

Gödöllő Városi Tanács Egyesített Egészségügyi Intézményei,  
Szakorvosi Rendelőintézet, Sebészet

## Az alacsony külső hőmérséklet hatása a szervezetre és a szervezet védekezése

Dr. Syposs Tibor

Érkezett: 1987. 10. 26.

Kulcsszavak: hideghatás, hypothalamus, alkalmazkodás

A szerző ismerteti a szervezet hőleadásának és hőtermelésének tényezőit, a bőr vérkeringésének szabályozó hatását. Foglalkozik a hideghatás által létrejövő kórképek etiológiájával, a létrejövő kórképek felosztásával. Részletesen taglalja a hideghatáshoz való rövid és hosszú hatású adaptációt, az adaptáció létrejöttének mechanizmusát és befolyásolhatóságát. Végül kitér a hőszabályozó központ anatómiai lokalizációjára, működésére, szabályozó és integráló feladataira.

Az ember kezdettől fogva harcban állt az őt fenyegető, az étellel némelykor akár összeegyeztethetetlen hideggel. Ez előfordult a földrajzi felfedezések során, a hegyi, légi és vízi baleseteknél, de megtalálható volt a téli, hegyi, valamint a nyirkos időben, mocsaras terepen és a lövészárkokban vívott harcok során is. Főleg akkor játszott nagy szerepet a hideghatás, ha legyengült vagy szándékosan legyengített (ittas vagy gyógyszerrel öngyilkosságot elkövető) szervezetet ért.

A mi éghajlati viszonyaink között békében ritka ez a sérülési mód, de az utóbbi évek egyre szélsőségesebbé váló téli időjárási viszonyai miatt jelentős szaporulata volt megfigyelhető. Halmozott megjelenésével kell viszont számolnunk háborús és katasztrófa körülmények között.

A háborús körülmények közti, hideg okozta sérülésekről már *Xenophon* ír az „*Anabasis*”-ban, és itt már szó esik a fagyás katonarvosi vonatkozásairól is. Más klasszikus szerző is említ műveiben a fagyvást. Így például *Tacitus* és *Livius* is írják: „*Legionarii calorem et frigorem patiuntur par*”. *Larrey* a napóleoni háborúk idején (1812), *Pirogov* a krími háború idején (1854–56)

ír a tömeges fagyserülésről. Az első világháborúban (1914—18) a fagyserülések aránya a francia hadseregben 3,2% (16). *Curupa és Tünjankin* (6) a II. világháborúban német részről 10%-nyi látszámkiesést figyelt meg a keleti fronton fagyserülés miatt, szemben a szovjet hadseregben — a kötelezően bevezetett profilaktikus intézkedések hatására — észlelt 1—2%-nyi kieséssel.

Azóta is minden háború meghozta a maga áldozatait, nem csökkent a fagyások száma. A koreai háborúban *Orr és Feiner* (14) 812 esetről számol be, *Ruckensteiner* (18), *Vinson és Schatzki* (22) pedig 100 fagyott kezű katona vizsgálatáról ír. Alaszkában *Fort Wainwright*-ban, békekörülmények között, szolgálat közben, 3 tél során (1967—70) 292 katona fagyását írták le, ez 15,5 fagyottat jelent minden ezer katonára (20).

A lehülésről, illetve a hideg nagyságáról a XVI. század előtt csak feltevéseink által alkothattunk fogalmat. A XVI. században viszont már mód nyílt a hőmérsékleti értékek mérésére is, mert *Galilei* felfedezte a termométert, melyet 1696-ban *Cliford* tökéletesített (17). Ez már alkalmas volt az emberi test hőmérsékletének mérésére. Így egy rendkívül egyszerű, de nélkülözhetetlen eszköz került az orvostudomány eszköztárába.

#### A hőleadás fajtái

Az emberi hőleadásban a következő faktorok játszanak szerepet

##### 1. Sugárzás (radiáció)

Ennek során a hőforrás úgy melegíti fel a másik testet, hogy a közti közeg nem melegszik fel. Ugyanis a bőr 5000—20000 nm hullámhosszúságú infravörös (hő-) sugarakat ad le, melyek a hidegebb környezeti tárgyakat melegíteni képesek (1). Ez rendkívül magas hővezetést jelenthet.

##### 2. Áramlás (konvekció)

Ennek lényege, hogy a testtel érintkező levegő felmelegszik, ezáltal sűrűsége kisebb lesz és felszáll, de szélcsendes időben a test körül mintegy 4—8 milliméteres meleg védőréteg alakul ki. Általában a hővesztés 15%-a ilyen, de lényegesen fokozódik, ha a fellépő, illetve fokozódó légmozgás ezt a meleg levegőréteget széttepi.

##### 3. Vezetés (kondukción)

Ez direkt hőleadást jelent, pl. ha hideg kőre ülünk. A közeg itt felmelegszik, de nem változtatja a helyét.

##### 4. Párolgás (evaporáció)

Ez vízpárolgotatás a bőrfelületen és a tüdőn át a kilégzett levegő útján és a párolgás hőelvonással jár. Ez utóbbi a perspiratio insensibilis, mely az összes hővesztés mintegy 30%-a neutrális hőmérséklet esetén.

##### 5. Egyéb tényezők

A testhőmérsékletű széklet vagy vizelet ürítése, a belégzett levegő, illetve az elfogyasztott ételek-italok testhőmérsékletre melegítése gyakorlatilag elhanyagolható.

## A szervezet hőtermelése

Ismerjük meg most azokat a mechanizmusokat is, melyek a szervezet *hőtermelésében* játszanak szerepet (I. sz. táblázat). Ezek az ellenregulációs mechanizmusok a gerincvelői pályákon át a hypothalamusba jutott idegi afferentiók hatására, ott kiváltott válaszreakcióként jelennek meg. Két típusuk különböztethető meg.

## 1. Fizikai ellenreguláció

Ennek során a keringés gyorsítása, a szívfrekvencia fokozása útján próbálja a szervezet a héj és környezet hőmérsékletének különbségét csökkenteni. Mikor ez a mechanizmus nem vezet eredményre (a különbség megmarad vagy növekszik), a szervezet a bőrerekben vasoconstrictiót hoz létre, a már említett hőkonzerváló, előhűtő folyamattal együtt. Így a héj hőmérséklete csökken.

## 2. Kémiai ellenreguláció

Ha a szervezet hőmérséklete az indifferens hőmérséklet határa alá csökken (pl. ruhátlan ember esetén  $24^{\circ}\text{C}$  alá), a szervezet hőtermeléssel válaszol. Ez lehet a) *akarattól független borzongás, remegés, didergés*, melyet megelőz a vá izomzatban fellépő fokozott tonicitás. Ennek segítségével a hőtermelés 50%-kal is megnövekedhet (1). Ez a masseter izomban lép fel legelőször, onnan terjed a felső végtag, a törzs, majd az alsó végtag izmaira. Ez a mechanizmus  $35^{\circ}\text{C}$  magyi hőmérséklet es tén jelent-

1. számú táblázat

Hideg okozta árnyalom létrejöttében szereplő tényezők

## I. Külső faktorok

1. Hőmérséklet
2. Szélesség
3. Nedvesség
4. Időtartam

## II. Egyedi faktorok

1. Korábbi fagyásérülés
2. Edzettség, fegyelem, tapasztalat
3. Földrajzi eredet, akklimatizáció
4. Tápláltság, pszichés ellenálló képesség
5. Prétraumás betegségek, kísérő károsodások
6. Életkor, nem

## III. Egyéb, közrejátszó faktorok

1. Ruházat
2. Testmozgás és munkavégzés
3. Védelem az időjárás és szél ellen

kezik. Az oxigénfogyasztás a nyugalminak 4–5-szöröse lesz, majd — ha a hideg változatlan vagy erősebb — a nehéz munkának megfelelő teljesítmény hamar kimeríti a szervezet energiaforrásait;

b) a hideg környezetben e mechanizmus mellett megjelenik a tisztán *kémiai hőtermelés-fokozódás*, az ún. „*non-shivering*” (nem didergés útján létrejövő) *termogenesis*. Ez úgy működik, hogy a szimpatikus izgalom, mely a hideg hatására a hőközpont utasítására jelentkezik, noradrenalin és adrenalintermelés-fokozódást idéz elő, ennek hatására nő az anyagcsere. Ezek az anyagok szétkapcsolják az oxidatív foszforilációt, ezért az oxidáció kapcsán kevés adenosin-trifoszfát képződik. Így a teljes energia gyakorlatilag hő formájában felszabadul.

Újabb vizsgálatok jelentős összefüggést állapítottak meg az emberi szervezet *barna zsírszöve* és a termogenesis mértéke között. E zsírszövet sejtjeiben sok a mitochondrium, és a szimpatikus ingerlés ezek oxidatív anyagcseréjét fokozva serkenti a hőtermelést az előbbi mechanizmus alapján (1). Jelentős még a *pajzsmirigyhormon-termelés* fokozódása is. Ez azonban csak néhány hét alatt fejlődik ki.

A kémiai kompenzációs mechanizmus fog blokkolódni, ha a szervezet alkohol vagy pl. öngyilkossági szándékkal túladagolt nyugtatót, illetve altatószerek hatása alatt áll, vagy ha a maghőmérséklet  $28^{\circ}\text{C}$  alá süllyed.

#### A bőr vérkeringésének szabályozó hatása

A hőt termelő mag és a leadást közvetítő köpeny közti közvetlen hővezetést a bőr vérkeringése biztosítja (1). A hőleadás viszont a bőr és a környezet közti hőmérsékleti gradiens függvénye. Felnőttben, nyugalomban, semleges hőmérsékleten (mely a ruhátlan ember esetén  $27-28^{\circ}\text{C}$ , szokásos ruházat esetén  $20^{\circ}\text{C}$ ), ahol emberi szervezet hőszabályozó rendszerei nincsenek igénybevéve (nem fázik és nincs melege), a bőrön átáramló vérmennyiség  $4-500$  ml/perc, azaz a perctérfogat  $9-10\%$ -a. Hidegben ez a véráramlás csökken, míg meleg esetén fokozódik. Jó példa erre az emberi kéz keringése, mely  $0,2-20$  ml/100 g tömeg között képes változni (2).

Az ereket az apicalis területeken is a sympathicus tónus irányítja (hidegben vasokonstrictio, melegben vasodilatatio), míg az egyéb bőrterületeken a melegben fellépő vasodilatatio a verejtekezéssel összefüggő bradykinin-termelés és -felszabadulás következménye.

Fontos még a bőrekek ellenáramlásos, hőkicseréléses mechanizmusa, amelynek lényege, hogy hidegben a bőr artériáit kísérő vénákon történik a vér visszaszállítása. Így egyrészt az artéria meleget ad át a vénás vérnek, mintegy fűti azt, másrészt a vénás vér ugyanezért előhűti az artériát. Kisebb lesz a testfelszín-környezeti hőgradiens, csökken a hővesztés. Ez a folyamat hőkonzerválásnak felel meg. Az exponált terület bőre ezért hideg. Melegben viszont a vénás visszafolyás a subcutisban, közvetlenül a cutis alatt levő vénás plexusokon át történik, így az előfűtés, hőkicserélés megszűnik, a köpeny és maghő közel azonos lesz (a héjhoz kijutó  $35-37^{\circ}\text{C}$ -s vér miatt), viszont a héj és környezet közti gradiens mértéke nő, így nagy lesz a hőleadás is (1).

Hideg környezetben csak a perspiratio insensibilis érvényesül. Semlegesnél magasabb hőmérséklet esetén, annak fokozatos emelkedésével csökken az áramlásos és sugárzásos hőleadás, míg a verejtekezéssel kapcsolatos hőleadás növekszik és  $34^{\circ}\text{C}$  környezeti hőmérséklet felett egyvedülivé válik.

Jelentős szerepet játszik a levegő relatív páratartalma, mert a száraz levegőben, nagy melegben is biztosítható a maghőmérséklet állandósága, és a  $120^{\circ}\text{C}$  hő is kibíráható, míg vízgőzzel telített levegőben az  $50^{\circ}\text{C}$  már nyugalomban is elviselhetetlen.

#### A hideg hatására létrejövő kórképek aetiológiája

A hideg okozta kórképek esetén, hasonlóan más (lövési, égési stb.) traumákhoz, meglehetősen nehézkes és bonyolult az aetiológia és patogenesis vizsgálata. Ez emberben csak direkt megfigyelésekkel és a szükséges adatok regisztrálásával lehetséges. Az állatkísérleti adatok csak nagy körültekintéssel adaptálhatók emberre, mert az állatok esetén a hideg hatására megjelenő kompenzatorikus-adaptációs reakciók

rendkívül változatosak. Néhány fagyási forma, mint pl. a lövészárokláb és a pernio pedig nem is reprodukálható kísérletesen (24). Az égésbetegség analógiájára a hőcsökkenési *betegség* elnevezés használata ajánlható.

Az elmondottak ellenére az ismert faktorok analízise mégis lehetővé tesz bizonyos elképzeléseket. A hideghatás okozta kórképek létrejöttében a tényezők három nagy csoportját különíthetjük el (II. számú táblázat). Aszerint, hogy e faktorok közül melyek, milyen erősen és időtartamig hatnak, különböző kórképek jönnek létre. Ezért fontos e tényezők ismerete.

## I. Külső faktorok

### 1. Hőmérséklet

Önmagában és a szélességgel, nedvességgel kombinálódva egyaránt az egyik legjelentősebb faktora a hideg okozta kórképnek. Ha a fedetlen testrészek  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra lehűlt vagy még hidegebb tárgyakkal kerülnek kapcsolatba, szinte azonnali eljegesedés jön létre, és a szövetek azonnal elpusztulnak. *Vichriev* (24) nyulak talpán végzett kísérletei szerint a szövetek eljegesedéséhez  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál nagyobb hidegre van szükség. A talpak *necrobiosis*a csak ekkor alakul ki. *Page* (15) szerint, aki Winnipeg és Manitoba 3 év során bekövetkezett kézfagyási sérüléseit elemezte, a fagysérüléshez vezető hideghatásról akkor beszélhetünk, ha az extracelluláris folyadék  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  alá hűl. Ezek szerint a fagyási sérülés lappangó fenyegetést jelent a 40. szélességi foktól északra, illetve délre eső területeken, ahová a Föld országainak több mint fele esik. Itt számítani lehet ugyanis arra, hogy a téli hónapok hőmérséklete nagy valószínűséggel jóval a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  alá süllyed (25). Ugyancsak erre utal, hogy a legtöbb fagyási sérülés a december és január hónapokra esik, mert általában e hónapok a leghidegebbek (9).

### 2. Szélesség

Hideg, szélsőséges időben a test körül 4–8 milliméter vastag, védő szerepet betöltő melegkamra képződik. A feltámadó szél ezt az izoláló kamrát szétszórja, így a melegvesztés az exponált területen fokozódik. Az *USA speciális alakulatainak egészségügyi kézikönyve* (21) táblázatban mutatja a szélesség és hőmérséklet közti összefüggést, egyben utalva arra is, hogy melyik zónában mennyire fenyegeti a hideg-ártalom a megfelelően öltözött személyt (1. számú ábra).

### 3. Nedvesség

Ennek a faktornak fontos szerepére utal, hogy hótól, esőtől vagy vízben való állástól nedvessé vált ruházatban a végtag fagysérülése hamarabb bekövetkezik, mint száraz ruhában, a nedvesség miatti fokozott párolgás hőelvonó hatása miatt. Ugyanígy hat a környező levegő nedvessége, valamint az is, ha a harci körülmények között a katonák nem tudnak alsóneműt cserélni vagy éjszakára átöltözni. A túl sokáig viselt ruha, főleg az alsónemű, a verejtéktől ugyanis átnedvesedik, s az ilyen ruházat szigetelőképesége csökken. Fontos ezt figyelembe venni, mert e tényező elhanyagolása a fagyási sérülések halmozódását vonja maga után.

## II. számú táblázat

A hőmérséklet és a szélesebbég összefüggésének függvényében kialakuló ún. ekvivalens hőmérséklet

Becsült szél- sebesség m/mp	AKTUÁLIS HŐMÉRSEKLET (°C)											
	+10	4,4	-1,1	-6,6	-12,2	-17,7	-23,3	-28,8	-34,4	-40	-45,5	-51,1
	EKVIVALENS HŐMÉRSEKLET (°C)											
Szélcsend	+10	+4,4	-1,1	6,6	-12,2	-17,7	-23,3	-28,8	-34,4	-40	-45,1	-51,1
5 m/mp	+8,8	+2,7	-2,7	-8,8	-14,4	-20,5	-26,1	-32,2	-38,5	-49,0	-49,0	-55,5
10 m/mp	+4,4	-2,2	-8,8	-15,5	-22,7	-29,4	-36,1	-43,3	-50,0	-56,6	-63,8	-70,5
15 m/mp	+2,2	-5,5	-12,7	-20,5	-27,7	-37,7	-42,7	-50,0	-57,7	-65,0	-72,2	-80,0
20 m/mp	0	-7,7	-15,5	-23,3	-31,6	-39,4	-47,2	-55,0	-63,3	-71,1	-78,8	-86,6
25 m/mp	-1,1	-8,8	-17,7	-26,1	-33,8	-42,2	-50,5	-58,8	-66,6	-75,5	-83,3	-91,6
30 m/mp	-2,2	-10,5	-18,8	-27,7	-36,1	-44,4	-52,7	-62,6	-70,0	-78,3	-87,2	-95,5
35 m/mp	-2,7	-11,6	-20	-28,8	-37,2	-45,0	-55,0	-63,3	-72,2	-80,5	-89,4	-98,3
40 m/mp	-3,3	-12,2	-21,1	-29,4	-38,3	-47,2	-56,1	-65,0	-73,3	-82,2	-91,1	-100

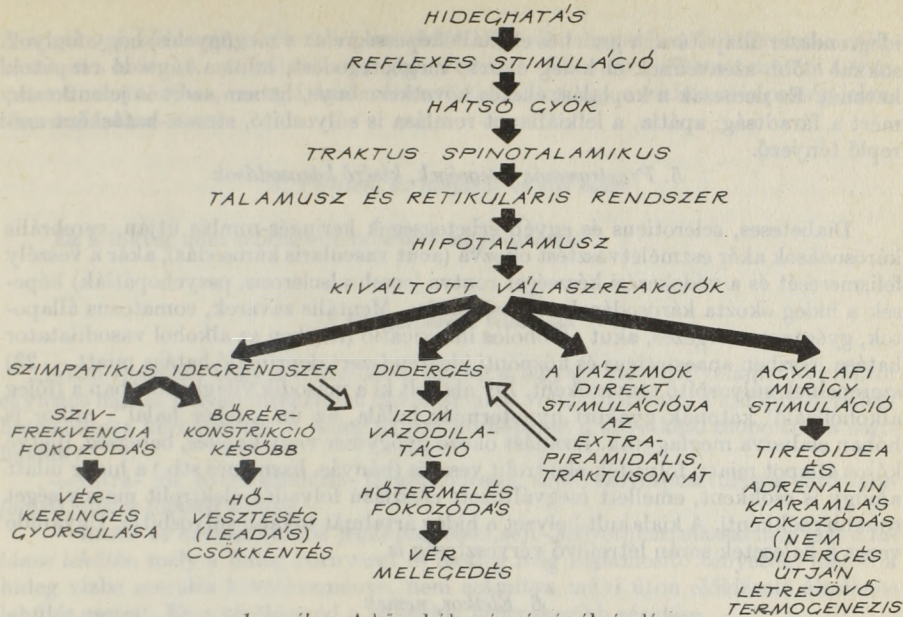
Ha a szélesebbég 40 m/mp-nél nagyobb, már csak csekély aditív hatása van

Kis megfagyási veszély a hidegnek kitett végtagon, megfelelően öltözött személy esetén

Közepes megfagyási veszély a hidegnek kitett végtagon, megfelelően öltözött személy esetén

Súlyos megfagyási veszély a hidegnek kitett végtagon, megfelelően öltözött személy esetén

Az USA Army Special Forces Medical Handbook (21) alapján



#### 4. Hideghatás időtartama

Az expozíció tartósságától függően a fagyási sérülések kiterjedése, súlyossága változhat. Minél hosszabb az expozíció, annál súlyosabbak a hideghatás következményei.

#### II. Egyedi tényezők

##### 1. Korábbi fagysérülések

Jelentőségük, hogy hajlamosító tényezőként szerepelnek.

##### 2. Edzettség, fegyelem, tapasztalat

E tényezők jelentősen csökkentik a hideg okozta veszélyeket.

##### 3. Földrajzi eredet, akklimatizáció

Szerepére utal, hogy az északi népek sokkal kevésbé szenvednek hideg okozta sérülést, mint a déliek, például az afrikaiak. Ennek oka valószínűleg a szövetek öröklött alkalmazkodó képessége. Számos szerző vizsgálata megerősíti ezt a megfigyelést (3, 20).

##### 4. Tápláltság, pszichés ellenálló képesség

A tápláltság szerepére utal, hogy legyengült, rosszul táplált ember sokkal könnyebben szenved hideg okozta sérülést, mint a jól táplált. Utal erre és egyben az

idegrendszer állapotára, a pszichés ellenállóképességre az a megfigyelés, hogy foglyok sokkal előbb szenvednek el hideg okozta megbetegedést, mint a támadó csapatok katonái. Ez nemcsak a koplalás, éhezés következménye, hanem azért is jelentkezik, mert a fáradtság, apátia, a lelkiállapot romlása is súlyosbító, stressz-hatásként szereplő tényező.

### 5. Praetraumas betegségek, kísérő károsodások

Diabeteses, scleroticus és egyéb érbetegségek keringés-romlás útján, cerebrális károsodások akár eszméletvesztést okozva (acut vascularis károsodás), akár a veszély felismerését és a védekezési készséget rontva (cerebralsclerosis, psychopátiák) képek a hideg okozta károsodások súlyosbítására. Mentális zavarok, comatosus állapotok, gyógyszermérgezés, akut alkoholos intoxicatio (részben az alkohol vasodilatator hatása, részben anaestheticus és központi idegrendszer depresszív hatása miatt — 23) szerepelnek súlyosbító tényezőként. Így alakult ki a második világháborúban a (főleg alkoholizáló) katonák gyakori hypotermiás halála, az ún. „fehér halál”, mikor is hóban elaludva megfagytak. Izzadást okozó gyógyszer vagy kezelés, betegség, illetve kóros állapot miatti folyadék-elektrolit vesztes (hányás, hasmenés stb.) a hideg miatt amúgy is csökkent, emellett megváltozott eloszlású folyadék-elektrolit mennyiséget tovább csökkenti. A kialakult helyzet a hideg ártalmát tovább súlyosbítja. Ugyanide vezet a balesetek során létrejövő vérvesztés is.

### 6. Életkor, nemek

Ezek szintén rendkívül fontos szerephez jutnak. Ismert, hogy a nagyon idősök, illetve nagyon fiatal gyermekek, újszülöttek különösen fogékonyak hideg okozta sérülésekre. A nemek szerepére utal, hogy sokkal ritkábban szenvednek nők hideg-ozokta sérülést, mint a férfiak (3). Különös kórkép a fagyduzzanat (pernio), mely a fiatal férfiak betegsége, még fagyponot feletti hőmérsékleten. Ezt a kórképet *Pastinszky* részletesen ismerteti (16), ezért ennek tárgyalására nem térünk ki.

## III. Egyéb közrejátszó faktorok

### 1. Ruházat

A ruházat alatt és rétegei között elhelyezkedő légrétegek fontos szigetelő, és így védő szerepet töltenek be. Ezért nagy jelentőségű a réteges öltözködés. A ruházat minősége is jelentős, mert a lazább szövésű anyagok a test párolgását átengedik, így hőelvonó hatás alakul ki, ezért a hideghatás súlyosbodni fog. (Viszont ezáltal meg is előzik a szervezet túlmelegedését a kimerítő gyakorlatok alatt.) Fontos a szorító ruházat és lábbeli viselésének tiltása, mert ezek a vérkeringést akadályozzák, és gátolják a szervezet védekező reakcióját: a jobb vérellátást. *Boswick* (3) szerint a fagyási esetek több mint 50%-a öltözködési hibából ered. Vékonyabb, de több rétegű ruházat esetén több hőizolációs légréteg található az egyes ruharétegek között, s ez jobban véd a hideg ellen, mert a vezetékes és áramlásos hőleadást csökkenti. Nedves ruházat, átizzadt ruhanemű a nagy hővesztés és a hőizoláló hatás megszűnte miatt nem véd a hideg ellen.

### 2. Testmozgás és munkavégzés

Szintén fontos, mert ezzel (pl. topogás, végtagmozgás, guggolások stb.) a megfagyás veszélye csökkenthető. Az erre való kiképzés, oktatás nagy jelentőségű.



A munkavégzés szerepe két okból is érdekes. Egyrészt ugyanis a fizikai munka csökkentheti a hideg okozta káros hatásokat. Másrészt viszont az erőltetett munka a szervezet kimerüléséhez, energiájának elhasználódásához, így a védekezőképesség jelentős romlásához vezet.

### 3. Védelem az időjárás és szél ellen

Ez a faktor nem szorul különösebb magyarázatra.

#### A hidegártalmak felosztása

Attól függően, hogy a hideghatás, illetve a fagyást előidéző valamennyi faktor együttes hatása milyen intenzitású és időtartamú volt, szólhatunk a különböző hideghatás okozta kórképekről. A hideg okozta kórképeket a következő csoportokra osztgatjuk:

— intra- és extracelluláris jégképződéssel, sejt-, szövetpusztulással járó *megfagyás, illetve fagyási sérülés*;

— intra- és extracelluláris jégképződéssel, sejt-, szövetpusztulással nem járó *általános lehűlés*, mely a hideg környezet és esetleg még hajlamosító tényezők, illetve a hideg vízbe merülés következménye, nem számítva művi úton előidézett általános lehűlés eseteit. Ez a sérülésmód a békeidők leggyakoribb sérülése.

— Előbbi két forma után meg kell említeni a háborúk leggyakoribb hideg okozta sérülésformáit, melyek 0 °C feletti hőmérsékleten jönnek létre. Ide tartozik a „*Merülés—Hideg—Nedvesség*”, illetve *Neureuther* (12) szerint a „*Hideg—Nedvesség—Immobilizáció*” mechanizmusúárosodás:

a) *lövésárok-láb*, mely 0 és +12 °C közötti hőmérsékleten, nyirkos időben, hosszú expozíciós idő és kényszerű mozdulatlanság következményeként jön létre, és az

b) *immerziós (merülési) láb*, mely viszont akkor alakul ki, ha a lábak több órán át +15 °C alatti hőmérsékletű vízbe merülnek.

#### A hideghez való alkalmazkodás

Az újabb vizsgálatok többféle alkalmazkodási módra utalnak (19). Ennek ismerete katonai szempontból is jelentős, mert a hidegadaptáció nemcsak fiziológiai, hanem — mint látni fogjuk — pszichológiai folyamat is, ezért edzés útján bizonyos határokig begyakorolható. Megkülönböztetünk

— *rövid ideig tartó* alkalmazkodást, melynek során a szervezet a hirtelen bekövetkező klimatikus környezeti változásra másodpercek alatt reagál a saját hőregulációjával, és

— *hosszú hatású* alkalmazkodást, melynek kialakulásához 1 héten-hónapon túl is tartó vagy ismételten ható termikus terhelés szükséges, és amelyre a szervezet egészében reagál. Ezt nevezzük *fiziológiai adaptációnak*. Ennek két formája ismeretes:

— *tolerációs adaptáció*: a közép-ausztráliai *ős faj* sajátása. A nappali nagy meleg után az éjszakai hidegben (a levegő fagypontra hűl le), kis tűz mellett, majdnem ruha nélkül nyugodtan alszanak, mert a bőr- és az átlag maghőmérséklet jelentősen lesüllyed. Mintegy poikilothermeként reagálnak, de ezt semmilyen kompenzáció nem követi nyomon;

— *metabolikus adaptáció*: a nyugat-patagóniai Alakauf-indiánok mintája, akik állandóan hideg szélnek és esőnek vannak kitéve, és bár már rendelkeznek hideg ellen védő ruházattal, mégis az európaihoz képest a testük átlag alpanyagszeréje 50%-kal megemelkedett.

Ismert, hogy egy populáción belül is jelentős termoregulációs különbségek észlelhetők. Például azonos klímaviszonyok között, azonos ruházatú és alkatú egyének esetén előfordul, hogy az egyik szervezet már hidegellenes rendszabályokat léptet életbe, míg a másik még nem reagál. Az is ismert, hogy ugyanazon egyén *más situációban másképpen reagál* a hideg hatására. Ezt a nagy változatosságot az alkalmazkodásban nem lehet csak a bőr-receptorok differenciált működésével magyarázni. Ezért szükségessé vált, hogy e tisztán fiziológiai kiindulás mellett a nagy reakciókülönbségek okát a központi ingerfeldolgozásban keressék. Feltételeztek tehát — a fiziológiai hőszabályozó szisztéma mellett, mely minden ingerre egyformán reagál — további, a hőmérséklettől függetlenül működő behatásokat. Ennek alapján megkülönböztethetünk a hőérzékelésen belül egy tisztán fiziológiás reflexfolyamatot, egy *érzékelést* és egy neocorticális szinten, az átkapcsolódás talaján magasabb érzéskvalitásként megjelenő *észlelést* (2), hasonlóan a látáshoz és halláshoz, azaz a tudatos észrevételhez. Ez az észlelés pedig pszichológiai faktorok útján, valamint a tanulás, tréning és tapasztalat által bizonyos határig megváltoztatható. Így elvben lehetséges, hogy a hidegadaptáció az előbbieket útján befolyásolható legyen.

#### *A hideg – adaptáció mechanizmusa*

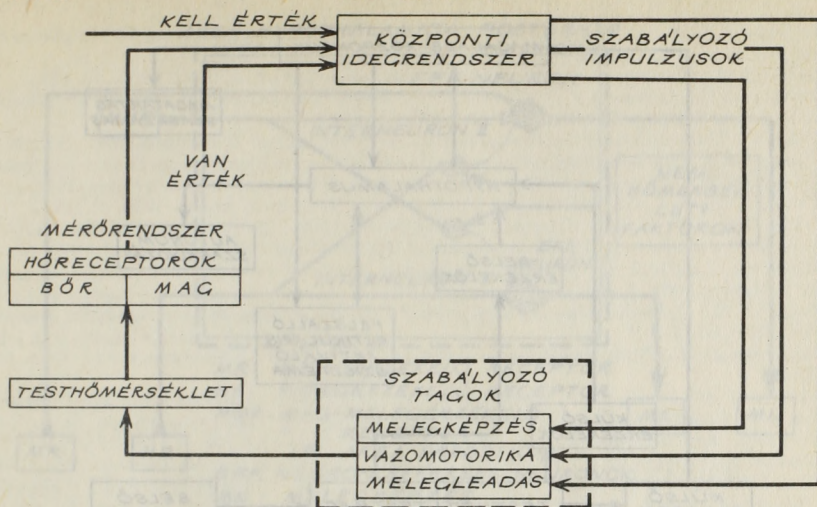
Az adaptációs mechanizmus megértéséhez figyelembe kell venni, hogy a testmag (egyszerűsítve: a törzs és a koponya) melegtermelése következtében, a fizika törvényei alapján egy *hőmérsékleti gradiens* jön létre közte és a testháj (a bőr és végtagok) közt. Az emberi szervezet szabálytalan külső formája miatt egy komplikált, helyében és idejében *inkonstans* hőmérsékleti tartomány észlelhető. Így az azonos hőmérsékletű testmag egy többé-kevésbé változó hőmérsékletű testháj által van határolva. A hőmérsékleti viszonyok függvényében a háj és mag közti hőmérsékleti különbség jelentős ingadozást mutathat. Ez csak úgy hárítható el, ha a külső zavarokat sajátos szisztémájú *kontroll elemek* korrigálják (20).

Kibernetikai modellen ábrázolva, a *bedlítandó* érték, az ún. „*kell*” érték a szervezet állandóan megtartandó optimális hőmérséklete. Ehhez egy mérőszisztéma méri a pillanatnyi, de állandóan változó „*van*” értéket, ez pedig továbbjelentődik egy szabályozónak. Itt megtörténik a „*kell*” értékkel való egyeztetés, majd ha a két érték közt eltérés észlelhető, a korrigáló jelzések leadása (2. számú ábra). Ha a szabályozóközpont a folyamatok ellenőrzés során azt észleli, hogy a „*van*” érték magasabb, úgy — neuronális úton — hőleadást kiváltó jeleket ad, izzadás, vasodilatatio jelentkezik. Ellenkező esetben a szervezet vasoconstrictióval és hőtermeléssel (hővisszatartás és anyagszere-fokozódás) reagál.

A hőszabályozásnak ez az anatómiai központja a köztiagy ventrális része mellett található, ahol a hypothalamus legfontosabb magjai, a chiazma opticum és a hypophysis helyezkedik el. A két legfontosabb termoregulációs struktúra az area praeoptica, mely az elülső hypothalamusban van, és melegaktiválható receptorként bizonyított (27), valamint az area hypothalamica posterior, mely a neuronális hőmérsékleti impulzusok integratív átkapcsoló és transzformációs helye (7). Jelentős szerepe van még az idegtörzs formatio reticularis szenzoros részének, melyet a központi idegrendszer felszálló specifikus szisztémájaként *Aras-Aszcendáló Retikuláris Aktiváló Szisztéma* is emlegetnek. Ez nagyszámú feladat egyszerre történő megjelenése esetén fontos bemenő és átkapcsoló állomás. Különösen befolyásolható a gerincvelő első kötegéből érkező neuronális hőimpulzusok által, és esatlakozást ad csaknem valamennyi érzékszervhez. Innen neuronális pályák futnak a hypothalamushoz, a limbicus rendszerhez, valamint visszacsatoló körök a motoros és szenzoros kérgi területekhez.

#### **A hőszabályozás működése**

A szabályozó központ folyamatos állapotjelentést kap az egész szervezet hőállapotáról, különböző intenzitással és minőségben. Figyelembe véve, hogy a testmag



2. sz. ábra: Az emberi szervezet hőszabályozása (Stachen, Alving és Lange-Asshenfeld [19]1) szerint

hőmérséklete sem egységes (például a fej hőmérséklete, mely a törzsnél  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal magasabb), elmondhatjuk, hogy a 2. sz. ábra sémás ábrázolásával szemben nemcsak 3 bemenet (a bőr és a mag termoreceptorai, valamint a „kell” érték) ismert, hanem a szervezet egy multiplex inputtal (bemenettel) ellátott, fényűzően felépített szabályozó rendszerrel rendelkezik a hőmérsékleti középérték biztosítására (11). Az output (kimenet) pályái a melegtermelést és -leadást érintik. A szabályostól való eltérésre a szervezet egyrészt a szimpatikus idegrendszer által vezérelt vasomotoricával (dilatatio-constrictio) és verejték-szekrécióval, másrészt a somatomotoros idegrendszer útján didergéssel, személyiségváltozással reagál.

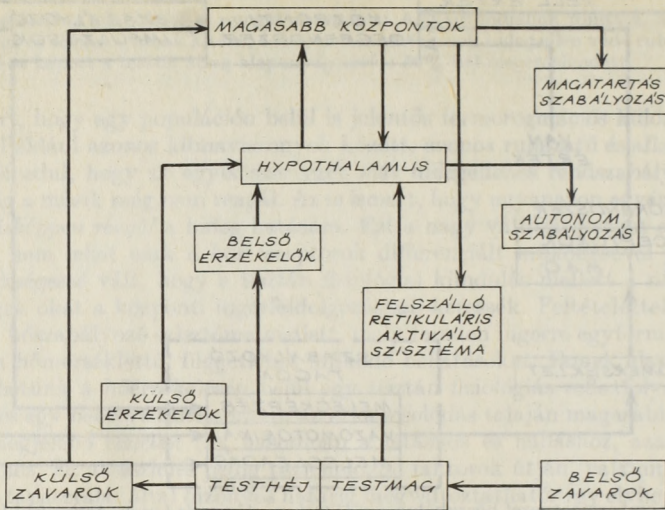
*A hőmérsékleti jelek feldolgozásához 3 neurális egységre van szükség:*

a) *afferens neuronokra*: a bőr meleg-, illetve hidegreceptoraitól és a mag melegreceptoraitól a hypothalamusig; b) *efferens neuronokra*, melyek magjai a hypothalamusban vannak, és a melegképzést, illetve leadást aktiválják; c) *interneuronokra*, melyek a hypothalamusban fekszenek, inhibitor szerepük van, és a nem hőmérsékleti faktorokkal is szoros kapcsolatban vannak (4). E rendszer a hőmérsékleti jeleket a 3. sz. ábrán látható módon dolgozza fel.

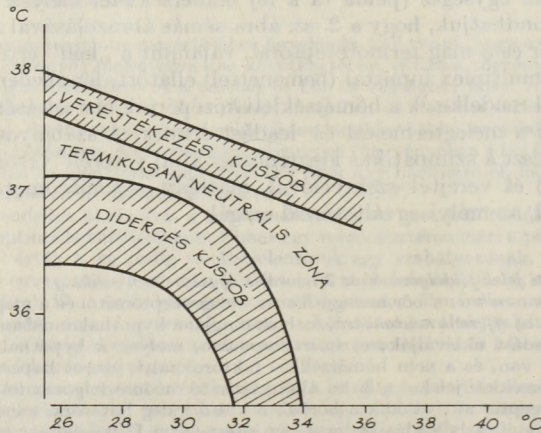
Ha a hidegreceptor aktiválódik a bőrben a külső hideg hatására, ennek eredményeként a melegképzés fokozódik, a hőleadás pedig — az interneuron II-n kifejtett gátló hatás miatt — csökkenni fog. Ha a mag-melegreceptor aktiválódik (pl. a maghő emelkedése, munka miatt), direkt fokozódik a melegleadás, és az interneuron I-en át a melegképzés gátlását fogja előidézni. A bőr melegreceptorainak csak direkt izgató hatásuk van: a melegleadás fokozása.

A meleg- és hideg-receptorok antagonisták beidegzésűek. Ha grafikusán ábrázoljuk a hőtermelést és hőleadást (4. sz. ábra), a bőr és mag középhőmérséklet függvényében, láthatjuk, hogy a verejtékezés és didergés küszöbe között létezik egy olyan termikus-neutrális zóna, ahol a szervezet képes a hóháztartást csak vasomotoricával szabályozni, anélkül, hogy a hőtermeléshez vagy hőleadáshoz energiafelhasználásra kényszerülne.

Ha átlépjük a didergésküszöböt a külső vagy belső lehűlés miatt, a szervezet didergéssel, anyagcsere-fokozódással, míg a verejtékezési küszöböt átlépve, fokozott

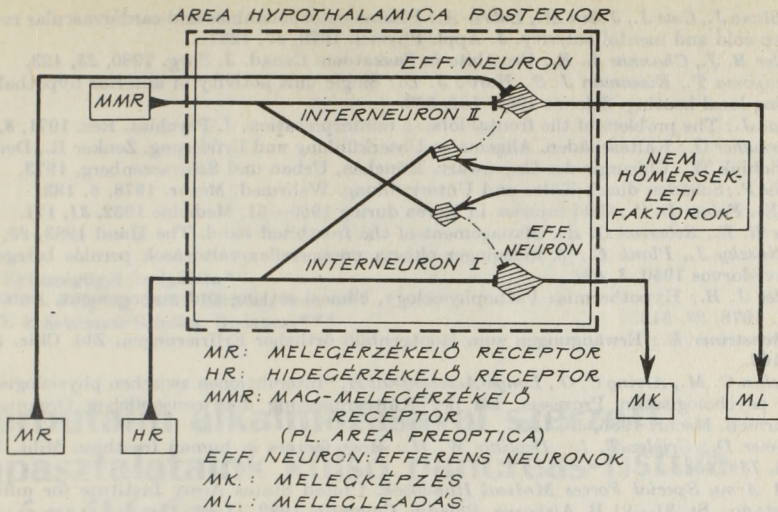


3. sz. ábra: Az emberi szervezet hőszabályozásának bővített sémája (Stachen, Alving és Lange-Asshenfeld [19] szerint)



4. sz. ábra: A bőr középhőmérsékletének alakulása az emberi szervezetben a hőtermelés és hőleadás ábrázolásával, 36–38°C külső hőmérséklet esetén, ruhátlan emberben. A neutrális zónában a hőreguláció a vasomotorium változásai útján jön létre (Stachen, Alving és Lange-Asshenfeld [19] szerint)

verejtékezéssel, hőleadással próbál visszajutni a neutrális zónába. Ha a didergés-küszöb alacsonyabb hőmérsékleti értékek felé eltolódik, a neutrális zóna kiszélesedik. Így hidegebb hőmérséklet ellenállás nélkül tolerálható lesz. Ez jön létre az interneuronokra ható, termikus faktorok módosító hatására (11), melynek eredményeként a küszöbérték új meghatározást kap. Például az 5. számú ábrából leolvashatjuk, hogy a szervezet spontán aktivitásának csökkenése esetén már kis hidegimpulzusok képesek a hőtermelés kiváltására, illetve fokozására.



5. sz. ábra: A bemeneti információk hatására már viszonylag enyhe hidegimpulzusok is kivált(hat)nak hőtermelést, ami hőleadást eredményez(het)

Abban az esetben viszont, ha az interneuron I, egy — a formatio reticularison át utat törő — ingerülettel aktiválódik, ez erős gátló hatást fog a melegképzés efferens neuronjára kifejteni. Így csak jóval erősebb hideginger fog melegtermelést kiváltani, a hidegküszöb alacsonyabb értékek felé tolódik, miatt a verejtékküszöb a normális értéken marad (5). A vasomotorica által irányított neutrális zóna megnő, de a precízió költségére. Tartós adaptáció esetén csak az új küszöbhelyzet marad meg, míg rövid ideig tartónál egy individuális tartományon belüli ingadozás befolyásolható pszichikai faktorok által (25).

Kimondható tehát, hogy a hypothalamus a hőszabályozás során a formatio reticularis (a környezet tudatos észrevétele érzékszerveink által itt gerjesztődik és vezetődik a cortex felé — 25) és a limbicus rendszer felől (mely az emóciók erős befolyásolója — 26) a helyzete szempontjából erős módosító hatásokat kap. Fontos pszichés hatások (figyelem, motiváció, tapasztalat) alkalmasak így arra, hogy a rövid ideig tartó hőhatásra történő alkalmazkodást, befolyásolják (2, 8). Egyben az alkalmazkodási sémát is kibővíthetjük (5. számú ábra) a felszálló reticularis szisztémával (ARAS) és a hypothalamusra különös hatást gyakorló magasabb centrumokkal.

#### IRODALOM

- Bálint P.: Élettan. Hőforgalom és hőszabályozás. Medicina, Budapest, 1986, 668.
- Bligh J., Johnson K. G.: Glossary of terms for thermal physiology. J. Appl. Physiol. 1973, 35, 941.
- Boswick J. A., Thompson J. D., Jonas R. A.: The epidemiology of cold injuries. Surg. Gynec. Obstetr. 1979, 149, 326.
- Brück K., Wünnenberg W.: Eine Kälteadaptierte Modifikation: Senkung der Schwellentemperatur für Kältezittern. Pflügers Arch. ges. Physiol. 1967, 293, 226.
- Cabanac C.: Temperature regulation. Ann. Rev. Physiol. 1975, 37, 415.
- Curupa D-I., Tünjankin H. A.: Organizacija pomoseci pri otmorozenija na etapah medicinskoj evakuacii. Vojen. Med. Zsurn. 1984, 2, 14.
- Jessen K.: Immersion and accidental hypothermia. Acta. Med. Port. 1979, 2, 225.

8. *Le Blanc J., Cote J., Jobin M., Labrie A.*: Plasma catecholamines and cardiovascular responses to cold and mental activity. *J. Appl. Physiol.* 1979, *47*, 1207.
9. *Müller B. J., Chasmar L. R.*: Frostbite in Saskatoon. *Canad. J. Surg.* 1980, *23*, 423.
10. *Nakayama T., Eisenman J. S., Hardy J. D.*: Single unit activity of anterior hypothalamic during local heating. *Science* 1961, *134*, 560.
11. *Naute J.*: The problem of the frontal lobe: a reinterpretation. *J. Psychiat. Res.* 1971, *8*, 167.
12. *Neureuther G.*: Kälteschäden. Allgemeine Unterkühlung und Erfrierung. Zenker R., Deucher F., Schink W.: Chirurgie der Gegenwart. München, Urban und Schwarzenberg, 1973.
13. *Nobbe F.*: Schäden durch Kälte und Unterkühlung. *Wehrmed. Mschr.* 1978, *6*, 183.
14. *Orr K., Feiner D. C.*: Cold injuries in Korea during 1950—51. *Medicine* 1952, *31*, 171.
15. *Page R. E., Roberson G. A.*: Management of the frostbited hand. *The Hand* 1983, *25*, 185.
16. *Pastinszky J., Plank É.*: A hideginger okozta pressorreflex-változások perniós betegeken. *Honvédorvos* 1950, *3*, 424.
17. *Reuler J. B.*: Hypothermia: Pathophysiology, clinical setting and management, *Ann. Int. Med.* 1978, *89*, 519.
18. *Ruckenstein E.*: Erwägungen zum Röntgenbild örtlicher Erfrierungen. *Zbl. Chir.* 1952, *72*, 163.
19. *Staschen C. M., Alving C. O., Lange-Asschenfeldt H.*: Interaktionen zwischen physiologischen und psychologischen Prozessen bei der Kälteanpassung des menschlichen Organismus. *Wehrmed. Mschr.* 1986, *30*, 155.
20. *Summer D., Cribblez T. L., Doolittle W. H.*: Host factors in human frostbite. *Milit. Med.* 1974, *139*, 454.
21. *USA Army Special Forces Medical Handbook.* United States Army Institute for military Assistance. St. 31—91 B. Airborne. Paladin, Colorado, 1982, 11—1, 11—2.
22. *Vinson H. A., Schatzki R.*: Bone changes in Frostbite. Korea 1950—51. *Radiology* 1954, *63*, 645.
23. *Weymar E. E., Greenbaum D. M., Grace W. J.*: Accidental Hypothermia in an alcoholic Population. *Am. J. Med.* 1974, *56*, 13.
24. *Vichriev B. S.*: Möglichkeiten und Perspektiven in der konservativen Therapie der lokalen Erfrierungen. *Zeitschr. Militär. Med.* 1985, *2*, 67.
25. *Winnenberg W., Brück K.*: Studies on the ascending pathways from the thermosensitive region of spinal cord. *Pflügers Arch. Physiol.* 1970, *321*, 232.
26. *Winnenberg W., Hardy J. D.*: Response of single units of the posterior hypothalamus to thermal stimulation. *J. Appl. Physiol.* 1972, *33*, 547.
27. *Zeisberger E., Brück K.*: Effects of intrahypothalamically injected noradrenergic and cholinergic agents on the thermoregulatory response. *Schörbaum, Lowan: Pharmacology of Thermoregulation, Symp. 5. tb. Congress on Pharmacology, San Francisco, 1972, 232.*

Szerző címe: Dr. Syposs Tibor, Budapest, Lajos u. 106., 1162.

*T. Syposs M.D.*:

#### EFFECTS OF LOW TEMPERATURE AND PROTECTIVE MECHANISMS OF THE ORGANISM

The author reports on heat loss and heat generating factors of the organism and emphasizes the regulating effect of the skin circulation. He deals with the etiology and classification of cold injuries and analyses short-term and long-term adaptation to cold effect, mechanism and possibilities of influencing this adaptation. At the end he outlines the anatomical localization, action, regulating and integrating functions of the thermoregulation center.

*T. Шпошш:*

#### ВЛИЯНИЕ НИЗКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОРГАНИЗМ И ЗАЩИТНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ОРГАНИЗМА

Автор сообщает о факторах теплоотдачи и теплообразования организма, о регулирующем действии кровообращения кожи. Он занимается этиологией и классификацией патологических картин, возникающих под действием низкой температуры. Подробно останавливается на вопросах кратковременной и длительной адаптации к воздействию низкой температуры, на механизме возникновения данной адаптации и возможности улучшения ее. В заключение автор рассматривает анатомическую локализацию, деятельность, регулирующие и интегрирующие функции центра терморегуляции.