

# Homeostaza i termoregulacija sisavaca

---

Dujmović, Matea

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of biology / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za biologiju**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:181:162126>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-21**



**ODJEL ZA  
BIOLOGIJU**  
Sveučilište Josipa Jurja  
Strossmayera u Osijeku

Repository / Repozitorij:

[Repository of Department of biology, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek](#)



Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku  
Odjel za biologiju  
Preddiplomski studij biologije

Matea Dujmović

Homeostaza i termoregulacija sisavaca

Završni rad

Mentor:

doc. dr. sc. Sandra Ečimović

Osijek, 2018. godine

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Odjel za biologiju

Završni rad

Preddiplomski sveučilišni studij biologije

Znanstveno područje: Prirodne znanosti

Znanstveno polje: Biologija

### HOMEOSTAZA I TERMOREGULACIJA SISAVACA

Matea Dujmović

Mentor: doc. dr. sc. Sandra Ečimović

Homeostaza je svojstvo organizma da održava svoje unutarnje uvjete stabilnima i relativno konstantnima, a ukoliko je homeostaza narušena dolazi do bolesti ili smrti organizma. Vrlo važnu ulogu u održavanju homeostaze ima hipotalamus, koji preko živčanog sustava komunicira s endokrinim žlijezdama. Pored toga, vrlo je značajan u termoregulaciji koja značajno doprinosi održanju homeostaze. Za termoregulaciju je zaduženo preoptičko područje u prednjem dijelu hipotalamusa.

U ovom radu pobliže su opisani kontrolni mehanizmi koji utječu na cjelokupnu homeostazu organizma, mehanizmi termoregulacije, tj. otpuštanja i stvaranja topline u tijelu sisavaca, odnosno endotermnih organizama. Također su navedena neka od najnovijih istraživanja vezanih uz ovu problematiku.

Broj stranica: 13

Broj slika: 5

Broj literaturnih navoda: 13

Jezik izvornika: hrvatski

Ključne riječi: termoregulacija, endotermija, hipotalamus, toplina

Rad je pohranjen u knjižnici Odjela za biologiju Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku i u Nacionalnoj sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu, u elektroničkom obliku, te je objavljen na web stranici za biologiju.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Josip Juraj Strossmayer in Osijek

Department of Biology

Bachelor thesis

Undergraduate study of Biology

Scientific Area: Natural science

Scientific Field: Biology

### HOMEOSTASIS AND TERMOREGULATION IN MAMMALS

Matea Dujmović

Mentor: doc. dr. sc. Sandra Ečimović

Homeostasis is the ability of an organism to maintain relatively constant internal conditions. If homeostasis is disrupted illness or death of the organism occur. Hypothalamus is very important at maintaining homeostasis - it communicates with endocrine glands via the nervous system. It is also important in thermoregulation of an organism, which contributes significantly to the maintenance of homeostasis. Preoptic area in the front part of the hypothalamus is responsible for the thermoregulation.

In the present thesis, control mechanisms which affect homeostasis of an organism, mechanisms of thermoregulation ie. heat releasing and generation in the body of a mammal, respectively endothermic organisms are described.

Number of pages: 13

Number of figures: 5

Number of references: 13

Original in: Croatian

Key words: thermoregulation, endothermy, hypothalamus, heat

Thesis deposited in Library of Department of Biology, University of J.J. Strossmayer Osijek and in National university library in Zagreb in elektronic form. It is also disposable on the web site of Department of Biology, University of J.J. Strossmayer Osijek.

## SADRŽAJ

1. Uvod.....	1
1.1. Kontrolni sustavi.....	1
1.2. Endotermija.....	2
2. Osnovni dio.....	3
2.1. Hipotalamus.....	3
2.2. Termoregulacija.....	5
2.2.1. Vrućica.....	7
2.2.2. Mehanizmi regulacije temperature.....	8
2.2.3. Termoregulacija različitih skupina sisavaca.....	9
3. Zaključak.....	12
4. Literatura.....	13

## 1. Uvod

Homeostaza je jedan od temeljnih principa u biologiji, a odgovoran je za održavanje stabilnih uvjeta u stanici ili organizmu, čime je omogućeno njihovo normalno funkcioniranje. U suštini, svi organi u tijelu obavljaju funkcije koje pomažu u održavanju stalnih uvjeta. Ispitivanje odstupanja od uobičajenih fizioloških vrijednosti u sisavaca odvija se putem sustava povratne sprege. Ispravljanje nepravilnosti ostvaruje se negativnom povratnom informacijom koja izvješćuje organ o nepravilnosti i rezultira promjenom načina djelovanja. Primjerice, ukoliko razina glukoze u krvi postane previsoka, gušterača odgovara pojačanom proizvodnjom inzulina kako bi ju snizila (Guyton i Hall, 2003).

Za održavanje homeostaze unutar organskih sustava, određeni faktori trebaju održati uski raspon vrijednosti u izvanstaničnoj tekućini. Npr. pH i temperatura koji ovise o konformaciji proteina, osmotski tlak koji ovisi o transportu, koncentracija metabolita koja ovisi o energiji i sl. Ta usklađenost doprinosi nesmetanom odvijanju staničnog metabolizma.

Na homeostatičko djelovanje utječu kontrolni sustavi u koje ubrajamo autonomni živčani i endokrini sustav. Ti sustavi sastoje se od senzora, efektora i kontrolora. Senzori su baro-, kemo- i termoreceptori, a efektori tkiva i organi. Senzori i efektori su u komunikaciji putem hormona i neurotransmitora. Hipotalamus kontrolira homeostazu na način da utječe na stvaranje određenih hormona, te značajno utječe na održavanje tjelesne temperature (Taradi, 2003).

### 1.1. Kontrolni sustavi

Da bi se mogao razumjeti pojam homeostaze, potrebno je naglasiti značaj kontrolnih sustava u organizmu jedinke. U tijelu sisavaca postoji na tisuće kontrolnih sustava koji mogu djelovati nadzirući unutarstanične ili izvanstanične funkcije, unutar organa ili na razini cijelog tijela nadzirući međusobne odnose organa. Svi oni imaju neka zajednička svojstva, a to su mehanizmi djelovanja (Guyton i Hall, 2003).

Većina kontrolnih sustava u tijelu sisavaca djeluje na temelju procesa negativne povratne sprege. Taj proces djeluje tako da ukoliko se u tijelu neki čimbenik poveća ili smanji, potaknut će u tijelu suprotnu reakciju u odnosu na početni podražaj s nastojanjem da se taj čimbenik vrati na određenu srednju vrijednost koja je organizmu optimalna i time se održava homeostaza. Osim negativne, postoji i pozitivna povratna sprega koja katkad

vodi u začarani krug (*circulus vitiosus*) pa čak i smrt. To se može objasniti na primjeru srca koje je crpka koja ima ustaljeni minutni volumen. Ukoliko jedinka krvarenjem naglo izgubi veliki volumen krvi, preostala količina u tijelu nije dovoljna da bi je srce djelotvorno izbacivalo. Zbog toga se snizuje arterijski tlak i u srčanom mišićju smanjuje se protok krvi kroz koronarne žile i još više oslabljuje srce. Pozitivna povratna sprega u određenim trenucima može biti i korisna, primjerice zgrušavanje krvi. Prekine li se krvna žila i dođe do stvaranja ugruška, u samom ugrušku aktiviraju se brojni enzimi koji signaliziraju aktivaciju enzima u okolnoj krvi da se ugrušak poveća dok se ne začepi otvor na krvnoj žili i zaustavi krvarenje.

Tijelo je organizirano u različite funkcionalne strukture od kojih svaka pridonosi svoj udio u održavanju homeostatskih uvjeta (Guyton i Hall, 2003).

## **1.2. Endotermija**

Osnovni izvor topline endotermnih organizama kemijska je energija koju iz tijela oslobađa metabolizam. Toplokrvne životinje također imaju određene prilagodbe u održavanju tjelesne temperature kao što su dlaka, perje, debeli sloj masti pod kožom, a hlađenje postižu putem znojenja, dahtanja, kondukcije, konvekcije i evaporacije. Specifična pojava kod ovih životinja su hibernacija ili estivacija, ovisno o podneblju u kojem organizam živi. Hibernacija je pojava pri kojoj se tjelesna temperatura organizma izjednačava s temperaturom okoline, usporava se metabolizam i dolazi do stanja poput sna. Odatle dolazi i termin „zimski san“. Hibernacija automatski prestaje povišenjem temperature okoline. Estivacija je također pojava usporavanja životnih procesa, ali izazvano previsokom temperaturom okoline. Postoje različiti mehanizmi termoregulacije koji će pobliže biti opisani u daljnjem tekstu (Web 5).

Održavanje stalne tjelesne temperature pri niskim temperaturama okoline odvija se sustavom kemijske termoregulacije, a pri visokim temperaturama sustavom fizičke termoregulacije.

Kemijska termoregulacija obuhvaća prilagodbu proizvodnje topline iz raspoloživih izvora energije, a fizička termoregulacija odvija se pomoću preraspodjele krvi između površine tijela i mišića i promjenama volumena krvi i minutnog volumena srca različitim spomenutim mehanizmima.

Količina proizvedene topline regulira se promjenom intenziteta kemijskih oksidativnih procesa. Tako npr. za hladna vremena toplina se stvara u mišićima koji drhte. Prednosti endotermije su povećana efikasnost kretanja (trčanje, let), lov plijena i izbjegavanja predatora

- fleksibilnost i izdržljivost što doprinosi superiornosti u osvajanju novih staništa i niša, ali i u obrani, veći uspjeh udvaranja i parenja, neovisnost od temperaturnih ekstrema kao i od sunca, produljenje perioda aktivnosti, korištenje aerobnog metabolizma za dobivanje energije. Endotermija nosi povećanu energetske cijenu no jedinka je unatoč tome na dobitku s obzirom na sve navedene prednosti (Web 7).

Također ovim načinom održavanja topline uz prednosti dolaze i mane, a to su kao već spomenuto povećane potrebe za energijom, čak 5-10 puta (pri 38°C), hrana koja je potrebna često i treba je u većim količinama, što u konačnici predstavlja „skupo“ održavanje bazalnog metabolizma. Tako na primjer čovjek troši 1300-1800 kcal/dan, dok nekim ektotermima bazalni metabolizam troši samo 60 kcal/dan. Nadalje, prisutna je povećana osjetljivost na toplinski stres te potrošnja i potreba za kisikom, a tolerancija velikih raspona vanjskih temperatura ipak je bolja u ektoterma (Web 9).

## **2. Osnovni dio**

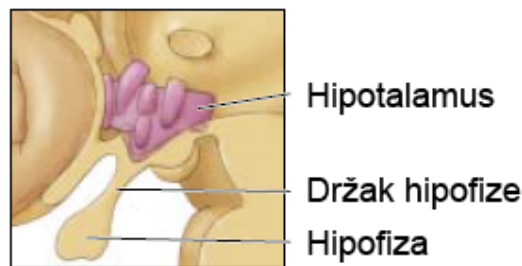
### **2.1. Hipotalamus**

Poznato je da endokrini sustav odgovara na stresore kako bi održao homeostazu organizma.

Kad govorimo o neuroendokrinom odgovoru, govorimo o komunikaciji središnjeg živčanog sustava s endokrinim žlijezdama. Uzima se da su to u najviše slučaja hipotalamus, hipofiza te periferni žičani sustav. Hipotalamus je bilateralno simetrični dio donjeg mozga iznad hipofize (Slika 1). Na najnižem dijelu hipotalamusa nastavlja se drška hipofize. Aksoni parvicelularnih neurona hipotalamusa prolaze kroz dršku hipofize i ispuštaju hormone u mrežu kapilara te djeluju na hipofizu. "Termostatsko" područje hipotalamusa, koje nazivamo preoptičkim područjem, otkriva sve promjene tjelesne temperature preko termoreceptora i šalje impulse u centar za gubitak ili centar za poboljšanje tjelesne temperature (oba se nalaze u hipotalamusu). Ova područja dalje upućuju živčane impulse, uzrokujući toplinske promjene u tijelu (Junqueira, Carnerio, Ro Kelley, 2005).



## Hipotalamus i hipofiza



Slika 1. Smještaj hipotalamusa (web 1).

Termoregulacija se uglavnom provodi povratnom spregom preko živčanog sustava, prvenstveno preko termoregulatornih centara u hipotalamusu. Kako bi taj mehanizam djelovao, potrebni su detektori temperature koji osjećaju promjene u temperaturi i određuju kada je postala previsoka ili preniska. Anteriorno preoptičko područje hipotalamusa sadrži velik broj neurona osjetljivih na toplinu i nešto manji broj neurona osjetljivih na hladnoću. Kad se centar za nadzor tjelesne temperature, odnosno preoptičko područje prednjeg hipotalamusa zagrijava ili podražuje strujom, šalje signale preko autonomnog živčanog sustava do znojnica koje počinju sintetizirati i lučiti znoj, potiče se gubitak topline i inhibira se njena dodatna proizvodnja, temperatura se vraća na normalnu razinu, a također je zakočena termogeneza. Iako nemaju simpatičku inervaciju, žlijezde podražuju kolinergična vlakna, u krvi cirkulirajući adrenalin i noradrenalin. Hipotalamus nadzire temperaturu tijela, posebice preoptičko područje hipotalamusa te ima ulogu senzora za temperaturu i tri puta je osjetljiviji od termoreceptora (Hall, 2016).

Postoje stanice osjetljive na povećanje temperature i na sniženje temperature, a reagiraju povećanjem odašiljanja impulsa. Većina živaca osjetljivi su na toplinu, a manji dio na hladnoću. Zagrijavanjem tih moždanih područja ubrzano se počinje otpuštati toplina iz tijela, a hlađenjem se zakoči svaki mehanizam gubljenja topline. Na periferiji je puno više receptora za registraciju hladnoće i svi djeluju na hipotalamus. Koža također sudjeluje u regulaciji temperature jer posjeduje receptore i za toplo i za hladno, kojih je oko deset puta više nego onih za toplo; zato se periferno primjećivanje odnosi na hladno i ledeno, a ne toplo. Hladi li se površina kože, refleksno dolazi do vazokonstrikcije, drhtanja i zaustavlja se dahtanje ili proizvodnja znoja. S obzirom da se u koži nalazi znatno više receptora za hladnoću od onih za toplinu, može se zaključiti kako je glavni zadatak perifernih termoreceptora detekcija pada temperature, odnosno hipotermije. Signali iz preoptičkog područja prenose se u stražnji dio hipotalamusa gdje se integriraju, a kad se jedinka pregrije dolazi do vazodilatacije u koži zbog inhibicije simpatičkih središta u stražnjem dijelu

hipotalamusa. Kod pothlađivanja dolazi do sustavne vazokonstrikcije pod djelovanjem hipotalamusa, te se dlake nakostriješe. To je značajan refleks u životinja, odnosno sisavaca, a u čovjeka je to atavistički refleks i nema važnosti osim ako netko nije iznimno dlakav ili ima hipertriozu (Kovač, Gamulin, 2011).

Toplinski receptori postoje i u dubokim tkivima i leđnoj moždini i izloženi su temperaturi unutarnjih organa te su oni više osjetljivi na hladno nego na toplo. Obostrano u stražnjem hipotalamusu na razini mamilarnih tjelešaca nalazi se stražnje hipotalamičko područje koje integrira centralne i periferne toplinske osjete. Povećanje razine metabolizma događa se s ciljem termogeneze.

Područje hipotalamusa za drhtanje smješteno je dorzomedijano blizu trećeg moždanog ventrikula i podražuju ga receptori na hladno iz kože i leđne moždine i zakočen je signalima iz preoptičkog područja. Signali putuju bilateralno, lateralnom kolumnom do motoneurona i povećava se tonus mišića te mijenja odgovor refleksa vretena na kontrakciju i istežanje, dok simpatikus kemijski pojačava termogenezu.

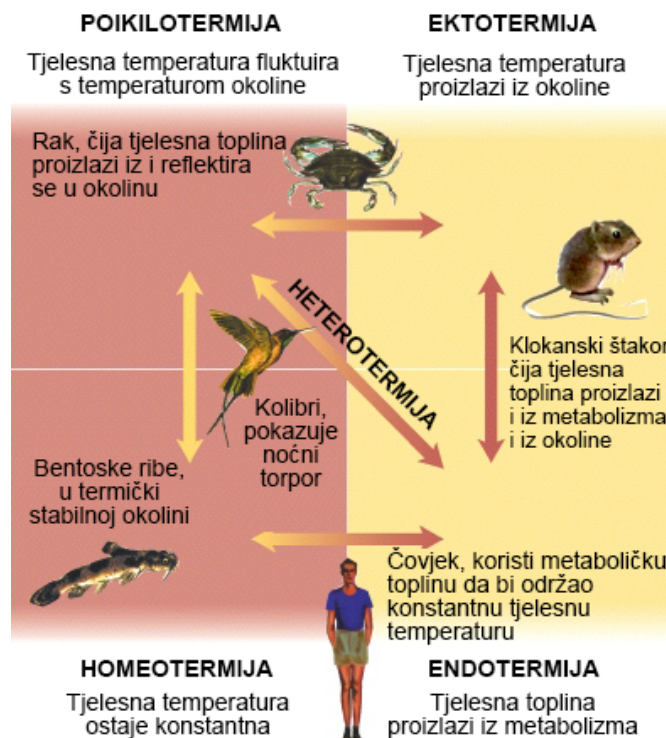
Za vezanje tiroksina odgovorna je bjelančevina globulin koja potiče stalni metabolizam i može doći do hipertrofije gušterače. Protok krvi može se kontrolirati i lokalno vazodilatacijom i vazokonstrikcijom pod utjecajem lokalnog grijanja ili hlađenja kože.

Sustav štitne žlijezde (os hipotalamus–hipofiza–štitnjača, HPT sustav) ima veliku ulogu u održavanju tjelesne regulacije metabolizma. Hormon koji utječe na štitnu žlijezdu nastaje u prednjem režnju hipofize, a naziva se tireoidni-stimulirajući hormon (TSH) i također je reguliran utjecajem hipotalamusa. Kako se pozitivne promjene koncentracije tijekom hladnih uvjeta događaju kod manjih životinja, smatra se da zbog njihove manje mase dolazi do brže promjene temperature a time i do brže reakcije na promjenu. Kod neuhranjenosti aktivnost štitne žlijezde opada (R. K. Murray i sur., 2011).

## 2.2. Termoregulacija

Termoregulacija je sposobnost organizma da održi toplinu tijela unutar određenih granica čak i ukoliko je temperatura okruženja uvelike drukčija. Ona je jedan od osnovnih uvjeta održavanja homeostaze toplokrvnih životinja. Osnovna podjela po načinu održavanja tjelesne temperature dijeli životinje na homeotermne i poikilotermne. U homeotermne se ubrajaju sisavci i ptice, a njihova tjelesna temperatura varira u rasponu svega nekoliko stupnjeva Celzijevih. S druge strane, tjelesna temperatura poikilotermnih organizama može se mijenjati u širokom rasponu pod utjecajem temperature okoline u kojoj se nalaze.

Postoji i suvremenija podjela nastala zbog nemogućnosti svrstavanja mnogih vrsta u okvire navedene osnovne podjele. Suvremenija podjela dijeli organizme na endotermne, ektotermne i heterotermne (Slika 2). Ptice i sisavci spadaju u endotermne organizme koji su sposobni proizvesti vlastitu toplinu. Ektotermni organizmi imaju tjelesnu temperaturu poput okoline u kojoj se nalaze, a heterotermni uglavnom nemaju sposobnost reguliranja tjelesne temperature u uskom rasponu, no mogu imati različite stupnjeve endotermičkog stvaranja topline (Taradi, 2003).



Slika 2. Načini održavanja tjelesne temperature (web 2).

Tjelesna temperatura većine sisavaca kreće se u rasponu od 35 do 40°C. U zdrave jedinke, temperatura unutrašnjosti tijela održava se u rasponu od +/- 6°C, dok se temperatura kože

mijenja ovisno o promjenama vanjske temperature. Osim o vanjskoj temperaturi, tjelesna temperatura raste i pada ovisno o radu koji jedinka obavlja. Pri teškom fizičkom radu temperatura raste, a pri izlaganju niskim temperaturama pada.

Toplina koja direktno utječe na temperaturu tijela nusprodukt je metaboličkih procesa u tijelu i ovisi o bazalnom metabolizmu, mišićnom radu, povećanju metabolizma tiroksinom i testosteronom, dodatnom povećanju adrenalinom i noradrenalinom i simpatičkim stimulacijama. Uobičajena je i pojava dodatnog povećanja topline kao rezultat povećanja intenziteta metabolizma i termogenog učinka određenih namirnica unesenih hranjenjem. Brzina gubljenja topline ovisi o tome koliko brzo se toplina odvodi od mjesta proizvodnje i koliko brzo se gubi s mjesta isijavanja u okoliš, najvećim dijelom putem kože i pluća. Koža, a posebice masno tkivo dobar je izolator jer provodi samo jednu trećinu energije koje provode druga tkiva.

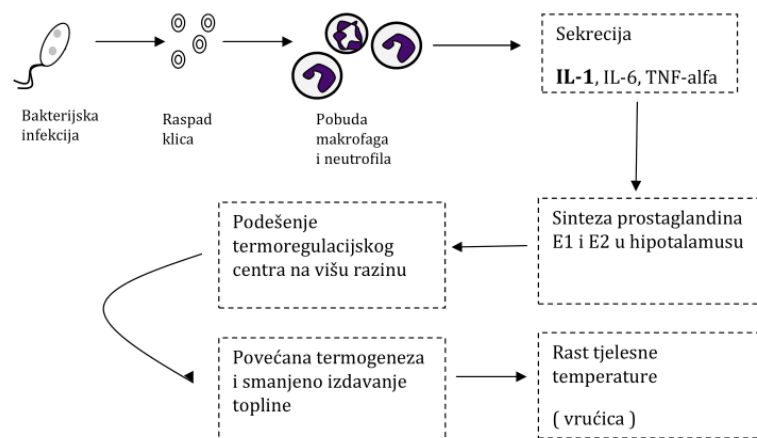
Vensko-arterijske anastomoze u dermisu na najizloženijim dijelovima kože preko regulacije venskog dotoka reguliraju gubitak topline. Vazodilatacijom malih kapilar povećava se gubitak topline preko kože; simpatikus nadzire vazokonstrukciju venula, a time izravno i gubitak topline (Taradi, 2003).

### **2.2.1. Vrućica**

Pirogene tvari (npr. lipopolisaharidi iz bakterija) mogu dovesti do vrućice uzrokovane citokinima koje luče leukociti kao rezultat infekcije. Prilikom infektivnih stanja nastupa lučenje IL-1, IL-6 i TNF- $\alpha$  iz pobuđenih imunskih stanica koji djeluju na termoregulacijsko središte i dolazi do podešenja centra na višu temperaturu.

IL-1 naziva se i leukocitni pirogen jer je glavni citokin koji podiže tjelesnu temperaturu. Djeluje u hipotalamusu tako što potiče termogenetske centre zajedno s bakterijskim endotoksinom u koncentracijama  $10^{-10}$ g. Potiče vrućicu posredno preko prostaglandina E2. Vrućica se može sniziti tvarima koje koče sintezu prostaglandina – antipireticima. Do nje osim infektivnog stanja može doći i drugim putevima, npr. zbog oštećenja hipotalamusa, toplinskog udara, zloćudne bolesti, oštećenja tkiva (nekroze, raspada stanica), odnosno svakim podražajem koji bi mogao pobuditi imunostanice na lučenje endogenih pirogena, a pojava vrućice pokreće sve mehanizme za regulaciju temperature (Slika 3).

Slika 3. Prikaz nastanka vrućice i tjelesna reakcija.



Zimica nastaje kao rezultat značajnog rasta temperature kad točka podešenosti postane niža i vazokonstrikcije u koži te traje dok se hipotalamička točka ravnoteže ne pomakne na temperaturu točke podešenosti. Kad temperatura padne na razinu smrzavanja tkiva, dolazi do paralize glatkih mišića i vazodilatacije. To je krajnji obrambeni mehanizam od ozeblina, a izražen je u životinja (Međedović, Maslić, Hadžiselimović, 2000).

### 2.2.2. Mehanizmi regulacije temperature

U okviru mehanizama regulacije temperature razlikuju se mehanizmi sniženja i povišenja tjelesne temperature. U mehanizme sniženja temperature ubrajaju se vazodilatacija u koži do koje dolazi inhibicijom djelovanja simpatikusa, znojenje – iznad točke podešenosti naglo se povećava, a dodatno povišenje za 1°C povećava znojenje odnosno dahtanje čak do deset puta. Mehanizmima ove vrste također pripada i smanjenje stvaranja topline smanjenim drhtanjem i kemijskom termogenezom.

S druge strane pod mehanizme povišenja temperature podrazumijevaju se vazokonstrikcija u koži cijelog tijela, piloerекcija koje ima ulogu jedino kod sisavaca i povećana termogeneza – metabolizmom se povećava stvaranje topline (simpatikus, tiroksin).

Dorzomedijalni dio stražnjeg hipotalamusa aktivira se padom tjelesne temperature, a normalno je inhibirano signalima iz toplinskog centra. Potaknuto je obavijestima iz receptora za hladno u koži i leđnoj moždini. Aktivira se već pri malim padovima temperature. Signali za drhtanje putuju iz tog područja bilateralnim putovima niz moždano deblo u lateralne moždane kolumne do prednjih motoneurona. Dolazi do povećanja tonusa skeletnih mišića u cijelom tijelu, a drhtanje započinje kada se tonus poveća iznad određene kritične razine. Točka podešenosti je ona temperatura na koji se vraća temperatura nakon njenog povišenja ili

sníženja, optimalna temperatura određenog organizma, a svi mehanizmi termoregulacije nastoje vratiti tjelesnu temperaturu na tu vrijednost (Bradfield, Potter , 2009).

Osim što sisavci toplinu proizvode drhtanjem, također postoji i način stvaranja topline tzv. „*nonshivering thermogenesis*“ (NST) koji je karakterističan za životinje kod kojih nalazimo smeđe masno tkivo bogato mitohondrijima. Mitohondriji na unutrašnjoj membrani imaju protein termogenin koji omogućuje protonima vraćanje u matriks bez prethodnog prolaska kroz FoF1 kompleks, čime se energija oksidacije masti ne koristi za proizvodnju ATP-a, već za stvaranje topline (Nelson i Cox, 2013). Noradrenalin signal iz simpatičkog sustava stimulira smeđe masno tkivo i potiče oksidaciju zaliha masnih kiselina i proizvodnju topline. NST je karakterističan za odrasle jedinke koje nastanjuju hladna područja, životinje koje hiberniraju i većinu mladunčadi, uključujući ljudsku novorođenčad (Hill i sur., 2012).

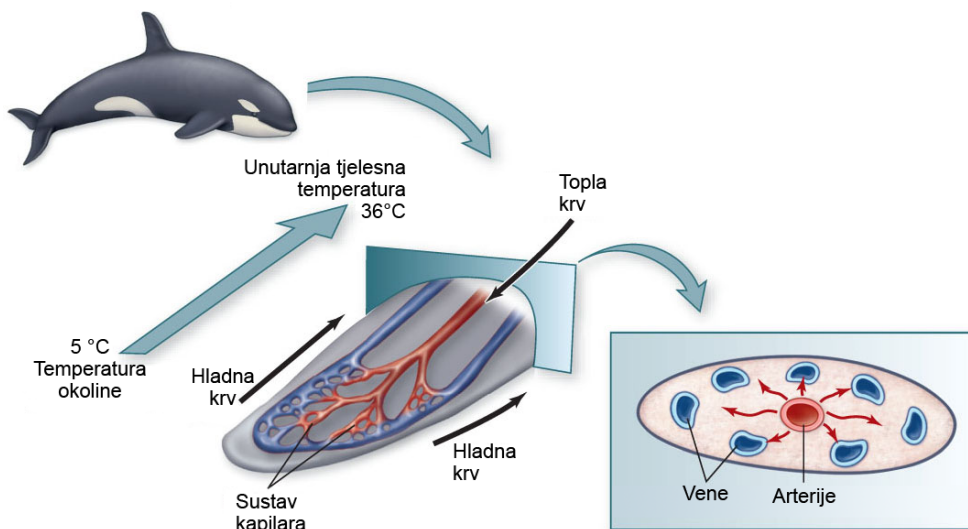
### **2.2.3. Termoregulacija različitih skupina sisavaca**

Dio termoregulacije odnosi se i na bihevioralne mehanizme koji su ponajbolje proučeni kod slonova. Njihova veličina otežava gubitak viška topline jer imaju znatno manju površinu u odnosu na volumen u usporedbi s manjim organizmima, stoga je izuzetno važno spriječiti dodatno primanje temperature. Slonovi stoga izbjegavaju boravak na suncu i traže hlad. Ukoliko nema hlada, ulaze u vodu ili se njome polijevaju koristeći surlu, a često je i posipanje pijeskom ili zemljom (Web 9).

Sisavci u odnosu na druge organizme imaju ubrzan metabolizam u koji je uključena velika količina energije, a toplina koja se oslobađa metaboličkom aktivnošću zaslužna je za grijanje tijela. Kopneni sisavci imaju pokrov od dlaka koji hvata oslobođenu metaboličku toplinu i drži je zarobljenom u prostoru između dlaka te se tako reducira gubitak topline. U slučaju pada temperature piloerekcijski mišići podižu dlake te se zarobi sloj nepokretnih molekula zraka i onemogućuje se gubitak topline (Hill i sur., 2012). Takav pokrov djeluje na zraku, ali u vodi gubi svoju funkciju. Sisavci poput vidre ili dabra, koji ne provode cijeli život u vodi, imaju krzno koje odbija vodu. Kako bi se to svojstvo zadržalo, moraju često izlaziti na kopno i timariti krzno (Pough i sur., 2013).

Postoji nekoliko skupina sisavaca koji su potpuno prilagođeni životu u vodi. To su red kitova (Cetacea) i red perajara (Pinnipedia). Te skupine za toplinsku izolaciju umjesto krzna koriste debeo sloj vaskulariziranog masnog tkiva. Taj je sloj toliko dobar izolator da životinjama prijeti opasnost od pregrijavanja pri napornim fizičkim aktivnostima čak i dok su u vodi. Vodeni sisavci u perajama imaju protustrujne izmjenjivače topline kako bi mogli

kontrolirati zadržavanje, odnosno otpuštanje topline (Slika 4). Velike tanke površine poput peraja idealno su mjesto za izmjenu topline s okolinom, tj. za gubitak topline. Iz tog razloga je krv koja se venama vraća iz peraja hladnija, blizu temperature okoline. Ukoliko životinja treba zadržati toplinu, krv će se iz peraja vraćati onim venama koje prolaze blizu arterija. Hladna venska krv ugrijat će se prolazeći blizu tople arterijske te će biti temperature blizu onoj tijela kad stigne do trupa. U tom će se procesu arterijska krv koja ide prema perajama ohladiti, pa će se smanjiti i gubitak topline kroz peraje. Sličan mehanizam se koristi i kad je potrebno riješiti se viška topline, npr. pri intenzivnoj tjelesnoj aktivnosti. Tada će se krv koja ide od peraja prema trupu prenositi površinskim venama, čime se izbjegava izmjena topline između venske i arterijske krvi. Arterijska krv koja doprije do peraja i dalje će biti topla, što pogoduje izmjeni topline s vodom te će se višak topline na ovaj način izgubiti (Pough i sur., 2013).



Slika 4. Protustrujni izmjenjivač topline (web 3).

#### 2.2.4. Izdavanje topline

Postoje različiti načini na koje jedinka može okolini predavati svoju tjelesnu toplinu. U njih ubrajamo zračenje, odnosno radijaciju koja je značajan način izdavanja topline jer

jedinka može gubiti čak do 60% topline zračenjem u dalekom spektru, a toplina se gubi u obliku infracrvenih toplinskih zraka u svim smjerovima.

Vođenje, odnosno kondukcija način je izdavanja topline pri kojem se na druge predmete ili jedinke predaje oko 3% topline. Ako je zrak hladniji od površine kože, znatno veći dio energije od oko 15% prenosi se na njega. Kondukcija prestaje izjednačavanjem temperatura tijela i vodiča (Katzung, 2011).

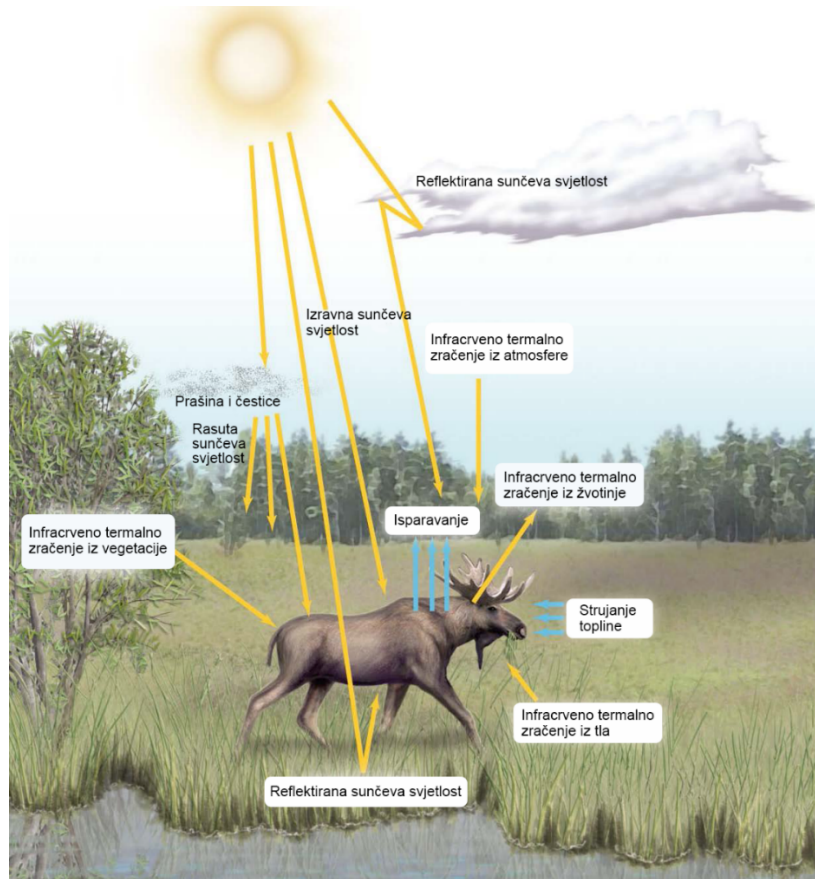
Strujanje, tj. već spomenuto gubljenje topline strujanjem zračnih struja (15%) također je jedan od navedenih načina. Ukoliko zrak struji, stalno se održava sloj hladnog zraka uz kožu i gubi se velika količina energije. Slično tome, postoji i hlađenje vjetrom – učinak pri malim brzinama razmjernan je kvadratnom korijenu brzine vjetra. Kod čovjeka odjeća, a kod životinja krzno čuva ovoj toplog zraka oko tijela i ne dopušta vjetru da ga otpuše i time odnese toplinsku energiju.

Vođenje i strujanje u vodi pojava je pri kojoj se uz kožu ne može stvoriti tanki izolacijski sloj jer je konduktivnost vode velika i stalno se gubi toplina, stoga je gubljenje topline puno veće nego na zraku.

Evaporacija je isparavanje vode s površine kože i pluća te je značajna više za čovjeka nego ostale sisavce zbog nedostatka krzna. Za isparavanje 1g vode potrebno je 2,5 kJ topline. Kad se jedinka ne znoji, i dalje postoji neosjetno isparavanje od 600-700 mL/dan koje nije pod utjecajem regulacijskih mehanizama. S druge strane, postoji i pojava isparavanja pri visokim temperaturama, gdje svako stanje koje pri temperaturama višim od tijela zaustavlja isparavanje te dolazi do povišenja tjelesne temperature (Slika 5). Mehanizam se temelji na prijelazu topline s tijela veće temperature na tijelo manje temperature. Znoj isparavanjem odvodi energiju od kože i sprječava pregrijavanje, a jedinke kojima nedostaju znojne žlijezde mogu doživjeti toplinski udar. Iznad 37°C, evaporacija je jedini fiziološki oblik otpuštanja tjelesne topline (Taradi, 2003).

Sisavci poput karnivora koji nemaju znojnice hlade se dahtanjem jer se voda koja nosi energiju iz pluća ne resorbira. Mehanizam je najbolje proučen kod pasa; brzim plitkim udisajima i izdisajima tjeraju zrak preko vlažnih mukoznih površina i jezičnog žilnog spleta koji dodatno hladi krv. Tijekom disanja zrak se vlaži i uzima toplinu s unutarnjih površina usne i nosne šupljine, čime se tijelo hadi. Podražaj za dahtanjem dolazi iz centra za dahtanje u ponsu (mostu), a dahtanjem se ne povećava alveolarna ventilacija zbog plitkosti disanja (Cossins i Bowler, 1987; Hill i sur., 2012).





Slika 5. Kruženje topline između organizma i okoline (web 4).

### 3. Zaključak

Održavanje homeostatskih uvjeta u organizmu u interesu je svake jedinke, što uključuje velik broj usklađenih mehanizama. Jedna od važnih uloga homeostaze je termoregulacija.

Tijekom evolucije, organizmi su razvijali i usavršavali načine termoregulacije u odnosu na svoju okolinu i način života. Za sisavce je karakteristična endotermija za koju je karakteristično stvaranje topline unutar organizma. Ovakav način održavanja tjelesne temperature zahtjeva značajno veći utrošak energije, ali pogodnosti su dovoljno brojne da je on u konačnici isplativ. Upravo zbog tog i nekih drugih parametara, sisavci su trenutno dominantna skupina životinja na svijetu.

U skupinu sisavaca pripada i čovjek, koji se u pogledu termoregulacije nešto razlikuje od ostalih sisavaca zbog gustog dlačnog pokrova koji je osnovna značajka sisavaca, a u čovjeka se gubi. Uloge hlađenja preuzima znojenje umjesto dahtanja kod kopnenih sisavaca. Ipak, unatoč razlikama, brojniji su zajednički mehanizmi čovjeka i ostalih sisavaca.

## 4. Literatura

Bradfield P., Potter S. 2009. *Edexcel IGCSE Biology*: Student book, Pearson Education, ISBN 9780435966881.

Međedović S., Maslić E., Hadžiselimović R. 2000. *Biologija 2*. Svjetlost, Sarajevo, ISBN 9958-10-222-6.

Guyton A. C., Hall J. E. 2003. urednici hrvatskog izdanja Sunčana Kukolja Taradi i sur.; [prevoditelji Igor Andreis i sur.]: *Medicinska fiziologija*, Medicinska naklada, Zagreb

Taradi M. 2003. *Priručnik za vježbe iz fiziologije čovjeka*, Medicinska naklada, Zagreb

Murray R. K., Bender D. A., Botham K. M., Kennelly P. J., Rodwell V. W., Weil P. A. 2011. *Harperova ilustrirana biokemija*, prijevod 28. izdanja; Medicinska naklada, Zagreb

Junqueira L. C., Carnerio J., Ro Kelley 2005. *Osnove histologije*, 10. izdanje, Školska knjiga, Zagreb

Kovač Z., Gamulin S. 2011. *Patofiziologija*, 7. dopunjeno i izmijenjeno izdanje, Medicinska naklada, Zagreb

Katzung B. 2011. *Temeljna i klinička farmakologija*, 11. izdanje, McGraw Hill, New York, prijevod na hrvatskom jeziku

Colledge N. R., Walker B. R., Ralston S. H. 2010. *Davidson's Principles and Practice of Medicine*, 21st edition with student consult online access

Web izvori:

1. url - <https://i.ytimg.com/vi/UFtBk7QZTP8/hqdefault.jpg>

2. url -

<http://home.sandiego.edu/~gmorse/2011BIOL221/studyguidefinal/thermoregulation.jpg>

(4.9.2017.)

3. url - <http://slideplayer.com/slide/4651279/15/images/6/Ectotherms.jpg>

4. url -

[https://classconnection.s3.amazonaws.com/501/flashcards/6241501/png/screen\\_shot\\_2014-09-29\\_at\\_102246\\_am-148C1CAF6144F45C994.png](https://classconnection.s3.amazonaws.com/501/flashcards/6241501/png/screen_shot_2014-09-29_at_102246_am-148C1CAF6144F45C994.png)

5. url - <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=67256>

6. url - <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=18435>

7. url - <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=60988>

8. url - <https://geek.hr/znanost/clanak/homeostaza/>

9. url - [http://zaf.biol.pmf.unizg.hr/anphys/pdf/06\\_ES.pdf](http://zaf.biol.pmf.unizg.hr/anphys/pdf/06_ES.pdf)

10. url - <http://www.mef.unizg.hr/if/handouti/termonl/>