostavljane mrazu, bodo ob ponovni nenadni izpostavitvi mrazu imele, v primerjavi z neaklimatiziranimi podganami, sto do petstodstotno povečanje stopnje termogeneze. Pri odraslih ljudeh, ki nimajo skoraj nič rjavega maščevja, kemična termogeneza redko poveča nastanek toplote za več kot deset do petnajst odstotkov. Pri dojenčkih, ki imajo ob rojstvu nekaj rjave maščobe, se lahko termogeneza poveča za sto odstotkov. Ta mehanizem je pri dojenčkih ohranjen zaradi velikega pomena ohranjanja telesne temperature in hitrejšega izgubljanja toplote.

### **Izguba toplote v človeškem telesu**

Večina toplote se proizvede v globlje ležečih organih (jetrih, možganih, srcu in skeletnih mišicah ob vadbi). Ta toplota se iz globljih organov in tkiv prenese do kože, kjer se je del izgubi zaradi delovanja zraka in drugih zunanjih vplivov. Posledično lahko rečemo, da je izguba toplote odvisna od dveh glavnih dejavnikov: hitrosti prenosa iz globine na površje in hitrosti prenosa toplote od površja navzven. Pomembno vlogo pri tem imajo koža in podkožna tkiva (predvsem maščobni del), ki delujejo kot toplotni izolator telesa. Maščoba je pomembna, saj prevaja zgolj tretjino toplote v primerjavi z ostalimi tkivi. Drugi zelo pomembni dejavnik so žile oziroma povezave med kapilarami in venami, ki ležijo na površju (arterio-venske anastomoze). Ob vazokonstrikciji pride do zmanjšane pretoka krvi skozi povrhnji del



*Prikaz protitočnega sistema.*

a) Človeška roka. Avtor: Cruithne9. ([https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/18/Arm\\_counter-current\\_flow.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/18/Arm_counter-current_flow.jpg).)

b) Prikaz protitočnega sistema pri galebu, ki mu omogoča stati v mrzli vodi, ne da bi ob tem izgubljal veliko toplote.

Avtor: Randall, D., Burggren, W., French, K., 2001: Eckert Animal Physiology. (<https://files.allaboutbirds.net/wp-content/uploads/2017/01/GullFeet-FI.jpg>.)

kože in posledično manjše izgube toplote. Pomembno vlogo pri ohranjanju toplote ima še mehanizem protitočnega sistema.

Arterije in vene ležijo tesno druge ob drugi. Arterije privedejo toplo, nasičeno kri od srca proti zunanjim delom telesa. Venska kri ima manjšo vsebnost kisika in odteka nazaj v srce in pljuča. Zaradi tesne medsebojne lege pride do izmenjave toplote med vensko in arterijsko krvjo. Tovrstno izmenjevanje toplote je izjemnega pomena v hladnih okoljih, kjer pride do zoženja žil. Zaradi tega ne bo le izguba toplote iz okončin manjša,

temveč se bo toplota iz arterijske krvi hitro prenesla v (ohlajeno) vensko, preden ta doseže najbolj zunanji in mrazu izpostavljeni del telesa. To prilagoditev imajo sesalci in ptice. Zlasti pri živalih, ki živijo v polarnih okoljih (pingvini, galebi, polarne lisice in druge), so v okončinah gosti prepleti žil, ki omogočajo intenzivno izmenjavo toplote med arterijsko in vensko krvjo. Več o teh živalih in prilagoditvenih mehanizmih lahko preberete v prispevku *Zakaj lahko pingvini stojijo bosi na ledu?* (*Proteus*, 66, 1, 2003: 24-27).

Za izgubo toplote pri človeku so odgovorni različni fizikalni mehanizmi (slika spodaj):

**Sevanje ali radiacija** je pri sedeči goli osebi odgovorna za približno 60 odstotkov toplotnih izgub. Izguba s sevanjem pomeni izgubo v obliki infrardečih žarkov, do česar pride zato, ker ima človeško telo drugačno temperaturo od okolice.

**Kondukcija.** Kot je razvidno iz slike spodaj, se z neposrednim stikom s predmeti prenesejo zgolj približno trije odstotki toplote telesa, večji delež, približno petnajst odstotkov, pa se prenese ob neposrednem stiku z zrakom. Do kondukcije pride, ker ima okolica oziroma okoliški zrak drugačno temperaturo kot telo.

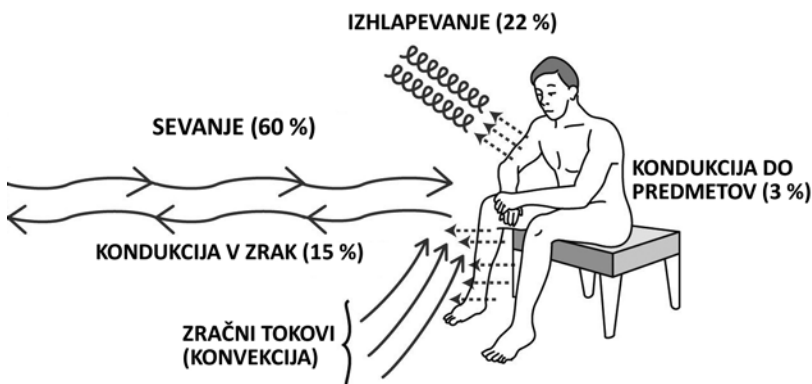
**Konvekcija in hladilni učinek vetra.** Do izgube s konvekcijo lahko pride, kadar zračni tokovi odpihnejo segreto zračno plast tik ob telesu in se povečujejo izgube s kondukcijo.

**Potenje.** Kadar voda izhlapi s površine telesa, se za to porabi 0,58 kilokalorije za vsak gram vode. Tudi kadar se posameznik ne poti, voda kljub temu »nezavedno« izhlapeva iz kože in pljuč s hitrostjo 600 do 700 mililitrov na dan. To vodi v stalno izgubo toplote s hitrostjo 16 do 19 kilokalorij na uro. Te nezavedne izgube ni mogoče uravnavati, saj je posledica neprekinjene difuzije vodnih molekul skozi kožo in respiratorne površine. Potenje pa lahko telo uravnava glede na temperaturo okolice.

### Kondukcija in konvekcija osebe v vodi.

Omeniti velja, da so v vodi toplotne izgube mnogo izrazitejše kot v zraku. Voda ima namreč veliko večjo toplotno prevodnost in specifično toploto kot zrak, zaradi česar je prenos toplote iz telesa v okolico znatno večji. Velikokrat lahko po plavanju opazimo pri sebi povečani tek, saj želimo nadomestiti izgubljeno energijo.

Pomembno vlogo pri ohranjanju toplote imajo oblačila. Oblačila »ujamejo« zrak, ki je neposredno ob koži. S tem povečajo debelino plasti zraka ob koži in zmanjšajo učinek zračnih tokov in konvekcije. Posledično se zmanjša izguba telesne toplote zaradi kondukcije in konvekcije. Običajna obleka (srajca, hlače, nogavice in podobno) zmanjša izgubo telesne toplote za polovico v primerjavi z izgubo gole osebe. Oblačila, ki so namenjena za izredne polarne razmere, lahko izgubo zmanjšajo na eno šestino. Skoraj polovica toplote, ki se prenese s kože na oblačila, poteka s pomočjo sevanja in ne s kondukcijo. Z uporabo izolacijskega materiala, na primer tankega sloja zlata na notranji strani oblačila, odbijemo sevano toploto nazaj v telo, kar še dodatno izboljša možnost ohranjanja toplote. To načelo uporabljajo pri izdelavi oblačil za polarne razmere, s čimer lahko zmanjšajo tudi težo oblačil. Korist oblačil pri ohranjanju toplote se skoraj popolnoma izgubi, ko se oblačila zmočijo. Voda zaradi svoje visoke prevodno-



*Shematski prikaz mehanizmov izgube toplote.*

Vir: Hall, J. E., Guyton, A. C., 2011: *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology*. (<https://aneskey.com/wp-content/uploads/2017/04/image01741.jpeg>)



sti poveča prenos toplote skozi oblačilo za dvajsetkrat ali več. Posledično je eden izmed najpomembnejših ukrepov pri ohranjanju toplote skrb za suha oblačila. Prav tako je treba paziti na začasno pregrevanje in potenje, ki zmoči oblačila in zmanjša njihovo izolacijsko vlogo.

### Če je (pre)vroč

V vročih razmerah človeško telo uporablja več mehanizmov hlajenja:

- Žleze z zunanjim izločanjem (eksokrine žleze) v koži pričnejo z izločanjem potu (voda z nekaterimi raztopljenimi ioni). Ta potuje po žlezi do zunanje odprtine oziroma pore in nato na površje kože. To vodi v izgubo toplote preko mehanizma izhlapevanja. Ob tem omenimo, da je lahko izguba vode velika in v določenih primerih tudi nevarna za zdravje posameznika. Hlajenje potu iz telesa je hitrejše, če se nahajamo v okolju, kjer je suh zrak, na primer v puščavi. V območjih z veliko vlažnostjo, na primer pragozdu, je ohlajenje s potenjem manj učinkovito.
- Dlake na površju kože postanejo položne in tako preprečujejo, da bi se toplota »ujela« v plasti zraka med dlakami. Plosko postavljene dlake povečajo pretok zraka ob koži in s tem posledično omogočijo večjo izgubo toplote zaradi konvekcije. Kadar je temperatura okolja višja kot telesna temperatura posameznika, je potenje edini fiziološki mehanizem, s katerim se človek lahko ohlaja.
- Razširjenje žil (vazodilacija) vodi v povečani pretok krvi skozi površnje arterije in kapilare, kar omogoči izgubo toplote s konvekcijo in kondukcijo. Ta pojav lahko opazimo pri sebi po intenzivni športni aktivnosti, ko pordečimo v obraz.

Veliko živali nima sposobnosti izgube toplote s površine telesa zaradi dveh razlogov: njihova površina je pokrita z dlako in večina njihove kože nima žlez znojnic, kar pre-

preči izgubo toplote z izhlapevanjem. Konji in ljudje so sposobni potenja. Mačke in psi imajo žleze znojnice zgolj na površini svojih tac. Nadomestni mehanizem potenju je sopihanje. Sproži se ob signalu iz središča za uravnavanje toplote v možganih. Ob sopihanju pride do hitrega vdihavanja in izdihavanja, posledično pride velika količina svežega zraka iz zunanosti v stik z respiratornim sistemom. Ob tem pride do izhlapevanja vlage s sluzničnih površin, predvsem sline s površine jezika.

### Uravnavanje telesne temperature v svetu živali

Tudi v živalskem svetu veljajo enaka načela vzdrževanja toplote in telesne temperature. Izraza toplokrvni in hladnokrvni sta se uporabljala za opis temperaturnih vzorcev živali in ju pogovorno uporabljamo še danes. Izraza poudarjata predvsem navidezno zaznano temperaturo, ki jo čutimo ob dotiku živali. Ptice in sesalci so glede na takšno (preveč poenostavljeno) opredelitev toplokrvni. Druge vrste (ribe, dvoživke, plazilci) so hladnokrvne. Težava ob tem načinu sklepanja je, da se lahko na primer kače »segrejejo« in postanejo tople na dotik. Po drugi strani pa je lahko sesalec v hibernaciji in na otip hladen. Zato se je takšnemu izrazju najbolje izogniti.

Za opis vzorca uravnavanja telesne temperature poznamo izraza poikilotermija (grško *poikilos*, spreminjajoče se, *thermos*, toplo) in homeotermija (grško *homeo*, podobno, enako), ki se nanašata na stalnost telesne temperature in ne na trenutno zaznano stanje. Poikilotermni organizmi imajo spreminjajočo se telesno temperaturo telesa v nasprotju s homeotermnimi organizmi, ki imajo stalno temperaturo. Še najbolj razumljiva delitev pa je na podlagi izvora/načina uravnavanja temperature organizma. Na podlagi tega merila poznamo endotermne in ektotermne organizme. Ti izrazi se nanašajo na mehanizme uravnavanja telesne temperature in ne na temperaturo organizma. Endotermni



*Prikaz mehanizmov uravnavanja telesne temperature živali in ektotermnih organizmov.*  
 Avtor: Kristijan Skok.

organizmi večino svoje toplote proizvedejo s pomočjo metaboličnih procesov. Slika a prikazuje nekatere mehanizme uravnavanja telesne temperature pri ektotermnih organizmih, ki so večinoma odvisni od zunanjih virov toplote, čeprav veliko navedenih strategij pri gospodarjenju z energijo uporabljajo tudi endotermni organizmi. Najpogostejši zunanji viri toplote so Sonce (heliotermija) ali topel substrat (thigmotermija, grško *thigmo*, dotik). Shematski prikaz nekaterih skupnih

pomembnejših mehanizmov uravnavanja temperature pri živalih je razviden iz slike b. Shematski prikaz delitve živali po sposobnostih in strategijah uravnavanja toplote je razviden iz slike na sledeči strani. Omeniti velja, da zlasti na razvrstitev ektotermnih organizmov močno vpliva življenjsko okolje. Na primer: v vodah tropskega pasu, v vodah polarnih območij in v votlinah je temperatura dokaj stalna in posledično je taka tudi telesna temperatura v teh okoljih



*Delitev organizmov po načinu uravnnavanja toplote. Povzeto po: Wilmer, P., Stone, G., Johnston, I., 2004: Environmental Physiology of Animals. Z rdečo barvo so označeni termoregulatorji, z modro pa termokonformni organizmi. Z zelenimi puščicami je nakazana sposobnost začasne heterotermije.*

živečih organizmov. Pri nekaterih živalih, ki so v osnovi ektotermne, obstaja tudi možnost začasne endotermije. To pomeni, da v določenih okoliščinah žival dvigne stopnjo metabolizma ali aktivnost mišic in s tem povzra telesno temperaturo v celoti ali na delu telesa. Tovrstne mehanizme so opazili pri nekaterih žuželkah, ribah in kačah (zeleni puščice na sliki zgoraj).

### Zimsko spanje

Splošno obstajajo štiri pomembnejši vzorci uravnnavanja temperature pri **endotermnih organizmih**. Poznamo striktno homeotermijo, dnevno heterotermijo, dnevni torpor in hibernacijo. Vzorci so naštetni po vrstnem redu znižanja temperature telesa med aktivnostjo in počitkom. Torpor je specializirana oblika začasne heterotermije pri živalih in združuje hipotermijo (grško *hypo*, nizko;



nizka temperatura), hipometabolizem in hipoaktivnost. V kolikor traja dlje kot 24 ur, govorimo o hibernaciji ali zimskem spanju, pri katerem traja takšno stanje od več dni do več tednov. V tem obdobju so živali odvisne od shranjenih energijskih zalog. Trajanje in nastop hibernacije sta odvisna od temperature okolja, letnega časa in stanja organizma. Med predstavnike živali, ki hibernirajo, sodijo predvsem glodalci. Drugi znani predstavniki so predstavniki razreda vrečarjev, netopirji, ježi, medvedi, nekatere vrste čebel in metuljev in podobno. Predstavnike lahko glede na potrebo po hibernaciji delimo v obligatne in fakultativne. Kadar nastopi obdobje nizkih temperatur in pomanjkanja hrane, nekatere živali pridejo v hibernacijo. Da lahko zagotovijo takšno stanje dalj časa, morajo pridobiti rjavo maščevje in biti sposobne upočasnitve metabolizma. Posledično postanejo nekatere živalske vrste pred hibernacijo hiperfagične - pojedjo namreč ogromne količine hrane, ki se shranijo v obliki maščobe. Nekatere vrste živali so v času hibernacije tudi breje (na primer polarni medved). Prav tako je pomembna primerna izolacija (gnezdo, brlog, leglo, kožuh, maščevje). Zanimivo, da medvedi med hibernacijo ne urinirajo in uporabljajo nekatere gradnike urina (dušik

za ohranitev mišične mase, prav tako imajo tudi specifične proteazne zaviralce, ki aktivno zavirajo razgradnjo mišičnega tkiva.

Ribe so ektotermne, kar pomeni, da ne morejo samostojno aktivno uravnavati lastne temperature ali spremeniti ravni metabolizma. Po definiciji ne hibernirajo. Kljub temu pa v zimskem času oziroma v hladnih ali hipoksičnih (malo kisika) razmerah preidejo v dormantno stanje.

Večina žuželk je prav tako ektotermnih, vendar morajo biti sposobne prestatati hladne temperature s pomočjo prilagoditvenih mehanizmov. Poleg selitve lahko žuželke tudi preživijo v hladnih razmerah. Na podlagi prilagoditvenih mehanizmov te skupine delimo v: tolerantne na mraz in sposobne preprečiti zamrznitev. Za prvo skupino je značilno, da lahko preživijo nastanek ledenih kristalčkov (zamrznitev tekočine) v lastnih tkivih. Za drugo skupino je značilno, da ohranijo svojo znotrajcelično tekočino v tekočem stanju in preprečijo nastanek ledenih kristalov. To storijo s fiziološkimi in biokemičnimi mehanizmi. Kot zanimivost naj omenimo sposobnost izdelave krioprotektivnih snovi (na primer glicerola, sladkorjev) ali krioprotektivnih proteinov ter sposobnost premika točke zmrzali lastne tekočine pod ledišče (nekatere žuželke tudi na manj kot



*Obrambni mehanizem čebel. Čebele (Apis cerana japonica) so obkrožile oso. Foto: Takahashi. ([https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f3/Honeybee\\_thermal\\_defence01.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f3/Honeybee_thermal_defence01.jpg))*

-50 stopinj Celzije) v skladu s pojavom podhladitve (angleško *supercooling*).

### Toplota kot obrambni mehanizem

Toplota je lahko tudi obrambni mehanizem. Domače čebele (*Apis* sp.) so heterotermni organizmi in imajo sposobnost intenzivne endotermije. V primeru napada ose, ki ima močan zunanji skelet, osnovni obrambni mehanizmi ne delujejo (grizenje, pik in podobno). Zato se čebele organizirajo in obkrožijo oso, dokler ni popolnoma pokrita s čebelami (slika na prejšnji strani). V tej »čebelji krogli« se zgodi sledeče: čebele začnejo hitro krčiti svoje prsne mišice in tako ustvarijo toploto, temperatura znotraj krogle zato začne naraščati (tudi do 50 stopinj Celzija), dokler osa ne umre. Ob tem čebele ne presežejo lastne meje termostabilnosti. V primeru, da ima osa podobno toplotno (termalno) mejo kot čebele, poleg segrevanja preprečijo še dihanje in oso tako zadušijo.

### Bolezenska stanja

O povišani telesni temperaturi (vročini) pri človeku govorimo, če ima oseba zjutraj telesno temperaturo, izmerjeno v ustih, višjo od 37,2 stopinje Celzija in popoldne višjo od 37,7 stopinje Celzija. Ženske, ki še imajo menstruacijo, imajo po navadi v obdobju dveh tednov pred ovulacijo nižjo jutranjo telesno temperaturo, ta potem naraste za približno 0,6 stopinje Celzija z ovulacijo in ostane povišana do konca menstruacijskega cikla. Hiperpireksija je vročina, višja kot 41,5 stopinje Celzija. Ta skrajno visoka telesna temperatura lahko nastane pri bolnikih s hudimi okužbami, še bolj pogosto pa pri krvavitvi v osrednji živčni sistem zaradi spremenjenega delovanja središča za uravnavanje toplote. Hipotermija pa je stanje, ko pri nespremenjenem (normotermičnem) delovanju središča za uravnavanje toplote pride do dviga telesne temperature zaradi neustreznega oddajanja/sprejemanja toplote. Hipotermija je stanje, ko pade temperatura jedra telesa pod 35 stopinj Celzija.

### Vročina

Vročina je eden od glavnih pokazateljev bolezni tako pri človeku kot pri živalih in že stoletja prepoznavni znak okužbe. Vendar so lahko vzroki vročine tudi neinfekcijske narave (na primer tumorji, sistemske bolezni vezivnega tkiva, zdravila). Vročino uvrščamo med pogostejše težave, zaradi katerih večina obišče družinskega zdravnika. Vročina je posledica zvišane temperature jedra telesa in pogosto del obrambnega odziva na vdor žive (mikroorganizmi) ali nežive snovi, ki jo gostitelj prepozna za tujo. Predstavlja kompleksen fiziološki odziv, ki obsega tvorjenje akutnih reaktantov vnetja ter aktiviranje številnih fizioloških sistemov (na primer endokrinih in imunskih). Območje normalne temperature se lahko med posamezniki precej razlikuje. Za klinično rabo se vročina običajno opredeli kot:

- jutranja temperatura, merjena v ustih, ki je višja od 37,2 stopinje Celzija ali višja od 37,8 stopinje Celzija kadarkoli čez dan,
- temperatura, višja od 37,2 stopinje Celzija, če je merjena v pazduhi (aksilarna temperatura),
- temperatura, višja od 38 stopinje Celzija, če je merjena v danki (rektalna temperatura) ali na bobniču (timpanična temperatura).

Vročina je pomemben kazalnik bolezni in pokazatelj uspešnosti zdravljenja, zlasti uspešnosti zdravljenja okužbe. Vročina pri najpogostejših virusnih okužbah mine približno po štirih dneh, pri mnogih ostalih okužbah pa se pojavijo novi simptomi in znaki, ki zdravnika dodatno usmerijo v diagnostične postopke in zdravljenje. Če vročina brez lokaliziranih simptomov in znakov vztraja dlje kot štiri ali pet dni, je treba posumiti na morebitno redkejšo okužbo.

### Vročinski krči

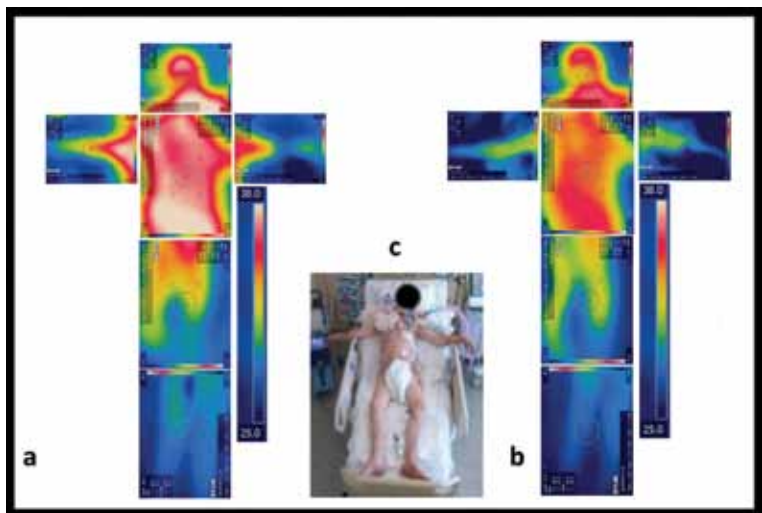
Vročinski krči so najpogostejša oblika krčev pri dojenčkih, pojavljajo pa se tudi pri malčkih in predšolskih otrocih do petega leta (pri dveh do štirih odstotkih otrok). Vzrok je genetska nagnjenost h krčem ob povišani telesni temperaturi pri določeni starosti. O vročinskih krčih lahko govorimo takrat, ko je otrok star od šest mesecev do pet let; ko gre za vročinsko stanje s hitrim porastom temperature nad 38 stopinj Celzija; ko je prisotna okužba, ki ni v osrednjem živčevju. V večini primerov (več kot 90 odstotkih) so vročinski krči preprosti in ne kompleksni. Razlika je v trajanju in prisotnosti nevroloških izpadov otroka. Otrok ob napadu postane otrpel, se trese/ima krče in lahko izgubi zavest. Napad traja večinoma manj kot pet minut. Pri otroku z vročino in krči vedno izključijo možnost meningitisa ali encefalitisa. V kolikor okužba ni znotraj osrednjega živčnega sistema, gre najpogosteje za virusno okužbo zgornjih dihal ali okužbo sečil. Kljub temu, da se vročinski krči lahko pojavljajo tudi v obliki epileptičnega statusa, zaščitnega zdravljenja s protiepileptičnimi zdravili ne uporabljajo, ker v takšnem primeru zdravila ne zmanjšajo verjetnosti ponovitve napadov ali epilepsije. Pri otroku z vročinskimi krči se začne s fizikalnimi

sredstvi takoj zniževati telesno temperaturo (kopel ali ovitki z mlačno vodo). Pri temperaturi, višji od 38 stopinj Celzija, se ob fizikalnih sredstvih lahko uporabijo tudi anti-piretiki v obliki rektalne svečke. V primeru, da krči trajajo več kot dve minuti, otroku dajejo zdravila za prekinjanje krčev: benzodiazepine (diazepam za rektalno uporabo, to je Stesolid v rektolah po pet miligramov in deset miligramov). Prognoza je pri vročinskih krčih dobra, tudi če se ponavljajo.

### Hipotermija

Kadar temperatura jedra pade pod 35 stopinj Celzija, govorimo o hipotermiji. To lahko glede na temperaturo še dalje delimo v blago (32 do 35 stopinj Celzija), srednjo (28 do 32 stopinj Celzija) in hudo (pod 28 stopinj Celzija). Pri blagi hipotermiji se pojavijo apatija, amnezija, zmedenost. Kadar temperatura pade pod 32 stopinj Celzija, se pojavi napredujoče zmanjševanje stopnje zavesti, upočasnjevanje srčnega utripa, motnje v delovanju ledvic in zmanjšana odzivnost refleksov. Kadar temperatura pade pod 28 stopinj Celzija, nastopijo koma, zniževanje krvnega tlaka, nastanek aritmij, odsotnost refleksov in podobno. Najnižja izmerjena temperatura pri posamezniku, ki so ga uspešno oživljali, je bila 16 stopinj Celzija.

*Inducirana (spodbujena) hipotermija. Posnetek bolnika z infrardečo kamero po srčnem zastoju: a) ob sprejemu, b) po 10 minutah, c) prikaz položaja bolnika. Avtor: Andrej Markota.*



Hipotermija se najhitreje pojavi pri starejših bolnikih in novorojencih. Glede na nastanek poznamo primarno akcidentalno hipotermijo (predhodno zdrava oseba, ki je bila izpostavljena hladu) in sekundarno hipotermijo, ki nastane zaradi hude sistemske bolezni.

Poznamo tudi inducirano (spodbujeno) terapevtsko hipotermijo. Uporabijo jo, kadar poskušajo zmanjšati poškodbo možganov po srčnem zastoju ali po poškodbi možganov ter pri kirurških posegih, ki jih opravljajo ob srčnem zastoju. Hipotermijo redno uporabljajo pri bolnikih po srčnem zastoju. Z ohlajanjem se zmanjša poraba energije in upočasni presnova. To deluje zaščitno in omogoča tudi začasno zaustavitev krvnega obtoka. Inducirana (spodbujena) hipotermija poteka v nadzorovanih razmerah in je reverzibilen proces (slika na prejšnji strani).

Podhlajenega posameznika zdravijo s pasivnim ali aktivnim segrevanjem. Pasivno segrevanje pomeni, da posameznika pokrijejo in premestijo v toplo okolje. Hitrost pasivnega segrevanja je po navadi od 0,5 do 2,0 stopinje Celzija na uro. Pasivno segrevanje je primerno za zdrave ljudi z blago primarno akcidentalno hipotermijo. Bolnik mora imeti zadostno zalogo glikogena (vira energije), da je sposoben endogene termogeneze. Aktivno segrevanje je potrebno pri temperaturi jedra pod 32 stopinj Celzija, pri srčno-žilni nestabilnosti, v skrajnih starostnih obdobjih, disfunkciji možganov, endokrini insuficienci in pri vsakem sumu na sekundarno hipotermijo. Obstaja več načinov aktivnega segrevanja jedra. Najboljši način zunanje aktivnega segrevanja dosežemo s kroženjem toplega zraka okoli bolnika (na primer z grelcem zraka, ki polni perforirano odejo). Manj učinkovito je segrevanje vdihanega zraka (od 40 do 45 stopinj Celzija), infuzija segrelih tekočin (od 40 do 42 stopinj Celzija) in segrevanje prek mehurja in želodca. Za hitro segrevanje je primerno tudi segrevanje pleuralnega prostora ali intraperitonealno segrevanje s toplo tekočino.

### Slovarček:

**Ektotermni organizmi.** Organizmi, ki so večinoma odvisni od zunanjih virov toplote in je ne proizvajajo sami v zadostni meri.

**Endotermni organizmi.** Organizmi, ki proizvajajo lastno toploto.

**Hibernacija.** V kolikor traja torpor dlje kot 24 ur, govorimo o hibernaciji ali zimskem spanju, pri katerem traja takšno stanje hipometabolizma, hipoaktivnosti in hipotermije dalj časa.

**Hipotalamus.** Predel možganov, ki z izločanjem hormonov uravnava mnoge življenjsko pomembne funkcije.

**Hipotermija.** Stanje, ko pade telesna temperatura pod 35 stopinj Celzija.

**Homeotermija.** Homeotermni organizmi (grško *homeo*, podobno, enako) imajo stalno telesno temperaturo.

**Poikilotermija.** Poikilotermni organizmi (grško *poikilos*, spreminjajoče se, *thermos*, toplo) imajo spreminjajočo se telesno temperaturo telesa.

**Termogeneza.** Proizvodnja toplote.

**Torpor.** Torpor je specializirana oblika začasne heterotermije pri živalih in združuje hipotermijo (grško *hypo*, nizko; nizka temperatura), hipometabolizem in hipoaktivnost.

**Vazokonstrikcija.** Krčenje žil.

### Literatura:

Blix, A. S., 2016: *Adaptations to polar life in mammals and birds. Journal of Experimental Biology*, 219 (8): 1093 LP-1105.

Hall, J. E., Guyton, A. C., 2011: *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology. Vol. 12. Philadelphia: Elsevier Saunders.*

Hutchins, M., Evans, V. A., Garrison, R. W., Schlager, N., ur., 2003: *Grzimek's Animal Life Encyclopedia, 2nd edition. Volume 3, Insects. Farmington Hills: Gale Group.*

Marbl, M., Grubelnik, V., 2003: *Zakaj lahko pingvini stojijo bosi na ledu?. Proteus*, 66 (1): 24-27.

McCafferty, D. J., Pandraud, G., Gilles, J.,

Fabra-Puchol, M., Henry, P-Y., 2017: *Animal*

*thermoregulation: a review of insulation, physiology and behaviour relevant to temperature control in buildings.*

*Bioinspiration and Biomimetics*, 13 (1): 011001.

Mrowka, R., Reuter, S., 2016: *Thermoregulation. Acta Physiologica*, 217 (1): 3–5.

Stabentheiner, A., Kovac, H., Schmaranzer, S., 2007: *Thermal Behaviour of Honeybees During Aggressive Interactions. Ethology*, 113 (10): 995–1006.

Wilmer, P., Stone, G., Johnston, I., 2004: *Environmental Physiology of Animals, 2nd Edition. Oxford: Wiley-Blackwell.*

Spletni naslovi:

<https://www.nhs.uk/conditions/hypothermia/>. Opis stanja hipotermije pri človeku.

<https://www.khanacademy.org/science/biology/principles-of-physiology/metabolism-and-thermoregulation/a/animal-temperature-regulation-strategies>. Kratek pregled prilagoditvenih termoregulatornih mehanizmov živali.



**Kristijan Skok** je diplomant medicine na Medicinski fakulteti v Mariboru.



**Andrej Markota** je specialist interne medicine v Univerzitetnem kliničnem centru Maribor in asistent na katedri za interno medicino na Medicinski fakulteti v Mariboru.



**Marko Gosak** je docent za predmetno področje fizike na Medicinski fakulteti in Fakulteti za naravoslovje in matematiko v Mariboru in se ukvarja predvsem s teoretično biofiziko in fiziko kompleksnih mrež.