

## MECANISMUL REALIZĂRII ECHILIBRULUI TERMIC ÎNTRE ORGANISMUL HOMEOTERM ȘI TEMPERATURA VARIABILĂ A MEDIULUI EXTERN

Liuba BUDEANU

Catedra Biologie Umană și Animală

The present paper deals with the interconnection of the thermic equilibrium between the homeothermic organism and the changing temperature of the external medium. It is also mentioned that the constant maintenance of the body temperature at homeothermic animals is the result of equilibrium between the thermogenetic and thermolytic processes. The production of heat in a human organism in repose, takes place at the thoracic-abdominal organs level and in the cranium. The main mechanism of temperature is also pointed out.

Reglarea temperaturii corporale este o funcție deosebit de importantă pentru organismele homeoterme, deoarece se asigură viteza, armonia și echilibrul reacțiilor chimice din metabolism.

Menținerea constantă a temperaturii corporale centrale la animalele homeoterme este rezultatul echilibrului între procesele termogenetice și termolitice. Producerea caldurii într-un organism uman în repaus are loc, în cea mai mare cantitate, la nivelul organelor viscerale toraco-abdominale și în cutia craniană, deoarece anume ele realizează termogeneza centrală. În repaus, organele interne participă cu 70% la întreaga producție calorică a corpului. Ficatul produce aproximativ 20% din căldura corpului, motiv pentru care temperatura sângelui, care părăsește ficatul prin venele suprahepatice, depășește cu 1-2°C temperatura rectală. Restul căldurii se produce în musculatură și în tegument: acestea sunt producătoare periferice de căldură. În repaus, valoarea căldurii produse de periferie, mușchi și piele este de 20%. În efort fizic, producătorul principal de căldură devine musculatura. Datorită acestui fapt, proporția calorigenezei între nucleul intern, visceral, care asigură producerea de căldură în zona centrală și cea periferică, cu mușchii activi, se schimbă în favoarea celor din urmă.

Cele două zone, nucleul și periferia, se comportă diferit în termoreglare: nucleul, zona centrală, are o temperatură constantă, iar periferia este variabilă. Astfel, când organismul homeoterm este răcit, prin mecanisme reglatorii se reduce și temperatura pielii și, prin aceasta, deperdiția de căldură. Când temperatura ambiantă crește, se mărește și temperatura tegumentului, asigurându-se o deperdiție termică crescută. Periferia constituie astfel o manta de protecție cu rol în menținerea constantă a temperaturii centrale. În acest proces un rol important revine circulației cutanate [7,15].

Producerea de căldură, sau termogeneza, la un animal homeoterm are valori minime în zona de neutralitate termică. Pentru omul îmbrăcat aceasta este între 20-22°C, iar pentru cel dezbrăcat – între 26-30°C. Producerea de căldură în această zonă asigură cheltuielile energetice bazale.

Dacă temperatura ambiantă scade, așa cum a demonstrat încă Rubner, organismul nu reacționează numai prin vasoconstricție periferică, cu reducerea deperdiției de căldură, ci și prin intensificarea termogenezei. Metabolismul poate să crească de câteva ori peste valoarea bazală în cursul expunerii la rece, proporțional cu scăderea temperaturii ambiante. Producerea de căldură crește atât în zona centrală (nucleu), cât și la periferie, prin mărirea tonusului muscular și prin frison termic. În producerea de căldură la frig intervin și mișcările active, voluntare; în cursul expunerii la frig producerea de căldură nu crește exclusiv în musculatură, ci și în viscere.

Intensificarea termogenezei la scăderea temperaturii ambiante începe la acea valoare la care mecanismele reglării fizice a deperdiției de căldură nu mai pot asigura menținerea temperaturii centrale. Astfel, se stabilește temperatura critică, temperatura ambiantă maximă, la care se declanșează termoreglarea chimică, prin creșterea termogenezei. Temperatura critică reprezintă valoarea limită inferioară a zonei de neutralitate termică. Ea este diferită pentru speciile animale, în raport de zona geografică în care acestea s-au dezvoltat, și depinde de dezvoltarea țesutului adipos și de gradul de acoperire a tegumentelor. În efort fizic calorigeneza crește de 20 de ori. Calorigeneza nu poate fi redusă sub valorile bazale. Expunerea într-un mediu cu temperatura superioară a zonei de neutralizare metabolică sau termică (peste 30°C) determină, dimpotrivă, ca urmare a creșterii temperaturii centrale, o reacție ce constă în activarea circulației cu creșterea debitului circulator și mărirea frecvenței respiratorii, care reclamă intensificarea cheltuielilor energetice. Creșterea acestor funcții asigură termoliza. Pentru fiecare 1°C, de creștere a temperaturii centrale corporale, consumul de oxigen crește cu 20% din valoarea bazală. Creșterea nu este pasivă, exclusiv prin încălzirea din afară, întrucât la animalele tiroidectomizate amplitudinea ei este mai redusă. Deci, în creșterea metabolismului în cursul hipertermiei participă mecanisme de reglare activă [1,2,7,13].

În condiții obișnuite de ambianță termică, mecanismul principal al pierderii căldurii corporale este *iradierea*, urmată de *evaporare* și de *convecție*. Ordinea menționată se poate schimba esențial în diferite condiții, cum ar fi: frig puternic, căldură excesivă, umiditate ridicată.

Pierderea de căldură a unui organism homeoterm se realizează prin următoarele procese fizice.

Cedarea căldurii prin radiație este cu atât mai mare, cu cât mai joasă este temperatura mediului înconjurător. Obiectele cu temperaturi diferite fac schimb de căldură, chiar dacă se află la distanță. Astfel, prin radiație, se transferă căldura între două obiecte, între care nu există un contact direct. Firește, această corelație este valabilă și pentru corpul uman în raport cu orice alt corp. În apropierea unei suprafețe mai reci, corpul omului pierde căldura prin radiație negativă, iar dacă alături se află o suprafață mai caldă decât cea a corpului, el va primi căldura prin radiație pozitivă. Prin urmare, factorul principal, care influențează schimbul de căldură prin radiație între două corpuri, este mărimea diferenței de temperatură dintre ele. În condiții obișnuite de viață, cea mai mare parte de căldură se pierde prin radiații (aproximativ 40-45% din cantitatea totală de căldură). Un om, ale cărui cheltuieli energetice sunt de 2600 kcal/24 h, pierde prin iradiere 1200 kcal dacă este îmbrăcat și 1800 kcal dacă este dezbrăcat. Tegumentul uman emite radiații electromagnetice, îndeosebi din zona infraroșie, sub formă de fotoni. Cele mai multe raze infraroșii emise de tegument au lungime de unde de 5-20  $\mu$  (față de 0,4-0,8  $\mu$  în spectrul vizibil). Emisia tegumentului crește cu temperatura acestuia. Radiațiile emise sunt absorbite de corpurile solide și lichide din mediul înconjurător. Orice corp care emite radiații are și proprietatea de a le absorbi. În așa fel, corpul uman, plasat în apropierea unei sobe, absoarbe circa 97% din radiațiile proiectate pe tegument. Emisivitatea suprafeței corporale este raportul dintre energia incidentă absorbită și energia radiantă, maximum posibil emisă efectiv. Când acest raport este 1, în cazul corpului negru ideal, acesta absoarbe toată energia și emite maximum de radiații la temperatura dată. Tegumentul uman are o emisivitate apropiată de cea a corpului negru ideal, și anume – de 0,95; majoritatea radiațiilor produse fiind infraroșii, culoarea pielii nu influențează iradierea; pielea neagră reduce absorbția cu 36% [3,4,12].

Conducția reprezintă pierderea directă a căldurii din tegument, prin contact direct al acestuia cu un corp solid având temperatura inferioară (scaun, pat etc.). Îmbrăcămintea constituie pentru om un bun izolator termic, care reduce conductibilitatea calorică tegument-corpuri solide înconjurătoare.

Pierderea căldurii prin convecție se produce datorită stratului de aer care se găsește în contact cu suprafața corpului. Aerul ce vine în contact cu corpul cald primește direct de la acesta căldură; odată încălzit, conform unor legi fizice, densitatea sa scade. Prin scăderea densității stratul de aer devine mai ușor și se deplasează în sus, fiind înlocuit de alt strat de aer, mai rece, respectiv mai dens, care va urma aceeași cale. Convecția ajută la dispersia căldurii de pe suprafața corpului cald, în funcție de o serie de proprietăți ale aerului. Astfel, cedarea căldurii are loc datorită încălzirii și deplasării aerului ce vine în contact cu corpul și înlocuirii lui cu aer mai rece. Corpul care are o temperatură mai ridicată decât cea a aerului pierde de pe suprafața sa o parte din căldură datorită circulației moleculelor din aer cu care vine în contact. Pentru ca pierderea de căldură prin acest mecanism să se producă, este necesar ca temperatura aerului să aibă valori mai mici decât ale temperaturii suprafeței corpului, adică a pielii. Când temperatura aerului are aceleași valori, pierderea nu se mai produce, iar dacă aerul este mai cald decât corpul, în loc să piardă, corpul începe să câștige căldură. Mișcarea aerului influențează, de asemenea, pierderea de căldură a organismului prin convecție în sensul creșterii ei. Între viteza curenților de aer și intensitatea pierderii de căldură prin convecție există o relație strânsă. Aproximativ 12% din căldura corporală se pierde prin convecție. Pierderile cresc foarte mult în cazul expunerii organismului la curenții de aer rece. Pierderea prin convecție se realizează și în cazul imersiunii, apa, ca și aerul, fiind fluidă. Din cauza căldurii specifice mari a apei (1,00) față de cea a aerului (0,17-0,24), pierderile de căldură, prin convecție, ale unui om ce înoată în apă rece cresc la 20°C aproximativ de 200 de ori față de pierderile în aer. De aceea, în apă rece pot înota doar oamenii cu un depozit mărit de grăsimi subcutanată. Prin convecție și conducție se pierd aproximativ 800 kcal în 24 de ore.

Pierderea căldurii prin evaporare este condiționată de prezența transpirației pe suprafața corpului și de posibilitatea evaporării acesteia în aerul înconjurător. Cantitatea lichidului eliminat de organism prin transpirație depinde de temperatura mediului înconjurător, de efortul fizic depus, de felul îmbrăcămintei și de gradul de antrenament.

Mecanismul de pierdere a căldurii prin evaporare este precedat de fenomenul fiziologic al secreției sudorale. Deoarece pielea și mucoasele organelor respiratorii sunt totdeauna umede, evaporarea constituie un proces de bază în pierderea căldurii de către corpul uman. Fenomenul poate fi ușor înțeles dacă luăm în considerație că un gram de apă, pentru a trece din stare lichidă în stare gazoasă, consumă peste 580 calorii mari [1,2,4,6,14].

La temperatura aerului de 20°C omul nu transpiră propriu-zis, însă, din cauza evaporării lichidului fiziologic ce umidifică pielea și mucoasele, se pierd circa 20-25% din totalul căldurii cedate de către organism mediului înconjurător.

Procesul evaporării transpirației se intensifică în special numai la temperaturi ridicate. Majoritatea oamenilor încep să transpire când temperatura corpului ajunge la 28-29°C; în acest caz, pierderea de căldură prin evaporare se intensifică substanțial. Dacă se mai adaugă și efortul fizic (iar aerul este destul de uscat ca să poată primi vaporii de apă), viteza de evaporare a transpirației poate fi de peste 1000 ml/oră.

Evaporarea, ca mecanism al pierderii de căldură, este accentuată prin creșterea temperaturii aerului și prin curenții de aer. Aerul uscat ajută la evaporarea transpirației, în timp ce creșterea umidității atmosferei este nefavorabilă pentru procesul respectiv. Când aerul este saturat sută la sută cu vaporii de apă, evaporarea nu mai este posibilă, indiferent de temperatura aerului sau de intensitatea curenților de aer.

Din aceste motive, într-un mediu cu aer prea umed nu ne simțim confortabil, ne supraîncălzim repede, chiar dacă temperatura nu este foarte ridicată. În schimb, într-un mediu cu aer uscat rezistăm la temperaturi ridicate, fiindcă mecanismul pierderii de căldură se datorează numai evaporării transpirației. Prin urmare, transpirația reprezintă un mecanism de menținere a temperaturii corpului într-o ambianță caldă, în care celelalte modalități de pierdere a căldurii sunt îngreuiate. Aceste căi prin care organismul pierde căldura în exterior sunt comune tuturor corporilor, însuflăte și neînsuflăte. Totuși, ele au și un caracter specific, datorită căruia omul nu-și egalează temperatura corporală cu cea a mediului, ci o menține constantă chiar în cazuri de schimbări termice relativ mari ale mediului înconjurător. Echilibrul termic este dirijat de centrii termoreglatori care se află sub controlul scoarței cerebrale. Asupra acestui mecanism de termoreglare influențează și sistemul endocrin. În mare măsură procesul de termoreglare depinde de călirea, adaptarea organismului la oscilațiile mari termice, atât în sensul creșterii, cât și al scăderii temperaturii.

Călirea organismului în condiții de temperatură joasă duce la creșterea termogenezei, la modificarea reacției vasculare și, ca rezultat, se micșorează pierderea de căldură. De asemenea, călirea organismului în condiții de acțiune a temperaturilor înalte conduce la accelerarea pierderii de căldură. Având în vedere particularitățile unei activități desfășurate neîntrerupt, indiferent de condițiile mediului extern, călirea organismului prezintă o importanță deosebită. Călirea trebuie făcută sistematic, atât prin educație fizică și sport, cât și prin însuși procesul de activitate, care trebuie gradat și planificat astfel, încât să se desfășoare în diverse condiții termice. Muncitorii astfel antrenați vor rezista la un efort maxim, solicitat de activitatea respectivă fără survenirea unor variații evidente ale temperaturii corpului și tulburări de termoreglare, stabilindu-se un echilibru cu mediul înconjurător în condiții cât mai favorabile pentru organism [8,10].

Umiditatea relativă de 40-60% a aerului asigură sub acest raport confortul optim. Într-un aer încălzit și saturat cu vapori de apă evaporarea nu se produce și eliminarea este oprită.

Prin tegument se elimină cea mai mare cantitate de căldură (83%), grație iradierii, convecției și evaporării. Prin aparatul respirator, pierderea se face prin convecție (încălzirea aerului inspirat) și prin evaporare (saturarea aerului expirat cu vapori) și prin evaporare mică și ocazională. În total, pierderile calorice prin iradiere, conducție, convecție și evaporare se cifrează în 24 de ore la 2400-2800 kcal – consumul caloric al unui subiect adult cu existență sedentară.

Pierderile fizice ale căldurii produse în organismul unui animal homeoterm, în mediul înconjurător, sunt condiționate de factorii biologici.

Transportul căldurii pe calea sângelui prin convecție dinspre nucleul corporal spre periferie este influențat de gradul de activitate a circulației. Deci, creșterea debitului circulator va asigura un transport mărit de căldură dinspre nucleul corporal spre mantaua periferică.

Irigația cutanată se reduce prin mecanisme reflexe în cursul expunerii la frig și se activează la expunerea la cald, cu deosebire în vasele sangvine ale extremităților, în primul rând ale mâinilor, cu inervație mai bogată. Forma cilindrică, cu raza redusă a degetelor, care le conferă o suprafață mare în raport cu volumul, face ca în această zonă cutanată deperdiția de căldură să fie reglată în limite foarte largi, prin mecanisme vasomotorii.

Partea cutanată se caracterizează prin inervația simpatică vasoconstrictoare bogată; pielea este lipsită de nervi vasodilatatori. Sensibilitatea vaselor terminale cutanate este însă apreciabilă la substanțele cu acțiune vasodilatatoare (acetilcolina, histamine, kinine, produși de proteoliză). Vasodilatația cutanată se realizează și metamerice, prin reflexe axonice la stimuli nociceptivi. Acestea au rol protector. Plexurile venoase subpapilare cutanate, care conțin un apreciabil volum de sânge, au un important rol în reprezentarea volumului sangvin depozitat în piele, organelor active, în cursul reacțiilor simpato-adrenale. Dispoziția anatomică a rețelei circulatorii terminale din piele este adaptată deperdiției termice.

Măsurarea debitului circulator cutanat, care se practică astăzi, bazat pe principiul de clearance termic, denotă o irigație cutanată de repaus la punctul de neutralitate termică de 2-3 cm<sup>3</sup> sânge/min/100 g țesut, cu o diferență arterio-venoasă de 2 vol. O<sub>2</sub> %. Răcirea tegumentului, creșterea tonusului simpato-adrenal, stimularea electrică a hipotalamusului posterior produc vasoconstricție cutanată, cu reducerea debitului circulator la 0,2 ml/min/100 g.

În cursul vasodilatației active a tegumentului degetelor, prin scăderea tonusului vasoconstrictorilor sau sub acțiunea substanțelor vasodilatatoare, debitul circulator cutanat poate ajunge la 120 cm<sup>3</sup>/min/100 g țesut. Rezultă, deci, că circulația cutanată se poate activa în proporție de 600 de ori. Raportat la debitul circulator general, debitul plexurilor venoase cutanate subpapilare poate varia de la valori apropiate de zero până la 30% din debitul cardiac.

Valoarea debitului cutanat este controlată prin tonusul arteriolelor, inervate de simpatic și aflate sub dependența centrilor din hipotalamusul posterior. Teritoriul circulator cutanat reprezintă astfel un radiator reglabil al corpului.

Reglarea circulației cutanate se face prin mecanisme reflexe, prin acțiunea temperaturii sângelui asupra anumitor zone din hipotalamus și prin acțiunea directă a căldurii asupra vaselor cutanate.

Creșterea temperaturii mediului ambiant la valori apropiate sau superioare celor cutanate determină la om intervenția unui alt mecanism al deperdiției calorice: a transpirației. Ea apare obișnuit când temperatura cutanată atinge 34,5°C. La animalele lipsite de glande sudorale pierderea se face prin polipneea termică, care intensifică evaporarea apei de-a lungul suprafeței căilor respiratorii superioare. Mecanismul fizic al deperdiției de căldură constă în evaporarea apei, la suprafața pielii.

Aproximativ 50% din transpirația produsă într-o zi caldă provine din zona trunchiului, 25% – din teritoriul cutanat al membrelor inferioare și 25% – din teritoriul cutanat al extremităților cefalice și al membrelor superioare.

Mecanismul transpirației este exclusiv nervos. După secționarea nervilor, în teritoriul denervat nu se mai produce secreție sudorală. Ea reapare odată cu regenerarea, fiind un semn al acesteia. Sub raportul inervației, glandele sudorale se grupează în ecrine și apocrine, însă numai glandele ecrine, care sunt răspândite la suprafața corpului, au rol în termoreglare. Inervația lor este simpatico-colinergică, dar de origine diferită pentru palmă și rest. Cele apocrine sunt repartizate în regiunea axilară și pubiană și secretă un produs bogat în substanțe organice, care, fiind descompuse de flora bacteriană, cutanată, exală mirosuri caracteristice. Acestea au inervație adrenergică, iar activitatea lor crește în stresul emoțional.

Secreția sudorală în procesul de termoreglare este declanșată sub influența căldurii mediului, respectiv a încălzirii pielii, pe două cai: reflexă și prin acțiunea central directă a sângelui încălzit asupra sistemului nervos. Centrii de reglare sunt în hipotalamusul anterior.

Stimularea termoreceptorilor cutanați, declanșează, prin aferențele directe sau integrate în hipotalamusul anterior, reflexe segmentare cu centrii în coarnele laterale ale maduvei, a caror cale eferent este simpatico-colinergică [5,6].

Creșterea temperaturii sângelui stimulează, mai ales pe cale directă, centrii secreției sudorale din hipotalamusul anterior, ceea ce declanșează simultan o secreție generală, la fel prin fibrele simpatică, având ca mediator acetilcolina. Atropina, substanță care antagonizează efectul muscular al acetilcolinei, reduce numai secreția sudorală, nu și vasodilatația. Din celulele glandelor sudorale se eliberează în circulație kaliceina, care, ajungând în lichidul interstițial, acționează asupra kininogenului eliberând bradikinină. Bradikinină întreține fluxul sangvin mărit, necesar activității secretorii. Mecanismul este similar cu cel întâlnit în activitatea glandelor salivare. Cantitatea de sudoare secretată în 24 de ore variază în limite foarte largi, în raport de funcția de termoreglare.

Difuzia cutanată pasivă a apei din lichidul interstițial și sânge este foarte redusă, epiderma fiind puțin permeabilă pentru apă. În condiții obișnuite, ea reprezintă aproximativ 10 ml/oră, deci 250 ml în 24 de ore.

Într-un mediu rece, transpirația este nulă; într-un mediu cu temperatura foarte ridicată poate crește la 1,5 l/oră la persoane neadaptate și până la 3,5 l/oră la oamenii aclimatizați. Aclimatizarea se realizează prin proliferarea glandelor și creșterea hipotoniei transpirației, cu crutarea în acest mod a pierderilor de sodium. Fenomenul prezintă importanță la tropice; în asemenea condiții se produc 4 l sudoare, iar în condiții extreme – până la 10 l sudoare zilnic. Secreția sudorală, ca mecanism al termoreglării, devine inefficientă când aerul este saturat cu vapori; evaporarea apei și răcirea tegumentului nu mai au loc, se produce staza calorică și hipertermie [3,7].

Alt factor biologic poate servi izolarea. Izolarea organismului de temperatura ambiantă se realizează prin grăsimea subcutanată. Conductanța termică a straturilor de grăsime, piele, mușchi este în raport de 3:2:1. La animalele din regiunile arctice grăsimea subcutanată este mult mai abundent reprezentată decât la cele tropicale.

Blana, pentru unele specii, și îmbrăcămintea, pentru om, constituie un izolator de mare importanță în menținerea temperaturii corpului.

Gradul de răcire a corpului depinde de suprafața corporală expusă. Organismele homeoterme într-un mediu încălzit dorm în poziție relaxată, expunându-și toracele și abdomenul; la frig, poziția ghemuită reduce suprafața totală corporală, îndeosebi toracele și abdomenul.

#### Referințe:

1. Barnea E. Echilibrul termic al organismului uman. - București: Editura Medicală, 1982, p.19-76.
2. Teodorescu Exarcu I. Patologie biochimică. - București: Editura Academiei Române, 1987, p.106-125.
3. Kingsolver J.G. Thermoregulation and flight in colias butterflies: elevational patterns and mechanistic limitations // Ecology. - 1993. - Vol.64. - P.534-545.
4. Saragea M. Tratatul de fiziopatologie. Vol.2. - București: Editura Academiei Române, 1986.
5. Savel I. Substanțe biologice active. - București: Editura Tehnică, 1997.
6. Белов С.В., Ильницкая А.В. Безопасность жизнедеятельности. - Москва: Высшая школа, 1999, с.56-73.
7. Волков Л.Б. Физиологические основы терморегуляции. - Харьков, 2003, с.7.
8. Волкова Е.В. и др. Исследование энергетического метаболизма при длительных физических нагрузках/ Всесоюзный симпозиум. Сборник тезисов. - Тбилиси: Мецние реба, 1987, с.71.
9. Иванов К.П. Мышечная система и химическая терморегуляция. - Москва: Наука, 1985, с.119.
10. Иванов К.П. О биоэнергетических механизмах гомеотермии // Журнал общей биологии. - Том 51. - №1. - Москва: Высшая школа, 1990, с.36-53.
11. Лупандин Ю.В. Двигательные механизмы защиты организма от холода. – Ленинград: Изд-во ЛГУ, 1998, с.173.
12. Пугачев М.К. и др. Морфофункциональные изменения коры надпочечников крыс при общем внешнем перегревании в сочетании с наркозом. - Смоленск: СГМА, 1997.
13. Рубнер А.С. Тепловая адаптация (акклиматизация). - Москва: Физкультура и спорт, 2004, с.84.
14. Хаскин В.В. Энергетика теплообразования и адаптация к холоду. - Москва: Наука, 1975.
15. Слоним А.Д. Эволюция терморегуляции. - Ленинград: Изд-во ЛГУ, 1996, с.35.

Prezentat la 26.11.2008