

ZRÍNYI MIKLÓS NEMZETVÉDELMI EGYETEM  
BOLYAI JÁNOS KATONAI MŰSZAKI KAR  
KATONAI MŰSZAKI DOKTORI ISKOLÁJA

**Dr. Kohut László**

**Extrém fizikai terhelésnek kitett katonai  
állomány keringési és élettani vizsgálata**

Doktori (PhD) értekezés

**Témavezető:**

**Dr. Fűrész József orvos ezredes, CSc, egyetemi magántanár**

**2008. Budapest**

# TARTALOMJEGYZÉK

<b>BEVEZETÉS</b> .....	<b>1</b>
A TÉMAVÁLASZTÁS INDOKLÁSA .....	3
KUTATÁSI CÉLKITŰZÉSEK .....	4
KUTATÁSI HIPOTÉZISEK MEGFOGALMAZÁSA .....	5
KUTATÁSI MÓDSZEREK .....	5
TERVEZETT, ILLETVE VÁRHATÓ ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK, AZOK FELHASZNÁLHATÓSÁGA.....	7
<b>1. A KUTATÁSI TÉMA IRODALMI ÁTTEKINTÉSE</b> .....	<b>8</b>
1.1. A TESTEDZÉS ÉS ÁLLÓKÉPESSÉG ALAPFOGALMAI.....	8
1.2. AZ ENERGIASZOLGÁLTATÁS FORMÁI .....	10
1.3. AZ IZOMRSTOK TÍPUSAI.....	11
1.4. A SZÉNHIDRÁTOK METABOLIZMUSA TERHELÉS ALATT .....	13
1.5. A ZSÍRANYAGCSERE VÁLTOZÁSA EDZÉS HATÁSÁRA.....	15
1.6. A FEHÉRJE METABOLIZMUSÁNAK VÁLTOZÁSA EDZÉS HATÁSÁRA.....	16
1.7. A TERHELÉS NEUROENDOKRIN SZABÁLYOZÁSA.....	18
1.8. AZ INTERMITTÁLÓ TERHELÉS FIZIOLÓGIÁJA.....	20
1.9. A SPIROERGOMETRIÁS VIZSGÁLAT.....	22
KÖVETKEZTETÉSEK.....	23
<b>2. A GLOBÁLIS FELMELEGEDÉS ÉS AZ ANTROPOSZFÉRA</b> .....	<b>24</b>
2.1. A KLÍMAVÁLTOZÁS GAZDASÁGI ÉS BIZTONSÁGPOLITIKAI KÖVETKEZMÉNYE.....	25
2.2. A FELMELEGEDÉS EGÉSZSÉGGÁROSÍTÓ HATÁSA.....	27
2.3. AZ EMBERI SZERVEZET HŐSZABÁLYOZÁSA.....	28
2.4. HORMONÁLIS SZABÁLYOZÁS.....	29
2.5. A HŐLEADÁS MECHANIZMUSAI.....	32
2.6. A MAGHŐMÉRSÉKLET ÉS A BŐRHŐMÉRSÉKLET ALAKULÁSA.....	32
2.7. A HŐMÉRSÉKLETEMELKEDÉS HATÁSA TARTÓS TERHELÉSRE.....	34
2.8. AZ ANYAGCSERE ÉS A FOLYADÉKHÁZTARTÁS VÁLTOZÁSA.....	35
2.9. A VÁZIZOMZAT ANYAGCSEREVÁLTOZÁSA TERHELÉS SORÁN.....	38
KÖVETKEZTETÉSEK.....	38
<b>3. AZ AKKLIMATIZÁCIÓ</b> .....	<b>40</b>
3.1. AZ EDZÉS CELLULÁRIS HATÁSA .....	40
3.2. A FIZIKAI AKTIVITÁS ENERGIASZÜKSÉGLETE .....	45
3.3. A BŐR HŐLEADÁSA.....	48
3.4. A SZÍV ÉS KERINGÉSI RENDSZER ALKALMAZKODÁSA .....	50
3.5. A LÉGZŐRENDSZER ALKALMAZKODÁSA.....	51
3.6. A FOLYADÉKHÁZTARTÁS ALKALMAZKODÁSA.....	51
KÖVETKEZTETÉSEK.....	53
<b>4. A TELJESÍTMÉNYT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK</b> .....	<b>55</b>
4.1. MAXIMÁLIS INTENZITÁSÚ TERHELÉS .....	55
4.2. SZUBMAXIMÁLIS TERHELÉSI SZINT .....	56
4.3. HŐTOLERANCIA.....	57
4.4. PATOLÓGIÁS VÁLASZOK A HŐHATÁSRA ÉS AZOK ELLÁTÁSA .....	57
4.5. A TELJESÍTMÉNY NÖVELÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI .....	63
4.6. A FOLYAMATOS TERHELÉS FELTÉTELEI.....	64
4.7. A TERHELÉS-PIHENÉS VÁLTAKOZÁSA .....	65
4.8. MATEMATIKAI MODELLEK A TELJESÍTMÉNY PROGNOZTIZÁLÁSÁRA.....	66
4.9. BIOMEDIKÁLIS (ÉLETTANI ÉS ORVOSEGÉSZSÉGÜGYI) PARAMÉTEREK.....	68
KÖVETKEZTETÉSEK.....	71
<b>5. VIZSGÁLT SZEMÉLYEK, KUTATÁSI MÓDSZER, EREDMÉNYEK, MEGBESZÉLÉS</b> .....	<b>73</b>
5.1. VIZSGÁLT SZEMÉLYEK.....	74
6.1. ALKALMAZOTT KUTATÁSI MÓDSZER .....	79

6.2.	STATISZTIKAI ELEMZÉS .....	82
6.3.	EREDMÉNYEK .....	82
6.4.	MEGBESZÉLÉS .....	92
	KÖVETKEZTETÉSEK.....	97
	<b>ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK.....</b>	<b>99</b>
	<b>ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....</b>	<b>101</b>
	<b>AJÁNLÁSOK .....</b>	<b>102</b>
	<b>KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....</b>	<b>103</b>
	<b>RÖVIDÍTÉSEK.....</b>	<b>104</b>
	<b>TÉMAKÖRBŐL KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓIM.....</b>	<b>105</b>
	<b>FELHASZNÁLT IRODALOM .....</b>	<b>106</b>
	<b>MELLÉKLETEK.....</b>	<b>111</b>

## BEVEZETÉS

Az új haderő koncepció miatt, a NATO nemzetközi feladataiban, az ENSZ égisze alatt működő békefenntartó tevékenységben való jelentős szerepvállalással a katonák rendkívüli fizikai és pszichés igénybevételnek vannak kitéve. Extrém körülmények között - szélsőséges klimatikai viszonyoknál - forró száraz éghajlaton, a Ráktérítő menti övezetben szolgálatot teljesítők szervezetében a fokozott terhelés hatására felborul a metabolikus, víz-elektrolit és sav-bázis háztartás, csökken a koncentrációs képesség és megnő a kardiovaszkuláris események kockázata. Ezen kórélettani változások összessége veszélyezteti nem csak a harci feladat végrehajtásának eredményességét, hanem a katona egészségi állapotát, sőt súlyos esetekben akár az életét is.

A hősrülés kialakulása a múltban is komoly problémát okozott. Az ókoriak már több évezreddel ezelőtt meghatározták az év legkritikusabb napját a hőártalom szempontjából. 3000 éve az északi égbolt legfényesebb és legjelentősebb csillaga a Szíriusz, amely a nagykutya csillagképben (Canis Major) található. A Szíriusszal hozták összefüggésbe az elviselhetetlenül meleg nyári napokat, az úgy nevezett kutya meleg („dog days”) napokat. Az óegyiptomiak, ógörögök és rómaiak a Szíriusznak tulajdonították az emberekre rázúduló lázas állapotot, illetve a kutyák veszettségét. A mai napig az orvostudomány a Siriasis diagnózist használja a nap által okozott hőártalmak (napszúrás, hőség) megjelölésére. Már Krisztus előtt 1100-ban Homérosz az Iliászban *vészcsillag* - nak nevezi a kínzó hőséget hozó Szíriuszt (48).

A globális klímaváltozás következtében egyre több szélsőséges időjárási jelenség érinti Magyarországot, ami közvetlenül veszélyeztetheti az ember egészségét és szervezetét, a környezetre és más élőlényekre gyakorolt hatások révén. Az elmúlt 30 évben kimutathatóan nőtt az éves átlaghőmérséklet Magyarországon, Budapesten a napi átlaghőmérséklet 30 év alatt 0,9°C-kal emelkedett, jelentősen növekedett a nagyon meleg napok száma.

A globális éghajlatváltozás növekvő mértéke és annak egészségkárosító hatása az 1990-es évek óta a figyelem előterébe került. Ez azzal magyarázható, hogy a lakosság körében emelkedett a hőártalom okozta morbiditás és mortalitás. Az emberi szervezetnek az időjárási hatásokkal szemben kialakult adaptív képessége nem tud olyan gyors mértékben alkalmazkodni, mint ahogy a klímaváltozások végbe mennek. Az ismétlődő és intenzívebb

hőhullámok, illetve a fokozódó általános felmelegedés hatására egyre több hősérülés alakul ki: hőséguta, hősokk, napszúrás, a magas hőmérséklettel összefüggő idő előtti halálozás.

Az IPCC 1996-ban kiadott jelentése részletesen beszámolt a hőmérsékletemelkedés várható hatásairól:

- ◆ „A globális hőmérsékletnövekedés fokozottan veszélyezteti a városok népességét, ahol a hőmérséklet több fokkal magasabb, gyengébb a természetes szellőzés, és a délutáni enyhülés kezdetét az épületek kisugárzása órákkal későbbre tolja.
- ◆ A hőmérséklet növekedésével gyakoribbá válnak a vektorok (állati közvetítők, pl. kullancs, szúnyog) okozta megbetegedések, változik a vektorok elterjedése, ezáltal újabb, az adott területen nem gyakori betegségek lépnek fel, megváltozik az allergén növényfajok virágzási kezdete, időtartama, fokozódik a pollenterhelés.
- ◆ A klímaváltozás következményeként a lakossági kitelepítéseknél (árvizek, özvízszerű esők, földcsuszamlások) sérülések, fertőzések, táplálkozási és pszichológiai károsodások lépnek fel. Szignifikáns az összefüggés a fokozott napsugárzás és a rosszindulatú bőrdaganatok (melanoma) előfordulásának gyakoribbá válása között” (104).

A fenn leírtakból kikövetkeztethető a katonaság érintettsége a globális felmelegedésben. Nem csak közvetlenül a magasabb külső hőmérséklet jelent nagyobb terhelést a katona számára, hanem a hatások összessége is:

- ◆ katonai műveletek (háborús és nem háborús) városokban („városi-hősziget”);
- ◆ a pollenok elterjedése és magas koncentrációja allergiás megbetegedésekhez vezethet, amelyek kezelésére olyan gyógyszereket használnak, melyek súlyosan károsítják a szervezet hőszabályozó mechanizmusát;
- ◆ az egyre gyakoribb és súlyosabb természeti katasztrófák miatt a nagyszámú menekültet kimenekítő, támogató és humanitárius tevékenység;
- ◆ az adott területre nem jellemző fertőző betegségek elterjedése miatti fokozott veszélyeztetettség;
- ◆ bőrdaganatok kialakulásának magasabb kockázata a hosszabb napsugár-expozíció miatt.

## A TÉMAVÁLASZTÁS INDOKLÁSA

Az emberi szervezet optimális működéséhez nélkülözhetetlen a maghőmérséklet állandó szinten tartása, mely csak abban az esetben lehetséges, ha a hőtermelés és a hőfelvétel egyensúlyban van a hőleadással. Ezt a mechanizmust hőszabályozásnak nevezzük. A hipotalamuszban található termoreceptorok követik a maghőmérséklet változását, és ellenregulációs folyamatokat indítanak be. A szervezet hőszugárzással, kondukcióval, konvekcióval illetve párologtatással biztosítja a maghőmérséklet szinten tartását. Izommunka esetén a hőtermelés a nyugalmihoz képest többszörösére nő. Ha ehhez társul a környezet magas hőmérséklete (36°C felett), és alacsony páratartalma (50% alatti relatív páratartalom), akkor a hőleadás már csak párologtatás révén valósulhat meg. A párologtatással, a verejtékmirigyek aktiválásával, nem csak víz-, de az elektrolitok is a bőrfelszínre kerülnek. A hőség okozta nagyfokú verejtékezés, megfelelő folyadék- és ion-pótlás hiányában, súlyos víz-elektrolit háztartás zavart okoz, mely kezdetben hő-stresszhez, alacsony vérnyomáshoz, szinkopéhoz, fájdalmas izomgörcsökhöz, hő-kimerüléshez, illetve a legsúlyosabb esetben hőséguta (heat stroke) kialakulásához vezet. Ezen állapotok kialakulása az egyén korától, nemétől, fizikai állóképességétől és edzettségi szintjétől, az esetleg fennálló társbetegségektől, illetve bizonyos gyógyszerek szedésétől függ.

Megfelelő akklimatizálódással ezen kóros állapotok kialakulása nagymértékben csökkenthető, de igazán jelentős szerepe csak a megelőzésnek van. Folyamatosan magasabb hőmérsékletű területen végzett tartós fizikai aktivitás nehezebb hőleadással jár még jó adaptáció mellett is. Ez nem csak teljesítménycsökkenéshez vezet, hanem túlhevülés miatt a különböző súlyosságú hőártalom kialakulásához is. Ennek következményeként kialakulhat a központi idegrendszeri funkciózavarokkal együttjáró, életveszélyes hőséguta. A hőártalom legenyhébb formája is veszélyezteti a harci feladat elvégzésének eredményességét.

Amennyiben a hőártalom tünetei jelentkeznek, azonnal hozzá kell látni a megfelelő kezeléshez, melynek szintjét a hőártalom foka határozza meg. A test lehűtésével kezdve, az intenzív terápiás ellátáson át, a hemodinamikai paraméterek monitorozásával, iv folyadék- és elektrolit-korrekciónal befejezve, mindent el kell követni, hogy elkerüljük a fatális végkimenetelt.

## KUTATÁSI CÉLKITŰZÉSEK

A hivatásos és szerződéses katonák nemzetközi szerepvállalása miatt jelentkező kihívások szükségessé teszik a katonai alkalmassági vizsgálatok kiterjesztését. Részletes és bővített alkalmassági vizsgálat során olyan keringési és élettani működészavar állapítható meg, mely megléte prognosztikus értékű, és előrejelzi az olyan nem várt kardiovaszkuláris történések bekövetkeztét, melyek veszélyeztethetik az eredményes kihívásvállalást, a harci feladat teljesítését, illetve a feladat végrehajtást.

A megnövekedett követelmények, a fokozott kihívások, és a teljesítménynövekedés miatt csak tudományos alapokra helyezett edzésprogram és állapotfelmérés nyújthat biztonságos feltételt a katonák részére. A katona-orvostudományok szerepe abban rejlik, hogy az adaptációs mechanizmusok, a metabolikus változások, az izomműködés, a keringési és a légző rendszer alkalmazkodóképességének részletes megismerésével segít a katonák felkészítésében, a feladatok végrehajtásában, és az eredményes szerepvállalásban.

A vizsgálat célja: a spiroergometriás terhelés során bekövetkezett metabolikus és hormonális változások vizsgálata mérsékelt és száraz forró klimatikus körülmények között, és ezek prognosztikus értéke edzett katonáknál.

A vizsgálatok során, az elméleti és a gyakorlati ismeretek alapján, a következő kérdésekre kerestük a válaszokat:

1. Milyen változások következnek be a katonák kardiorespiratorikus rendszerében és a hormonszintekben akut terhelés hatására?
2. Milyen változások következnek be két hetes ellenőrzött strukturált edzésprogram hatására a kardiorespiratorikus rendszer válaszában és a hormontermelésben?
3. Van-e összefüggés a hormonszintek alakulásában és az extrém fizikai terhelésre adott válaszbán?
4. Hogyan változnak a hormonszintek és a kardiorespiratorikus paraméterek extrém fizikai terhelés hatására?

## **KUTATÁSI HIPOTÉZISEK MEGFOGALMAZÁSA**

A terhelés típusa, időtartama, intenzitása, a környezet hőmérséklete jelentősen befolyásolja a terhelés során észlelt kardiorespiratorikus változásokat, illetve a terhelésre adott metabolikus és hormonális választ. A katona edzettségi állapota, illetve az akklimatizáció mértéke, az esetleges túlterhelés, az egyéb individuális biomedikális paraméterek egyaránt befolyásolják a vizsgálatunk során mért paramétereket.

Álláspontunk szerint az akut, futószalagos terhelés megfelelő diagnosztikai módszer a fizikai teljesítőképesség és a terhelés által kiváltott élettani és metabolikus folyamatok összefüggéseinek meghatározására.

Feltételezzük, hogy a szérum kortizol és tesztoszteron változása terhelés hatására, illetve a tesztoszteron/kortizol hányados alakulása katonák esetében érzékeny jelzője a katona edzettségi állapotának, adaptációs képességének, illetve az edzésprogram eredményességének megalapítására.

## **KUTATÁSI MÓDSZEREK**

A kardiorespiratorikus rendszer alkalmazkodása az extrém fizikai körülmény között végzett fizikai és pszichés terhelésre nagymértékben függ a katona keringési- és légző rendszerének állapotától, izomzatától, a szállító rendszer kapacitásától és a genetikai tényezőktől, melyek meghatározzák az egyén alkalmazkodó képességét. A terhelésre (típustól, intenzitástól, időtartamától függően) adott metabolikus és hormonális válasz függ az egyén edzettségétől és a felsorolt biomedikális paraméterektől.

A spiroergometriás vizsgálat alkalmas a katona teljesítőképességének megítélésére és a terhelés során észlelt metabolikus és élettani folyamatok meghatározására.

Feltételezzük, hogy a terhelés során észlelt metabolikus és hormonális változások megfelelő prognosztikus értékkel bírnak a katona edzettségi állapotának és akklimatizációs képességének a megítélésére.

A vizsgálatot 30 egészséges, jó fizikai erőnlétben lévő katonán végeztük. Előzetesen elvégzett általános laborvizsgálatokat követően fizikális vizsgálatot és szívultrahangot végeztünk. Amennyiben nincs ellenjavallat, a vizsgálatban résztvevő alanyok kardiopulmonális (más



néven spiroergometriás) terhelésben vesznek részt. Ez alatt folyamatos EKG készül, regisztráljuk a légzés és a gázcsere paramétereit, az artériás vérgázok alakulását. A terhelést megelőzi egy hagyományos spirometriás vizsgálat a maximális akaratlagos percventilláció (MVV) meghatározására. A terhelés során a kilégzett levegőben az O<sub>2</sub> és a CO<sub>2</sub> koncentrációjának meghatározása légvételtől légvétele gázminta analízis útján történik. Az online feldolgozott adatok a vizsgálat közben digitális és grafikus formában is folyamatosan megjeleníthetők.

Az alanyokat két hőmérsékleti körülmény között terheljük: 22° C fokon és 75% relatív páratartalomnál, mely megfelel a természetes környezetnek, illetve 33° C fokon és 52% relatív páratartalmú környezetben, mely megfelel a közel-keleti országok forró száraz klímájának. Ezeket a terheléseket 2 hét választja el egymástól, ugyanazon a napon ugyanabban az órában végezzük őket. A terhelés előtt 1 órával sem ételt, sem folyadékot nem vihetnek be a vizsgált személyek. A terhelést a számolt max. frekvencia 80-100%-ig illetve kifáradásig tervezzük végezni.

A terhelések során a következő paraméterek kerülnek kiértékelésre ill. összehasonlításra:

**Percventilláció (VE):** az egy perc alatt belélegzett levegő térfogata.

**Oxigénfogyasztás (VO<sub>2</sub>) és széndioxid termelés (CO<sub>2</sub>):** a belélegzett és kilégzett levegőben mért gázkoncentrációk különbségéből és a légzési volumenből számíthatók.

**Metabolikus ekvivalens (MET):** a terhelés intenzitásának az egysége (3,5 ml/tskg/min oxigénfogyasztás).

**Maximális oxigénfogyasztás (VO<sub>2max</sub>):** az a legnagyobb oxigénfogyasztás, amely a terhelés további fokozásával nem növelhető.

**Respiratórikus kvóciens (RQ vagy RER):** a széndioxid termelés és az oxigénfogyasztás hányadosa.

**Anaerob vagy légzési küszöb (AT):** az a terhelési szint, amikor a metabolizmus anaerob arányba terelődik el, mely során VCO<sub>2</sub> értéke a VO<sub>2</sub> értékhez képest jelentősen megnövekszik.

**EKG:** nyugalmi állapotban és a terhelés alatt folyamatosan.

**Szívfrekvencia:** ütés /perc monitorozása a vizsgálat folyamán.

**RR:** folyamatos vérnyomás monitorozás.

**Légzésfrekvencia:** légzés/perc - folyamatos a vizsgálat alatt.

**Tejsav szint meghatározása** a terhelés végén.

**Szérum tesztoszteron és kortizol** meghatározása terhelés előtt és terhelés után.

A kapott eredmények összegyűjtése és elemzése után az értékeket statisztikailag feldolgozzuk, hogy a fiziológiás válaszokat, mind természetes, mind meleg/száraz környezetben elemezhesük.

## **TERVEZETT, ILLETVE VÁRHATÓ ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK, AZOK FELHASZNÁLHATÓSÁGA**

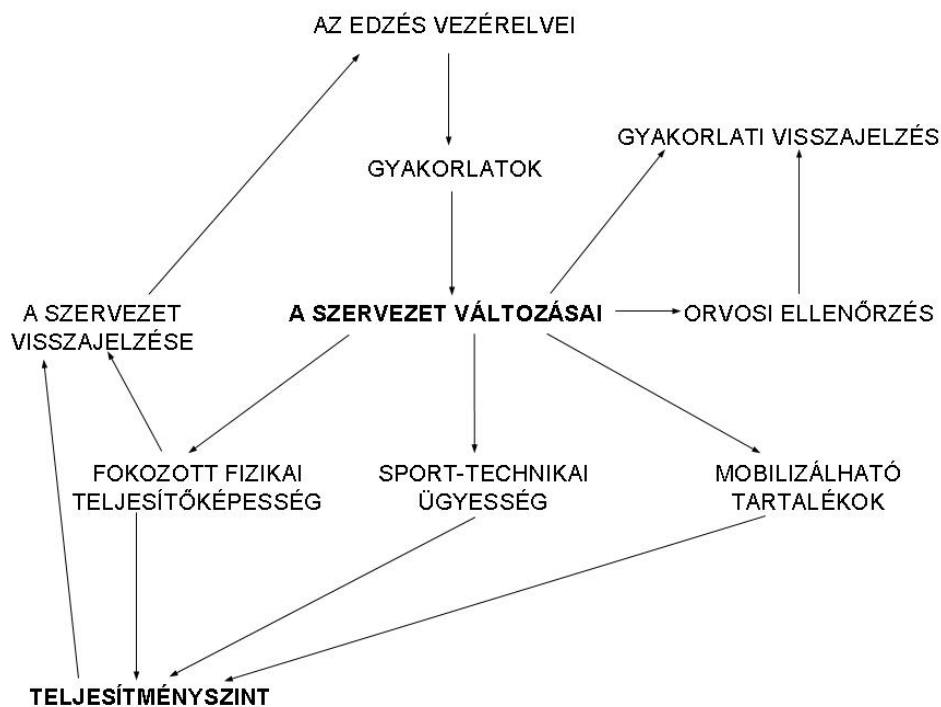
A hivatásos és a szerződéses állomány keringési és élettani vizsgálata lehetővé tenné olyan paraméterek meghatározását, melyek összefüggést mutatnak a katona edzettségi állapota, teljesítőképessége, és az adaptációs készsége között. Ezen információ birtokában biztonságosabban lehetne megválogatni azon személyeket, akiknél a szolgálat teljesítése fokozott fizikai és pszichés terheléssel jár, és ez megkönnyítené a parancsnoki személyi állományi döntések előkészítését.

Egy a gyakorlatban jól használható modell segítségével, amely prognosztizálja a terepen való extrém fizikai és mentális terhelésre adott pszicho-fiziológiai reakciókat, a katonai parancsnokok egy olyan válogatott személyi állományra tehetnek szert, akik a rájuk bízott harci feladatot sikeresen és az egészség szempontjából is biztonságosan tudják elvégezni.

# 1. A KUTATÁSI TÉMA IRODALMI ÁTTEKINTÉSE

## 1.1. A TESTEDZÉS ÉS ÁLLÓKÉPESSÉG ALAPFOGALMAI

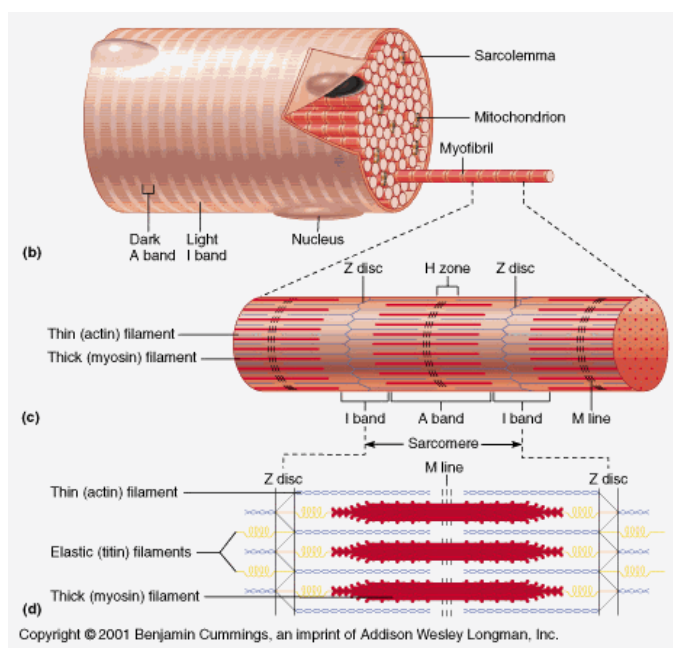
A terhelés élettani hatásának megismerésére, a szervezet működésében szélsőséges fizikai és pszichés körülmények között bekövetkező metabolikus változások elemzésére irányuló kutatások nagy segítséget nyújtanak a megfelelő edzésprogramok kialakításához. A rendszeres, optimális aerob testedzést végzők körében várhatóan kisebb mértékben jelentkeznek a kedvezőtlen körülmények között végzett terhelés okozta kóros folyamatok. A testedzés során beinduló biokémiai szabályozási mechanizmusok biztosítják azokat a metabolikus folyamatokat, melyek eredményeként fokozódik a szervezet teherbíró-képessége (1. ábra).



1. ábra: Az edzéstan szerkezete <sup>24</sup>

Az emberi szervezet izmait három fő csoportba soroljuk: a vázizmok vagy harántcsíkolt izmok, melyek az agy irányítása alatt állnak, és a hozzájuk tartozó csontokkal és inakkal együtt felelősek valamennyi akaratlagos mozgásért; a simaizmok, melyek feladata a belső

szervek akaratlagosan nem befolyásolható mozgásainak végrehajtása; végül a szívizom. Az akaratlagosan működtethető harántcsíktolt izmok össztömegének részaránya elérheti a 30%-ot. Fizikai tréning hatására a szervezet vázizomzata jelentős változásokon megy keresztül (24). Az izom összehúzódását a vékony filamentumok: az aktin, és a vastag filamentumok: a miozin, azaz a kontraktilis fehérjék biztosítják. A kontrakcióhoz és a relaxációhoz szükséges energiát négy fő energiaforrás biztosítja. Maga az izom-összehúzódás idegi impulzus hatására következik be, melynek egységét motoros neuron és az általa ellátott izomrost képezik. Minél több motoros egység kerül ingerületbe, annál nagyobb erőt fejt ki az izom. Az ingerület átvitele a motoneuronról az izomrostra a szinapszisban történik acetilkolin segítségével. Idegi aktivitás által indukált véglemezáram vált ki az izmokban akciós potenciált és izom-összehúzódást (9). A vázizom rostkötegekből áll, az izomrost néhány száz miofibrillumot tartalmaz, amelyek mindegyike ún. Z-lemezek révén mintegy 2 µm hosszú szakaszokra, szarkomerekre oszlik (2. ábra).



**2. ábra: A harántcsíktolt izomrost finomszerkezete<sup>9</sup>**

Egy miofibrillum szarkomerjeiben váltakozó sötét és világos csíkok és vonalak különíthetők el, amit a miozin és az aktinfilamentum elrendeződése okoz. Egy szarkomer két Z-lemez között helyezkedik el. Az aktinfilamentumok középpükkel a Z-lemezben rögzülnek, vagyis egy-egy fele két szomszédos szarkomerbe nyúlik bele. Az a régió, ahol az aktin- és miozinfilamentumok átfedik egymást, az A-csík, a H-zóna pedig az a szarkomer szakasz, amely csak miozinfilamentumokból áll, melyek a középvonalban M-vonallá vastagodnak. A

miozinmolekulának van egy kettéágazó fejrésze, ami ízületszerűen egy nyaki szakaszhoz kapcsolódik. A fej-nyak szakasz ízületszerű mozgékonyasága teszi lehetővé a miozin reverzibilis kötődését az aktinhoz, valamint az aktin és miozinfilamentumok egymásba csúszását. A szintén fonálszerű tropomiozin együtt csavarodik az aktinfilamentummal, miközben 40 nm-enként egy troponin-molekula tapad rá, mely a  $\text{Ca}^{2+}$ -kötésben játszik szerepet. A kontrakció folyamán a tropomiozin „fonál” a két F-aktin lánc közti hasadékba csúszik, és ezzel szabaddá teszi a miozin számára a kötőhelyeket (9). A troponin ebben a folyamatban „kapcsolóként” működik. Az izomkontrakcióhoz az aktinon és a miozinon kívül szükség van kalciumra, magnéziumra, ATP-re és ATPáz-ra is. A miozinmolekula mindkét feje megköt egy-egy ATP-t. Nagy intracelluláris kalciumkoncentráció esetén a miozinfejek hozzákötődnek az aktinhoz. Az aktin aktiválja a miozinfej ATP-ázát és elhasítja a hozzákötődött ATP-t. Ehhez magnézium is szükséges. Végül az ADP leadása végső állásukba juttatja a miozinfejeket, és azzal a csúszás be is fejeződik.

Az izomkontrakció mechanikus energiája közvetlenül kémiai energiából származik. Az izomkontrakció közvetlen energiaforrása az energiában gazdag adozintrifoszfát (ATP), amely a filamentumok csúszása közben energiában szegényebb adozindifoszfáttá (ADP) és anorganikus foszfáttá (P) hasad. Ehhez az ATP-hasításhoz nem kell oxigén, a folyamat anaerob feltételek között is végbemehet. A felhasznált ATP azonnal regenerálódik kreatinfoszfát-hasítással, anaerob glikolízissel és aerob glukóz- ill lipidégetéssel (18).

## **1.2. AZ ENERGIASZOLGÁLTATÁS FORMÁI**

Az anaerob alaktacid folyamatok gyorsan hozzáférhető energia tartaléka a kreatinfoszfát. Ennek energiában gazdag foszfátkötése átvihető az ADP-re, ezáltal az ATP anaerob úton regenerálódik. A CrP rendszer rendkívül gyors indítású, bemelegítés nélkül működik, de mindössze 10-20 másodpercre elegendő csúcsteljesítményt biztosít.

Az anaerob-laktacid folyamatok, vagyis a tejsavképződéssel járó energianyerés, az anaerob glikolízis, a CrP-hasításhoz képest némi késéssel indul. A folyamat során az izomban tárolt glikogén glukóz-6-foszfáton keresztül tejsavvá bomlik le, miközben 1 mol glukózmaradékból 2 mol ATP nyerhető. A vér tejsavszintje folyamatosan emelkedik, és kb. 2 perc alatt a tejsavszint olyan magassá válhat, hogy a folytatás ellehetetlenül, amennyiben ezt nem váltja fel az aerob glukózlebontás (27).

Az aerob glikogén, vagy szénhidrátégető rendszer a hosszabb energianyerés fő eszköze. Az izmokban és a májban tárolt glikogén edzettségtől is függően, 90 perc körüli, maximális intenzitású munka alatt merül ki (90).

Az aerob zsírégető rendszer szervezetünk alapvető energiaforrása, állandóan üzemel, és az alapanyagcseréhez is szolgáltat energiát. Az izomzat tartós teljesítménye csak glukózból (2 + 36 mol ATP/mol glukóz) és lipidekből történő aerob energianyeréssel lehetséges. Mind a szénhidrátok, mind a zsírok oxidációja egy közös útvonalban találkozik, mindkét folyamat acetil-CoA keletkezésével jár. Az acetil-CoA a citromsav-ciklusba csatlakozik. A citromsavciklus elején az acetil-CoA átadja a két szénatomos acetilcsoportját a négy szénatomból álló oxálacetát molekulának, és így citromsav keletkezik (6 szénatomos). A citromsav ezután több átalakuláson megy keresztül: először az egyik, majd a másik karboxilcsoportját is elveszti CO<sub>2</sub> formájában. A folyamat oxidatív lépései során felszabaduló energia nagyenergiájú elektronok formájában a NAD<sup>+</sup>-hoz jut, és NADH képződik belőlük (90). Minden citromsavciklusba került acetil csoportból három molekula NADH képződik. Az elektronfelvételre képes FAD-ra kerülő elektronok FADH<sub>2</sub>-t alkotnak. A 4C atomos oxálcetsav molekula minden ciklus végén újraképződik, és a ciklus folytatódik. Az egy ciklus alatt egy GTP, három NADH, egy FADH<sub>2</sub> és két CO<sub>2</sub> keletkezik. Mivel minden glukózmolekulából két acetil-CoA keletkezik, glukózmolekulánként két ciklusra van szükség. Ebből kifolyólag mindenből a duplája képződik: kettő GTP, hat NADH, kettő FADH<sub>2</sub> és négy CO<sub>2</sub> (36).

A Szent-Györgyi-Krebs-ciklus az a körfolyamat, ahol minden tápanyag lebontási útvonala összefut, belőlük széndioxid, az oxidáció során protonok és elektronok, hidrogén molekulák képződnek. Ezek a hidrogén molekulák a mitokondrium belső membránjában elhelyezkedő elektrontranszport-láncba kerülnek, és a hidrogén oxidációja eredményként víz képződik. A vízképződés során felszabaduló energiát fordítjuk ATP-szintézisére, illetve a kémiai kötés létrehozása céljából nem hasznosítható energia hő formájában szabadul fel.

### **1.3. AZ IZOMROSTOK TÍPUSAI**

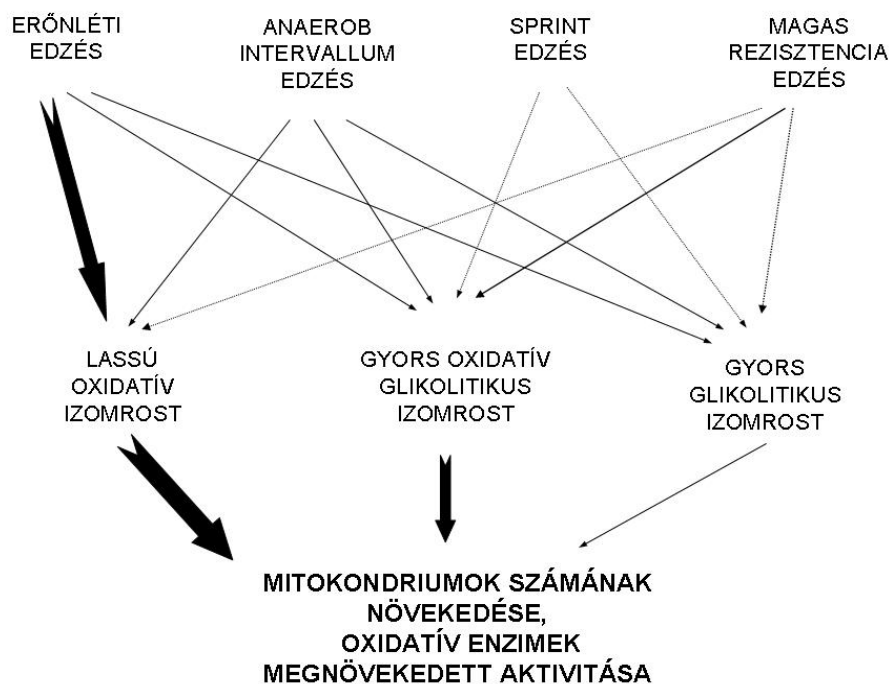
A vázizmok metabolikus szempontból eltérő izomrostokból épülnek fel. Ezen izomrost-típusok egyazon izomban változó arányban fordulnak elő, és életünk során az izomrostok aránya változik. Az 1-es típusú, lassan összehúzódó rostokra aerob anyagcsere jellemző,

magas oxidatív és alacsony glikolitikus képességgel rendelkeznek, és magas zsírtartalommal bírnak. Ezen izomrostok tulajdonsága zsírsavoxidáló képességükkel függ össze. A 2-es típusú, gyorsabb működésű rostokra pedig az intenzív glikolízis jellemző. Az utóbbiak aerob kapacitásuk függvényében 2A (mérsékelt aerob kapacitással, mérsékelt glikolitikus kapacitással, mérsékelt triglicerid- raktárokkal rendelkeznek) és 2B (csekély aerob kapacitással, magas glikolitikus kapacitással, alacsony oxidatív kapacitással, alacsony triglicerid-tartalékkal rendelkeznek) altípusokra oszthatók. Ezek mellett több altípus is ismert, mint az 1C, 2C, 2AC, 2AB, 2X, melyek besorolása a myosin-ATP-ase illetve myosin-nehéz-lánc identifikáció alapján történik. Az aerob izomműködésben elsősorban az 1-es típusú izomrostok vesznek részt (**1. táblázat**). Az egyes emberek izomzata különböző arányban tartalmaz gyors, ill. lassú típusú rostokat. Ennek sportélettani jelentősége van, hiszen a több gyors rosttal rendelkezők alkalmasabbak a hirtelen, nagy erő kifejtést igénylő sportágra, míg azok, akiknek izomzatában a lassú rostok dominálnak, a nagyobb állóképességet igénylő sportágakra alkalmasak (96).

	<b>ST-izomrostok 1-es oxidatív típus</b>	<b>FT-izomrostok 2A glikolitikus típus</b>	<b>FT-izomrostok 2B glikolitikus típus</b>
<b>Összehúzóási sebesség</b>	lassú	gyors	nagyon gyors
<b>Összehúzóási idő</b>	75 ms	30 ms	20 ms
<b>Erő/összehúzóás</b>	kevés	nagy	nagyon nagy
<b>Fáradtsággal szembeni ellenállás</b>	nagy	közepes	alacsony
<b>Motoneuronok</b>	kicsik	nagyok	nagyon nagyok
<b>Ingerküszöb</b>	alacsony	magasabb	magas
<b>Mitochondriumok száma</b>	nagyon sok	sok	kevés
<b>Mioglobin száma</b>	nagyon sok	sok	kevés
<b>Kapillárisdenzitás</b>	nagyon magas	közepes	alacsony
<b>Foszfagén rendszer</b>	kevés	sok	nagyon sok
<b>Myosin-ATP-ase aktivitás</b>	csekély	magas	nagyon magas
<b>Tárolt szénhidrát</b>	alacsony	közepes	magas
<b>Tárolt zsír</b>	magas	közepes	alacsony
<b>Oxidatív kapacitás</b>	magas	magas	alacsony
<b>Az izomrost színe</b>	vörös	vörös	fehér
<b>Anyagcsere</b>	aerob	anaerob	anaerob

**1. táblázat: Az izomrosttípusok jellemzői<sup>96</sup>**

Az aerob anyagcsere mellett végzett testedzés jelentős alkalmazkodást indít el a vázizomzatban. Az 1-es típusú rostok az edzés előtti értéknél akár 25%-kal nagyobb hányadot foglalnak el az izom keresztmetszeti képén, míg a 2A és 2B rostok által vegyesen elfoglalt terület nem változik. A 2B rostok átalakulhatnak 2A típusúvá, sőt akár 1-es típusú rostok is létre jöhetnek. Mindezek hatására az izomrostok között megfogyatkoznak a 2B típusúak, míg a 2A típusú rostok száma alig, vagy egyáltalán nem változik, és mérsékelten emelkedik az 1-es típusúak aránya: **2B → 2A → 1 (3. ábra)**.



**3. ábra: Különböző edzés típusok hatása a mitokondriumok és oxidatív enzimek kapacitás változására<sup>37</sup>**

A gyakran használt izmokban megnő a kapillárisok száma és a kapilláris/izomrost hányados. Subcelluláris szinten az izomrostok emelkedett myoglobintartalma, a mitokondriumok növekvő száma és működése, illetve a biológiai oxidációban részt vevő enzimek aktivitásának kifejezett fokozódása jellemző. A változások mértékét genetikai tényezők is meghatározzák (96).

#### 1.4. A SZÉNHIDRÁTOK METABOLIZMUSA TERHELÉS ALATT

A szénhidrátok nélkülözhetetlen energiaforrást képeznek az izomműködés számára. Mivel korlátozott mennyiségben állnak rendelkezésre a szénhidrát-raktárakban, ezért folyamatos



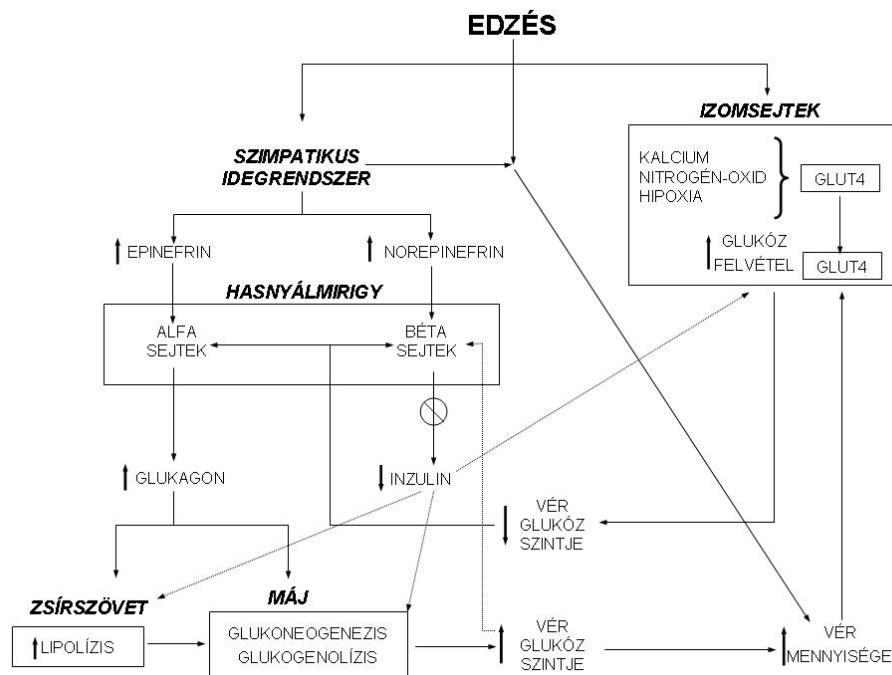
bevitelük (terhelés előtt, alatt, ill. után) rendkívül fontos a terhelés szempontjából. A szervezet az étkezéssel bevitt szénhidrátokat glikogén formájában raktározza el (69). A máj glikogén koncentrációja a legnagyobb: 250 mmol/kg, de mivel a vázizomzat képezi a testsúly 40%-át, ezért az izomszövet rendelkezik a glikogén legnagyobb tartalékával: 200 mmol/kg. A máj és az izomszövet glikogén tartaléka szoros összefüggést mutat a terhelés intenzitásával és az étkezés során bevitt szénhidrát mennyiséggel. Egy hosszabb ideig tartó intenzív terhelés után csaknem teljes mértékben kiürülnek a máj glikogén raktárai. A terhelés intenzitásának és idejének növelésével csökken a vázizomzat glikogén koncentrációja is, akár 5-10 mmol/kg értékig.

Nyugalomban a máj glikogén raktárai biztosítják a vércukorszint állandó voltát, illetve a központi idegrendszer, a vér, a belső szervek, és a vese szénhidrát igényét. Ezen szervek összességében a glikogén 75%-át használják fel nyugalmi állapotban, szemben a vázizomzat 15-20%-os arányával (13).

Hosszabb erőteljes terhelés alatt a vázizom glikogénje, a vér glukóz molekulái, illetve a máj glikogénje fontos energiaforrást képeznek a vázizom összehúzódásához (24). A terhelés elkezdését követően a vázizomzatban lévő glikogén felhasználása kezdetét veszi. A glikogenolízis a glikogen-fosforiláz aktivitásának köszönhető. Ebben a folyamatban fontos szerepet játszanak a szarkoplazmatikus kalcium ionok, a  $\beta$ -adrenoreceptorok, az intracelluláris másodlagos messenger 3',5'- ciklikus adenzin monofoszfát, az anorganikus foszfor, illetve az inozin-monofoszfát. Jellemző, hogy a vázizom glikogén felvétele a terhelés szubmaximális, de nem a maximális szakaszára esik, és szoros összefüggést mutat a vér szabad zsírsav (FFA) koncentrációjával: a vér FFA szintjének növekedése csökkenti az izomsejtek glikogén felvételét (ún. glukóz-szabad-zsírsav kör), és ezáltal növeli a terheléses állóképességet (22). Ez ráirányította a kutatás figyelmét az úgy nevezett ergogenikus szerekre, amelyek képesek úgy növelni a szervezet fizikai és mentális kapacitását, hogy közben eliminálják a fáradtság tüneteit.

Maga a terhelés potenciális stimulusa a vázizom glukóz felvételének az izom-összehúzódás alatt. Ez a szarkolemmák glukóz-transport növekedésével és az izom glikogenolízis terhelés indukálta csökkenésével alakul ki. Ebben a folyamatban vezető szerepet játszanak az inzulin, a GLUT-1 és GLUT-4 transporterek. A máj glikogén kibocsátása függ a terhelés

intenzitásától és idejétől, valamint a glikoneogenezist szabályozó glikoneogenetikus enzim aktivitásától (36). Az edzés hatását a glukóz anyagcserére az ábrán mutatjuk be (4. ábra).



4. ábra: Az edzés hatása a glukóz anyagcserére<sup>36</sup>

Összefoglalva: a vázizom-összehúzódását biztosító glikogén és a vér glukóz szintje a máj glikogeneziséből és glikoneogeneziséből származnak, melyek nélkülözhetetlenek a szervezet tartós terhelésének kivitelezéséhez, és amelyek utánpótlásának csökkenésével kialakulnak mind a szellemi, mind a fizikai fáradtság tünetei. Az izomszövet glukóz felhasználása, ill. a máj glikogén kibocsátása nemcsak a terhelés intenzitásától és időtartamától függ, hanem a terhelést megelőzően bevitt szénhidrát mennyiségétől és az edzettségi szinttől is. Valamint fontos szerepet játszik az intramuszkuláris kalcium-szint, és a neuro-hormonális szabályozó mechanizmus is.

### 1.5. A ZSÍRANYAGCSERE VÁLTOZÁSA EDZÉS HATÁSÁRA

A zsír gyakorlatilag korlátlan energiaforrásként szolgál szervezetünk számára mind nyugalmi, mind terhelés alatt. A bélben felszívódó lipidrészecskék a nyirokrendszeren át a vérben kilomikronok formájában folytatják útjukat, ahol a lipoprotein-lipáz enzim (LPL) hatására bekövetkezik a hidrolízisük. A kilomikronokból származó trigliceridek (Tg) közel 80%-át a zsírszövet, a szív, és a vázizomzat veszi fel, míg a fennmaradt 20%-a a májban kerül elraktározásra. Az endogén zsírraktárak adják a szervezet energiaszükségletének 70%-80%-át,

ami 90 000- 100 000 kilokalóriának felel meg. A vázizomsejtek az endogén zsírraktárak 2-3%-val rendelkeznek, mely az energiaszükséglet közvetlen kielégítésére alkalmas. A többi, közel a teljes zsírkészlet, a zsírszövetben kerül elraktározásra (25).

Szervezetünk képes a zsírok szintézisére mind a szabad zsírsavakból (FFA), mind a nem szabad zsírsavakból egyaránt. Az acetil-koenzim A (acetil-CoA) segítségével a vese, a máj, az agy, a tüdő szövetek képesek a glukózból zsírokat szintetizálni (1). A lipogenezis zömmel a májban és a zsírszövetekben megy végbe, és nagyban függ az étkezéstől. Amennyiben az étkezéssel bevitt szénhidrátok telítik a szénhidrát-raktárakat, a további bevitel már zsír-raktározás formájában folytatódik.

A zsírok oxidációja terhelés alatt nagyban függ a terhelés intenzitásától, időtartamától, a plazma szabad-zsír koncentrációjától, és a szénhidrát tartalékoktól. Terhelés alatt az úgynevezett glukóz-zsír-sav kör aktiválásával fokozódik a vázizomsejtek citrát- és acetil-CoA aktivitása, mely a zsíroxidáció növeléséhez vezet, és egyben gátolja a foszfofruktokináz (PFK) és piruvat dehidrogenáz (PDH) aktivitását. A PFK enzim szabályozza a glikolízist, a PDH szabályozza a piruvat bejutását a citromsavciklusba (90). Ezen enzimek gátlása lassítja a szénhidrátok oxidációját, és ezzel csökkenti a vázizom glikogén felhasználást, ill. kevesebb glukózt von ki a plazmából. A plazma FFA szintje szabályozza a zsírsavak oxidációját, mely a terhelés első 20-30 percére időzíti a folyamatok kezdetét, a terhelés  $VO_2$  max 85%-nál, amikor is a vázizom glikogén degradációja 15%-kal csökken. Számos kutató arra a következtetésre jutott, hogy a rendszeres testedzés már 3 hét után akár 49%-kal is növelheti a FFA oxidációt, mely során jelentősen fokozható a terhelhetőség intenzitása és időtartama (22).

## **1.6. A FEHÉRJE METABOLIZMUSÁNAK VÁLTOZÁSA EDZÉS HATÁSÁRA**

Az 1970-es éve eleje óta számos közlemény jelent meg, amel vizsgálta a fehérje metabolizmusának változását edzés hatására. A fehérje metabolizmusban bekövetkező változások megfigyelhetők az edzés korai szakaszában, de az edzés után is folytatódnak, amik a terhelés időtartamának, intenzitásának, típusának és gyakoriságának függvényében változnak. A rendszeres edzés hatására megemelkedik a mitokondriális és kontraktilis fehérje mennyisége (67).

A szervezet fehérje készlete három forrásból származik: az étkezéssel bevitt fehérjéből, a szövetek lebomlásából keletkező proteinekből, ill. a szénhidrátokból és a zsírokból szintézis útján keletkező fehérjéből. Az utóbbi formában, lévén a zsírok és a szénhidrátok csekély

nitrogén források, csak némely aminosav szintézisére elegendők, és arányukban elenyésző részét képezik az összfehérje mennyiségének. Másrészt a vázizomzat előnyben részesíti a szénhidrátok és zsírok biztosította energiaforrást a fehérjével szemben. A szervezetben lévő aminosavak úgyszintén három módon eliminálódnak: a) oxidáció útján, amikor is a keletkező széndioxid kilélegzés útján távozik, a nitrogén meg vizelettel és kismértékben izzadsággal ürül a szervezetből, b) fehérjeszintézis következtében, c) valamint egyesítéssel a szénhidrát ill. a zsír-raktárakban felhalmozódnak. Az utóbbi folyamat meglehetősen energiaigényes, ezért elhanyagolható mértékű (68).

Összefoglalva: a szervezet főbb aminosav-forrásai étkezésből, illetve zsírokból és szénhidrátokból adódnak, eliminálásuk oxidáció és fehérjeszintézis útján következik be, ami egy steady state állapotot biztosít. A fehérje metabolizmus az alábbi képlet segítségével kvantifikálható:

$$F = I + D = O + U + S,$$

ahol az  $F$  a szervezet fehérje-metabolizmusa, az  $I$  az étkezéssel bevitt fehérje, a  $D$  a szövetek degradációjából keletkező fehérje mennyiséget, az  $O$  az oxidáció útján elbomló, az  $U$  a vizelet útján távozó fehérjét, az  $S$  a proteinszintézist jelenti (35). Fontos megjegyezni, hogy a szervezetben a zsír és a szénhidrát raktárakkal ellentétben nincsenek fehérjeraktárak, ami egyben azt jelenti, hogy az összes fehérje szüntelen mozgásban van (enzimatikus vagy strukturális állapotban). A fehérjeszintézis folyamatok biztosítására a szervezet napi fehérjeszükséglete 1,1-1,4 g/kg/ttsúly (98). Rendszeres edzés hatására a fehérjeszintézis aránya a bevitt fehérje mennyiséggel párhuzamosan folyamatosan emelkedik, de az 1,4g/kg/ttsúly mennyiség felett eléri a platót, amit már további emelkedés nem követ. Ennek a platónak az elérése függ a terhelés intenzitásától és időtartamától egyaránt. Néhány kutató azt találta, hogy extrém fizikai terhelés esetében érdemes a protein bevitelét tovább növelni akár 1,5-1,8 g/kg/tskg/nap értékig, mivel az izomméret/teljesítmény aránya további emelkedést mutat (86). Ennek a mechanizmusa nem teljesen tisztázott és további kutatásokat igényel. Az étkezéssel bevitt maximális fehérje mennyiségét az utóbbi években többször módosították, sőt a 2,0 g/tskg/nap proteinnennyiségnek is irodalma van (56).

Az aerob terhelés intenzitásának a növelésével, fokozódik az aminosavak oxidációja. Ezen folyamat korlátját képezi a szétágazó-lánc-oxacid dehidrogenáz (SzLOD) enzim aktivitása, mely a szétágazó aminosavak oxidációjához nélkülözhetetlen (valin, leucin, izoleucin). A terhelés aktivitásának fokozásával csak egy bizonyos szintig emelkedik a vázizom, illetve a

máj SzLOD aktivitás. Mérsékelt fehérjebevitel esetében extrém fizikai terhelésnél csökkenhet a szerotonin termelés, mely fáradékonysággal, illetve koncentráció csökkenéssel jár (68).

A fehérje metabolizmus alakulása, tartós fizikai terhelés hatására, az elmúlt évtized fontos kutatási célpontja. Az eredmények feldolgozása és kiértékelése, a következtetések levonása még várat magára.

### **1.7. A TERHELÉS NEUROENDOKRIN SZABÁLYOZÁSA**

A neuroendokrin rendszer legfelsőbb központi idegrendszeri szabályozója a hipotalamusz, amely a megfelelő realizing, illetve gátló faktorok termelése révén, a hipofízisen keresztül irányítja az endokrin szervek működését. A hipotalamusz és a hipofízis anatómiai és funkcionális kapcsolatban állnak. A központi idegrendszer és az endokrin mirigyek között hormonális feedback mechanizmus áll fenn. A hipotalamusz stimulálja vagy gátolja a hipofízis hormontermelését. A hipotalamusz által termelt hormonok a TRH: Tireotropin-releasing hormone, a CRH: Corticotropin-releasing hormone, a GnRH: Gonadotropin-releasing hormone, a GHRH: növekedési hormon releasing hormone, szomatosztatin, a PRL: prolaktin. A hipofízis két lebenyből épül fel. A hátsó lebeny a neurohipofízis, míg az elülső lebeny az az adenohipofízis. A hátsó lebeny két hormont: oxitocint és vazopresszint tárol és ürít. Ezeket a hipotalamusz hozza létre. Az oxitocin a simaizmok összehúzódását segíti elő a méhben a szülés során (29).

Az elülső lebenyben termelődik: a tüszőérlelő hormon (folliculus stimuláló hormon, FSH), a sárgatest hormon (luteinizáló hormon, LH), az adrenokortikotrop hormon (ACTH), a prolaktin, a növekedési hormon (szomatotrop hormon, GH), a pajzsmirigyserkentő hormon (thyreoidea stimuláló hormon, TSH). Az ACTH feladata a mellékvesék serkentése, a kortizol és más hormonok elválasztásának stimulálása. A mellékvese működése negatív visszacsatolással gátolja az ACTH elválasztását. Az ACTH-kortizol hormonszabályozási rendszer a stresszre adott válaszban játszik szerepet. A luteinizáló hormon férfiakban a tesztoszteron termelődését szabályozza, nőknél a progeszteron termelődését, és így a peteérést szabályozza.

A hipotalamusz-hipofízis-mellékvese tengely a hipotalamuszban képződő CRH, a hipofízisben szekretálódó ACTH, és a mellékvesekéregben keletkező glukokortikoid hormonok kapcsolatát tükrözi.

A **kortizol** az emberi szervezet legfontosabb glukokortikoidja. Mivel több anyagcsere folyamatot érint, és hat az energiaszolgáltatók szintézisére is, ezért stresszhormonként katabolikus hatású:

- fehérjebontás az izomzatban, a bőrben és a zsírszövetben,
- a vércukorszint emelése a glikolízis aktiválása és a glikoneogenezis fokozása útján,
- a perifériás zsírszövet zsírbontása,
- a gyulladásos reakciók és allergiás reakciók gátlása,
- a csontlebontás aktiválása.

Ezzel szemben a **tesztoszteronnak** ismert az anabolikus hatása:

- növeli a test izomtömegét,
- emeli a vér hemoglobinn koncentrációját,
- emeli a vörösvértestek mennyiségét, javítja az agyi funkciókat (memóriát, közérzetet, magabiztosságot),
- növeli a fizikai teljesítőképességet,
- immunrendszer erősítő,
- segíti a sérülések utáni gyors regenerációt,
- csökkenti a testzsír arányát,
- fokozza a kalcium beépülését a csontokba,
- pozitív nitrogén egyensúlyt hoz létre,
- növeli a szexuális teljesítőképességet,
- fokozza a spermaképződést.

A kortizol és a tesztoszteron változása, és az arányok alakulása jellemző markere a szervezet edzettségi szintjének. A kortizol szint emelkedése, és a tesztoszteron csökkenése elégtelen adaptációra utal. A T/K hányados csökkenése túledzettségre utal, mely az adaptációs mechanizmusban bekövetkező számos anyagcserefolyamat károsodását jelenti.

## 1.8. AZ INTERMITTÁLÓ TERHELÉS FIZIOLÓGIÁJA

A katonai missziókra, a mindennapi tevékenységre, esetlegesen a harci feladatok elvégzésére jellemző a terhelés szakaszos teljesítése. A kondíció fenntartásában és az edzettség növelésében nélkülözhetetlen a szakaszos, azaz az intermittáló tréning elvégzése. A szakaszos terhelés során a szervezet egyaránt hasznosítja mind az aerob, mind az anaerob energiaforrásait.

A terhelés megkezdésével közvetlenül fokozódik az izomsejtek oxigénfelvétele. Az oxigén kapacitás  $2 \text{ mmol O}_2 / \text{kg}$ , és hozzávetőlegesen  $900 \text{ ml-t}$  jelent egy jól edzett személy számára, akinek az izom tömege kb.  $20 \text{ kg}$ . Az aerob energiatermelés mellett az izomsejtek anaerob energiatermelést is végeznek, ami a viszonylagos oxigén elégtelenséggel magyarázható (6). Ez a viszonylagos oxigén hiány a terhelés utáni állapotban fokozott oxigén felvételt eredményez (oxigén adósság), ami a terhelés intenzitásának, illetve időtartamának a függvényében akár órákig is eltarthat. Ez azt jelenti, hogy amennyiben a szakaszos terhelés közötti pihenési idő nem megfelelő hosszúságú, a fokozott oxigén felhasználás belenyúlik a következő terhelési szakaszba. Amennyiben a terheléses szakaszok azonos intenzitásúak és rendszeresen követik egymást, az izomsejtek oxigén felvétele gyorsabban és erőteljesebb ütemben növekszik. Az oxigén felvétel ismételt terheléses szakaszok esetében szignifikánsan alacsonyabb, mint az oxigén igény. Ez oxigén hiányhoz vezet, melynek eredményeként a terhelés utáni időszakban az oxigén felhasználás a pihenési szakaszban magasabb, mint nyugalmi állapotban. Ezt a jelenséget oxigén „törlesztésnek” hívják. Terhelés után a szervezet fokozott mértékben próbálja reszintetizálni a felhasznált adenzin-trifoszfátot (ATP) és a keratin foszfátot (CrP), illetve fokozza a felhalmozódott tejsav metabolizmusát az izomsejtekben. Néhány másodpercig tartó intermittáló terheléseknek is van oxigén felvételt fokozó hatása. Az aerob rendszer aktivitásának egyik jele a szívfrekvencia gyors emelkedése. Emellett ezen egyéneknél magasabb hemoglobin és eritropoetin koncentráció, illetve alacsonyabb laktát szint és hipoxantin akkumuláció voltak láthatók (32).

Az intermittáló terhelés során a szérum laktát szintje magasabbnak bizonyult, mint a folyamatos terhelés során (33). Az ATP és CrP szintek ingadozása nagyobb mértékű volt szakaszos terhelésnél, míg folyamatos terhelés esetében egyenletesebb értéket mutattak. Intermittáló terhelés során csökken a glikolízis aránya, amely a foszforiláz és a foszfofruktokináz enzim aktivitásának csökkenésével magyarázható. A glikolízis gyengülésében a citosolikus citrát akkumulálása is szerepet játszik, mely penetrál a mitokondriumokba, és ezzel jelentős metabolikus változásokat okoz. Fontos megjegyezni, hogy ezzel a jelenséggel zömmel extrém szakaszos terhelésnél találkozunk (8).

A folyamatos terhelés rövid időn belül fáradtsághoz vezet, szemben az intermittáló terheléssel, mely akár órákig is kivitelezhető. A glikogén felhasználás és a tejsav képződés magasabb folyamatos terhelés esetében, mint intermittáló terhelésnél. A vázizom glikogén mennyisége, mind a folyamatos, mind az intermittáló terhelésben egyaránt csökken. A zsíroxidáció aránya intermittáló terhelés esetében magasabb, mint a folyamatos terhelésnél. A folyamatos terhelés során a lassan összehúzódó vázizomrostok aktiválódnak, míg az intermittáló terhelésnél, mind a gyors, mind a lassú összehúzódású izomrostok vesznek részt (27). Ennek fontos szerepe van az edzés meghatározásában, mivel intermittáló terheléssel aktiválni lehet a gyors összehúzódású izomrostokat, melyekre az intenzív glikolízis a jellemző. Extrém fizikai terhelés esetében az elsődleges energiaforrások a kreatin-foszfát (CrP), az ATP és az anaerob glikolízis. A CrP és az ATP néhány perc pihenés alatt újraképződik, de a vázizomzat glikogén raktárai folyamatosan csökkennek, mivel a glikogén képződés jelentősen elmarad a pihenés alatt. A szakaszos terhelés aktív fázisában a főbb energiaforrások a CrP és a glikogén. Nyugalmi fázisban az izomsejtek vérből történő zsír és glukóz felvétele fokozódik. A zsíroxidáció fontosságát, intermittáló terhelés során, jelzi a  $\beta$ -oxidatív enzim  $\beta$ -hiroxiacil-CoA-dehidrogenáz aktivitásának emelkedése az anaerob szakasz után (13).

A szakaszos terhelés során kialakuló fáradtság patogenezisében több tényező játszik szerepet. Elsődleges szerepet játszik ebben a folyamatban a motoros egység motoneuron végén található szinapszisok átvivő anyagának, az acetilkolinak a csökkenése (4). A CrP és az ATP a szakaszos terhelés alatt már az első aktív fázist követően csökken, de a későbbiekben számottevő változás nem következik be (34). A tejsav koncentráció fokozatosan emelkedik, ami nem csak a szarkoplazmás retikulum kalcium csatornáit blokkolja, de a fokozatos savasodással az izomsejtek pH-ja 7,1-ről 6,5-6,8-ra csökken, mely önmagában is számos celluláris metabolikus változáshoz vezet, mind a foszforiláz és a foszfofruktokináz (PFK) blokkolásához, a troponin aktivitás csökkenéséhez, illetve a kontraktilis elemek közti kölcsönhatás csökkenéséhez (86). Az intracelluláris kálium szint emelkedése is hozzájárul a fáradtságérzés kialakulásához (9). Pontos mechanizmusa még nem tisztázott, de feltételezik a T-rendszer (transzverzális tubulusok) blokkolását a háttérben (47). Szerepet játszik a fáradtság kialakulásában a vázizomsejt glikogén raktárainak kimerülése, mely hosszabb ideig tartó intermittáló terhelés következtében alakul ki. Ezt alátámasztani látszik az a tény, hogy a terhelést megelőzően szénhidrátokban gazdag étrend növeli a terhelhetőséget és csökkenti a fáradtság érzés kialakulását, illetve az intermittáló terhelés időtartama szénhidrát bevitellel növelhető (20).



## 1.9. A SPIROERGOMETRIÁS VIZSGÁLAT

A kardiopulmonális terheléses tesztet (CPET) az utóbbi időben már széles körben alkalmazzák a klinikusok az eddig nem diagnosztizált csökkent terhelés-tűrőképesség, terhelésre jelentkező tünetek, az élettani kapacitás, illetve ennek csökkenése diagnosztizálására. A CPET mérésébe tartozik a légzési gázok cseréjének mérése, az oxigén felvétel ( $VO_2$ ), a széndioxid kilélegzés ( $VCO_2$ ), a perctérfogat (VE), ezen kívül az EKG monitorozása, a vérnyomásmérés, a pulzoximetria, főleg a tünetek által korlátozott maximális terhelés során; néhány esetben használható egy standard munkavégzéses protokoll is. Amennyiben szükséges, akkor artériás vérgáz is meghatározható, mely részletesebb információt nyújt a tüdőbeli gázcseréről (107).

A CPET egy globális képet nyújt a terhelés bírásáról a légzőszervben, kardiovaszkularisan, a haematopoiitikus rendszerben, neurofisiológiailag és az izomrendszerben is, mely nem feltétlenül tükröződik akkor, ha ezeket a rendszereket külön vizsgáljuk. Ezzel a nem invazív dinamikus és fiziológias vizsgálattal lehetséges végigkövetni a szubmaximális és maximális terhelésre adott választ, és fontos információt nyújt a klinikai értékeléshez (101).

A CPET fokozódó használatát elősegítette a technológiai fejlődés, az automata terheléses vizsgálórendszerek, a fejlettebb adatgyűjtési és szervezeti egységek, valamint a kutatás-fejlesztés a terhelés élettanában (58).

A CPET célja, hogy a szervezetet és a szervrendszereket értékelje egyre növekedő fizikai terhelés hatására, ezért a mérés a nagy izomcsoportokra korlátozódik, általában az alsóvégtagi izmokra, pl. futáskor a futószőnyegen, vagy kerékpározás közben. Általában az a leghatásosabb, ha fokozatosan növekvő izommunka protokollt alkalmazunk, hogy a terhelés intenzitások összehasonlíthatók legyenek rövid idő alatt. A technológiai haladás elősegítette, hogy elégséges adatsűrűség jöhessen létre egy megfelelően tervezett tesztnél kevesebb mint 20 perc alatt, melybe beletartozik a pihenés, a terhelés nélküli és a fokozatosan növekvő terheléses gyakorlat is (43).

## KÖVETKEZTETÉSEK

Az emberi vázizomzat teszi lehetővé a szervezet mozgását. Emellett a vázizomzat a szervezet legfontosabb hőtermelő rendszere. A funkció függvényében különböző rosttípusok fordulnak elő: gyorsan összehúzódó, gyorsan fáradó és lassan összehúzódó, lassan fáradó izomrostok. Az izomkontrakció molekuláris mechanizmusa minden típusban azonos, habár az energiaszolgáltatók arányában különbség van. Az alap energiabiztosító az ATP, melynek a reszintézise akár aerob, akár anaerob úton történhet. A különböző energiatermelési folyamatok terhelés során átfedik egymást. Tartós terhelés csak aerob energiatermelés útján biztosított, amikor a szénhidrátokból és a szabad zsírsavakból lebontás következtében energia szabadul fel.

Az aerob energiarendszer jelentősen hozzájárul az intermittáló terhelés energia szükségleteinek biztosításához, mind az aktív fázisban, mind a pihenés alatt. A vázizom glikogén raktárai elsődlegesen biztosítják az aktív fázis energiaszükségletét. A pihenés alatt a zsírok oxidációja és a glukóz intracelluláris bejutása kielégíti az energiaigényt. Az intermittáló terhelésre jellemző a csökkent laktát termelés. A szakaszos terhelésnél kialakuló fáradtságérzés mechanizmusa háttérben több tényező játszik szerepet: az intracelluláris acidózis, a kálium szint növekedése, glikogén hiány, a motoros véglemezekben található acetilkolin raktárak kimerülése, illetve a szervezetben bekövetkező.

A teljesítőképesség megállapítása spiroergometriás vizsgálattal fontos és rendkívül informatív adatokkal szolgál a katona kardiorespiratórikus állapotáról és funkcióképességéről. Az aerob teljesítőképesség megítéléséhez, legfontosabb paraméterként, az elért teljesítményt, a maximális szívfrekvenciát, illetve a légzési gázok (oxigén és széndioxid) elemzését használjuk.

A CPET során a belégzett ( $VO_2$ ) és a kilégzett ( $VCO_2$ ) gázok vizsgálata tükrözik a szervezetben folyó metabolikus folyamatokat. Az oxigénfelvételt ( $VO_2$ ) meghatározza a sejt oxigénigénye, amely maximum szinten a maximális oxigéntransport rátával egyenlő. A faktorok, amelyek az oxigén felhasználhatóságát befolyásolják: a véráram oxigén kapacitása (a felhasználható hemoglobin mennyiség, az artériás oxigén saturációk, a hőmérséklet, a széndioxid és a pH), a szívfunkció (szívfrekvencia, verővolumen), a perifériás keringés redistribúciója és a szövetek oxigénkivonási képessége (kapilláris sűrűség, mitokondriális sűrűség és funkció, perfúzió megléte és a szöveti diffúzió).

## 2. A GLOBÁLIS FELMELEGEDÉS ÉS AZ ANTROPOSZFÉRA

A Meteorológiai Világszervezet és az ENSZ Környezeti Programja (UNRP) 1998-ban hozta létre az Éghajlatváltozási Kormányközi Testületet (IPCC). A testületet azzal a céllal hozták létre, hogy a világ különböző pontjain dolgozó több száz szakértő munkáját összesítse és az éghajlatváltozással kapcsolatos eredményeket közzé tegye. Az IPCC munkacsoportjai elemzik az éghajlatváltozással összefüggő megfigyelési adatokat és a várható változások becslésével foglalkoznak, vizsgálják az éghajlatváltozás globális és térségi környezeti hatásait, a változások társadalmi, gazdasági és környezeti hatásait, illetve kutatják a globális változást kiváltó tényezőket és azok lehetséges mérséklését és csökkentését (49). Az elmúlt években az IPCC több jelentést is nyilvánosságra hozott. A Negyedik Értékelő Jelentés 2007-ben látott napvilágot (52). Megállapítást nyert, hogy a szén-dioxid, ami a fosszilis tüzelőanyagok elégetésével kerül a légkörbe, a legfontosabb üvegházhatást keltő gáz, amely hozzájárul az „éghajlatváltozás antropogén (emberi tevékenységhez kötődő) elősegítéséhez”, a Föld felületének felmelegedéséhez. Ezen kívül még a mezőgazdasági és ipari eljárások következtében kibocsátott gázok és vegyületek, mint például a metán, a nitrogén-oxid, a kénhexafluorid, a fluorozott szénhidrogének és a perfluorozott szénhidrogén is fokozzák az üvegházhatást (104).

Az utolsó jelentésük megjegyzi, hogy „a megfigyelések egyre növekvő tömege összképet ad egy felmelegedő világról és az éghajlati rendszer további változásairól”, például

- ◆ a hótakaró általános csökkenéséről, a sarki jégsapkák visszahúzódásáról,
- ◆ a gleccserek kiterjedésének a csökkenéséről,
- ◆ a folyók és tavak későbbi befagyásáról és korábbi olvadásáról,
- ◆ aszályokról,
- ◆ felhőszakadást követő áradásokról,
- ◆ a növények és az állatok elterjedési területének az eltolódásáról,
- ◆ a világóceánok átlaghőmérsékletének emelkedéséről legalább 3000 m mélységig, és
- ◆ a tengerszint teljes XX. századi 15-28 centiméteres emelkedéséről (52).

Az északi féltekén végzett mérések alapján az átlagos felületi hőmérséklet többet emelkedett a huszadik század folyamán, mint az elmúlt ezer év bármelyik más századában (104).

Bolygónk globális hőmérsékletének emelkedése követte az üvegházhatást keltő gázok koncentrációjának és kibocsátásának rekord értékét. Az elmúlt 150 év alatt a légköri szén-

dioxid - koncentráció 31%-kal emelkedett (ebből 15%-kal az elmúlt 50 évben), a metáné 151%-kal nőtt, aminek közel a háromnegyede a fosszilis energiahordozók elégetésének tulajdonítható, a maradék pedig az erdőirtásnak és a földhasználat más változásainak. 2000-ben a globális széndioxid kibocsátást 7 000 millió tonnára becsülték. E bizonyíték alapján az IPCC arra a következtetésre jutott, hogy míg a természetes tényezők (napfoltok, vulkánkitörések) kismértékben járultak hozzá az elmúlt évszázad felmelegedéséhez, addig „új és erősebb bizonyíték van rá, hogy a legutóbbi 50 év során tapasztalt felmelegedés legnagyobb része az emberi tevékenység következménye” (50).

## **2.1. A KLÍMAVÁLTOZÁS GAZDASÁGI ÉS BIZTONSÁGPOLITIKAI KÖVETKEZMÉNYE**

A megnövekedett csapadék és a tengerszint emelkedése következtében széles körben fokozódik a kockázata annak, hogy több milliárd ember esik áradások áldozatául. A tengerek fenyegetik az iparilag- és mezőgazdaságilag legfejlettebb és legsűrűbben lakott területeket Amerikában, Európában, Ázsiában, Afrikában és Ausztráliában is (Sanghaj, London, New York, Tokió, Hong-Kong), ami az antroposzféra (épített környezet, emberi települések, földrendezés) súlyos károsodását eredményezi.

A partvidékek lakosait a tengerszint emelkedéséből eredő partvidék-erózió is érzékenyen fogja érinteni. A fejlődő országok gyorsan urbanizálódó lakossága olyan szélsőséges időjárási eseményekre hajlamos partvidékeken és folyók árterületein él, amelyek gazdasága szorosan összekapcsolódik az éghajlatra érzékeny erőforrásokkal.

2005-ben a Katasztrófák Előfordulását Kutató Központ (CRED) világszerte 430 természeti katasztrófát jegyzett fel, amely 89 713 ember halálát okozta, és ezen kívül 162 millió embert érintett. Összehasonlításképpen: a CRED az 1980-as években átlagosan évente 173 katasztrófáról számolt be. Az elmúlt 25 év alatt a természeti katasztrófák által érintett emberek 98%-ka abban a 112 országban élt, amelyet a Világbank kis vagy kis-közepes jövedelműnek minősített. Ezekben az országokban él a világ népességének a 75%-a és a világ városi lakosságának a 62%-a (104).

A szegényebb közösségek különösen sebezhetőek korlátozottabb alkalmazkodóképességük miatt. Ahol a szélsőséges időjárási események intenzívebbé és gyakoribbá válnak, ott a gazdasági és társadalmi költségek nőni fognak, és ezek a növekedések a közvetlenül érintett szektorokból áttérjednek más területekre, kiterjedt és bonyolult kapcsolatokon keresztül.

A globális felmelegedésben többféle konfliktus kialakulásának veszélye rejlik: egyrészt a természeti erőforrások birtoklása miatt alakulhatnak ki lokális összetűzések (ivóvíz, termőföld, lakható területek), másrészt a természeti erőforrások hiánya miatt menekültáradat (ún. ökológiai és gazdasági menekültek) jelenhet meg, mely politikai, illetve gazdasági problémákat jelent a célország számára. Ezen helyzetek kezelésére mind lokálisan, mind globálisan komoly erőforrásokat szükséges biztosítani. A politikai, diplomáciai és gazdasági eszközök mellett szóba jöhet a katonai jelenlét szükségessége is, akár békefenntartóként, akár harcászati tevékenység formájában. Amikor regionális vagy távoli feladatok elvégzésére kerül sor, figyelembe kell venni a környezeti körülmények megváltozását, mely a katonák igénybevételét jelentősen megnöveli (70).

A kérdés aktualitását az adja, hogy az elmúlt években megemelkedett azon személyek száma, akik eredetileg mérsékelt égövön születtek és éltek, de sivatagi éghajlati körülmények között teljesítenek szolgálatot. Ennek következtében figyelmünk a meleg és forró éghajlaton való terhelhetőség fiziológiája felé fordult, főleg mióta a magyar katonaság is aktívan részt vesz az ENSZ békefenntartó tevékenységében és a NATO katonai szolgálatában a Közel-Keleten.

A hősérülés kialakulása a múltban is komoly problémát okozott. Az óegyiptomiak, ógörögök és rómaiak a Szíriusznak tulajdonították az emberekre rázúduló lázas állapotot, illetve a kutyák veszettségét. Innen származik a hóártalom korábbi elnevezése, a Siriasis, melyet a mai napig használja az orvostudomány a hóguta és a napszúrás megjelölésére (Betegségek Nemzetközi Osztályozása, BNO-10, T67.0 Hóguta és napszúrás) (11).

Krisztus előtt 1100-ban Homérosz az Iliászban Hektort, Priamosz fiát, *vészcsillag* - nak nevezi (vészcsillag - a kízó hőséget hozó Szíriusz, amely emberek százainak halálát okozza kegyetlen és könyörtelen hőséggel). Hektort olyan veszélyt megvető, bátor lovagnak írja le Homérosz, aki az ellenségben rémületet és félelmet ébreszt, egymaga százakat győz le, s akinek az ereje előtt az ellenség „földre lapul, ...emelve kezét könyörög isteneinkhez”:

„Mint ha a **vészcsillag** feltűnik, az égi ködök közt  
felragyog, és azután feketült felhőkbe fut ismét:  
úgy tűnt föl **Hektor**, hol az elsők közt, hol a hátsó  
sor közepén, a parancsokat osztva, s talpig olyan volt  
érc-ragyogásban, mint villáma a pajzsos atyának.”(48).

A keresztes lovagok elvesztették az utolsó csatát a Szent Földön 1187-ben, valamint a folyadékhiány indukálta hősérülés csaknem 20.000-es veszteséget okozott az egyiptomi katonák körében az 1967-es arab-izraeli 6 napos háborúban.

Az amerikai hadseregben történt epidemiológiai felmérés alapján 1980-2002 között 5246 hősérülés miatti hospitalizáció (30:100000), és 37 halálos kimenetelű eset történt (15).

## **2.2. A FELMELEGEDÉS EGÉSZSÉGKÁROSÍTÓ HATÁSA**

A Svájci Meteorológiai és Klimatológiai Szövetségi Hivatal szerint 1880 óta Nyugat-Európában a hőhullámok időtartama a kétszeresére nőtt, a szokatlanul forró napok száma pedig a háromszorosára. Az elmúlt tizenkét évből (1995-2006) tizenegy a legmelegebb 12 év közé tartozik a globális felszínhőmérséklet műszeres megfigyelési feljegyzései (1850 óta) alapján. Az ENSZ Környezetvédelmi Programjának becslése szerint az Európát 2003-ban sújtó hőhullám miatt a klímaváltozás költségei csak abban az évben 60 milliárd dollárba kerültek a világnak - 10%-kal többre, mint az előző évben - és csak Franciaországban 15 ezer fő halálozási többletet okozott (104).

Nehéz megbecsülni a hőstressz hatását az egészségre, illetve a csapatok teljesítményére. A hőstressz összhatása a harcászati feladat kimenetelére valószínűleg sokkal jelentősebb, mint ahogy azt becsüljük. Ennek több oka is lehet: a hősérülés bejelentése gyakran elmarad, a hadműveleti területen kumulálódnak a hosszabb hő expozíciók, és kombinálódnak egyéb stressz tényezőkkel, amelyek nehezen reprodukálhatók laboratóriumi körülmények között. A katonák hő expozícióból kifolyólag szembesülnek olyan problémákkal, amelyek a helyi lakosságnak nem jelentenek gondot, de a katonáknak bizonyos helyzetekben hátrányt jelent. A pótláshoz szükséges megfelelő mennyiségű folyadék hiánya, az akklimatizálódás hiánya, a kitűzött feladatok elvégzésével járó tartós túlterhelés, a megfelelő ideig tartó pihenési idő hiánya, mind - mind hozzájárulnak a hősérülés kialakulásához (59).

### **2.3. AZ EMBERI SZERVEZET HŐSZABÁLYOZÁSA**

Az emberi szervezet képes az állandó testhőmérséklet fenntartására, homeotherm, azaz az emberi szervezetet az jellemzi, hogy változó környezeti hőmérséklet mellett, vagy nagyobb hőtermelés esetén, például tartós izommunka következtében, is állandó, 36,4-37,4° C közötti maghőmérsékletet biztosít.

A végtagok és a bőr hőmérséklete (a testköpeny) változó. A maghőmérséklet szűk tartományon belüli fenntartása csak a hőszabályozás bonyolult mechanizmusa révén biztosított, amennyiben a hőtermelés és a hőfelvétel egyensúlyban van a hőleadással (69).

A szervezet hőmérsékletfenntartása két párhuzamos folyamattal történik: a tudatos és az autonóm szabályozás révén.

- A tudatos szabályozás az árnyékos hely felkutatása, a pihenés beiktatása, a ruházat levétele, illetve, katonák esetében, a felszerelés lerakása lehet. A katonáknál a tudatos hőszabályozás szükségességén a harci feladat elvégzésére való motiváltság gyakran felülkerekedik (17).
- Az autonóm (fiziológias) hőszabályozás a hőtermelés és hőfelvétel egyensúlyát jelenti hőleadással.

Bizonyos környezeti körülmények között (magas külső hőmérséklet) vagy metabolikus hőtermelés hatására (tartós fizikai aktivitás), mind a bőr-, mind a maghőmérséklet emelkedni kezd. Ennek hatására a szervezet aktivizálja a hőleadásért felelős mechanizmusait (50).

A hőszabályozásban megkülönböztetjük az aktív és a passzív hőszabályozást.

- A passzív hőleadás a bőr csaknem két négyzetméteres felszínéről kisugárzás és elvezetés révén történik.
- Az aktív hőszabályozást három szervrendszer biztosítja: a bőrben lévő idegvégződések, az irha erecskéi és a kis verejtékmirigyek milliói.

## 2.4. HORMONÁLIS SZABÁLYOZÁS

A hőszabályozás reflexfolyamat, melynek központja a hipotalamuszban van. A benne található hőérzékelő termoreceptorok érzékelik a maghőmérséklet változásait. A hipotalamusz a bőr perifériás termoreceptoraiból és a gerincvelő termoreceptoraiból is kap kiegészítő információkat. A hipotalamusz hőszabályozási központja a valóságos maghőmérsékletet: a van-értéket a kell-értékkel hasonlítja össze. Az eltérések ellenregulációs folyamatokat indítanak meg. Amennyiben a maghőmérséklet a kell-érték fölé emelkedik (tartósan magas környezeti hőmérséklet, vagy tartós fizikai terhelés), fokozódik a bőr- és a subkutis véráramlása, és ezzel a hőszállítás is a magból a felszínre. Ennek során jelentősen megnő az a térfogat, amely egy időegység alatt több hőt szállít el. Párhuzamosan fokozódik a verejték-elválasztás, mely a bőr hűtésével megteremti a hőleadáshoz szükséges gradienst.

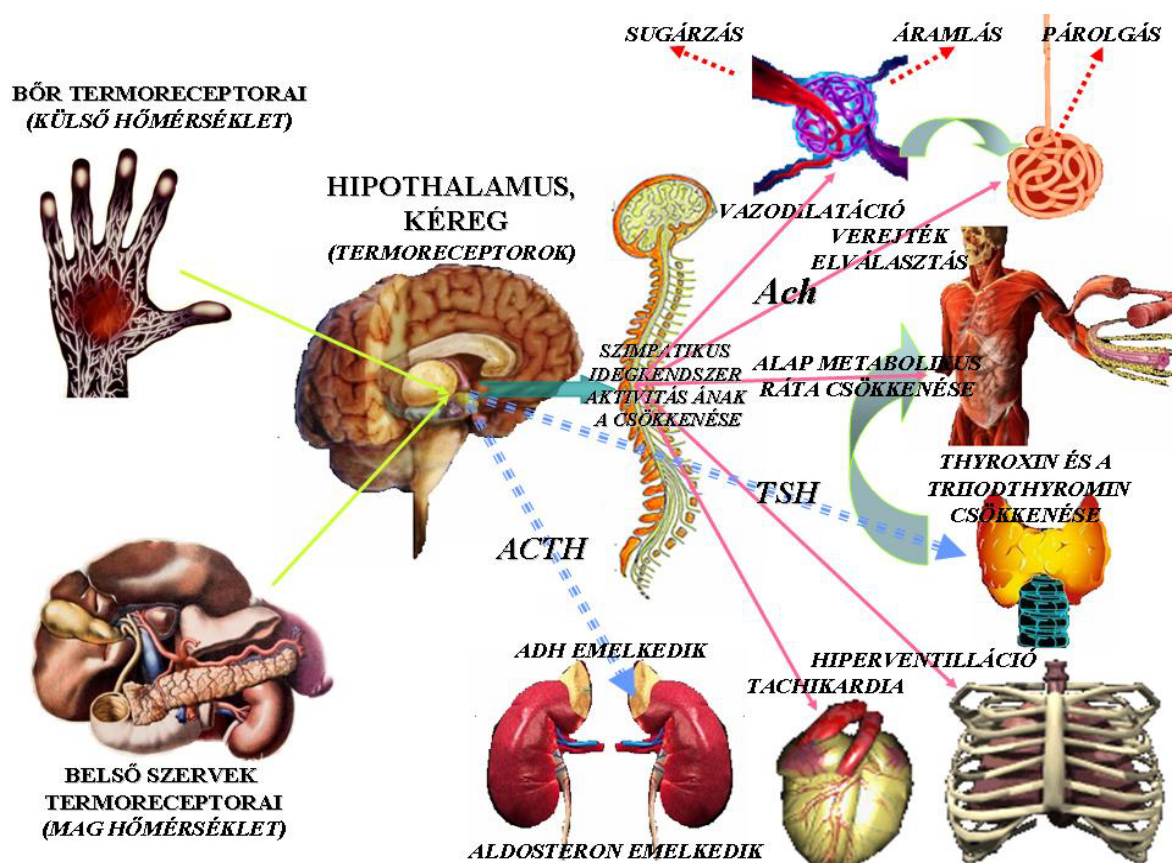
A hipotalamusz a hipofízis hormonelválasztásának szabályozásával fontos irányító szerepet játszik a szervezet belső környezetének egyensúlyában. A hipofízisben termelt ACTH (adrenokortikotrop hormon) fokozza a mellékvese aldoszteron, kortizol, és anabolikus nemi hormonok szintézisét, melyek jelentős szerepet játszanak a nátrium és víz visszatartásában, a zsír és a glikogén lebontásában.

A thyreoidea-stimuláló hormon (TSH), a tireotropin, a hipofízis elülső lebenyében termelődő hormon, mely a pajzsmirigyre stimulálóan hat és serkenti annak hormontermelését. A pajzsmirigy-hormonok a szervezet valamennyi sejtjének aktivitását szabályozzák. Elősegítik a sejtek oxigén felvételét, ezáltal szabályozzák a táplálék fő elemeinek (zsírok, szénhidrátok, fehérjék) sejtszintű hasznosítását, vagyis az alapmetabolizmust, a sejt energiaszintjét. Továbbá, a pajzsmirigy-hormonok befolyásolják a fehérjék szintézisét és növelik a szervezet érzékenységét a katekolaminokkal (adrenalin, noradrenalin) szemben.

A hipofízis által termelt növekedési hormon (Growth Hormon, GH) leginkább ismert szerepe a növekedés elősegítése. Ugyanakkor a szervezet számos működésére is hat, többek között a zsírok, fehérjék, szénhidrátok metabolizmusára, és a csontok fejlődésében is szerepet játszik.

Ezen bonyolult és szövevényes hormonális és vegetatív (szimpatikus és paraszimpatikus) idegrendszeri kapcsolatokon keresztül történik a szervezet hőszabályozása. A perifériás és a központi termoreceptorokból folyamatosan érkező ingerek a hipotalamuszban, az agykéreg kontrollálásával, megfelelő válaszreakciókat eredményeznek, amelyek biztosítják az egyensúlyt a hőtermelés és a hőleadás között (**5. ábra**) (63).

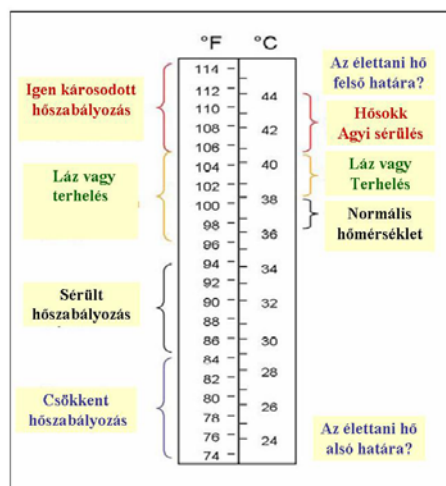




5. ábra: A hőszabályozás mechanizmusai

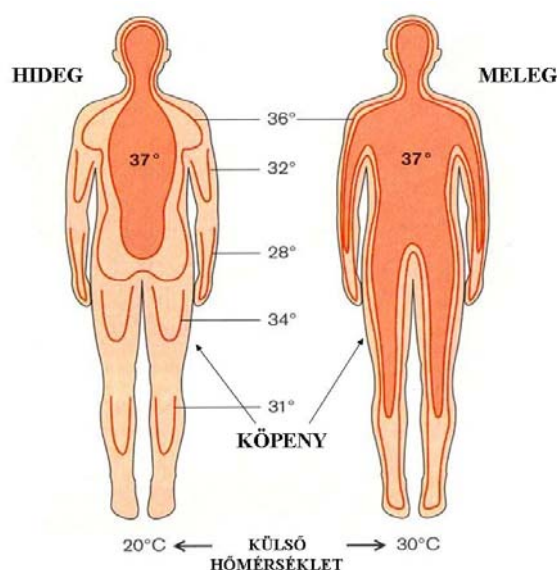
Tartós fizikai aktivitás során a metabolikus ráta növekedése, illetve a működő izomzat hőtermelése miatt a maghőmérséklet és a hőleadó kapacitás addig fog emelkedni, amíg a szervezet nem éri el az új egyensúlyi maghőmérsékleti értéket. Ez az érték mindaddig fenn fog állni, amíg folytatódik a terhelés és változatlan a külső környezeti hőmérséklet. Amennyiben a külső hőmérséklet magas, és a ruházat, a felszerelés akadályozza a hőleadás alkalmazkodását a hőtermeléshez, a szervezet nem tudja fenntartani az egyensúlyi állapotot és megnő a hősérülés kialakulásának veszélye (95).

Tartós fizikai aktivitás során a hőhatásnak kitett emberi test (napsugárzás, tűz, túl sok ruha) hőmérséklete fokozottabban emelkedik. A magasabb hőmérsékleten egyre romlik a hőszabályozás hatásfoka. A szövetek és a sejtek 45°C-os hőmérsékletig megőrzik életképességüket. Ez sokkal magasabb hőmérséklet, mint amit a hőszabályozó mechanizmus biztosít. A **6. ábrán** láthatók az egészséges ember, a lázas beteg, a károsodott, ill. az elégtelen hőszabályozással rendelkező személyek maghőmérsékletének az alakulása (28).



6. ábra: A homeosztatisz szabályozás a hőmérséklet függvényében<sup>28</sup>

A szervezet hőmérsékletében megkülönböztetjük a maghőmérsékletet és a testköpeny-hőmérsékletet. A testköpeny-hőmérséklet jelentősen változik a külső környezet függvényében. Annak ellenére, hogy a testköpeny hőmérséklete nincs behatárolva bizonyos tartományba, a maghőmérséklet és a hőszabályozás biztosítja a testköpeny hőmérsékletének viszonylag alacsony ingadozását. A testköpeny vastagsága a külső környezet függvényében változik, mivel biztosítani kell a szervezet „hőszigetelését” (28). Alacsony külső hőmérsékletnél a végtagok és a testköpeny hőmérséklete károsodás nélkül 20°C-ra süllyedhet, így csökkentve a hőleadást (a bőr- és a subkután erek nagymértékű összehúzódása révén). Meleg külső hőmérsékletnél a testköpeny vastagsága csökken, és kevesebb mint 1 cm, hidegben ez akár néhány centimétert is kitehet (7. ábra) (41).



7. ábra: A testköpeny és mag méretének változása a külső hőmérséklet függvényében<sup>41</sup>

## 2.5. A HŐLEADÁS MECHANIZMUSAI

A szervezet által termelt hőnek a leadása csak a közvetlen környezettel érintkező szöveteken keresztül történik, mint a bőr és a légzőrendszer. Az emberi szervezet hőátadásában több fizikai folyamat játszik szerepet.

→ Kondukción (hővezetés): amikor a hőleadás a szomszédos alacsonyabb hőmérsékletű szövetek felé, közvetlen kontaktus: test-levegő, test-szilárd felület, következtében történik. A kondukción által történő hőleadás nagysága arányos a környező szövetek hővezető képességével, illetve a külső hőmérséklettel.

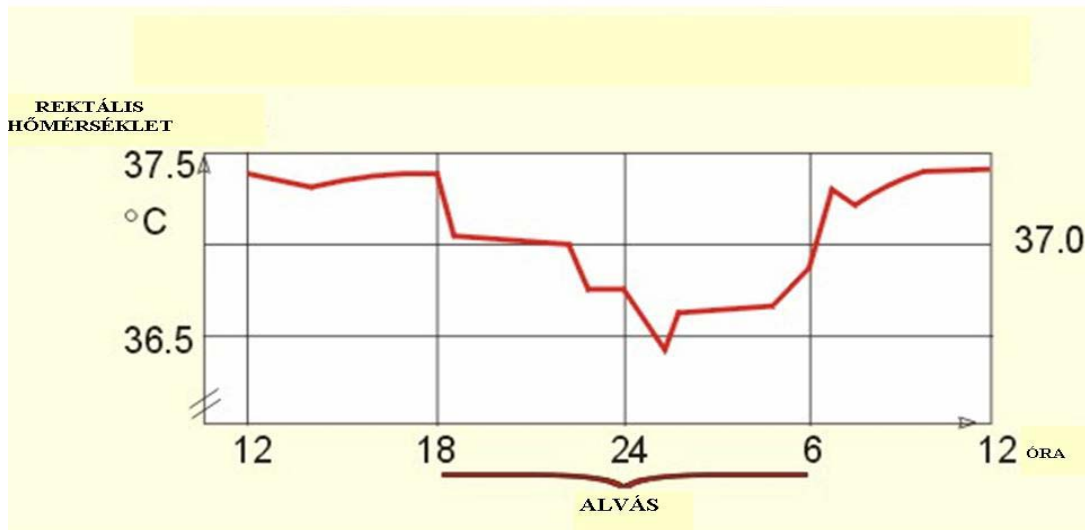
→ Konvekcion (hőáramlás): a levegő folyamatos áramlása következtében a test felszínén lehűl a felmelegedett bőr, és a vér az anyagcsere által termelt hőt a külső, hidegebb bőr réteg felé szállítja. A konvekcionval történő hőleadás nagysága függ a bőr vér átáramlásától, illetve a vér és a bőr, és a bőralatti szövetek hőmérsékletkülönbségétől. Mivel a hajszálerek összkérszmetnszete közel  $3500 \text{ cm}^2$ , a hőleadás szempontjából ezek rendkívül hatékonyak.

→ Sugárzás: infravörös sugárzással - a bőr, a subkutis és a zsírszövet fokozott vérátáramlása során bekövetkező testköpeny felmelegedés sugározza a hőt, amennyiben a környezet alacsonyabb hőmérsékletű.

→ Párolgással történő hőleadás, amely lehet sensibilis - izzadással a bőrön keresztül, és insensibilis - hőpárolgás a légutakon keresztül (41).

## 2.6. A MAGHŐMÉRSÉKLET ÉS A BŐRHŐMÉRSÉKLET ALAKULÁSA

Az optimális maghőmérséklet az a hőmérséklet, amely biztosítja a szervezet anyagcseréjét. Értéke különböző testrészeken más, de az  $1,5^\circ\text{C}$ -os különbséget nem haladja meg. Legegyszerűbb a fülben, a végbélben (rectumban), ill. a szájüregben mérni. Fiziológiásan napi ritmusú (diurnális) ingadozások figyelhetők meg az ember maghőmérsékletének alakulásában (8. ábra). Ezek a változások a hipotalamusz spontán diurnalitásából fakadnak. A hasüregi szervekben, a nagyerek mentén, a gerincvelőben és az agyban található centrális hőreceptorok folyamatosan küldik az információt a maghőmérséklet pillanatnyi állásáról a hőszabályozó központba. A hőszabályozó központ arra használja fel a kapott információkat, hogy a maghőmérsékletet szűk határon belül fenntartsa (38).



**8. ábra: A rektális hőmérséklet diurnális ingadozása<sup>38</sup>**

A bőr hőmérséklete fontos mind a hőleadás, mind hőszabályozás szempontjából. A hőleadás - a környezet felé - vezetés és áramlás útján történik. A bőr hőmérséklete ingadozást mutat, mivel több tényezőtől függ, olyanoktól, mint

- a bőr vérátáramlása,
- a verejtékezés mértéke,
- a bőralatti szövetek hőmérséklete, illetve
- a környezeti tényezőktől: a külső hőmérséklet, a páratartalom, a légmozgás mértéke, a hő- vagy napsugárzás nagysága.

A bőrben található idegvégződések (receptorok) nagyon érzékenyek a külső hőmérséklet változására (32). A hőmérséklet érzékelése csak  $-10 - +50^{\circ}\text{C}$  tartományban jól differenciálható, ezen kívül a fájdalomérzékelés van túlsúlyban. A receptorok helyi sűrűsége eltérő és mindig a bőrfelület funkcióihoz alkalmazkodik. A bőrben sokkal gyakoribbak a fájdalomreceptorok, mint a hőmérsékleti receptorok. Egy egységnyi bőrfelületen 700 fájdalomreceptor, 100 nyomáspont, 16 hidegpont és 7 hőpont található. A hőmérséklet érzékelésében a kiinduló hőmérséklet, a hőmérséklet-változás sebessége és az ingerelt receptorok száma is szerepet játszik. Így, ha a bőrhőmérséklet alacsony, akkor a meleg-érzékeléshez szükséges érzékenység is kicsi, azonban nagy a hidegérzékeléshez szükséges érzékenység (29).

## 2.7. A HŐMÉRSÉKLETEMELKEDÉS HATÁSA TARTÓS TERHELÉSRE

Amikor a katona fizikai terhelésnek van kitéve, a maghőmérséklete fokozatosan emelkedik. Az izomzat hőmérsékletének a 38-39°C-ra történő emelkedése teljesítményfokozó, mivel a hőmérsékletemelkedés és reakciósebesség törvénye szerint gyorsulnak az anyagcsere folyamatok, javul a neuromuszkuláris funkció. A növekedés mértéke a külső hőmérsékletnek, a fizikai aktivitás intenzitásának, illetve a katona fizikális állapotának a függvénye. A külső hőmérséklet emelkedésekor több energiát kell előteremteni a szervezetnek ahhoz, hogy a nagyobb verejtékezés és bővebb ventiláció (levegővétel) révén erősödjön a hőleadás. Azonban a maghőmérséklet további emelkedése már teljesítmény-csökkenéshez vezet. Ezért a szervezet arra törekszik, hogy nagyobb hőleadás révén optimális üzemelési hőmérsékletet tartson fenn (2).

A fizikai aktivitás végzéséhez és a magas külső hőmérséklet elviseléséhez együttesen olyan fiziológiai tényezők szükségesek, amelyek biztosítják az izommunkából és a fokozott anyagcseréből adódó hőtermelés leadását.

A magas hőmérsékletre való terhelés közbeni adaptációnak három fő komponense van:

1. a bőr értágulása (vazodilatációja), mely arányos a külső hőmérséklettel és a belső hőtermeléssel;
2. a terhelés által kiváltott vazodilatáció az izmokban, mely a terhelés intenzitásától és a külső hőmérséklettől függ;
3. a splanchnikus vaszkulátúra konstriktója (mely a veséket, a gyomrot és egyéb hasi szerveket lát el).

Ezek együttesen növelik a perctérfogatot (a szív frekvencia szorzata a szív verőtérfogatával) és több vért juttatnak az aktív szövetekhez (95).

Azonban, amikor hosszú távú intenzív terhelés történik, mint a sivatagi területeken történő bevetések során, a perctérfogat nem tudja ellátni a vázizomrendszer igényeit a fenti mechanizmus mellett. Végül is a vérnyomást stabilizálja még a terhelés alatt álló vázizomszövetek kárára is. A célt az összperifériás rezisztencia növelésével éri el szervezetünk, ami végül hyperthermiához és a metabolikus hatékonyság csökkenéséhez vezet. Továbbá a száraz melegben történő terhelés hatására kialakuló izzadás miatt fokozott folyadék- és elektrolitvesztéssel kell számolni. A környezeti hőterhelés hatékony mérője a WGBT (wet bulb globe temperature), melyet a következőképp határozzuk meg (**1. egyenlet**):

$$\mathbf{WBG T = 0.7 \times T_{wb} + 0.2 \times T_{bg} + 0.1 \times T_{db}}$$

ahol **T<sub>wb</sub>** a nedves hőmérő hőmérséklete (°C-ban), melyet a hőmérő tartályának nedves vászondarabbal való beburkolása után mérünk, (ezért ez a levegő sebességének és nedvességtartalmának kombinációját veszi figyelembe), **T<sub>db</sub>** a száraz hőmérő által mért hőmérséklet (mely a levegő hőmérsékletének direkt mértéke) és **T<sub>bg</sub>**, azaz egy matt feketére festett rézgömb belsejében mérhető hőmérséklet (mely a sugárzó hő mértékét adja meg). Az egyenlet szerint a **WBG T** 70%-át a **T<sub>wb</sub>** adja, melynek a magyarázata az, hogy ez a komponens a környezet relatív páratartalmát és a kisebb levegősebességet veszi figyelembe.

## 2.8. AZ ANYAGCSERE ÉS A FOLYADÉKHÁZTARTÁS VÁLTOZÁSA

A fizikai terhelés elkezdését követően a maghőmérséklet kezdetben gyorsan emelkedik, majd idővel a növekedés mértéke csökken, amíg a maghőmérséklet nem éri el az új egyensúlyi szintet. A maghőmérséklet növekedése tükrözi a metabolikus hőtermelés mértékét, mely zömmel a vázizomzat kontrakciójából adódik. A terhelés kezdetén az anyagcsere mértéke azonnal emelkedik, a hőszabályozás azonban csak lassabban indul be. A hőleadás intenzitása addig emelkedik, míg a szervezet nem éri el az új egyensúlyi állapotot. Amennyiben a hőszabályozás kompenzált, a hőleadás mértéke egyenes arányban van a metabolikus aktivitás növekedésével (71).

A katonák teljesítményét három szintre osztják: könnyű - 250W, közepes - 425W, és nehéz - 600W terhelési szint (83). A terhelés intenzitásának a függvényében más-más egyensúlyi állapot jön létre a szervezetben. Mivel a maghőmérséklet és a bőrhőmérséklet eltérő, magas hőmérsékletnél az egyensúlyi állapot elérésekor nagyobb a bőrerek dilatációja, és ezzel fokozódik a bőr vér áramlása, ami biztosítja a megfelelő hőleadást. Természetesen ez a mechanizmus csak alacsonyabb külső hőmérsékleten és alacsony páratartalomnál érvényesül. Minél magasabb a terhelés intenzitása, annál alacsonyabb környezeti hőmérséklet mellett működik megfelelően ez a fajta hőszabályozás. A külső hőmérséklet emelkedésével növekszik a bőrhőmérséklet, és egy bizonyos kritikus pont felett már önmagában a bőrerek dilatációja nem képes fenntartani az egyensúlyi állapotot. Ezt további maghőmérséklet emelkedés követi, amely a hőegyensúlyban bekövetkező zavar miatt a hősérülés kialakulásához vezet. Katonáknál az egyenruha és a felszerelés további megterhelést jelent a

szervezet hőszabályozó mechanizmusának, mivel a hőszigetelést és párologtatást nagymértékben akadályozza. Ez határt szab a fizikai terhelhetőségnek.

A tudatos viselkedésbeli válaszok, mint az árnyékos helyek felkutatása, pihenés, vetkőzés, lefekvés szétterpesztett végtagokkal, csökkenti a hőtermelést és növeli a hőleadást. A laza, világos öltözet, legyezés és hideg italok fogyasztása ugyancsak növeli a hőleadást. (41).

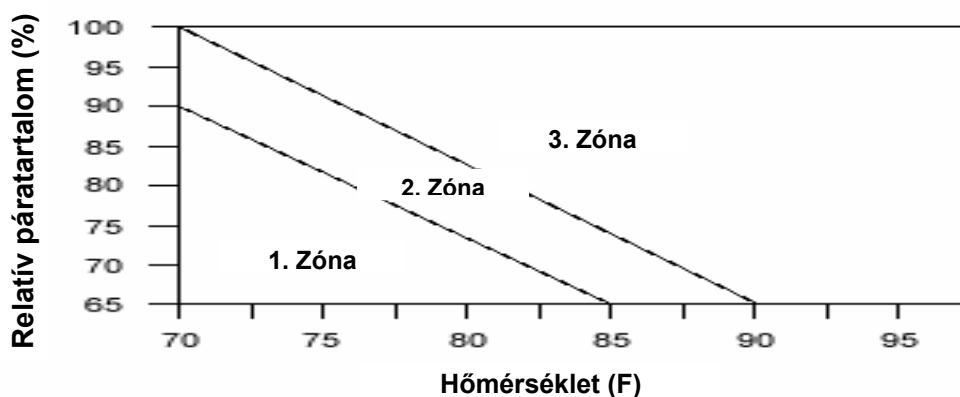
A katona magas külső hőmérsékleten végzett szolgálati feladatok elvégzése során, amelyek fokozott fizikai igénybevétellel járnak, gyakran kiteszi magát a kiszáradás veszélyének (dehidratációnak). A vízvesztés akár a testsúlyának a 8-10%-át is elérheti (30). Ez az izzadásból, az elégtelen folyadékbevitelből, illetve a csökkent szomjúságérzésből adódik (40). A dehidratáció következtében növekszik a szervezet megterhelése, ami teljesítménycsökkenéshez vezet, és a későbbiekben hősérülés kialakulását okozhatja. Már 1%-os dehidratáció esetében is, tartós fizikai terhelés során, megfigyelhető a maghőmérséklet nagyobb mértékű emelkedése. A maghőmérséklet minden egyes százalék vízvesztés következtében 0,1-0,23°C-t emelkedik (94). Akklimatizáció után csökken a maghőmérséklet emelkedésének a mértéke fizikai terhelés során, azonban egyidejű dehidratáció fennállása esetében a szervezet elveszíti ezt a tulajdonságát. 5%-ot meghaladó dehidratáció esetében azonos maghőmérséklet emelkedés volt megfigyelhető az akklimatizálódott és a nem-akklimatizálódott katonáknál (92).

A fentebbi okfejtésből láthatjuk, hogy a folyadék- és hőháztartás szabályozása szorosan összefügg a hőmérsékleti stresszre adott fiziológiás válasszal. Alább részletezzük azokat a tényezőket, amelyek a folyadékháztartás felborulásához vezetnek a sivatagi körülmények között feladatot teljesítő katonák körében (97).

- ◆ *A nem megfelelő mennyiségű folyadék- és elektrolit bevitel a legfőbb, a katona által is könnyedén befolyásolható tényező. Több tanulmány szerint (102) a szomjúságérzet nem biztos jelzője a folyadékstátusnak vagy kiszáradásnak. Szomjúságérzet csak a teljes test vízmennyiség 5%-ának elvesztése után lép fel. Azonban még ez a relatív kis mennyiség is kedvezőtlenül befolyásolhatja, csökkentheti a perctérfogatot, és ennél fogva csökkentheti a katona teljesítményét egy fontos feladat teljesítése közben. A kezelés egyszerű: meg kell tanítani a katonai személyzetet, hogy rendszeres időközönként vegyenek magukhoz folyadékot, és ne hagyatkozzanak kizárólag a szomjúságérzetükre (17,66).*

◆ *Akaratlan veszteségek* két csoportra oszthatók: légzés és izzadás. Tanulmányok szerint egy nem akklimatizálódott katona perclégzése több és izzadása kisebb mértékű, mint a klímához szokott társáé. A száraz meleghez szokott katonáknak jobb a terhelhetősége, valamint jobban tudják szabályozni maghőmérsékletüket is, főleg az izzadás mértékének növelésével. Az akklimatizált felnőtt maximum izzadási rátáját 50 ml/percnek (azaz 2 l/óra) becsüljük. Természetesen nem lehet hosszú ideig ilyen nagy mennyiségű folyadékvesztést elviselni. A teljes testfolyadék 25%-nak elvesztése már akár halálos következményekkel is járhat. Az izzadság kis mennyiségben oldott anyagokat is tartalmaz (0,2-1%), amelyek a nem akklimatizált felnőtt esetén maximum 350 mmol/nap nátrium (melyek 90 mmol/nap a klímához szokott felnőtténél) veszteséget jelenthet a legextrémebb hőmérsékleti körülmények között. Ezek az adatok azt is kimutatják, hogy, habár a klímához szokott katona jobban tudja ellátni feladatát a száraz melegben, viszont ehhez a teljesítményhez sokkal több folyadékpótlásra van szüksége, mint nem akklimatizálódott katonatársainak (65).

Három hőmérsékleti zónát különítünk el annak alapján, hogy mekkora a hőmérsékleti stressz, és mekkora az ennek megfelelő mértékű viselkedésváltozás (**9. ábra**):



**9. ábra: Hőmérsékleti stressz veszélyzónák<sup>3</sup>**

Az 1. zónában (29°C-ig) csak rutin elővigyázatosság szükséges. A 2. zóna (29,1-32°C között) már a közepes szintű környezeti ártalom sávja, ahol már a viselkedésbeli változások közül a több folyadék bevitel, rövidebb, és kisebb igénybevételt jelentő feladatok végzése, valamint hosszabb szünetek, pihenések beiktatása a kiemelendő. A 3. zóna (32°C felett) a magas környezeti kockázat sávja, melyben, ha lehetséges, gyakorlatozást csak a nap hűvösebb szakában végezzenek a katonák, és ezek intenzitását, a lehetőséghez mérten, csökkenteni is kell. A katonák könnyű egyenruhát és minimális felszerelést viseljenek, sok folyadékot fogyasszanak, valamint a hősérülés első tüneteire fokozottan figyeljenek (39).



Amennyiben a hőtermelés nagyobb a hőleadásnál, a maghőmérséklet fokozatosan emelkedik a hőkimerülés tüneteinek megjelenése után is. A kardiovaszkuláris rendszer fontos szerepet játszik a hőleadásban és a homeosztázis fenntartásában.

## **2.9. A VÁZIZOMZAT ANYAGCSEREVÁLTOZÁSA TERHELÉS SORÁN**

Számos kutató vizsgálta a vázizomzatban végbemenő anyagcsereváltozást magas környezeti hőmérséklet esetén. Magas külső hőmérsékleten végzett terhelésnél a vérplazma laktát szintje emelkedik, mivel a vázizomsejtek glikogén felhasználása fokozódik (109). Fontos kiemelni az anaerob (oxigén kizárásával végbemenő kémiai folyamatok) anyagcsere arányának az emelkedését a magasabb külső hőmérsékleten végzett munka során. Háttérében:

- ◆ a működő vázizom lokális hypoxiája (fellépő redisztribúció következtében),
- ◆ a keringő katekolaminok glikogén felhasználást fokozó hatása,
- ◆ a hőstressz hatására mobilizálódó gyors összehúzódású vázizomrostok anaerob anyagcsereje, valamint
- ◆ a magasabb hőmérsékletű izomsejtekre jellemző fokozott glikogén felhasználás áll.

Ezen mechanizmusok következtében emelkedik a vázizomsejtek anaerob anyagcsereje, növekszik a laktát koncentráció, fokozódik a glikogén felhasználás - ami idővel a glikogén raktárak kiürülésével jár - és végeredményként csökken a fizikai teljesítmény (93).

## **KÖVETKEZTETÉSEK**

Minél jobban és mélyebben ismerjük ezt a témát, annál többet és annál hatékonyabban tudunk segíteni a katonáknak abban, hogy könnyebben akklimatizálódjanak a sivatagi területek száraz melegéhez. A magyar katonákat jobban el tudjuk látni védő- és harci felszereléssel, ha megismerjük azon patofiziológiai elváltozásokat, amelyek prognosztikus értékűek a hősérülés kialakulása szempontjából, valamint ha csökkenteni tudjuk a katonák megterhelését a külső környezet hőmérséklete alapján.

A termoreguláció feladata a maghőmérséklet állandó szinten tartása: a hőtermelés, a hőfelvétel és a hőleadás ingadozásai ellenére. A hőszabályozás központja, a hipotalamusz, a

benne található termoreceptorok segítségével szorosan követi a maghőmérséklet alakulását. Amennyiben a maghőmérséklet változik, a hipotalamusz a hipofízis hormonelválasztásának szabályozásán keresztül megváltoztatja a bőr véráramlását és a verejtékelválasztást. Ennek hatására változik a hővezetés, a hőáramlás, a sugárzás illetve a párolgás mértéke.

Fiziológiásan a maghőmérséklet alakulásában diurnális ingadozás figyelhető meg. A hőleadás és hőszabályozás szempontjából a bőr hőmérsékletének nagy a jelentősége. A bőrben található idegvégződések fontos szerepet játszanak a bőr hőszabályozó mechanizmusában.

Tartós fizikai terhelés hatására a katona maghőmérséklete fokozatosan emelkedik, és elérheti a kritikus értéket. A maghőmérséklet növekedésének mértéke függ a külső hőmérséklettől, a fizikai aktivitás intenzitásától, illetve a katona fizikai állapotától. A maghőmérséklet emelkedésének következtében fokozódik a bőr véráramlása, amit a splanchnikus vaszkuláris rendszer konstriktója kísér. A megfelelő keringés fenntartásához nélkülözhetetlen az optimális mennyiségű folyadékbevitel. Dehidratáció következtében növekszik a szervezet megterhelése, csökken a teljesítmény, és bizonyos szint felett, ez hősérülés kialakulásához vezet. A vázizomzatban végbemenő anyagcsere változások, magas környezeti hőmérsékleten végzett terhelés során, úgymint a hypoxia, fokozódó glikogén felhasználás, a glikogén raktárak kimerülése, a laktát felszaporodása, az anyagcsere anaerob irányú eltolódása, végeredményben csökkent fizikai teljesítményt okoznak.

### 3. AZ AKKLIMATIZÁCIÓ

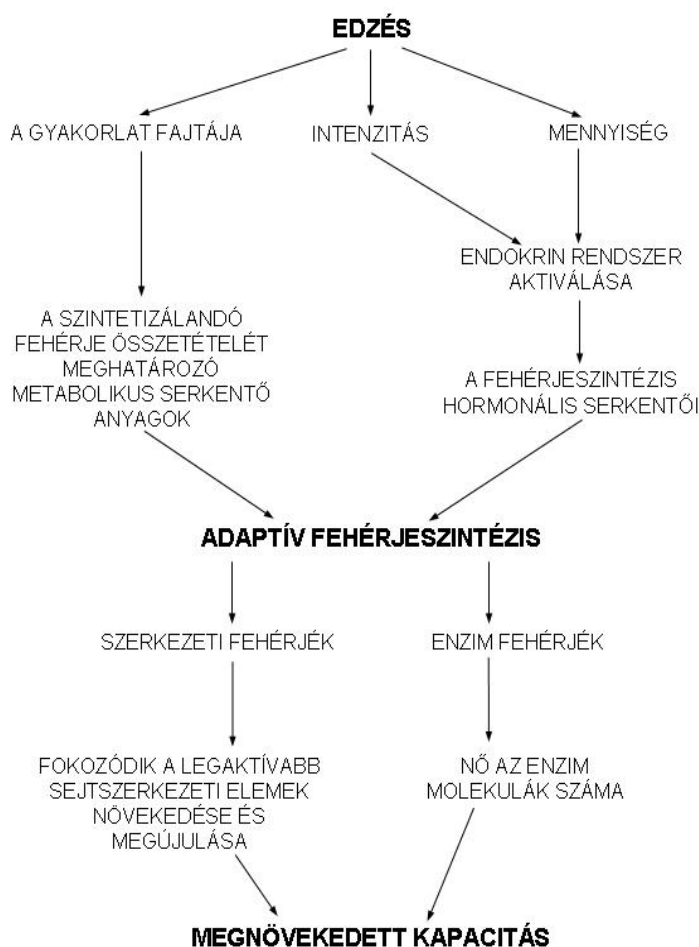
A hőakklimatizáció olyan biológiai adaptációs mechanizmus aktiválását jelenti, amely hatására a hőstressz ártalmas hatásai mérséklődnek. Az élettani hőakklimatizáció nagysága a terhelés intenzitásától, időtartamától, rendszerességétől, illetve a hőexpozíció mértékétől függ (77). A napi rendszerességgel végzett fizikai tevékenység magas külső hőmérsékleti környezetben megfelelő adaptációs mechanizmusokat indukál. A maghőmérséklet szinten tartásához elengedhetetlen a bőr hőlevezető képességének fokozása, illetve a profúz verejtékezés növekedése. A hőakklimatizáció során javul a szervezet hőkomfortérzése, ami

- ▲ a maghőmérséklet csökkenésével,
- ▲ a verejtékezés fokozásával (korai kezdés, magasabb verejtékezési ráta, csökkent verejtékionkoncentráció),
- ▲ a bőr véráramlásának fokozásával,
- ▲ a terhelés időtartamának növelhetőségével,
- ▲ a metabolikus ráta csökkenésével,
- ▲ a hormonális rendszer átrendeződésével,
- ▲ a kardiovaszkuláris rendszer alkalmazkodásával (a szívfrekvencia csökkenésével, a perctérfogat növekedésével, a vérnyomás fenntartásával), illetve
- ▲ a víz- és elektrolitháztartás egyensúlyával jár (szomjúság korai megjelenésével, elektrolitvesztés csökkenésével, nagyobb testsúlyfolyadék arányával, a plazma volumen ütemesebb növekedésével és jobb elosztásával).

#### 3.1. AZ EDZÉS CELLULÁRIS HATÁSA

A rendszeres edzés fokozza a szervezet képességét a terhelés elvégzésére. A rendszeres fizikai aktivitás hatására a szervezetben lényeges változások következnek be. Ezek a változások nemcsak a sejtek szerkezetét, a szöveteket, illetve a szerveket és szervrendszereket érintik, hanem az egész szervezet működését is egységesen módosítják. A sejten belüli metabolikus folyamatok molekuláris mechanizmusa annak megfelelően változik, hogy a szervek, illetve a szervrendszerek milyen mértékben érintettek az adott fizikai tréningben. Ezen folyamatokban fontos szerepet játszik a celluláris autoreguláció (sejtek önszabályozása), a hormonális szabályozás, illetve az idegi reguláció mechanizmusai is. Az edzés okozta változások olyan adaptációs mechanizmusokat szabadítanak fel, amelyek fokozzák az izomzat aktivitását.

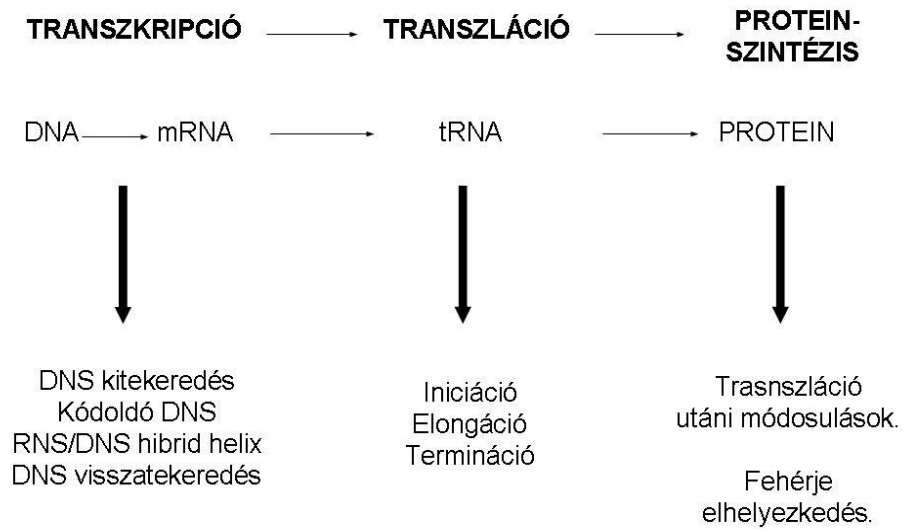
Edzés során fontos szerepet játszik a fizikai terhelés intenzitása, időtartama, típusa, illetve gyakorisága. Az adaptációs mechanizmusok azonos típusú terhelésnél nagyjából hasonlóknak bizonyultak, de a genetikai prediszpozíció lényeges szerepet játszik kialakulásukban. Emellett a gyerekkori aktivitás mértéke is bizonyítottan befolyásolja a fenti paramétereket. A rendszeres edzés okozta adaptív fehérjeszintézis mechanizmusát a **10. ábrán** láthatjuk.



**10. ábra: Az edzés okozta adaptív fehérjeszintézis mechanizmusa<sup>37</sup>**

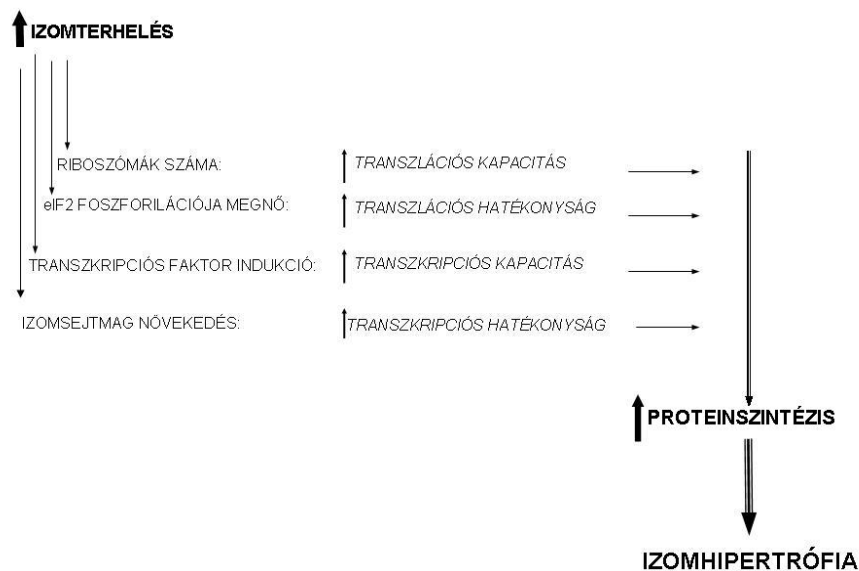
Az intracelluláris adaptációs mechanizmus hátterében a fehérjeszintézis változása áll. Edzés hatására fokozódik az intracelluláris struktúrák és a protein enzimek szintézise, melyek befolyásolja a sejten belüli metabolikus aktivitást. A celluláris genetikai apparátus aktiválódása mRNS (hírvivő ribonukleinsav) termelésben nyilvánul meg, amely a sejtmagból a sejtplazmába jut, és az ott lévő riboszómák, valamint riboszomális és szállító ribonukleinsav (rRNS és tRNS) közreműködésével az általa hordozott információ alapján az aminosavakból fehérjét épít fel.

Ez a folyamat három szinten van kontrollálva: transzkripció, transláció és poszttranszlációs modifikáció (11. ábra).



11. ábra: A fehérjeszintézis expressziós rendszere<sup>37</sup>

Az edzés hatására a translációs és transzkripciós kapacitás és hatékonyság fokozódásával elkezdődik a proteinszintézis, amely izomhipertrófiához vezet (12. ábra).



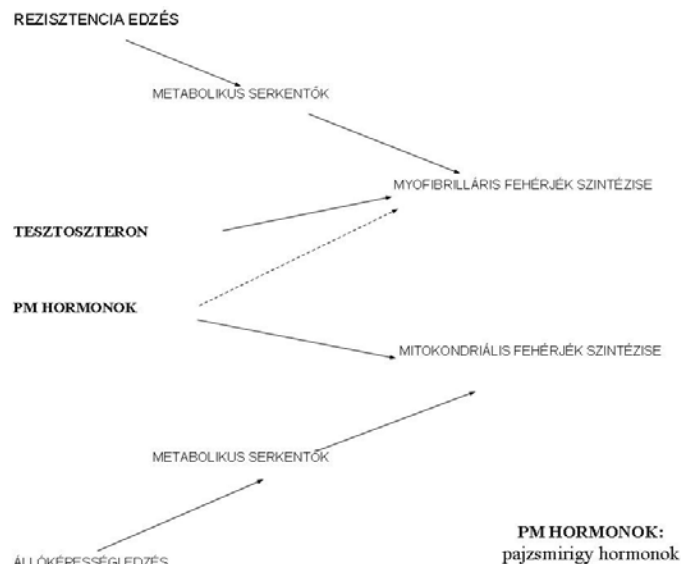
12. ábra: Az izomhipertrófia kialakulásának a modellje<sup>37</sup>

A harántcsíkolt izomzat tartós fizikai terhelés hatására indukálja a mitokondriális protein mRNS termelést (13. ábra). Rendszeres edzés hatására a miofibrilláris proteinszintézis akár 50-60%-kal is emelkedhet (37).



13. ábra: A fehérjeszintézis fokozatai<sup>37</sup>

A hormonális mechanizmusok közül a tesztoszteron, illetve a pajzsmirigy hormonok (tiroxin/triojódtironin) játszanak fontos szerepet. Ennek a hormonaktivitásnak tulajdonítható a harántcsíkolt izomzat hipertrófiája. A tesztoszteron hatására megnő az izomsejtekben a szarkoplazmás reticulum mennyisége. A pajzsmirigy hormonok fokozzák a mitokondriális bioszintézist (37). A hormonális szabályozás részleteit a 14. ábrán követhetjük.



**14. ábra: A fehérjeszintézis hormonális szabályozása<sup>37</sup>**

A translációs folyamatokat a növekedési hormon, illetve az inzulin szabályozza. Ezek a hormonok fontos szerepet játszanak a sejtek anabolikus folyamatában. A növekedési hormon edzés hatására képes módosítani a vázizomsejtek méretét (37).

Rendszeres edzés hatására izom hipertrófia alakul ki a szívben is. Ennek mechanizmusa nem teljesen tisztázott, de a bal kamra szisztolés terhelése, az afterload, illetve a diasztolés túlterhelés fontos szerepet játszanak a koncentrikus hipertrófia kialakulásában, ami a bal kamra végdiasztolés volumenének, a balkamra falvastagságának, és a balkamra tömegének a növekedésével jár.

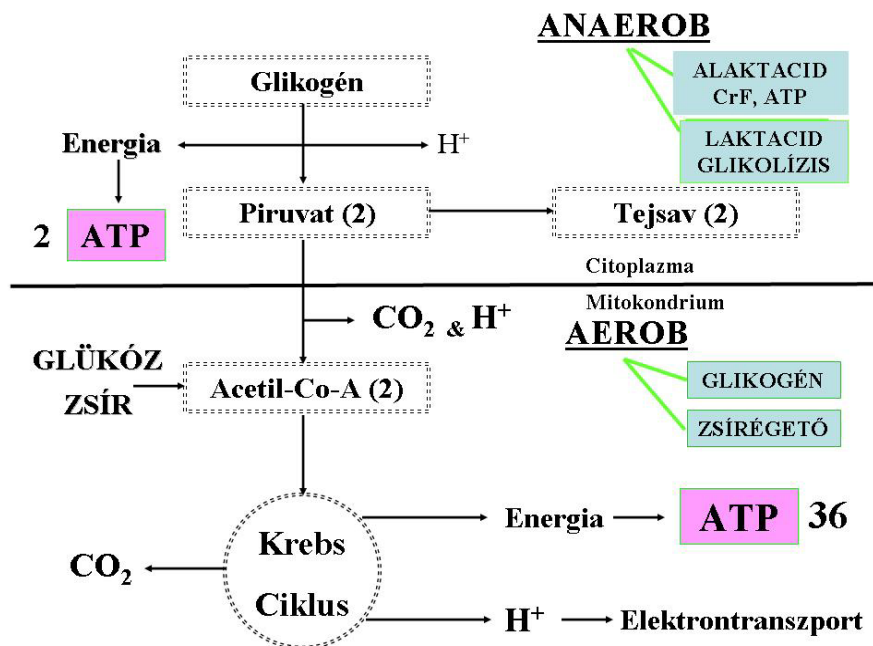
Fizikai tréning hatására új koordinációs mechanizmusok alakulnak ki. A központi idegrendszer adaptációs mechanizmusában proteinszintézis és mediator anyagok felszabadulása játszik szerepet. A motoros idegsejtek véglemezeiben úgyszintén jelentős változás következik be (37).

Összefoglalva: Rendszeres fizikai edzés hatására jelentős molekuláris módosulások következnek be celluláris szinten, melyek adaptív proteinszintézissel járnak. Ennek következtében a legaktívabb celluláris struktúrák száma jelentősen megemelkedik, a katalitikus enzimek aktiválódnak. Az adaptív proteinszintézis a transzkripció, transláció és a posttranszlációs modifikáció ellenőrzése alatt állnak. Ezek a szabályozó mechanizmusok nemcsak a fizikai aktivitás során, de a pihenés időszakában is fontos szerepet játszanak. A

tesztoszteron fokozza a transzkripciót, mely fontos szerepet játszik a miofibrillumok szintézisében. A thyroid hormonok felelősek a mitokondrium szintéziséért, a növekedési hormon és az inzulin szabályozza a transzlációs folyamatot.

### 3.2. A FIZIKAI AKTIVITÁS ENERGIASZÜKSÉGLETE

A szervezet életműködéséhez és a fizikai aktivitáshoz egyaránt energiaellátás szükséges. A kulcsanyag az adenozintrifoszfát (ATP). Az ATP lebomlása során energia szabadul fel, amit a sejtek hasznosítanak. Az ATP reszintézise történhet aerob (oxigén-felhasználás mellett) úton, illetve anaerob (oxigén jelenléte nélkül) módon (15. ábra).



15. ábra: A szervezet energiaszolgáltatói

Az anaerob energiaszolgáltatáskor megkülönböztetjük az anaerob laktacid (anaerob glikolízis) és az anaerob alaktacid (ATP és keratin-foszfát - CrP - hasítása) energiaszállító folyamatokat. Az anaerob laktacid folyamatok tejsavképződéssel járnak. Az anaerob alaktacid folyamatok vészhelyzetben kapcsolódnak be, és mindösszesen 4-5 másodpercre elegendő készletünk van.

Az aerob energiaszolgáltatáskor a glikogén- (szénhidrátégető) illetve a zsírégető rendszerről beszélünk (a fehérjék csak nagyon jelentéktelen mértékben játszanak szerepet az energiatermelésben).

A glikogén oxidatív bontása során az izmokban és a májban tárolt glikogén kerül felhasználásra. A citoplazmában a glikogénből piroszőlősav keletkezik, melyből acetil-CoA

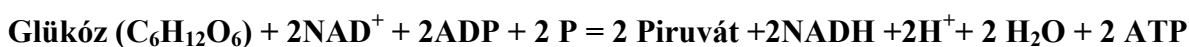


képződik, és bekerülve a mitokondriumok mátrixterébe a citromsav-ciklusban (Szent-Györgyi-Krebs-ciklus) és a légzési láncban zajló oxidációs reakciók során víz és széndioxid keletkezik (a széndioxidot kilélegezzük, a vizet pedig a szervezetünkben felhasználjuk), miközben energia szabadul fel, mely az ADP - ATP-vé történő foszforilálódáshoz szükséges. Az acetil-CoA az anyagcserében kulcsmolekula, mivel itt egyesül a zsíryanycsere és a fehérje-anyagcsere (29).

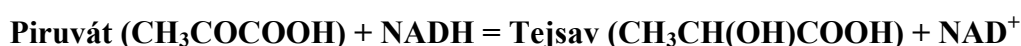
Oxigén jelenlétében a glükózból összességében 36 ATP molekula, a zsírsavakból – 129 ATP molekula képződik:



Az anaerob glikolízis lebontása csak piroszólósavig (piruvát) történik, amely a citoplazmában megy végbe. Az energiamérleget tekintve a glikogénből csak 2 molekula ATP és 2 molekula tejsav keletkezik.



A piroszólósavból NADH jelenlétében, anaerob viszonyok között, tejsav keletkezik. Ezt a folyamatot a laktátdehidrogenáz (LDH) katalizálja.

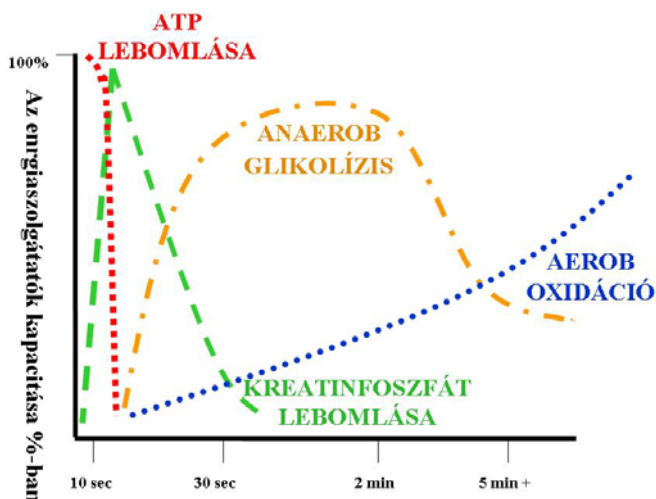


Az anaerob glikolízis során képződő tejsav a vérárammal a májba jut, ahol visszaalakul glükózzá (glükoneogenezis). A májban képződött glükóz azután a vér útján visszakerül a vázizomhoz, ahol vagy azonnal részt vesz az energiaellátásban, vagy - ha az izommunka befejeződött – a glikogénraktár regenerálódására használdik fel. A máj és a vázizom közti szénhidrátforgalmat Cori-körnek nevezik.

A leírt anyagcsere-energiaellátó rendszerek fizikai terheléskor a terhelés intenzitásától, az izomrosttípustól és az edzettségi állapottól függően eltérő mértékben lépnek működésbe.

Amennyiben a terhelést maximális erő kifejtéssel kezdjük, akkor a makroerg foszfát molekulák (ATP, CrP) gyors felhasználásával a foszfát raktárok gyorsan kimerülnek. Ezzel

egyidejűleg aktiválódik az anaerob glikolízis és az aerob glikolízis, az energia ellátásból kivett részük azonban viszonylag csekély. Az anaerob glikolízis másodperc után mégis csökken az izomzat teljesítménye, mivel csappannak a glikogén raktárak és egyben tejsav halmozódik fel az izomzatban, ami gátolja az anaerob glikolízist. A további teljesítménymérséklés azért szükséges, hogy folyamatos átmenettel, az energiaellátás 50-90 másodperc után százalékosan fokozott arányban, aerob módon történjen az energiatermelés a szénhidrátok oxidációja útján. A szénhidrátaktárak csak 1,5-2,5 óra folyamatos terhelés után merülnek ki (16. ábra).



16. ábra: Energiatermelés maximális terhelésnél a terhelési időtől függően<sup>29</sup>

A zsírforgalom arányának emelkedése az energiaszolgáltatásban további teljesítménycsökkenéshez vezet, mivel a zsírok (szabad zsírsavak) energiaszolgáltatási rátája alacsonyabb, mint a szénhidrátoké. Az átmenet körülbelül a maximális oxigénfogyasztás 50-60%-ánál megy végbe. Figyelembe kell venni, hogy az energiaszállítók fedik egymást (29).

Az energiaszállító folyamatok szabályozása fokozódó terhelés mellett a túlnyomóan gazdaságosabb anyagcsereutak igénybevételével kezdődik. Amennyiben a terhelés intenzitása a maximális oxigénfelvétel 50-60%-a felett történik, a szénhidrátok oxidációja játszik vezető szerepet az energiaellátásban. Ilyenkor kimutatható egy kis laktátemelkedés a vérben, ami fokozódó anaerob glikolízisre utal. Párhuzamosan erősödik a laktátelimináció is, ami a forgalom emelkedése ellenére megakadályozza a laktátfelhalmozódást.

Igen alacsony terhelési intenzitásnál, amikor a terhelés a maximális oxigénfelvétel 50-60%-a alatt történik, az ATP túlnyomóan az oxidációs zsírégetés révén reszintetizálódik. Az aerob

szénhidrátégetésnek csekély része van, az anaerob energiatermelés alárendelt szerepet játszik (29).

Ha folyamatosan magasabb hőmérsékleten tartózkodunk, szervezetünk alkalmazkodik ahhoz. Ez kifejezettebb, ha ilyenkor rendszeres edzéseket is végzünk. Már egyszeri expozíció is adaptációt eredményez. Általánosságban érvényes az alkalmazkodásra, hogy három nap után megtörténik az adaptáció 40%-a, öt nap után a 80%-a, és hét nap múlva a 90%-a. Az optimális alkalmazkodást csak 10-14 nap múlva feltételezzük. Az optimális alkalmazkodás nem azt jelenti, hogy magas külső hőmérsékleten magas intenzitású terhelést ugyanolyan teljesítménnyel lehet végezni. A kitartó és rendszeres edzéssel jelentősen lehet növelni a terhelési szintet, a megfelelő körültekintéssel pedig, megelőzni a hőártalom kialakulását.

### **3.3. A BŐR HŐLEADÁSA**

A bőr képezi a szervezet legnagyobb hőcserélő felületét. Nagysága 1,5-2 m<sup>2</sup>, súlya 4-10 kg, ezzel az emberi test legnagyobb szervének minősül. A bőrnek három rétegét különböztetjük meg: a felhámot, az irhát és a bőr alatti kötőszövetet (subkutist). A subkutisban futnak a kiserek. Az artériák a subkutisban fonatot képeznek, a felszálló artériás ágakból kapilláris hurkok erednek, melyek sűrűsége 20-60/mm<sup>2</sup>. A vénák a subkutisban és az irhában hálózatot képeznek, és az artériákkal arteriovenosus anasztomozist alkotnak. A belső szervektől és az izomzatból áramló meleg vér a bőr arterioláiban és arteriovenosus anasztomozisaiban szabályozódik, ahol hőmérsékletcsökkenés következik be, ami életfontosságú hőmérséklet-szabályozást jelent. Járulékos képződményei közül kiemelendők a verejtékmirigyek. A bőrben található a mechanikus (érintés, nyomás, vibráció), a termikus (hő, hideg), és a nociceptív (fájdalom, viszketés) érzékelést biztosító idegvégződések. Fizikai terhelésnél emelkedik a maghőmérséklet, aminek hatására fokozódik a bőr alatti erek dilatációja, ezzel a vér átáramlása, és a hő kondukcióval kerül leadásra a környező levegőbe, amennyiben a levegő hőmérséklete a bőr hőmérsékleténél alacsonyabb. A verejtékezés során a hőleadás a víz elpárologtatásával történik, amit a verejtékmirigyek termelnek. A víz elpárologtatása során lehül a bőr, mivel a bőr alatti erekből hő vonódik el (53).

Ha a hőhatás kellőképp intenzív, az izzadságmirigyeket beidegző kolinerg szimpatikus idegrostok aktiválják az izzadság termelését. Az izzadás a leghatékonyabb akaratlan belső hőmérséklet-csökkentő mechanizmus az emberi szervezetben.

A külső hőmérséklet emelkedésével fokozódik a víz elpárologtatása, ez tartja szinten a maghőmérsékletet tartós fizikai terhelésnél. Az izzadás mint hőszabályozó mechanizmus a terhelés kezdete után néhány másodpercen belül beindul. Ez a mechanizmus több tényezőtől függ: a bőr hőmérsékletétől, az előző izzadás mértékétől, illetve a szervezet hidratáltsági fokától. Az izzadság mennyisége párhuzamosan emelkedik a szervezet maghőmérsékletével, és ezt izzadási rátában fejezzük ki. Az alábbi táblázatban összefoglaltunk néhány környezeti körülményt az izzadás fokának függvényében (**2. táblázat**):

Relatív páratartalom (%)	Hőmérséklet				Izzadási ráta (l/óra)	Szívfrekvencia (ütés/perc)
	Tdb(°C)	Twb(°C)	Tbg(°C)	WBGT (°C)		
45	22,0	14,7	30,0	18,5	0,4	150
50	35,0	26,0	45,0	30,7	1,0	155
60	35,0	33,4	42,0	35,3	1,6	165

**2. táblázat: Típusos izzadási ráták és szívfrekvenciák 30 perces terhelésnél, a VO<sub>2</sub>max 60%-án különböző környezeti körülmények során. WBGT: Wet Bulb Globe Temperature<sup>40</sup>**

Az izzadás mértéke többek között olyan külső tényezőktől függ, mint a légmozgás, illetve a levegő páratartalma. Magasabb páratartalom esetén a víz nem képes elpárologni a bőr felszínéről. Ebben az esetben elégtelen a hőleadás, mely így nem biztosítja a szervezet hőszabályozását, és emiatt a maghőmérséklet nagyobb mértékben emelkedik a fizikai terhelés során (76). A tartósan magas páratartalom csökkenti az izzadságmirigyek folyadékszekrécióját, ami hiperhidrózishoz vezet. Fontos, hogy a katonai személyzet, ha forró, száraz éghajlaton teljesít szolgálatot, csak száraz ruhában végezzen munkát, vagy amennyiben a ruhájuk átnedvesedik, azonnal cseréljék le, ezzel biztosítva a szervezet megfelelő hőleadását (91).

A tartós fizikai terhelés forró száraz környezetben szignifikáns változásokat idéz elő a kardiovaszkuláris rendszerben. A bőr alatti érhalózat dilatációja fokozódik a terhelés során, és ezzel a magasabb hőmérsékletű magból a hőt a bőrbe és a subkutisba szállítja. Ennek következtében megemelkedik a bőr hőmérséklete (14). Amennyiben a külső hőmérséklet is magas, a bőr hőmérséklete nagyobb mértékben emelkedik. Emiatt csökken a hőleadás, ami a maghőmérséklet szabályozását megnehezíti.

A külső hőmérséklet növekedésével az úgynevezett mag-bőr hőkülönbözet beszűkül, és a bőr alatti keringés csak egy bizonyos szintig képes ellensúlyozni a hőtermelést. Harcászati műveletek során az anyagcseréből adódó hőtermelés akár 3-8-szorosan is meghaladhatja a nyugalmi hőtermelést. Amikor a maghőmérséklet fokozatosan emelkedik a fizikai terhelés során, és a mag-bőr hőkülönbözet folyamatosan követi ezt a változást, akkor még a hőháztartás kompenzált. Az ezt biztosító mechanizmusok egy idő után elégtelenné válnak a hőegyensúly fenntartásához - ez vezet a hőszabályozó rendszer dekompenzálódásához. Izzadás során a bőr lehűl, és helyreáll a mag-bőr termikus gradiense, amely biztosítja a megfelelő hőleadást (33).

### **3.4. A SZÍV ÉS KERINGÉSI RENDSZER ALKALMAZKODÁSA**

Tartós fizikai terhelés során a bőr alatti vazodilatáció (értágulás) akár 8 liter/perc átfolyást is eredményezhet (53). A tartós terhelés és a magas külső hőmérséklet, a fokozott bőr alatti vaszkuláris áramlás emelkedésével, nagyfokú terhet jelent a kardiovaszkuláris rendszer számára. A megnövekedett bőr és subkutis véráramlás hatására nagy mennyiségű vér gyűlik össze a bőr alatti rétegekben, illetve a felületi vénákban, ezzel csökken a centrális vénás nyomás, a szív előterhelése, és a verőtérfogat. A perctérfogat fenntartását a szív a frekvencia növekedésével tudja biztosítani. A folyadékvesztés, mely az izzadás következtében alakul ki, tovább csökkenti a szervezetben keringő volument, amely súlyosbítja a keringési állapotot. A verőtérfogat fenntartásának érdekében a szívfrekvencia emelkedése mellett fokozódik a szív kontraktilitása is. A folyamat háttérében a szimpatikus aktivitás növekedése, illetve a hőszívizomzatra gyakorolt direkt hatása áll (55).

A magas külső hőmérsékleten végzett tartós terhelés okozta kardiovaszkuláris elváltozások első megnyilvánulása a verőtérfogatnak a bőr alatti átáramlás növekedésével való párhuzamos emelkedése, mely nélkülözhetetlen a hőszabályozás szinten tartásához. A szimpatikus tónus fokozódása a belső szervekben vazokonstriktiót okoz, ami hypoxiához vezet. A verőtérfogat emelkedése szubmaximális terhelésnél csak bizonyos hőmérsékleti határig tudja ellensúlyozni a bőr alatti átáramlás növekedését. A határértéknél magasabb hőmérséklet esetén a verőtérfogat csökken, ami további perfúziócsökkenést eredményez.

A központi idegrendszer és a koszorúerek vérellátása nem változik hőstressz hatására, de a belső szervek vérellátása nagymértékben csökken. Ez biztosítja egy ideig a megfelelő

mennyiségű vérellátást az izommunka elvégzéséhez és a perctérfogat fenntartásához. Amennyiben ez a kompenzáló mechanizmus elégtelen, a bőr átáramlása csökken, a verejtékezés mérséklődik, az izomzat vérellátása károsodik, ami az anaerob anyagcsere arányának emelkedéséhez és tejsav acidózis kialakulásához vezet (3).

### **3.5. A LÉGZŐRENDSZER ALKALMAZKODÁSA**

Az állóképességi terhelési formáknál legnagyobb a követelmény a légzőrendszerrel szemben. A légzőrendszer is strukturális alkalmazkodást mutat a rendszeres fizikai aktivitás hatására. Javul a légzésszabályozás, ami nagyobb funkcionális légzésfelületet eredményez, javul a ventiláció és a perfúzió kapcsolata, valamint a tüdőjáratokban az áramlási ellenállás. Rendszeres edzés hatására javul a hiányos ventiláció, mely a tüdőhólyagok megnyílásának köszönhető, csökken az artério-venózus shuntökön át az átáramló vér mennyisége, valamint a tüdőcsúcsokban is fokozódik a vérellátás.

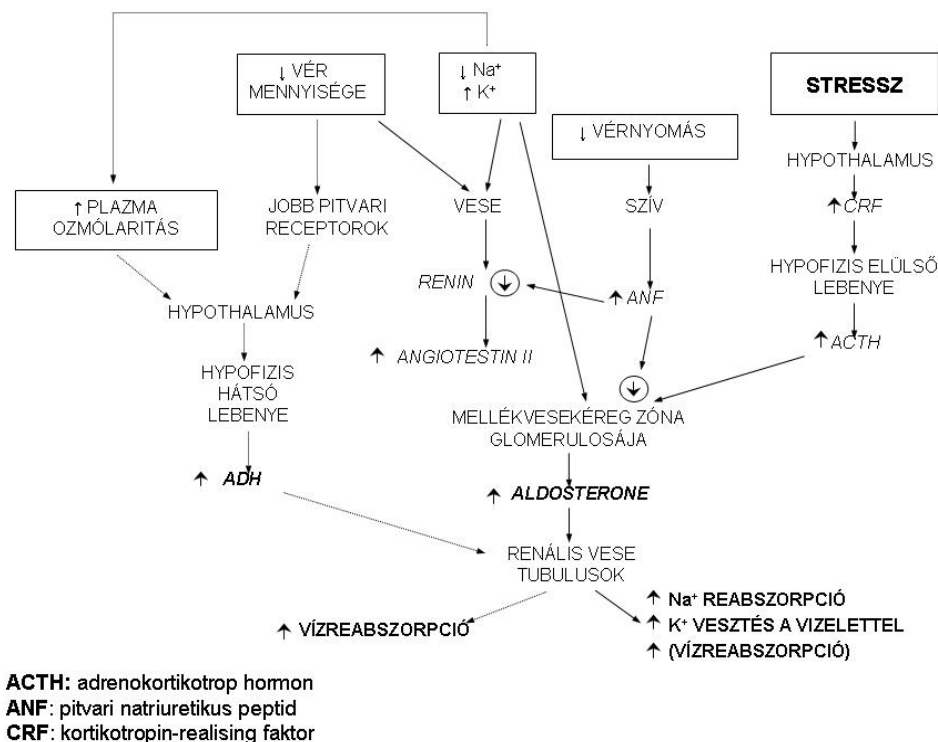
A légzőrendszer szerkezeti alkalmazkodásánál jelentős a légzőizmok hipertrofiája. A légzési perctérfogat emelkedése a nagyobb légzésmélység által következik be, mivel ezzel csökken a holtter. A mellkas mélyebb kilengései szívó-nyomó hatást fejtenek ki a kisvérkör ereire. Ez segíti a vénás visszaáramlást, valamint az artériás és kapilláris véráramlást. Fontos megjegyezni, hogy a légzőizmok tartós fizikai terhelés során az oxigénfelhasználásnak akár 15%-át is elfogyaszthatják (29).

### **3.6. A FOLYADÉKHÁZTARTÁS ALKALMAZKODÁSA**

Magas külső hőmérsékletnél végzett tartós fizikai terhelés során a szervezetben jelentősen csökken a víz mennyisége, ami kiszáradáshoz vezet. Az emberi szervezet 45-70%-ában vízből áll. Egy 75 kg súlyú férfiben 45 liter víz található. A zsírszövetek az összes vízmennyiség kb. 10%-át tartalmazzák, az izomszövetek kb. 75%-ot. A vázizomzat víztartalma szoros összefüggést mutat a glikogén mennyiségével, mely a szarkoplazmában lévő glikogén ozmotikus nyomásával magyarázható. Mivel a fizikailag edzett katonáknak nagyobb tömegű vázizomzata van, ezért az ő szervezetük összvízmennyisége nagyobb, összehasonlítva a kevésbé edzett társaikkal (75).

Az izzadás során elveszített vízmennyiség egyenesen arányos a plazma ozmotikus nyomásemelkedésével. A plazma ozmózinga átmenetileg emelkedik, ez mobilizálja a folyadékot az intracelluláris térből. Az akklimatizált személy verejtékében kisebb a nátrium koncentráció, ami magasabb plazma ozmózinga eredményez; ennek következtében a folyadék redistribúció nagyobb mértékben és gyorsabban következik be (75).

A só- és vízháztartás szabályozásában az ozmoreceptorok, az adiuretin (ADH: vasopressin), és annak célszerveként a vese vesznek részt. A vízhiány következtében az extracelluláris tér ozmolalitása megnő, ami fokozza hipofízis ADH leadását. Az ADH a véráramba kerülve a vesébe jut és csökkenti a vizeletkiválasztást. Ez egyidejűleg szomjúságot is okoz. A sóhiány lecsökkenti a vér ozmolalitását, gátolja az ADH felszabadulást és fokozza a vizeletkiválasztást. Ezt követően csökken az extracelluláris tér és a plazmatérfogat, ami csökkenő vérnyomást eredményez. Ez az angiotenzin II felszabadulását váltja ki, ami szomjúságot kelt, és serkenti az aldoszteron elválasztást. Az aldoszteron fokozza a nátrium visszaszívást, azaz nátrium-visszatárást eredményez (17. ábra).



17. ábra: A só- és vízháztartás hormonális szabályozása<sup>105</sup>

## KÖVETKEZTETÉSEK

Az akklimatizáció élettani hatásainak minden részlete ma még nem teljesen ismert. Annyi bizonyos, hogy a hőakklimatizáció egy jellegzetes összetett adaptálódási folyamat a szervezet részéről a tartósan magas külső hőmérsékletre, amely három szakaszból tevődik össze.

- A korai adaptálási szakaszban, az első öt napon, a kardiovaszkuláris rendszer alkalmazkodik, a plazma volumene emelkedik, a szívfrekvencia csökken, és a vegetatív idegrendszer szabályozása révén a verőtér fogat átcsoportosítása a bőr kapillárisok és a működő izomrostok felé történik.
- A plazma volumennövekedése a nátrium retenciójából és a plazma fehérjék emelkedéséből adódik, aminek a tetőpontja az adaptáció 8-14. napján, a hormonális szabályozás aktiválásával következik be. A hőleadási mechanizmusok (a verejtékezés ráta emelkedése, a korai verejtékezés) alkalmazkódása, az akklimatizáció 5-8. napján alakul ki. Ez a folyamat a plazma renin és aldosteron szintjével mutat szoros összefüggést, mely szabályozza a szervezet víz- és elektrolit háztartását. A nyolcadik napra teszik a szérum kortizol szintjének normalizálódását is, mely az akklimatizáció kezdetén jelentősen emelkedik (32, 76).
- A 10-14. napon, az akklimatizáció harmadik szakaszában, az anyagcsere folyamatok átrendeződése befejeződik, és a szervezetben kialakul egy új egyensúlyi állapot, amely gazdaságos és hatékony metabolizmust biztosít tartós fizikai terhelés elvégzésére magas külső hőmérsékleten (32).

Az akklimatizáció kialakulásához legalább két hét szükséges. Ennyi idő alatt a szervezet 95%-ban tud adaptálódni. A második hónap végére elérheti a 99%-os alkalmazkodást a szervezet. Az edzést a maximális pulzusszám 65-75%-án szükséges végezni:

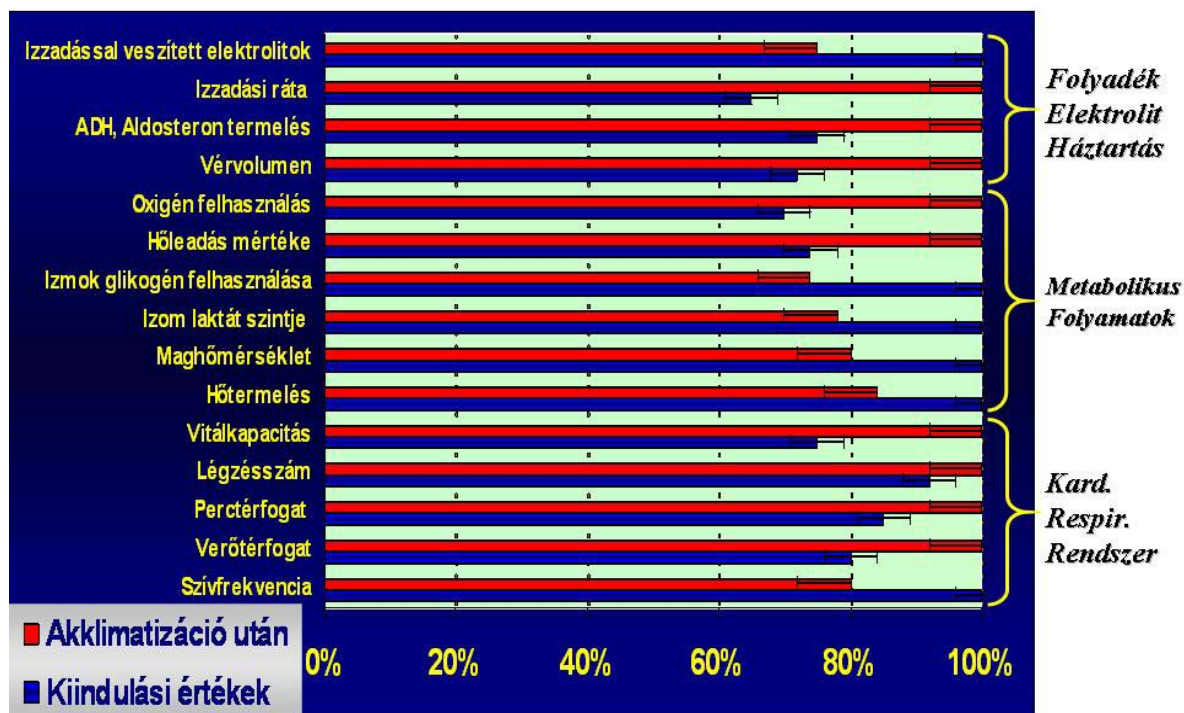
$$(220 - \text{életkor}) \times 0,65.$$

Az edzés időtartamának legalább napi 90 percnél kell lennie.

Az akklimatizáció centrális és perifériás, metabolikus és neurohormonális adaptációt vált ki, melyet három nagy csoportba lehet sorolni: a folyadék- és elektrolit háztartás, a metabolikus folyamatok, illetve a kardiovaszkuláris és respiratórikus rendszer alkalmazkódása.

Az alkalmazkodás során bekövetkezett változások százalékos arányát a **18. ábra** tükrözi.





18. ábra: Élettani paraméterek változása 14 napos akklimatizációt követően

A hőakklimatizáció hatására javul a katona teljesítménye, könnyebben tud eleget tenni a kiszabott feladatoknak magas külső hőmérsékleti körülmények mellett.

## 4. A TELJESÍTMÉNYT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

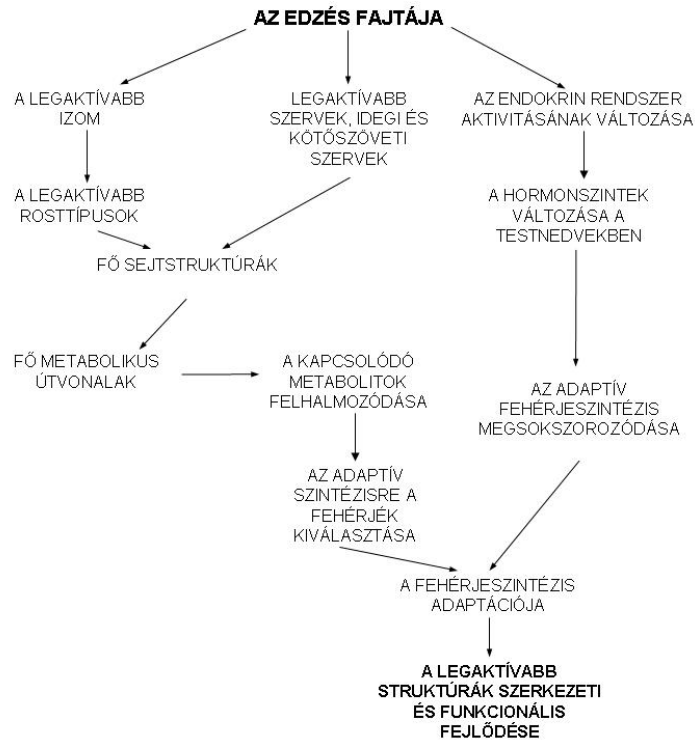
A katonák fizikai teljesítményének mértéke magasabb külső hőmérsékleten több tényezőtől függ: az akklimatizáció fokától, az egyén fizikai fittségétől, a hidratáció fokától, az egyén egészségi állapotától, illetve a meghatározott katonai műveletektől és a harci feladattól. Összességében ezek a tényezők képezik azt a fiziológiai megterhelést (maghőmérséklet emelkedése, illetve kardiovaszkuláris válasz), amely meghatározza az egyén teljesítőképességét. Hőstressz hatására csökken a fizikai teljesítőképesség, és ennek a mértékét prognosztizálni nem egyszerű feladat. A hőstressz mértéke optimális személyi tényezők mellett attól függ, hogy:

- milyen intenzitással végzi az egyén a fizikai aktivitást (az edzést),
- mennyi ideig kell végeznie az adott tevékenységet,
- milyen típusú az adott tevékenység,
- milyen gyakorissággal kell végeznie az adott tevékenységet.

A legfontosabb feladat az, hogy a hivatásos és a szerződéses katonák fizikailag is alkalmasak legyenek a korszerű harcok megvívására szélsőséges klimatikai körülmények között is. Az állóképesség megfelelő szintre hozása, a jó kondíció, a megfelelő akklimatizáció a katonáállomány részére létszükséglet. A katonának meg kell felelnie a vele szemben támasztott pszichikai, fizikai és egészségügyi követelményeknek.

### 4.1. MAXIMÁLIS INTENZITÁSÚ TERHELÉS

A maximális intenzitású terhelés per definitionem olyan terhelés, mely során a szervezet maximális oxigénmennyiséget használ fel. A rendszeres edzés során egyre magasabb a maximális oxigénfogyasztás, és ebből következően a maximális intenzitású teljesítményszint. A hatékony oxigénfogyasztás nélkülözhetetlen a folyamatos terhelés végzéséhez, ami biztosítja a magas metabolikus aktivitást (**19. ábra**).



**19. ábra: Az edzés specifikus hatásai<sup>37</sup>**

Több kutató igazolta, hogy a külső hőmérséklet emelkedésével csökken a szervezet oxigénfelhasználó képessége. Magas külső hőmérsékletnél a bőr alatti arteriolák tágulása az összvér mennyiség redistribúcióját okozza, mely a verőtér fogat csökkenéséhez vezet. Ennek következtében a vázizomzat vérellátása csökken, a metabolikus aktivitás mérséklődik. A csökkenés mértéke akár 0,25 liter/min oxigénmennyiséget is jelenthet. A metabolikus aktivitás mérséklése a teljesítményszint csökkenéséhez vezet (93).

#### **4.2. SZUBMAXIMÁLIS TERHELÉSI SZINT**

Mérsékelt hőmérsékleten végzett szubmaximális terhelés során 3%-os folyadékvesztés esetén sem károsodik a teljesítmény. Ezzel szemben magasabb külső hőmérsékleten már 3%-os folyadékvesztés esetében csökken a teljesítmény (108). A szubmaximális terhelésintenzitás csökkenésének hátterében mind a hőstressz, mind a kardiovaszkuláris megerőltetés szerepet játszik. A gyors glikogén felhasználás következtében kialakul a fáradtság. Öt fokos külső hőmérséklet emelkedésnél a bőr hőmérséklete 10%-kal növekszik, mely a maghőmérséklet gyors emelkedését eredményezi. Magas külső hőmérsékletnél végzett terhelésnél 2,5%-os dehidratáció közel 50%-kal tudja csökkenteni a szubmaximális terhelési szintet (2). Megfelelő folyadékpótlással a katonák jobban eleget tudnak tenni a fizikai

erőkifejtésnek szubmaximális terhelési szinten. Azok a katonák, akik hőhatásnak voltak kitéve, és megfelelő mennyiségű folyadékot pótoltak, jelentősen jobban bírták a szubmaximális terhelést (16).

Szubmaximális terhelés esetén az akklimatizáció során jelentősen csökken a metabolikus hőtermelés. Ezt igazolta több kutatás is, melyek kimutatták, hogy az oxigén felhasználás és az aerob anyagcsere szubmaximális terhelésnél, akklimatizált személyeknél, akár 14-17%-kal is csökkenhet, és csökken az izomzat laktát termelése, ill. a glikogén felhasználása is (30).

Fontos megjegyezni, hogy akár a külső magas hőmérséklet, akár a dehidratáció külön-külön is képesek beszűkíteni a teljesítményt. Együttes előfordulásuk hatványozottan befolyásolja a katonák teljesítményét szubmaximális terhelési szinten.

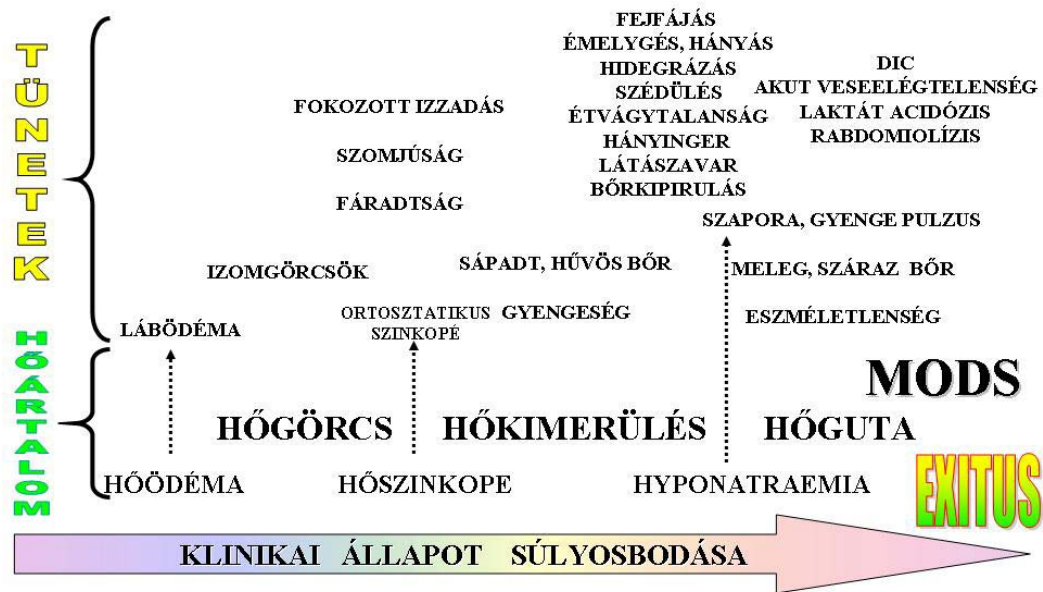
### **4.3. HŐTOLERANCIA**

Túlzottan magas külső hőmérsékleti körülmények között olyan állapot lép fel, amikor a hőleadás igénye nagyobb, mint amennyit a szervezet képes elpárologtatással levezetni. Ebben az esetben a maghőmérséklet egyensúlyi állapota nem áll be, és a maghőmérséklet folyamatosan emelkedik, mely hőkimerülésbe torkolhat. A külső hőmérséklet szubjektív érzetét befolyásolja a külső hőmérséklet mellett a napsugárzás mértéke, a páratartalom, a szél sebessége, az anyagcsere ráta, az egyenruha, a katona felszerelése. Ez közvetve befolyásolja a terhelés szintjét. A hőleadásért felelős kompenzáló mechanizmusok aktivitásának hiánya dekompenzálódáshoz vezet. A dekompenzált hőháztartás következménye a fáradtság, a hőkimerülés, amely már viszonylag alacsony maghőmérsékleten is kialakulhat.

Mivel a verejtékezés mértéke alacsonyabb dekompenzált hőháztartás esetén, a bőr hőmérséklete emelkedik, amely a bőr alatti erek rendkívüli dilatációját okozza. Ennek eredményeként a vér redisztribúciója alakul ki, ami kardiovaszkuláris túlterhelést, illetve keringési instabilitást okoz. Ez a mechanizmus hozzájárul a kimerülés kialakulásához már alacsonyabb maghőmérséklet esetén is. Súlyosbíthatja a hőstressz szövődményeit a fennálló dehidratáció (54).

### **4.4. PATOLÓGIÁS VÁLASZOK A HŐHATÁSRA ÉS AZOK ELLÁTÁSA**

A tartós, magas teljesítményszintű fizikai aktivitás túlzott hőtermeléshez vezet. Amennyiben ez elégtelen hőleadással párosul, különböző súlyossági fokú hőártalom alakul ki. Ezek a patológias állapotok nehezen meghatározhatók, mivel egy skála mentén mozognak (**20. ábra**).



20. árba: Hőártalom és tünetei

A hőmérséklet emelkedése által okozott tünetegyütteseket a legenyhébbtől a legsúlyosabbig az alábbiakban ismertetjük (15).

- ◆ *Hőödéma*: a legenyhébb hősrülés, mely a klímához nem szokott személyeknél ödémaképződést okoz a nyomásnak kitett területeken. Ezt az átmeneti vazodilatáció és az ortosztatikus folyadékfelgyülemelés okozza a hosszabb ideig álló vagy ülő egyéneknél. A tünetek mérséklődnek a lábak megemelésével, rendszerességgel végzett tornáztatással és akklimatizációval.
- ◆ *Izomgörcsök*, melyek a has és végtagok vázizmaira korlátozódó fájdalmas spazmusok. Predisponáló (hajlamosító) faktorok lehetnek az akklimatizáció hiánya, nátriumhiány (mint például fokozott izzadásnál), vagy diuretikumok használata. Terápiájának részét képezi a per os vagy intravénás nátriumpótlás. Fokozott figyelmet kell fordítani erre a tünetegyüttesre a bevetések alatt, mivel ez elővetítheti a hőkimerülés lehetőségét.
- ◆ *Hőszinkope*: ortosztatikus szinkopés/preszinkopés epizódként jelentkezik azoknál, akik ülő vagy fekvő helyzetből gyorsan állnak fel. Az akklimatizáció hiánya, kiszáradás és a levezető fázis nélküli tréning is predisponálhat erre a tünetegyüttesre. Patofiziológiai

magyarázata a nem elegendő perctérfogat, és az ennek következtében létrejövő testhelyzettől függő hipotónia. Szanálódás általában azonnal bekövetkezik, amikor a beteg a földre esik, így elegendő perfúziós nyomást biztosítva az agy számára. Kezelésének része a beteg vízszintes helyzetbe hozása és a volumenpótlás. A megelőzés a legfontosabb ennél a tünetegyüttesnél is.

- ◆ *Hőkimerülés:* a skála súlyosabb végén található. Akkor fordul elő, ha meleg környezetben fokozott izzadás hatására intravaszkuláris volumenhiány alakul ki. Ezen felül a test maghőmérséklete a normális fölé emelkedik (38-40.5°C). A tünetek változatosak: szapora szívverés, hipotónia, gyengeségérzés, fáradtság, hányás, szédülés, hidegrázás, étvágytalanság, hányinger, látászavarok és bőrkipirulás nagyobb neurológiai elváltozás nélkül. Kezelése során a beteget hűvös helyre kell vinni, ha ez nem lehetséges, külső hűtést kell alkalmazni (például vizes törölközővel) és, ha lehetséges, per os rehidratálást folytatni.
- ◆ *Hőguta:* a legsúlyosabb formája a meleg által okozott tünetegyütteseknek (18). Akkor fordul elő, mikor a hőtermelés mértéke meghaladja a hőleadás felső határát. Így a maghőmérséklet 40.5°C fölé emelkedik, és akut tudatzavarok alakulnak ki, mivel a hipertermia sok szervrendszerben okoz kárt, így az agyban is. Kezelés nélkül a mortalitás magas, elérheti a 10%-ot is, ezért a hőguta igazi orvosi sürgősségi diagnózis. Két formája van, a klasszikus és a terhelésre kialakuló (21. ábra).

#### **KLASSZIKUS HŐGUTA**

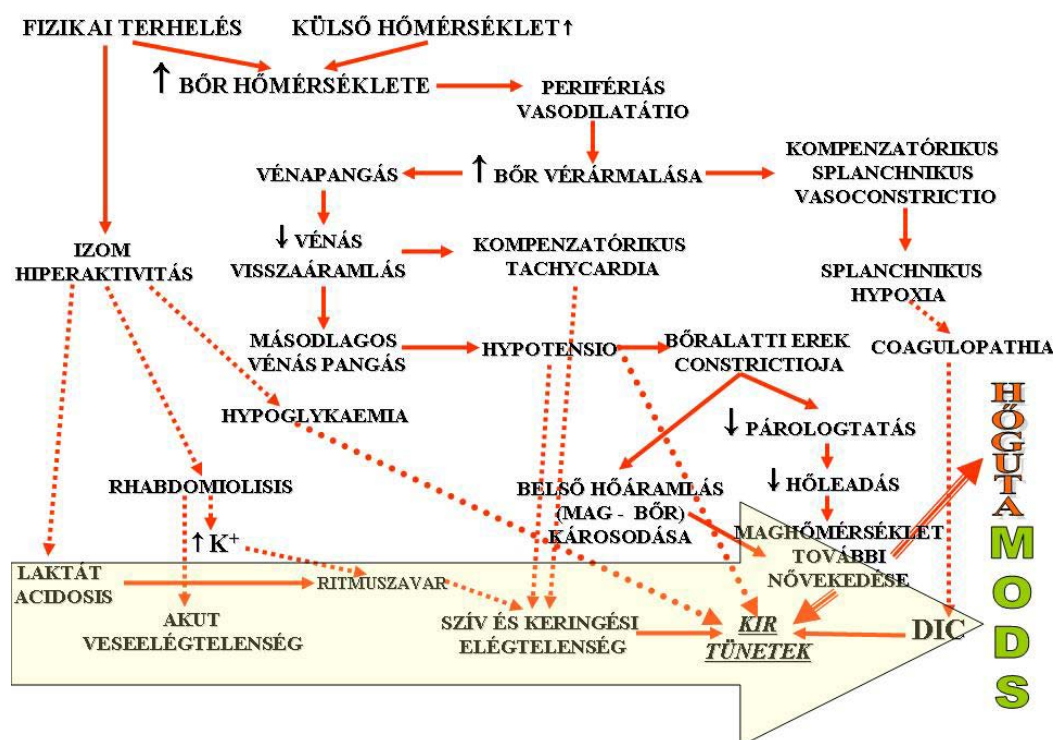
IDŐS KOR  
HÓHULLÁM  
KRÓNIKUS BETEGEK  
MOZGÁSSZEGÉNY ÉLETMÓD  
GYÓGYSZERT SZEDNEK  
SZÁRAZ A BŐR  
RESPIRATÓRIKUS ALKALÓZIS  
NINCS LAKTÁT ACIDÓZIS  
RHABDOMYOLIZIS NINCS  
VESEELÉGTÉLENSÉG RITKA  
HYPOKALCIEMIA RITKA  
DIC RITKA  
CK KISSÉ EMELKEDETT  
HYPOGLIKAEMIA RITKA  
OKA: ROSSZ ÁLLAPOT+HŐSÉG

#### **TERHELÉS INDUKÁLTA HŐGUTA**

FIATALOK (KATONA, SPORTOLÓ)  
NEM FELTÉTEL  
AKTÍVAK, EGÉSZSÉGESEK  
EXTRÉM FIZIKAI TERHELÉS  
NEM SZEDNEK GYÓGYSZERT  
KIFEJEZETT VEREJTÉKEZÉS  
RESPIRATÓRIKUS ALKALÓZIS  
GYAKORI A LAKTÁT ACIDÓZIS  
GYAKRAN VAN  
GYAKORI (30-40%)  
GYAKORI  
GYAKORI  
CK MAGAS  
GYAKORI  
EXTRÉM ERŐKIFEJTÉS+HŐSÉG

21. ábra: A hőguta típusai

A meleg, száraz klímában feladatot végrehajtó katonák körében inkább a terhelésre kialakuló hõgutával kell számolni, mely a betegség súlyosabb formája, és tünetei közé tartozik a fokozott verejtkezés, ami járhat disszeminált intravaszkuláris koagulációval (DIC), akut veseelégtelenséggel, laktát acidózissal, hiperurikémiával, hipokalémiával és rhabdmiolízissel, amelyek háttérben a melegben való hosszan tartó fizikai megterhelés által okozott vázizom kimerülés és lebomlás áll. Kezelése komplex, melynek része a külsõ és belsõ hûtés, lázgörcsök kialakulásának megelõzése, volumenpótlás és a további célszervkárosodás megelõzése. A hõguta komplikációja lehet a központi idegrendszer, máj és vesék végleges károsodása (22. ábra).



22. ábra: A terheléses hõguta patofiziológiája<sup>44</sup>

A hõsérülés kialakulásának háttérben genetikai tényezõk is szerepet játszanak: cytokinek fokozott szintézise, hõsokk-fehérjék és alvadási tényezõk együttes hatása. A hõguta patogenezisében mind generalizált, mind celluláris válasz fellelhetõ. Ebben a válaszban egymást követik a hõszabályozást biztosító mechanizmusok, az akut-fázis válasz, és végül, a hõsokk-fehérjék termelésének fázisa.

A hõszabályozásért felelõs hatások a maghõmérséklet növekedésével indulnak be. A szimpatikus tónus aktivitásával fokozódik a bőralatti vér átáramlás, a verejtékmirigyek aktiválódása, a keringõ vér redisztribúciója a mûködõ izomzat, a bőr alatti erek és a belsõ

szervek felé, aminek következtében a szervezet hőleadása jelentősen fokozódik. Ezt a fázist jellemzi a kifejezett folyadék és só veszteség. A hőaklimatizáció során a kardiovaszkuláris rendszer alkalmazkodása és a renin-angiotensin-aldosteron tengely aktiválódása olyan változásokat eredményez a szervezetben, amelyek hatására fokozódik a verejtékmirigyek aktivitása, a plazma volumene növekszik, csökken a glomeruláris filtráció, illetve fokozódik az ellenálló képesség a megerőltetés okozta rhabdomyolizissal szemben.

A hőterhelés okozta akut-fázis válasz során az endoteliális sejtek, a fehérvérsejtek, és az epiteliális sejtek védekeznek a sérülés ellen, és elősegítik a helyreállítást. Több cytokin ismert, amely szerepet játszik a hőstressz indukálta anabolikus és katabolikus folyamatokban, fokozza az akut-fázis fehérjék szintézisét, stimulálja a hipotalamusz-agyalapi mirigymellékvese tengelyt, aktiválja a leukocitózist és az endoteliális sejteket. A legismertebb cytokin az Interleukin-6, mely szabályozza a helyi és generalizált akut inflammációs választ a gyulladáshoz vezető cytokinek szintjének ellenőrzésével. Az Interleukin-6 a májban fokozza az antiinflammatorikus akut-fázis fehérjék szintézisét, mely gátolja a prooxidánsok és szabad gyökök keletkezését és a proteolitikus enzimek felszabadulását a fehérvérsejtekből. Némelyik akut-fázis fehérje serkenti az endoteliális sejtek adhézióját, proliferációját, ill. az angiogenezist, és így folytatódik a helyreállítási és a gyógyulási folyamat.

A harmadik fázisban a hőstressz hatására elkezdődik a hősokk-fehérjék és egyéb stressz fehérjék szintézise. Hő hatására fokozódik a transzkripciós gének aktivitása, indukálva a hősokk-fehérjék szintézisét, melyek biztosítják a sejtek túlélését.

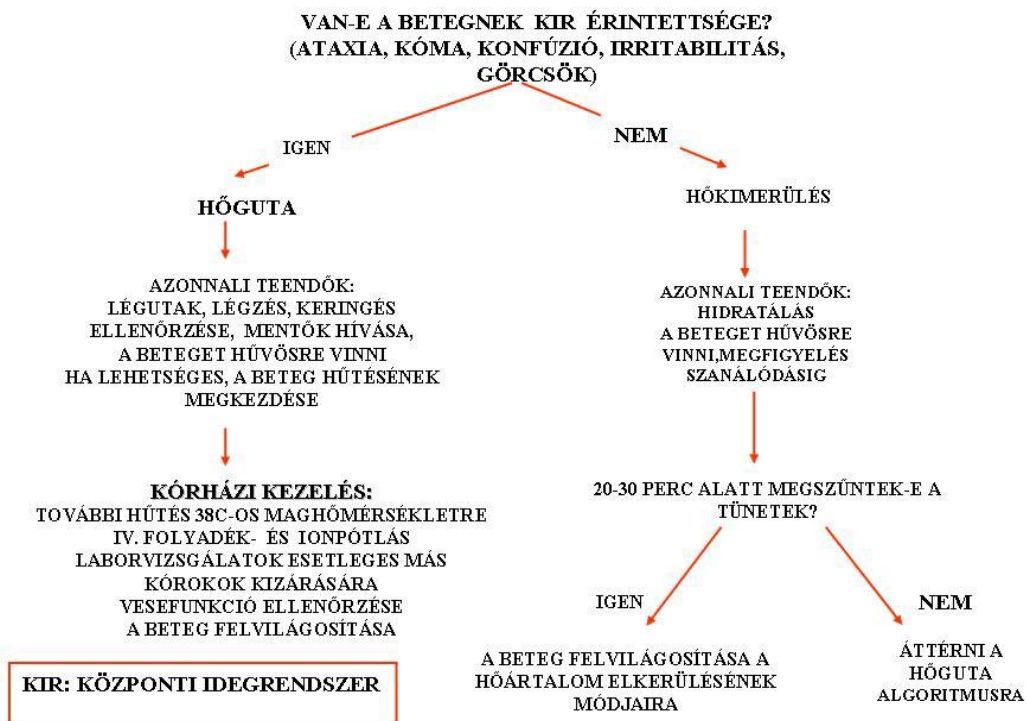
Magas külső hőmérsékleten végzett tartós fizikai terhelés esetén a vér a működő izomcsoportokba, illetve a bőrbe és a subkutisba áramlik, ami a belső szervekben fellépő vazokonstriktív eredményeként biztosított. Ezzel iszkémia alakul ki a belső szervekben, mely fokozza az intesztinális permeabilitást. Ennek következtében a bélből felszívódnak az endotoxinok és bejutnak a véráramba. Az endotoxinok hipertermiát és keringési instabilitást okoznak. A belek és a máj hypoxiája superoxidok és szabad gyökök keletkezéséhez vezet, melyek akcelerálják a szöveti károsodást. A hősokk-fehérjék megvédik a sejteket az iszkémia, a hypoxia, az endotoxinok, illetve a gyulladáshoz vezető cytokinokkal szemben. A genetikai sokféleséggel, mely a hősokk-fehérjék szintézisét determinálja, magyarázható a hőstresszel szembeni tűrőképesség egyéni különbözősége.

A hősérülés legsúlyosabb szövődménye a MOD (Multi-organ-dysfunktion) szindróma kialakulása, mely során a fennálló hypoxia, iszkémia, gyulladás és alvadási rendellenesség több szerv és szervrendszer együttes károsodásához vezet. A gyulladáshoz vezető cytokinek (TNF, interleukin-1, interferon-gamma) és az antiinflammatorikus cytokinek (interleukin-6,



interleukin-10, p55 és p75 TNF receptorok) egyensúlya felbomlik, emelkedik a szérum szintjük, amely szöveti gyulladáshoz és immunszuppresszióhoz vezet. A gyulladást okozó citokinek központi idegrendszeri károsodást is okoznak, koponyaűri nyomásfokozódással járva. Az endoteliális sejtek károsodása diffúz mikrovaszkuláris trombózisok kialakulásához vezet, ami DIC (Disseminated intravascular coagulation) szindrómaként ismert. A generalizált folyamat eredménye az encefalopátia, a rabdomiolízis, az akut veseelégtelenség, akut légzési elégtelenség, szívizom károsodás keringési elégtelenséggel, májelégtelenség, hasnyálmirigyelégtelenség, bélinfarktus, vérzéses szövődmények, és DIC együttes megjelenése, amit MOD szindrómának nevezünk (44).

Ismerni kell a hőártalom korai jeleit: sötét sárga vizelet, koordinációs zavarok, fejfájás, hidegrázás, szokatlan fáradtságérzet. A hőártalom tüneteinek megjelenése azonnali és komplex ellátást igényelnek, mely a helyszínen kezdődik, és szükség esetén, kórházi körülmény között folytatódik. A **23. ábra** összefoglalja a magas hőmérséklet által okozott tünetegyüttesek kezelési algoritmusát (13,14, 51):



**23. ábra: A hőártalmak kezelési algoritmusá**<sup>85</sup>

Az algoritmusból látható, hogy a központi idegrendszer érintettsége fontos szerepet játszik a katona ellátásának stratégiájában. Minden esetben az ellátást haladéktalanul a helyszínen kell

elkezdeni, és a maghőmérséklet alakulásának, illetve KIR tünetek megjelenésének a függvényében kórházi körülmények között kell folytatni. MODS esetében komplex intenzív ellátás szükséges az életveszélyes állapot elhárítása érdekében.

Az amerikai hadseregben végzett epidemiológiai felmérés alapján 1980-2002 között 5246 hősérülés miatti hospitalizáció (30:100000), és 37 halálos kimenetelű (0,3:100000) eset történt. A hospitalizáció 18%-ban hőség miatt következett be, melynek hátterében 17%-ban súlyos dehidratáció, 25%-ban rhabdomyolízis, 13%-ban akut veseelégtelenség szerepeltek. A részletes elemzés a következő adatokkal szolgált: kaukázusi populációban (67%) magasabb volt a hősérülések száma, mint az afro-amerikai (23%) illetve hispániai származásúak (4%) körében, az északi államokból származóknál (62%) magasabb volt az előfordulás, mint a délieknél (38%), és a nőknél gyakrabban fordult elő hősérülés (előfordulási arány 1,21), mint a férfiaknál. A hősérülések 84%-a szolgálati időben alakult ki. 1990 óta az enyhébb hősérülések száma (dehidratáció, hőkimerülés, hőszinkope, hiponatrémia) csökkenő tendenciát mutatott, de a hőség előfordulása emelkedett (15).

#### **4.5. A TELJESÍTMÉNY NÖVELÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI**

Az utóbbi években egyre több tanulmányban vizsgálták, hogy különböző személyi tényezők (aerob fittség, hidratáltság, hőakklimatizáció mértéke) milyen mértékben tudják befolyásolni a teljesítmény nagyságát magas külső hőmérsékleti viszonyok esetében. Több kutató arra a következtetésre jutott, hogy a hőakklimatizált katonák jobban tolerálják a hőstresszt, még súlyosabb hipohidratációs állapotban is. A külső magas hőmérsékleten szubmaximális terhelési szintig végzett aktivitás esetében a megfelelő akklimatizáció és hidratáltság jelentősen megnövelte a terhelési kapacitást. Tényként megállapították, hogy a hipohidráció 0,4 Celsius fokkal alacsonyabb maghőmérsékletnél vezet fáradtsághoz. Ezt csak bizonyos szintig képes ellensúlyozni a katona aerob fittsége, illetve hőakklimatizációja. A kapott vizsgálati eredmények ellenére még sok megválaszolatlan kérdés maradt, amelyek további kutatásokat igényelnek (80).

#### 4.6. A FOLYAMATOS TERHELÉS FELTÉTELEI

A folyamatos terhelés feltétele magas külső hőmérsékleti környezetben a katona megfelelő szintű hőleadási képessége, mely nélkülözhetetlen az optimális maghőmérséklet fenntartásához. A hőszabályozás javítható a katona hőaklimatizálásával, megfelelő folyadék- illetve ionpótlással és a fizikai edzettség javításával. A hősérülés kialakulása megelőzhető a hőterhelés időtartamának csökkentésével, a terhelési szint csökkentésével, illetve megfelelő ruházat és felszerelés viselésével. A hőaklimatizálódás, az aerob edzettség, a megfelelő folyadék-, és ionpótlás együttesen jelentősen hozzájárul a katona hőtűrő képességének, illetve a maghőmérséklet-szabályozásának javításához. Ismételt hőhatások úgyszintén javítják a hőtűrő képességet (41).

Védenünk kell a katonákat a hősérüléstől, például a bőr vérellátásának (hűtő védőruha) és az izom aktivitásszintjének megőrzésével (a gyakorlatozás pihenéssel való megszakításával), valamint hangsúlyt kell fektetni a kivezényelt katonák adott operációs terephez való akklimatizálódásához. A hőleadás különféle változatait a **3. táblázat** mutatja be (59):

A hővesztés mechanizmusa	Nyugalom		Terhelés	
	Az összes %-a	kcal/perc	Az összes %-a	kcal/perc
<b>Kondukción és konvekció</b>	<b>20</b>	<b>0.3</b>	<b>15</b>	<b>2.2</b>
<b>Sugárzás</b>	<b>60</b>	<b>0.9</b>	<b>5</b>	<b>0.8</b>
<b>Párolgás</b>	<b>20</b>	<b>0.3</b>	<b>80</b>	<b>12</b>
<b>Összes</b>	<b>100</b>	<b>1.5</b>	<b>100</b>	<b>15</b>

**3. táblázat: A hőleadás mechanizmusai nyugalomban és terhelés hatására<sup>59</sup>**

A szívfrekvencia csökkenése már az akklimatizáció 4-5. napján jelentkezik. A verejtékezés fokozódása, illetve a verejtékezési ráta az akklimatizálódás 5-6. napján alakul ki (32).

A fizikai állóképesség, illetve az edzettség javítja az oxigén felhasználását a szervezetben, s ezzel fokozza a katona teljesítményét magas külső hőmérsékleten is. Önmagában az oxigén hatékonyabb felhasználása nem jár a hőtűrő képesség javulásával, viszont a rendszeresen végzett fizikai aktivitás nélkülözhetetlen a hőtűrő képesség javulásához (2). Az optimális tréningnek legalább 8-12 hétig kell tartania, hogy a megfelelő adaptációs mechanizmusok

kialakuljanak a szervezetben. Következő fontos tényező, amit szem előtt kell tartani: az a folyadék- és ionpótlás megfelelő mértéke. Ennek fontosságát már több katonai művelet igazolta: a folyadékhiány indukálta hősérülés csaknem 20.000 embernyi veszteséget okozott az egyiptomi katonák körében az 1967-es arab-izraeli 6 napos háború során. A fizikai aktivitás és a hőstressz egyaránt folyadék- és elektrolitvesztést okoz, melyet korrigálni kell. Ennek mértéke a fizikai terhelés intenzitásától, időtartamától, a külső hőmérséklettől, a katona fizikai állapotától, a ruházatától, illetve felszerelésétől függ. A rutin katonai feladat során forró környezetben az izzadási ráta 1-2 liter/órát is elérheti, így a veszteség elérheti akár a napi 4-12 litert is, ezért a folyadékpótlásnak is ennek megfelelőnek kell lenni (39). Az elektrolitok közül nélkülözhetetlen a nátrium, klor, kálium, kalcium és a magnézium pótlása. A verejtékmirigyek képesek reabszorbeálni a nátriumot aktív transzport útján, és ez a képesség akklimatizálódás után jelentősen javul. Ennek eredményeképpen az akklimatizálódott katona csaknem 50%-kal kevesebb nátriumot veszít verejtékével. A kálium, a kalcium és a magnézium ionok verejtékkel való vesztese inkább a nem és a kor függvényében változik. Kis mennyiségben a veríték tartalmaz vitaminokat is, de ezek ürítése nem számottevő. Amennyiben a katona megfelelő mennyiségű és megfelelő minőségű táplálékot visz be, az ionok külön pótlására nincs szükség. Ennek ellenére nélkülözhetetlen az ionokban gazdag folyadék megfelelő bevitele. Fontos tényező, hogy a rehidratáláshoz használt folyadék íze és elektrolit tartalma megfelelő legyen (19).

A folyadékháztartás szinten tartásának feltétele a terhelés előtti folyadék bevitel megfelelő mértéke, illetve a terhelés során is a megfelelő szubsztitúció.

#### **4.7. A TERHELÉS-PIHENÉS VÁLTAKOZÁSA**

A magas külső hőmérsékleti körülmények között végezhető terhelés időtartamát befolyásolja a terhelés intenzitása, a szervezet biofizikai (élettani) kapacitása, a környezeti tényezők (klimatikai paraméterek és terepviszonyok), a viselt ruházat jellege, illetve a menetfelszerelés nagysága. Ilyen körülmények között az élettani alkalmazkodás az egyén hőakklimatizációjától, illetve edzettségi fokától függ. Akklimatizálódás esetében az anyagcsere által termelt hő alacsonyabb. Az anyagcsere által termelt hő csökkenését a fizikai intenzitás mérséklésével, illetve megfelelő pihenési idők beiktatásával érhetjük el, amelynek hatására az összteljesítmény időtartama növelhető, és a munka elviselhetőbbé válik. A terhelés-pihenés váltakozása biztosítja katonák esetében is a hősérülés elkerülésének

lehetőségét. Harcászati tevékenység során azonban, nem minden esetben sikerül betartani a megfelelő pihenési időtartamot, ami kockázatot jelent a feladat elvégzése szempontjából. Vegyvédelmi felszerelés viselése kétszeresére növeli a szükséges pihenések időtartamát, mivel ebben a felszerelésben nagymértékben csökken a szervezet hőleadási képessége (10, 23).

Az USA hadseregében több matematikai modellt használnak, melyek segítségével előre jelezhető az időjárási tényezők, a terep, a ruházat és menetfelszerelés figyelembevételével, a katona hidratáltságának és az akklimatizáció mértékének a függvényében, a terhelés/pihenési idő arányában, a hősérülés kialakulásának valószínűsége.

#### **4.8. MATEMATIKAI MODELLEK A TELJESÍTMÉNY PROGNOSZTIZÁLÁSÁRA**

Több modell létezik, amelyek segítségével megbecsülhető az egyéni kockázat a hőártalom kialakulásában. Az élettani modell magában foglalja a szervezet számos élettani folyamatát, illetve a szervezet hőleadó képességét. A számítógépes modell az élettani paraméterek, és a külső környezeti tényezők függvényében ábrázolja a várható hőleadás mértékét, ill. a hőártalom kialakulásának valószínűségét.

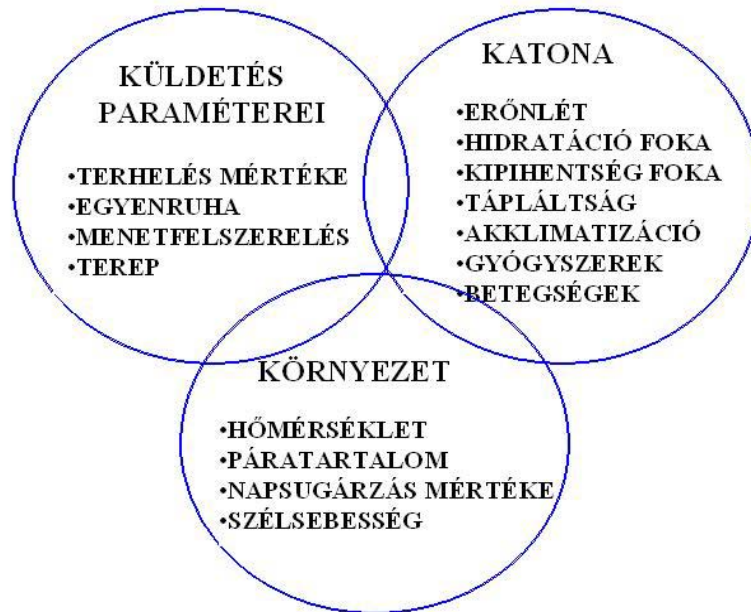
➤ Input oldalról tartalmazza a mag-, bőr- és átlaghőmérsékletet, a hőtermelés fokát (mely az alapanyagcsere, illetve a fizikai terhelés függvényében alakul), a testsúlyt, a test zsírtartalmát, a testfelszín nagyságát, az oxigénfogyasztást, a szervezet hőtároló kapacitását, az akklimatizáció fokát, a kort és a nemet, a külső környezet paramétereit (hőmérséklet, páratartalom, szélereősség, radiáció mértéke) és a ruházatot.

➤ Outputként megjeleníti a becsült mag- és bőrhőmérsékletet, a bőr vér átáramlását, és a verejtékezési rátát.

Ennek a modellnek a segítségével 54-89%-os pontossággal sikerült előre jelezni a hőártalom kialakulásának valószínűségét. A számítógépes program által becsült eredmény szoros korrelációt ( $p < 0,001$ ) mutatott a mért értékekkel, ennek ellenére több egyéni tényező nem került bele a modellbe (44).

Egy másik népszerű modellben a katonáknál az önmaguk által megbecsült terhelési szintet veszik alapul, ami a gyakorlat, illetve a bevetés során történő fizikai aktivitás, a harcászati (gyakorlati) helyzet, illetve a klimatikus tényezők miatti terhelés összességéből adódik. A

gyakorlatból adódó terhelési tényezők a terepviszonyokból, a helyszínből, az elvégzendő feladatból, és szervezeti, valamint szociális tényezőkből tevődnek össze (24. ábra).



24. ábra: A katona hőszabályozását befolyásoló tényezők<sup>100</sup>

➤ Az elvégzett feladat minőségi (dinamikus vagy statikus terhelést igénylő) és mennyiségi (a terhelés intenzitása, időtartama, gyakorisága, terhelt izomcsoport nagysága) része mellett fontos szerepet játszik a katonai szervezeti egység mozgása és pozíciója.

➤ A gyakorlatozás helyszínénél fontos szerepet játszanak a fizikai tényezők (külső hőmérséklet, páratartalom, szél sebessége, napsugárzás, vibráció, zaj, világítás, elektromágneses tér), kémiai tényezők (toxikus- és nem-toxikus anyagok), biológiai tényezők (vírusok, baktériumok), taktikai feladatok, a fegyverzet, az egyenruha és a védő felszerelés.

➤ A szociális és szervezeti tényezők magukban foglalják a gyakorlatok rendszerességét, a pihenés idejét, a bérezést, illetve a parancsnoki tevékenységet.

➤ A katona részéről a nem, a kor, a testalkat, az egészségi állapot, a hőtűrő képesség, illetve az autonóm idegrendszer adaptációs képessége képezik azokat a tényezőket, amelyek meghatározzák azokat az élettani változásokat (szívfrekvencia, maghőmérséklet változása, anyagcsere ráta alkalmazkodása, verejtékezés, vérnyomásgörbe, légzésszám, oxigénfogyasztás mértéke), amelyek nélkülözhetetlenek a feladat elvégzéséhez.

➤ Az egyén pszichés válasza a művelet végén mint a félelem, a fájdalom, és a benyomások, illetve a fáradtság megtapasztalása.

Mindezen tényezők összessége határozza meg a katona által megbecsült terhelési szintet (alacsony, optimális, vagy magas) a gyakorlat során (100).

Az energiaszükséglet és az energiatermelés arányainak becslésére különböző harcászati körülmények között az amerikai hadseregben Patton és mkt. által javasolt képletet használják. A kapott eredményhez hozzáadják a teljes vegyvédelmi felszerelés és a gázálarc viseléséből adódó 10% oxigén többletfogyasztást. A katonáknál kb. 2,5 km/órás sebességű menetelésre számítják az energiaforgalmat több tényező függvényében:

$$M = \eta (W + L) \{2,3 + 0,32 (V - 2,5 \text{ km/óra})^{1,65} + G [0,2 + 0,7 (V - 2,5 \text{ km/óra})]\}$$

ahol:

- ◆ **M** - az anyagcsere ráta (kcal/óra),
- ◆ **η** - tükrözi a terepviszonyokat: 1,0 – betonút; 1,1- földút; 1,2- könnyebb akadályok; 1,3- nagyobb akadályok; 1,8- mocsaras vidék; 2,1- laza homokos talaj,
- ◆ **W** - a testsúly (kg),
- ◆ **L** - a menetfelszerelés súlya (kg),
- ◆ **V** - a menetelés sebessége (km/óra),
- ◆ **G** - a meredekség foka.

Amennyiben a gyalogló katona mozgási sebessége változik, a képletben a megfelelő számokat kell helyettesíteni. A képlet segítségével könnyen megbecsülhető az energiatermelés mértéke, ami egy katonánál adott helyzetben bekövetkezik (84).

#### **4.9. BIOMEDIKÁLIS (ÉLETTANI ÉS ORVOSEGÉSZSÉGÜGYI) PARAMÉTEREK**

A katona biomedikális paraméterei jelentős mértékben befolyásolják a hőártalommal szembeni tűrőképességét. A biomedikális tényezők magukban foglalják a katona nemét, korát, biológiai ritmusát, egészségi állapotát, illetve a katona által szedett gyógyszereket (**25. ábra**).

- ▶ KOR (>40év)
- ▶ NEM
- ▶ OBESITÁS (BMI>27)
- ▶ TÁRSBETEGSÉGEK (CVD, RD, ENDOKRIN, stb)
- ▶ EDZETTSÉG HIÁNYA
- ▶ AKKLIMATIZÁCIÓ HIÁNYA
- ▶ GYÓGYSZEREK / DROGOK
- ▶ DEHIDRATÁCIÓ MÉRTÉKE
- ▶ LÁZAS ÁLLAPOT
- ▶ MALIGNUS HIPERTERMIA: autoszomális domináns izomrigiditás (nagyobb hőtermelés)
- ▶ NEUROLEPTIKUS MALIGNUS SZINDRÓMA (maghőmérséklet növekedése)
- ▶ ARTERIOSCLEROTIKUS ÉRBETEGSÉG (érlumen csökkenése miatt csökken a hőleadás)
- ▶ SCLERODERMA (kevesebb izzadságmirigy → csökkent a verejtéktermelés)
- ▶ MILLIARIA RUBRA
- ▶ PSORIASIS
- ▶ CISZTÁS FIBRÓZIS - MUCOVISCIDOSIS (fokozott a nátrium veszteség a verejtékkel)
- ▶ SARLÓSEJTES ANAEMIA (csökken a haemoglobin oxigén szállító kapacitása)
- ▶ ANAMNÉZISÉBEN HÓÁRTALOM
- ▶ KIALVATLANSÁG

## **25. árba: Hajlamosító tényezők**

Több vizsgálat azt igazolta, hogy a hőszabályozást illetően érdembeli különbség a két nem között nem található. Azonban nőknél a maghőmérséklet ingadozást mutat a menstruációs ciklus fázisaiban, ovuláció előtt a legalacsonyabb, ezt követően pedig 0,4-0,6 Celsius fokkal emelkedik.

Az átlag populációra jellemző, hogy a középkorúak és idősebbek nehezebben tolerálják a magas külső hőmérsékletet, mint a fiatalok. Ez a magasabb mag- és bőrhőmérséklettel, a magasabb szívfrekvenciával, alacsonyabb bőr vér átáramlással és csökkent verejtékezési képességgel magyarázható. Akklimatizáció során ezek a képességek közép, illetve idősebb korban már kevésbé rugalmasan alkalmazkodnak.

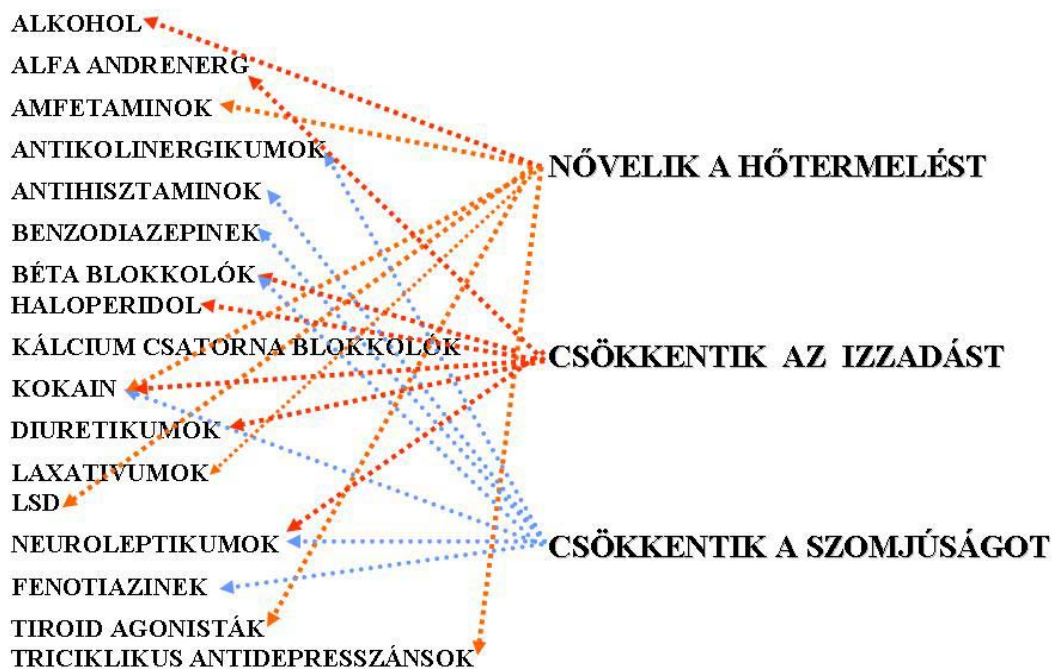
Az egyén biológiai ritmusát a maghőmérséklet napszaki ingadozása adja, mely során a hajnali órákban a legalacsonyabb, illetve a délutáni órákban a legmagasabb a testhőmérséklet. Ez az ingadozás befolyásolja a hőszabályozó központ érzékenységét a külső hőmérséklettel szemben. Alvásmegvonásnál, illetve a pihenési idő csökkenésekor nagyobb ingadozások jelentkeznek a cirkadián ritmusban. Emellett az alvásmegvonás jelentősen csökkenti az akklimatizáció mértékét és a hőtolerancia határát (23).

A hőszabályozásban fontos szerepet játszik a bőr állapota. 20%-os felületi égés közel felére csökkenti a hőtoleranciát. Leégés esetén károsodik a bőr verejtékmirigyeinek aktivitása, illetve szenzitivitása.



A katonák által szedett gyógyszereknek fontos szerepük van a hőszabályozás fenntartásában. Ide tartoznak a vérnyomás csökkentésére használt gyógyszerek, a fáradtságot, illetve a stressz tüneteit mérséklő pszichotróp szerek, és gondolni kell a foszforsav-észter mérgezés esetén használt antidotumok ismert hőszabályozást negatívan befolyásoló hatására.

A **26. ábrán** látható néhány gyakrabban előforduló gyógyszer és pszichotróp szer hatása a hőszabályozás mechanizmusára (85):



**26. ábra: Gyógyszerek és drogok, melyek befolyásolják a hőszabályozást<sup>85</sup>**

Az organofoszfátok okozta mérgezés megelőzésére a katonák antidotumokat használnak. A profilaktikusan használt piridostigmin (acetilkolinészeteráz inhibitor) fokozza a verejtékezést és blokkolja a bőrerek dilatációját, ezzel károsítva a hőleadást. A foszforsavészterek okozta mérgezések esetén használatos atropin (acetilkolin antagonist) csökkenti a verejtékezést és jelentősen tahikardizál, és ilyen módon súlyosan károsítja a hőszabályozást (60).

Több katona használhat vízajtót (diuretikumot), béta-blokkolót, illetve értágítót (ACE-inhibítort) a magas vérnyomás és különböző ritmuszavar kezelésére. Ezek a gyógyszerek befolyásolják a szívfrekvencia variabilitását, a vérnyomás alkalmazkodását, illetve a perifériás vaszkularis rezisztencia alakulását.

Fizikai terhelés során a béta-blokkolók csökkentik a bőr alatti erek dilatációs képességét és a verejtékezési választ, s ezáltal a szervezet képességét a maghőmérséklet csökkentésére.

Az ACE-inhibitorok csökkentik a katona szomjúság érzetét.

A vízhajtó csökkenti az extracelluláris folyadék mennyiséget, a plazmavolumen, és ezáltal befolyásolja a szervezet hőleadó képességét (85).

Külön említést érdemel az alkohol hatása a hőszabályozásra. Nem csak a központi idegrendszert érintő deprimáló hatása (koordinációs képesség, ítélőképesség, megfontoltság) emelendő ki, de fontos az alkohol okozta perifériás vazodilatációs, diuretikus, verejtékezést csökkentő, vérnyomáscsökkentő, illetve a szomjúság csökkentő hatása is. Ezek a hőszabályozást érzékenyen befolyásoló tényezők már kis adag alkohol elfogyasztása esetén is jelentkeznek.

## **KÖVETKEZTETÉSEK**

A katona teljesítményének mértéke magas külső hőmérsékleten függ az akklimatizáció mértékétől, a fizikai fitness-től, a hidratáció fokától, az egészségi állapottól, illetve a kitűzött feladattól. A tevékenység intenzitása, időtartama, típusa és frekvenciája fordított arányban állnak a fizikai teljesítőképességgel. Az oxigénfelhasználó képesség csökkenésével, a redistribúció következtében, a folyadék és elektrolit veszteség fokozódásával, olyan metabolikus változások következnek be, melyek csökkentik a katonák hőtűrő képességét és hőártalom kialakulásához vezetnek.

A hőártalom súlyossági foka a patológiás folyamatok mértékétől függ. Az enyhe lefolyású hőödémától, a hőségcsöktől, a hőkimerülésen keresztül, a hőségutáig, illetve a MODS-ig terjedhet. A hősérülés kialakulásának patogenezisében bonyolult celluláris és humorális tényezők játszanak szerepet, melyek aktivitása részben genetikailag determinált.

A hőártalom klinikai tüneteinek megjelenése esetében azonnal hozzá kell látni a megfelelő ellátáshoz, melynek algoritmusában kulcsszerepet játszik a központi idegrendszer érintettsége.

Magyarország egyre nagyobb szerepet vállal a sivatagi hadviselésben szerte a világon, először a Nemzetközi Haderő és Megfigyelők (Multinational Force and Observers (MFO) részeként a Sinai-félszigeten 1993-ban. Ugyanabban az évben részt vett egy ciprusi ENSZ misszióban is (UNFICYP). Országunk politikai és morális kötelességének tartja, hogy békefenntartó kötelezettségeinket az ENSZ, OSCE, NATO és más nemzetközi szervezetek misszióiban sikeresen ellássuk. Jelenleg békefenntartóink a világ számos segítségre szoruló országában

jelen vannak, mint pl. Koszovóban, Irakban, Cipruson és Afganisztánban, az EUFOR, KFOR, NHQT, MINURSO, NHQSA, AU-EU DARFUR, MFO, UNOMIG, ISAF, UNMIK, NTM-I, NHQS nemzetközi erők részeként. A haderőink feladatai sokrétűek: a legtöbb országban főleg katonai békefenntartás, de egyes országokban, így Afganisztánban 2006. októberétől részesei lettünk a Tartományi Újjáépítési Csoportnak (Provincial Reconstruction Team (PRT)), és ezt a kontingenst több civil szakemberrel is bővítették. Mivel jelenlétünk a nemzetközi békefenntartásban nem elhanyagolható, ezért módot kell arra találnunk, milyen úton maximalizálhatnánk csapataink teljesítőképességét.

Az IPCC második jelentése 1996-ban egy teljes fejezetet szentelt a globális felmelegedés egészségkárosító hatásainak: hősokk, hőséguta, idő előtti halálozás. Az elkövetkező évtizedben a szakemberek éves szinten 0,1-0,2° C átlaghőmérséklet emelkedéssel számolnak. A klímaváltozás következtében nőhet az extrém időjárási események száma és intenzitása, amelyek további súlyos egészségkárosító hatással járnak. A magas hőmérséklet fokozottan veszélyezteti a városokban szolgálatot teljesítő katonákat, mivel a hőmérséklet itt több fokkal magasabb.

A hőmérsékletfiziológia és folyadék-elektrolit háztartás kimerítő ismerete elengedhetetlen ahhoz, hogy csapatainknak megfelelő tanácsot adjunk a meleg, száraz hőmérsékleti viszonyokhoz való alkalmazkodáshoz. Ismertetnünk kell a missziók személyzetével a hőártalmak fokozatait, azok tüneteit és megjelenési formáit, valamint ezek önmaguk által való kezelését, amennyiben ez lehetséges. Hangsúlyoznunk kell továbbá a megfelelő folyadékbevitel fontosságát a sivatagi körülmények között való feladatteljesítés során, mivel a szomjúságérzet nem megfelelő jelzője a kiszáradás mértékének. Fiziológiánk ismerete és a fent említett lépések segítenek abban, hogy az eddig is kiemelkedően teljesítő magyar csapatok a jövőben még hatékonyabban bevetethők legyenek sivatagi és egyéb szélsőséges körülmények között.

## **5. VIZSGÁLT SZEMÉLYEK, KUTATÁSI MÓDSZER, EREDMÉNYEK, MEGBESZÉLÉS**

A Magyar Honvédség a folyamatos változások éveit éli, mely olyan kötelezettségekkel jár, amely komoly alkalmazkodóképességet és nagyobb fizikai terhelhetőséget kíván a szervezet tagjaitól. A haderő előtt álló új kihívások, a rendkívüli fizikai megerőltetéssel járó tevékenységek erősödése, a NATO nemzetközi feladataiban való jelentősebb mértékű részvétel elengedhetlenné teszik az állomány gondos és biztonságos kiválasztását, illetve részletesebb egészségi, alkalmassági vizsgálatát. Fokozott fizikai és mentális stressz hatására, az arra hajlamos személyeknél, megnő a kardiovaszkuláris események előfordulásának kockázata. Szolgálati körülmények között, illetve bevetés alatt, ezen történések bekövetkeztének komoly következményei lehetnek nem csak az egyén részére, de a küldetés és a feladat teljesítése szempontjából is.

A Magyar Honvédség katonai állományánál a fizikai alkalmasság és teljesítőképesség meghatározása nem csak a nemzetközi szerepvállalás bővülése és a hadrafoghatóság miatt nélkülözhetetlen, hanem prevenció jellegéből adódóan prioritást élvez a Magyar Honvédség Egészségügyi Szolgálatánál is (61).

Szélsőséges klimatikai (száraz magas hőmérséklet) körülmények között a folyamatos és az intenzív munkavégző képesség két tényezőtől függ: a hipertermiától és a kiszáradástól. Ilyen körülmények között a kardiovaszkuláris rendszer érintett a térfogatcsökkenés által. A vérplazma mennyisége az extracelluláris folyadék mennyiségétől függ, mely folyadék mennyisége csökken a száraz magas hőmérsékleten történő munkavégzés során. Meleg környezetben való erőfeszítés során a bőrerek tágulnak, csökken a térfogat, amely pedig az izmok ellátásához, illetve a normális plazmavolumen megtartásához szükséges. Ennek következtében csökken a vérnyomás, mely miatt a szívfrekvencia megemelkedik, hogy a perctérfogatot fenntarthassa. A terhelés fokozásával nő a szimpatikus tónus, növekszik az alveoláris ventiláció. A szimpatikus befolyás és az összehúzó izmok hatására fokozódik a vénás visszaáramlás. Az izmok vérellátása növekszik, az oxigénextrakció kb. háromszorosára fokozódik. A maximális terhelés során az oxigénfogyasztás a nyugalmi érték kb. 10-20-szorosát érheti el(107). A szívfrekvencia, a perctérfogat és a ventiláció a terheléssel lineáris

összefüggésben nő, állandó terhelés mellett a kezdeti növekedés után, néhány perc alatt az adott terhelési szintre jellemző egyensúlyi állapot alakul ki (steady-state).

A hivatásos és szerződéses állomány eredményes felkészítésének érdekében jól kell ismerni azon metabolikus és élettani változásokat, amelyek extrém fizikai és pszichés terhelés hatására következnek be. A dinamikus terhelés olyan adaptív kardiovaszkuláris változásokkal jár, melyek során a működő izmok megfelelő oxigén mennyiséghez jutnak. Az oxigénfelvétel mértéke közvetlenül egyenes arányban áll az izommunka nagyságával, ezért a maximális oxigénfelvétel jól tükrözi a maximális terhelési kapacitást. A terhelés fokozásával a metabolizmus egyre nagyobb arányban anaerob útra terelődik. Az anaerob anyagcsere végterméke a tejsav, mely metabolikus acidózishoz vezet. Az edzés a laktátküszöböt is emeli. A laktátküszöb eltolódásának mértéke örökletesen meghatározott (79). A tréning fokozza az izmokban a kapillárisok sűrűségét és az oxidációs kapacitás mértékét. A harántcsíkolt izmok kétféle izomrostból épülnek fel. Az 1-es típusú, lassabban összehúzódó rostokra az aerob anyagcsere, a 2-es típusú, gyorsabb működésű rostokra pedig az intenzív glikolízis jellemző. Aerob edzés hatására az 1-es típusú izomrostok tömege mintegy 25%-kal nő, illetve a 2-es típusú izomrostok 1-es izomrostokká alakulnak át. Az aerob edzés hatására a maximális aerob kapacitás bizonyos személyekben nem változik („low responder”), és vannak olyanok, akiknek aerob kapacitása hasonló nagyságrendű aerob edzés után több, mint 50%-kal nő („high responder”). A különbséget genetikai tényezők magyarázzák (96).

## 5.1. VIZSGÁLT SZEMÉLYEK

A beválasztási folyamatban 87 hivatásos és szerződéses katona vett részt. A katonákat a **Magyar Honvédség Pápa Bázisrepülőtéren** szolgáló hivatásos és szerződéses katonai állományának tagjaiból válogattuk ki. Az alapos és részletes fizikális és műszeres vizsgálatokat követően összesen 30 katonát sikerült bevonni a tényleges vizsgálatba. A vizsgált minta esetszáma viszonylag alacsony lett, ami a szigorú beválasztási kritériumokkal magyarázható.

A **beválasztott** katonák

- ✓ mind egészségesek voltak,
- ✓ fizikális vizsgálat során eltérést nem mutattak,
- ✓ gyógyszert nem szedtek,

- ✓ minden laboratóriumi értékük a normális tartományon belül volt,
- ✓ rendszeresen edzettek,
- ✓ a felmérő terhelés negatív volt,
- ✓ jó együttműködési készséget mutattak.

A vizsgálatból **kizártuk** azokat a katonákat, akiknél a fizikális vizsgálat során eltérést találtunk, illetve kóros laboratóriumi értéket találtunk, akiknél nem volt megfelelő az együttműködési készség, nem rendszeresen edzettek, vagy heti három alkalomnál ritkábban vettek részt fizikai aktivitásban, valamint azokat a katonákat, akinél a BMI 23-nál alacsonyabb, vagy 27-nél nagyobb volt.

A bevalogatási folyamat során 57 katona az alábbi tényezők miatt nem került be a tényleges vizsgálatba (**4. táblázat**):

<b>Együttműködési készség hiánya</b>	<b>6</b>
<b>Rendszeres edzés hiánya</b>	<b>27</b>
<b>Heti négy alkalomnál kevesebb edzés</b>	<b>19</b>
<b>Fizikális vizsgálat során észlelt eltérés (betegség vagy gyanúja)</b>	<b>16</b>
<b>Kóros laboratóriumi paraméterek</b>	<b>11</b>
<b>BMI: alacsonyabb 23-nál, vagy több 27-nél</b>	<b>28</b>
<b>Gyógyszerszedés</b>	<b>15</b>

**4. táblázat. A katonák kizárási kritériumának a megoszlása**

Néhány katona esetében egynél több kizárási kritérium fordult elő. A gyakoribb kizárási konstellációkat az **5. táblázatban** mutatjuk be:

<b>Elégtelen vagy rendszertelen edzés és magasabb BMI</b>	<b>25</b>
<b>Betegség és gyógyszerszedés</b>	<b>12</b>
<b>Kóros laboratóriumi paraméterek és gyógyszerszedés</b>	<b>3</b>
<b>Elégtelen edzés és betegség és gyógyszerszedés</b>	<b>6</b>

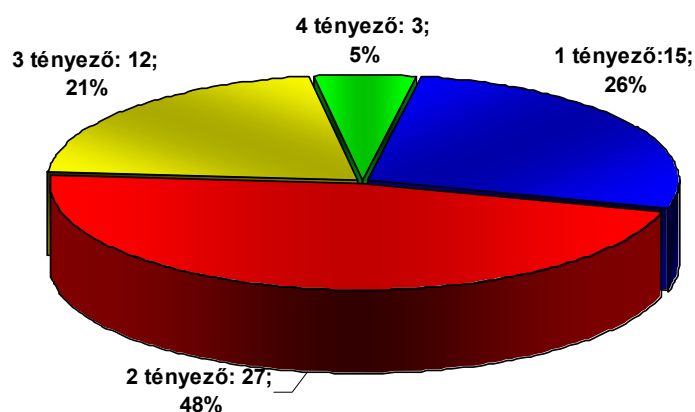
**5. táblázat. A gyakoribb kizárási konstellációk**

A 6. táblázatban bemutatjuk az 57 vizsgálatból kizárt katona kizárási kritériumait képező tényezők előfordulását minden egyes esetben.

Katona	Komliance	Elégtelen edzés	Betegség	Kóros labor	Gyógyszer	BMI	Kizárások száma
1		♦				♦	2
2		♦	♦		♦		3
3		♦				♦	2
4	♦	♦				♦	3
5		♦	♦	♦	♦		4
6		♦					1
7			♦	♦	♦		3
8	♦	♦				♦	3
9		♦				♦	2
10	♦	♦				♦	3
11			♦		♦		2
12		♦		♦	♦	♦	4
13		♦					1
14		♦			♦		2
15		♦				♦	2
16		♦					1
17		♦	♦				2
18		♦					1
19			♦	♦	♦		3
20		♦				♦	2
21		♦				♦	2
22		♦					1
23			♦				1
24	♦	♦					2
25		♦				♦	2
26			♦		♦		2
27			♦	♦	♦		3
28		♦				♦	2
29				♦	♦		2
30		♦				♦	2
31	♦	♦				♦	3
32		♦					1
33			♦	♦	♦		3
34		♦				♦	2
35		♦					1
36		♦					1
37		♦		♦		♦	3
38		♦	♦				2
39		♦				♦	2
40		♦		♦			2
41		♦					1
42		♦					1
43		♦	♦				2
44		♦				♦	2
45		♦		♦	♦		3
46		♦				♦	2
47		♦					1
48		♦				♦	2
49		♦				♦	2
50		♦				♦	2
51		♦	♦	♦	♦		4
52			♦		♦		2
53		♦				♦	2
54			♦		♦		2
55	♦	♦				♦	3
56		♦					1
57		♦					1

6.táblázat: A bevalogatási folyamat során különböző tényezők miatt kizárt katonák

A kizárási kritériumok százalékos elemzése azt mutatta, hogy az esetek negyedében a katonák egy tényező miatt lettek kizárva, az esetek felében két tényező szerepelt, illetve az esetek csaknem negyedében három kritérium miatt zártuk ki a katonákat. Összesen 5%-ban négy kritérium együttes előfordulása miatt nem kerültek be a vizsgálatba (27. ábra).



27. ábra: A kizárási kritérium tényezőinek százalékos megoszlása

A betegségek közül az allergia több fajtája, a magas vérnyomás, a mitrális billentyű prolapszusa, a savtöbblettel összefüggő gastrointestinális panaszok, a mozgásszervi problémák, a migrénes fejfájás képezték a gyakoribb előfordulást.

A kóros laboratóriumi paraméterek közül az emelkedett vérszéjsüllyedés (1 eset), emelkedett zsírértékek (5 eset), emelkedett vércukorszint (1 eset), anémia (2 eset), emelkedett májfunkciók (1 eset), csökkent szérum kálium szint (1 eset) emelendők ki.

A gyógyszeres kezelés az antihisztaminok, vérnyomáscsökkentők, savkötők, lipidszint csökkentők és NSAID-ok csoportját képezték.

Azokban az esetekben, amikor a katonánál további kivizsgálást igénylő eltéréseket véleményeztünk, az érintetteket a megfelelő intézetbe irányítottuk.

A vizsgálat célja, módszere és mibenlétének részletes ismertetését követően minden katonától írásos beleegyezést kaptunk a vizsgálat elvégzéséhez. Az általános laboratóriumi vizsgálatok után, alapos és részletes fizikális vizsgálatot végeztünk. Minden katonánál nyugalmi EKG készült és ezt követően szívultrahang vizsgálatot végeztünk. Amennyiben nem volt



ellenjavallat, illetve az elmúlt egy évben nem történt terheléses vizsgálat, a katonáknál futószalagos terheléses vizsgálatot végeztünk Bruce protokoll szerint.

A hivatásos, illetve szerződéses katonák beválasztásában döntő szerepet játszott a fizikai edzettség, a rendszeresen végzett testedzés, valamint a versenyeken, mérkőzéseken való rendszeres részvétel. A vizsgálatba bekerült katonák mind dinamikus, mind statikus edzéseket végeztek hetente legalább négy alkalommal. A katonák átlag életkora 27,2 év (21-32 év), átlag magasságuk 177,6 cm (171-184 cm), testsúlyuk 75,8 kg (68-82 kg), számított BMI 24,5 (23,3-26). A meghatározott testzsír a testsúlyuk 13,4%-át képezte (12,5-15%). Sajnálatos módon a katonák csaknem fele dohányos volt. Az elszívott cigaretták száma (bemondás alapján) változott 5 szál és 20 szál között, a napi egy dobozt nem haladta meg.

A vizsgálatban résztvevő 30 egészséges katona (mind férfi) **demográfiai adatai** az **5. táblázatban** láthatók.

<b>Katonák száma</b>	30 fő (mind férfi)
<b>Átlag életkor</b>	27,2±6,7 év.
<b>Átlag magasság</b>	177,6 ±5,8 cm,
<b>Átlag testsúly</b>	75,8±8,5 kg,
<b>BMI</b>	24,5±1,2kg/m <sup>2</sup>
<b>Testzsír</b>	13,4±1,6%
<b>Testfelszín</b>	1,86±0,3 m <sup>2</sup>
<b>Edzések száma</b>	4-6/hét
<b>Edzés időtartama</b>	6,5±2,1 óra/hét
<b>Edzés típusa</b>	dinamikus/statikus
<b>Vérnyomás értékek</b>	121±12/74±8 Hg mm
<b>Dohányosok száma</b>	14 fő (46%)

**5. táblázat: A vizsgált személyek demográfiai adatai**

A vizsgálatba bekerült katonáknál rutin laboratóriumi és biokémiai vizsgálatokat végeztünk: vérképet, vérsejtsüllyedést, májfunkciókat, vesefunkciókat, ionokat, szérum-cukor és lipid értékeket, valamint vizeletvizsgálatot a Veszprém Megyei Csolnoky Ferenc Kórház Prodia Diagnosztikai Laboratóriumában.

A szívultrahang vizsgálata során kapott értékeket a **6. táblázatban** mutatjuk be.

<b>Bal pitvar (mm)</b>	<b>36± 0,3</b>
<b>Bal kamra sziszt. (mm)</b>	<b>52 ±0.6</b>
<b>Bal kamra diaszt. (mm)</b>	<b>31 ±0.4</b>
<b>Hátsó fal (mm)</b>	<b>11 ±0,6</b>
<b>Szeptum (mm)</b>	<b>12 ±0,8</b>
<b>Aorta kiáramlási sebessége (M/sec)</b>	<b>1,3 ±0,2</b>
<b>E/A</b>	<b>1,4 ±0.2</b>
<b>EF %</b>	<b>75 ±6</b>
<b>Bal kamra tömege (g)</b>	<b>270 ±81</b>
<b>Bal kamra tömege (g/m2)</b>	<b>143 ±42</b>
<b>Szeptum/hátsó fal arány</b>	<b>1,1 ±0,2</b>

**6. táblázat: A szív ultrahang vizsgálata során kapott értékek**

### **6.1. ALKALMAZOTT KUTATÁSI MÓDSZER**

A terheléseket az **Állami Egészségügyi Központ Balatonfüredi Kardiológiai Rehabilitációs Intézet** (Balatonfüred, Szabadság u. 5.) spiroergometriás diagnosztikai laboratóriumában végeztük. A katonákat két hőmérsékleti körülmény között terheltek. A 22°C fokon és 75% relatív páratartalomban, mely megfelel a természetes környezetnek, illetve 33° C fokon és 52% relatív páratartalmú környezetben, mely megfelel a közel-keleti országok klímájának. Ezeket a terheléseket 2 hét választotta el egymástól, amelyeket ugyanazon a napon, ugyanabban az órában végeztünk. A terhelés előtt 1 órával sem ételt, sem folyadékot nem vihettek be a vizsgált személyek.

A terhelést a számított maximális szívfrekvencia 100%-ig vagy kifáradásig végeztük. A terhelést 3 percig 2,7 km/h sebességgel és 10% meredekséggel kezdtük, majd hárompercenként mind a sebességet (4,0-5,4-6,7-8,0 km/h), mind a meredekséget (12-14-16-18%) növeltük a maximális frekvencia eléréséig, illetve a toleranciaszintig. A terheléses vizsgálatot mind a két esetben **SCHILLER CS 200 Ergo-Spirometry** (Ganshorn Medizin Electronic, Baar, Switzerland) metabolikus mérőegységgel végeztük, és légvétélről légvételre mértük az oxigénfogyasztást, a széndioxid-termelést, a ventilációt és a szívfrekvenciát. A gázcsere paraméterek alapján határoztuk meg az anaerob küszöböt, melyhez három különböző módszert használtunk.

Ezalatt folyamatosan készült EKG, regisztráltuk a légzés és a gázcsere paramétereit, a vérgázok alakulását. A terhelést megelőzte egy hagyományos spirometriás vizsgálat, a maximális akaratlagos percventilláció (MVV) meghatározására. A terhelés során a kilégzett levegőben az O<sub>2</sub> és a CO<sub>2</sub> koncentrációjának meghatározása légvételtől légvételre gázminta analízise útján történt. Az online feldolgozott adatok a vizsgálat közben digitális és grafikus formában folyamatosan megjeleníthetőek voltak.

A két terhelés között két héten keresztül a katonák ellenőrzött, strukturált edzésprogramban vettek részt, ami napi 120 perces edzésből állt. A strukturált edzésprogram lényege az edzés gyakoriságának, típusának, intenzitásának, időtartamának pontos meghatározása és ellenőrzése, mely bemelegítésből, stretchingből, aktív dinamikus terhelésből a maximális pulzusszám 75-85%-án, rezisztencia tréningből, kerékpározásból és levezetésből állt. Az edzést heti öt alkalommal végezték.

A terhelések során a következő paraméterek kerültek kiértékelésre, ill. összehasonlításra:

Percventilláció (VE): az egy perc alatt belégzett levegő térfogata.

Oxigénfogyasztás (VO<sub>2</sub>) és széndioxid-termelés (CO<sub>2</sub>): a belégzett és kilégzett levegőben mért gázkoncentrációk különbségéből és a légzési volumenből számíthatók.

Metabolikus ekvivalens (MET): a terhelés intenzitásának az egysége (3,5 ml/tskg/min oxigénfogyasztás).

Maximális oxigénfogyasztás (VO<sub>2max</sub>): az a legnagyobb oxigénfogyasztás, amely a terhelés további fokozásával nem növelhető.

Csúcs oxigénfogyasztás (VO<sub>2peak</sub>): az esetek jó részében a maximális oxigénfogyasztás nem éri el a plateau-t. Ilyenkor az elért legnagyobb oxigénfogyasztást csúcs oxigénfogyasztásnak nevezik.

Respiratórikus kvóciens (RQ vagy RER): a széndioxid-termelés és az oxigénfogyasztás hányadosa.

Anaerob vagy légzési küszöb (AT): az a terhelési szint, amikor a metabolizmus anaerob arányba terelődik el, amikor a VCO<sub>2</sub> értéke a VO<sub>2</sub> értékhez képest jelentősen megnövekszik.

EKG: nyugalmi állapotban és a terhelés folyamán.

Szívfrekvencia: ütés/perc monitorozása a vizsgálat folyamán.

RR: folyamatos vérnyomás-monitorozás.

Légzésfrekvencia: légzés/perc folyamatos a vizsgálat alatt.

Tejsav szint meghatározása a terhelés végén történt.

A szérumban a kortizol és tesztoszteron meghatározását két alkalommal végeztük, a terhelés előtt és a terhelés után. A szérumban a **kortizol** és **tesztoszteron** meghatározása a Prodia hálózaton belül a Csepeli Prodia Központi Laboratóriumában történt ROCHE immunkémiai automatán „**Modular Analytics E 170**” elektrochemilumineszcens immunoassay (ECLIA) módszerrel.

A vizsgálat első részében a 30 katonai éhomi szérumban a kortizol és szérumban a tesztoszteron meghatározása történt. Ezt követően a katonák megreggeliztek. A reggeli után, minimum egy óra elteltével, spiroergometriás vizsgálat történt, melynek a végén, a 3. percben, ismételt szérumban a kortizol és tesztoszteron meghatározás történt.

Az első spiroergometriás vizsgálatot követően minden katonai két héten keresztül **strukturált edzésprogramban** vett részt, ami napi 120 perces programból állt: az edzés gyakoriságát, típusát, intenzitását, időtartamát pontosan meghatároztuk és ellenőriztük. Az edzés bemelegítésből, stretchingből, aktív dinamikus terhelésből és statikus tréningből állt, melyet a maximális pulzusszám 75-85%-án végeztek. A strukturált edzésprogram 4 részletből tevődött össze, melyek időtartama 30 perc volt (5 perc bemelegítés, 15 perc aktív edzés, 5 perc levezetés), ezt követően 7 perces pihenő időt iktattunk be. A statikus és a dinamikus edzés aránya 1:1. Az edzést heti öt alkalommal végezték. A statikus és dinamikus aktivitás típusát a **7. táblázatból** válogattuk ki.

	ALACSONY DINAMIKUS (A)	KÖZEPES DINAMIKUS (B)	JELENTŐS DINAMIKUS (C)
ALACSONY STATIKUS (1)	1 A GOLF, LÖVÉSZELET, TEKE	1 B RÖPLABDA, ASZTALITENISZ	1 C HOSSZÚTÁVFUTÁS, LABDARÚGÁS, TENISZ
KÖZEPES STATIKUS (2)	2 A LOVAGLÁS, AUTÓVERSENYEZÉS	2 B VÍVÁS, ATLÉTIKA, (UGRÓSZÁMOK)	2 C KOSÁRLABDA, JÉGKORONG
JELENTŐS STATIKUS (3)	3 A SÚLYEMELÉS CSELGÁNCSS, SZIKLAMÁSZÁS	3 B BIRKÓZÁS, LESIKLÁS, TESTÉPÍTÉS	3 C ÖKÖLVÍVÁS, KERÉKPÁROZÁS, EVEZÉS

**7. táblázat: A sportterhelések osztályozása<sup>29</sup>**

A két hetes edzésprogram után ismételt spiroergometriás vizsgálat történt, mely előtt (éhomi) és utána (három perccel) kortizol és tesztoszteron meghatározás történt.

A kapott eredményeket összehasonlítottuk.

## **6.2. STATISZTIKAI ELEMZÉS**

Mind a természetes (mérsékelt), mind a forró száraz környezetben végzett kardiorespiratorikus terhelés során kapott eredményeket és a szérumban a kortizol és a szérumban a tesztoszteron értékeit összegyűjtöttük, és elemzésük után az adatokat statisztikailag feldolgoztuk. Az adatokat a kétmintás Student-féle t-próba alkalmazásával dolgoztuk fel.

A szignifikancia határának a  $p < 0,05$  értéket tekintettük, és az összes adatot középértékben fejeztük ki ( $\pm$ SD).

A statisztikai számításokat az SPSS számítógépes programmal végeztük el.

## **6.3. EREDMÉNYEK**

Az első terhelés során, melyet  $22^{\circ}$  C fokon és 75% relatív páratartalomnál végeztünk, mind a 30 vizsgált katonának megközelítette vagy elérte a maximális pulzusszámot (HR/min 94-100%). A terhelés időtartama 14,1-18,4 perc között változott. A maximális  $\text{VO}_2$  fogyasztás, azaz az aerob kapacitás értéke  $3,86 \pm 0,58$  l/min, a relatív aerob kapacitás  $49,13 \pm 8,25$  ml/kg/min értékű volt. A terhelés során a katonák magas oxigén felvételt értek el. A percventilláció (VE) a nyugalmi  $12,7 \pm 9$  l/min-ről  $108 \pm 19,2$  l/min-re növekedett.

A respirációs kvóciens (RQ) a nyugalmi  $0,75 \pm 0,05$ -ről  $1,17 \pm 0,08$ -re emelkedett. Az RQ érték 1 fölé emelkedése együtt jár az anaerob anyagcsere folyamatok előtérbe kerülésével, ugyanis az egyre inkább felhalmozódó tejsav a vér bikarbonátjából felszabadítja a széndioxidot, amely a kilégzett levegő széndioxid tartalmát megemeli.

A katonák teljes kifáradásig végezték a terhelést. A vértejsav eredményekből is látszik ( $8,9 \pm 2,2$  mmol/l), hogy a katonák anaerob igénybevétele jelentős mértékű volt.

Az anaerob küszöböt  $8,1 \pm 0,43$  min után érték el. A terhelés alatt a maximális oxigén felvételt az egyének testsúlytömegéhez viszonyítottuk, melynek nyugalmi értéke  $3,5$  ml/kg/min volt. A terhelést átlagban  $15,0 \pm 2,0$  MET-ig végezték.

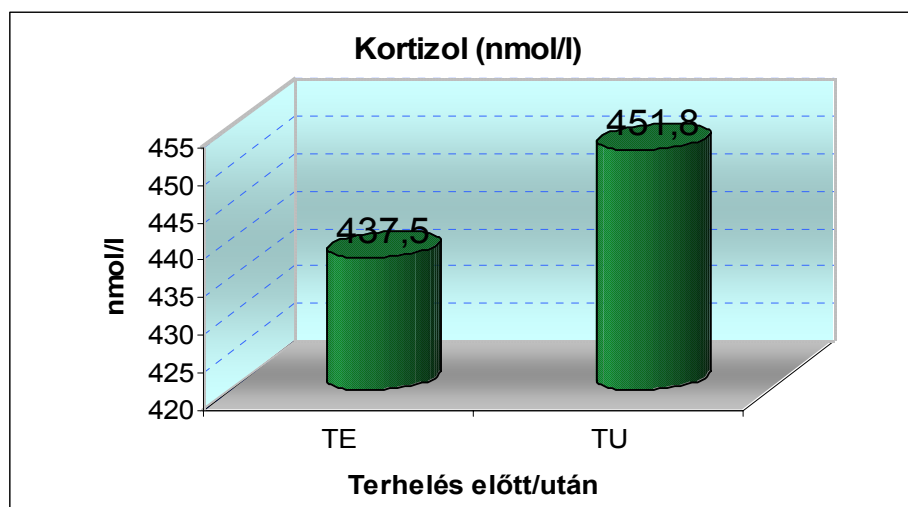
A futószalagos terhelés elején végzett ciklikus mozgások döntően aerob feltételek mellett történnek, de egy bizonyos szint felett bekapcsolódnak az anaerob folyamatok is. A katonáknak szükségük van az anaerob kondicionális képességek megjelenésére is.

A kapott eredményeket a **8. táblázatban** foglaltuk össze.

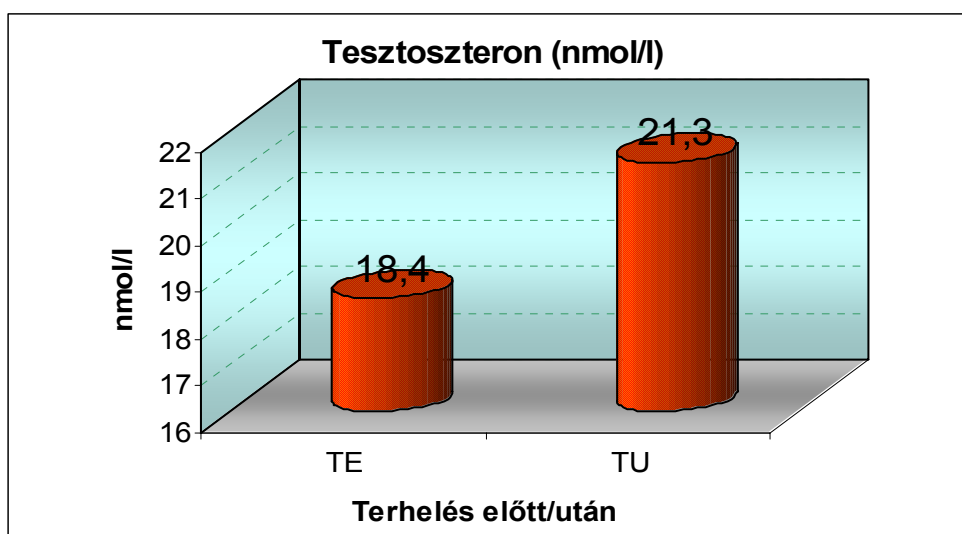
	Kapott értékek, N=30
Terhelés ideje (min)	16,1±2,3
Terhelés MET-ben	15,0±2,0
VE l/min	108±19,2
VO <sub>2</sub> max l/min	3,86±0,58
VCO <sub>2</sub> l/min	3,244±0,36
RQ	1,17±0,08
VO <sub>2</sub> max ml/kg/min	49,13±8,25
VCO <sub>2</sub> ml/kg/min	47,71±4,37
Anaerob küszöb (%VO <sub>2</sub> max)	71,2±3,9
HR	184±13
Tejsav (mmol/l)	8,9±2,2

**8. táblázat: A terhelés során kapott spiroergometriás adatok**

Az aerob-anaerob fizikai aktivitás mind az anyagcserében, mind a szérum tesztoszteron és kortizol hormonok szintjében meghatározott változást idéz elő. Az éhomi szérum kortizol szintje 437,5±126,3 nmol/l (**28. ábra**), a szérum tesztoszteron 18,4±5,8 nmol/l (**29. ábra**) volt. Normál (mérsékelt) környezeti körülmények között végzett terheléses vizsgálatot követően a szérum kortizol szintje 451,8±138,6 nmol/l-ra (**28. ábra**) szignifikánsan ( $p=0,001$ ), a tesztoszteron 21,3±6,1 nmol/l-ra (**29. ábra**) szignifikánsan ( $p=0,043$ ) emelkedett.

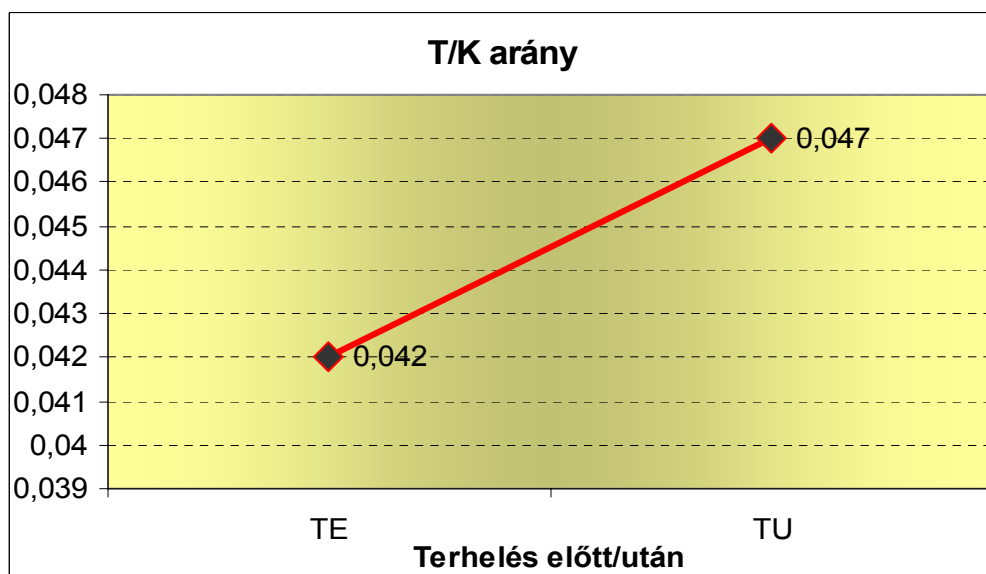


**28. ábra: Az szérum kortizol szint változása terhelés hatására**



29. ábra: A szérum tesztoszteron szint változása terhelés hatására

A terhelés után a szérum tesztoszteron nagyobb mértékű emelkedése miatt a tesztoszteron/kortizol hányados növekedett. A két ellentétes metabolikus folyamatot, az anabolikus/katabolikus arányt tükröző tesztoszteron/kortizol hányados az éhomi 0,042-ről 0,047-re szignifikánsan ( $p=0,04$ ) emelkedett (30. ábra). Ez az arány az anabolikus folyamatok túlsúlyára utal, mely nélkülözhetetlen a terhelésre megjelenő megfelelő adaptáció kialakulásához.



30. ábra: A T/K arány változása terhelés hatására

A terhelés előtti és a terhelés utáni szérumban a kortizol és tesztoszteron koncentrációjának alakulását, illetve a tesztoszteron/kortizol hányados változását a **9. táblázatban** mutatjuk be.

	<b>ÉHOMI N=30</b>	<b>TERHELÉS UTÁN N=30</b>	<b>P érték</b>
<b>KORTIZOL(nmol/l)</b>	<b>437,5±126,3</b>	<b>451,8±138,6</b>	<b>P&lt;0,05</b>
<b>TESZTOSZTERON(nmol/l)</b>	<b>18,4±5,8</b>	<b>21,3±6,1</b>	<b>P&lt;0,05</b>
<b>T/K arány</b>	<b>0,0420</b>	<b>0,0471</b>	<b>P&lt;0,05</b>

**9. táblázat: A szérumban a hormon szintjeinek alakulása a terhelés függvényében**

Ezt követően a terhelési szint, illetve a terhelés időtartamának függvényében a katonákat két csoportba soroltuk.

Az I. csoportba azokat a katonákat soroltuk, akik a terhelés során 15 MET-nél magasabb terhelési szintet értek el, illetve 16 percnél hosszabb ideig végezték a terheléses vizsgálatot.

A II. csoportba azok a katonák tartoztak, akik 15 MET-nél alacsonyabb szintet értek el, illetve a terhelés ideje rövidebb volt 16 percnél.

A két csoport között az életkorban, az átlag magasságban, a korábban végzett edzések számában, illetve a vérnyomás értékekben nem volt szignifikáns különbség. Ennek ellenére az I. csoport katonái fiatalabbak, alacsonyabbak voltak és a nyugalmi vérnyomás értékük alacsonyabb volt.

Az átlag testsúlyban, a body-mass-indexben, a testzsír százalékos értékben, a testfelszín nagyságában, az edzések időtartamában, illetve a dohányosok arányában a két csoport között szignifikáns eltérés volt. A II. csoport katonái szignifikánsan nagyobb testsúllyal, magasabb BMI-vel, testfelszínnel és testzsír százalékkal rendelkeztek. A beválogatás előtt a II. csoport katonái nagyobb mértékben végeztek statikus edzéstípust, ami nagyobb izomtömeg kifejlődésével jár. A II. csoportkatonái közül többen dohányoztak.

A két csoport katonáinak demográfiai adatait, illetve egyéb jellemzőit a **10. táblázatban** részletesen mutatjuk be.



	I. csoport	II. csoport	
<b>Katonák száma</b>	<b>15 fő (mind férfi)</b>	<b>15 fő (mind férfi)</b>	
<b>Átlag életkor</b>	<b>26,9±5,1 év.</b>	<b>28,4±4,2 év.</b>	<b>P=NS</b>
<b>Átlag magasság</b>	<b>176,8 ±5,1 cm,</b>	<b>178,2 ±3,6 cm,</b>	<b>P=NS</b>
<b>Átlag testsúly</b>	<b>74,6±7,4kg,</b>	<b>78,8±4,5 kg,</b>	<b>P&lt;0,05</b>
<b>BMI</b>	<b>23,6±0,9kg/m<sup>2</sup></b>	<b>24,9±1,1kg/m<sup>2</sup></b>	<b>P&lt;0,05</b>
<b>Testzsír</b>	<b>12,9±1,5%</b>	<b>14,3±1,2%</b>	<b>P&lt;0,05</b>
<b>Testfelszín</b>	<b>1,83±0,4 m<sup>2</sup></b>	<b>1,91±0,4 m<sup>2</sup></b>	<b>P&lt;0,05</b>
<b>Edzések száma</b>	<b>4-6/hét</b>	<b>4-5/hét</b>	<b>P=NS</b>
<b>Edzés időtartama</b>	<b>6,9±1,9 óra/hét</b>	<b>6,3±2,3 óra/hét</b>	<b>P&lt;0,05</b>
<b>Edzés típusa</b>	<b>dinamikus&gt;statikus</b>	<b>Dinamikus&lt;statikus</b>	
<b>Vérnyomás értékek</b>	<b>120±11/72±7 Hg mm</b>	<b>125±14/78±10 Hg mm</b>	<b>P=NS</b>
<b>Dohányosok száma</b>	<b>6 fő (40%)</b>	<b>8 fő (53%)</b>	<b>P&lt;0,05</b>

**10. táblázat: Az I. és a II. csoport katonáinak demográfiai adatai**

A besorolás után a két csoport katonáinak spiroergometriás adatait összehasonlítottuk. Mindkét csoport katonái a terhelést kifáradásig végezték, és elérték a koruknak megfelelő maximális szívfrekvenciát a terhelés során. A I. csoport katonái szignifikánsan tovább végezték a terhelést, és ezalatt szignifikánsan magasabb teljesítményt értek el. Ezen csoport katonái demográfiai adatai nem szignifikáns fiatalabb átlagéletkor mellett, szignifikánsan alacsonyabb testsúllyal rendelkeztek, szignifikánsan alacsonyabb testzsírszázalékkal, és szignifikánsan több órát töltöttek testedzéssel, melynek nagyobb részét képezte a dinamikus típusú testedzés, mely fokozza az aerob kapacitást. Ezzel magyarázható az I. csoport katonáinak a magasabb maximalis oxigénfogyasztása, aerob kapacitása, és a relatív oxigénfogyasztása is.

A tejsav szint értéke a két csoport tagjai között szignifikánsnak bizonyult, és a nagyobb súlyú katonáknál magasabb értékű volt. Mindkét csoport tejsavértékének eredménye azt mutatja, hogy a végzett terhelés mind az alaktacid, mind a laktacid anyagcsere folyamatok komoly igénybevételével jár. A többi spiroergometriás paraméter, annak ellenére, hogy jobb értéket mutatott az I. csoport katonáinál, a szignifikancia határát nem érte el.

A két csoport spiroergometriás adatainak összehasonlítását a **11. táblázatban** mutatjuk be.

	<b>I. csoport N=15</b>	<b>II. csoport N=15</b>	<b>P érték</b>
<b>Terhelés ideje (min)</b>	<b>17,1±1,3</b>	<b>15,1±1,2</b>	<b>P&lt;0,05</b>
<b>Terhelés MET-ben</b>	<b>16,2±0,8</b>	<b>14,5±1,5</b>	<b>P&lt;0,05</b>
<b>VE l/min</b>	<b>112±15,2</b>	<b>108±12,5</b>	<b>P=NS</b>
<b>VO2 l/min</b>	<b>3,943±0,37</b>	<b>3,67±0,32</b>	<b>P=NS</b>
<b>VCO2 l/min</b>	<b>3,42±0,21</b>	<b>3,115±0,17</b>	<b>P=NS</b>
<b>RQ</b>	<b>1,15±0,06</b>	<b>1,17±0,1</b>	<b>P=NS</b>
<b>VO2 max ml/kg/min</b>	<b>50,15±7,12</b>	<b>47,24±6,72</b>	<b>P=NS</b>
<b>VCO2 ml/kg/min</b>	<b>49,06±2,12</b>	<b>45,56±2,64</b>	<b>P=NS</b>
<b>Anaerob küszöb (%VO2max)</b>	<b>68,4±3,3</b>	<b>72,5±3,1</b>	<b>P=NS</b>
<b>HR</b>	<b>187±12</b>	<b>182±11</b>	<b>P=NS</b>
<b>Tejsav (mmol/l)</b>	<b>8,4±1,7</b>	<b>9,3±1,8</b>	<b>P&lt;0,05</b>

**11. táblázat: A két csoport spiroergometriás adatainak összehasonlítása**

Az első spiroergometriás vizsgálatot követően minden katona strukturált edzésprogramban vett részt két héten keresztül:

- gyakoriság: heti öt alkalommal,
- időtartam: 120 perc,
- intenzitás: a maximális pulzusszám 75-85%-a,
- típusa: statikus és dinamikus edzések

A katonáknál a strukturált edzésprogram alatt a statikus és a dinamikus edzés aránya 1:1 volt.

A két hetes strukturált edzésprogramot követően ismételten elvégeztük a spiroergometriás vizsgálatot száraz, forró körülmények között (33° C fok és 52% relatív páratartalmú környezetben), melyet éhomi vérvétel előzött meg kortizol és tesztoszteron meghatározására. A terhelés után a harmadik percben ismételt vérvétel következett a terhelés hatására bekövetkezett kortizol és tesztoszteron szintekben észlelt változások meghatározásának céljából.

A forró, száraz körülmények között végzett terhelés során a kapott spiroergometriás paraméterek nagyobb szórást mutattak. A kapott eredmények alapján a katonákat két csoportba soroltuk: a jobban teljesítettekre (I. csoport) és a gyengébb eredményt elértekre (II. csoport). A két csoportot 15-15 katona képezte. A legjobban teljesített katona eredményei a gyengébb csoportból (II. csoport) közelítettek a jobb csoport (I. csoport) leggyengébben teljesítő katona eredményeihez. Ennek ellenére a két csoport átlageredményei több spirometriás érték esetében szignifikáns különbséget mutatott. Az elért terhelési szinten a két csoport között szignifikáns különbség volt látható, annak ellenére, hogy a terhelés idejében nem volt szignifikáns a különbség. Mind a két csoport katonái magas oxigén felvételt értek el, ami a katonák aerob igénybevételét ábrázolja, habár a II. csoport tagjai szignifikánsan alacsonyabb értéket mutattak. A percventilláció a két csoport tagjai között érdemben nem mutatott különbséget. A respiratórikus kvóciens alakulása nem mutatott szignifikáns különbséget a két csoport katonái között. A maximális pulzusszám az I. csoport katonái körében szignifikánsan alacsonyabbnak bizonyult, ami a csoport jobb edzettségével magyarázható.

A spiroergometriás értékek alulmaradtak a mérsékelt hőmérsékletű terhelés eredményeihez képest, de az eredményekből látszik, hogy a katonák teljes kifáradásig végezték a vizsgálatot.

A kapott eredményeket a **12. táblázatban** mutatjuk be.

	<b>I. csoport N=15</b>	<b>II. csoport N=15</b>	<b>P érték</b>
<b>Terhelés ideje (min)</b>	<b>15,5±1,1</b>	<b>14,3±1,3</b>	<b>P=NS</b>
<b>Terhelés MET-ben</b>	<b>14,0±1,5</b>	<b>13,0±1,5</b>	<b>P&lt;0,05</b>
<b>VE l/min</b>	<b>101,32±13,9</b>	<b>99,86±18,4</b>	<b>P=NS</b>
<b>VO2 l/min</b>	<b>3,48±0,46</b>	<b>3,21±0,24</b>	<b>P&lt;0,05</b>
<b>VCO2 l/min</b>	<b>3,21±0,32</b>	<b>3,14±0,46</b>	<b>P&lt;0,05</b>
<b>RQ</b>	<b>1,13±0,07</b>	<b>1,14±0,08</b>	<b>P=NS</b>
<b>VO2 max ml/kg/min</b>	<b>47,74±2,48</b>	<b>45,36±2,79</b>	<b>P&lt;0,05</b>
<b>VCO2 ml/kg/min</b>	<b>46,71±4,37</b>	<b>43,13±5,33</b>	<b>P&lt;0,05</b>
<b>Anaerob küszöb (%VO2max)</b>	<b>70,3±4,1</b>	<b>67,8±3,8</b>	<b>P&lt;0,05</b>
<b>HR</b>	<b>181±14</b>	<b>188±15</b>	<b>P&lt;0,05</b>
<b>Tejsav (mmol/l)</b>	<b>8,4±1,9</b>	<b>9,3±2,1</b>	<b>P&lt;0,05</b>

**12. táblázat: A két csoport spiroergometriás értékei extrém körülmények között végzett terhelés során**

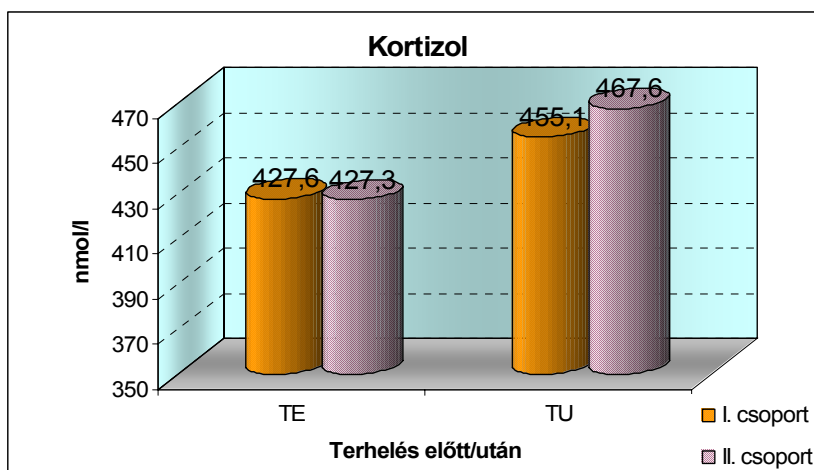
Amikor összevetettük a két csoport kortizol és tesztoszteron éhomi és terhelés utáni alakulását, azt találtuk, hogy mind a két csoportban az éhomi tesztoszteron szint emelkedett, habár csak az I. csoport katonái körében a tesztoszteron elérte a szignifikancia értékét ( $P < 0,05$ ). A II. csoportban a tesztoszteron alacsonyabbnak bizonyult:  $19,8 \pm 6,9$  nmol/l versus  $20,1 \pm 7,2$  nmol/l. a két csoport éhomi tesztoszteron értékében szignifikáns különbség nem volt.

Az éhomi kortizol szint mind a két csoportban a két hetes strukturált edzésprogramot követően csökkent, és a két csoport tagjai között közel azonos értéket mutatott: az I. csoportban  $427,4 \pm 118,7$  nmol/l, a II. csoportban  $427,3 \pm 121,6$  nmol/l. A két csoport közötti kortizol szint különbsége nem volt szignifikáns ( $P = NS$ ).

Az éhomi tesztoszteron/kortizol arány mind a két csoportban szignifikánsan ( $P < 0,05$ ) emelkedett 0,042-ről 0,047-re (I. csoport) illetve 0,042-ről 0,0463-ra (II. csoport).

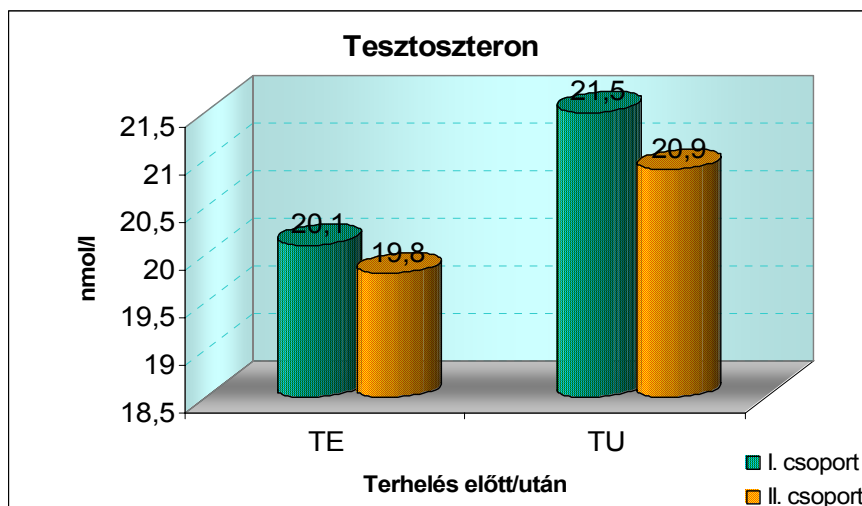
A kutatók arra a megállapításra jutottak, hogy a rendszeres fizikai edzés a hipotalamusz-hipofízis-mellékvese tengely aktivitásának csökkenésével jár. Az ehhez kapcsolódó alkalmazkodási folyamatok az edzettség kialakulásával arányosan következnek be (103).

Az extrém körülmények között végzett terhelést követően a kortizol szint mind a két csoportban szignifikánsan emelkedett ( $p < 0,05$ ). Az I. csoportban  $427,6 \pm 118,7$  nmol/l-ről  $455,1 \pm 121,6$  nmol/l-re, míg a II. csoportban  $427,3 \pm 121,8$  nmol/l-ről  $467,6 \pm 148,2$  nmol/l-re változott. Az emelkedés mértéke nagyobb volt, mint a normális (mérsékelt) körülmények között végzett spiroergometriás vizsgálat esetében (31. ábra). A két csoport között a terhelés előtti szérumban kortizol szintjében és a terhelés utáni változás mértékében nem volt szignifikáns különbség.



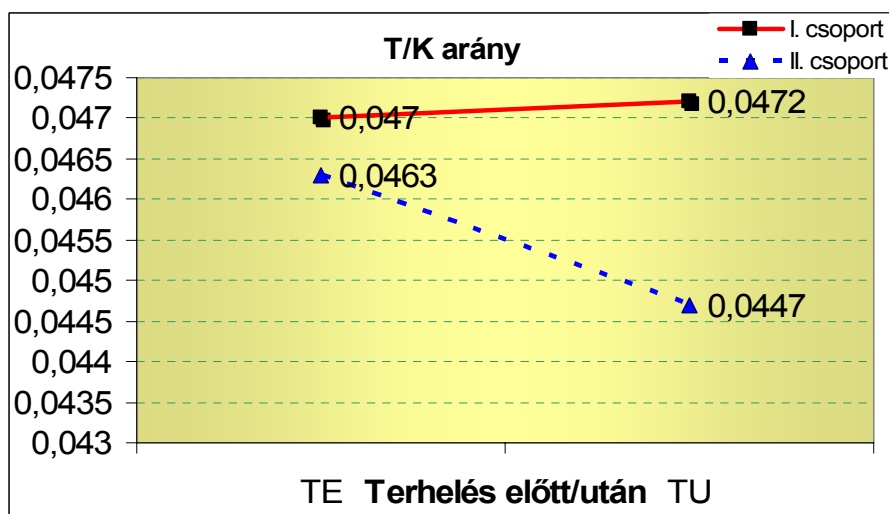
31. ábra: A kortizol szint alakulása extrém terhelés hatására

A tesztoszteron szint extrém körülmények között végzett terhelés utáni változása mind a két csoportban közel azonos mértékű volt, de csak az I. csoport katonáinál érte el a változás mértéke a szignifikancia határát. Az I. csoportban 20,1±7,2 nmol/l-ről 21,5±7,4 nmol/l-re, míg a II. csoportban 19,8±6,9 nmol/l-ről 20,9±6,1 nmol/l-re (32. ábra).



32. ábra: A tesztoszteron szint alakulása extrém terhelés hatására

A tesztoszteron és a kortizol aránya a szervezetben zajló anabolikus és katabolikus folyamatok irányát reprezentálja. A tesztoszteron/kortizol hányados alakulása két hetes strukturált edzésprogram után a két csoport tagjainál extrém körülmények között végzett terhelés hatására jelentős különbséget mutatott. Az I. csoportban a T/K hányados 0,0470-ről 0,0472-re emelkedett (P=NS), míg II. csoportban a T/K hányados 0,0463-ról 0,0447-re csökkent (P<0,05), ami szignifikánsnak bizonyult (33. ábra).



33. ábra: A T/K arány változása extrém terhelés hatására

Az éhomi és az extrém terhelés utáni katabolikus és anabolikus hormonokat reprezentáló tesztoszteron és kortizol alakulását a **12. táblázatban** láthatjuk.

	<b>TERHELÉS ELŐTT N=15 I. csoport</b>	<b>TERHELÉS UTÁN N=15 I. csoport</b>	<b>TERHELÉS ELŐTT N=15 II. csoport</b>	<b>TERHELÉS UTÁN N=15 II. csoport</b>
<b>KORTIZOL(nmol/l)</b>	<b>427,6±118,7</b>	<b>455,1±121,6</b>	<b>427,3±121,6</b>	<b>467,6±148,2</b>
<b>TESZTOSZTERON(nmol/l)</b>	<b>20,1±7,2</b>	<b>21,5±7,4</b>	<b>19,8±6,9</b>	<b>20,9±6,1</b>
<b>T/K arány</b>	<b>0,0470</b>	<b>0,0472</b>	<b>0,0463</b>	<b>0,0447</b>

**12. táblázat: A kortizol és tesztoszteron alakulása extrém terhelés előtt és után**

Az I. csoport katonáinak a szérumban a kortizol és tesztoszteron alakulását extrém terhelés hatására a **13. táblázatban** ábrázoljuk.

	<b>TERHELÉS ELŐTT N=15 I. csoport</b>	<b>TERHELÉS UTÁN N=15 I. csoport</b>	
<b>KORTIZOL(nmol/l)</b>	<b>427,6±118,7</b>	<b>455,1±121,6</b>	<b>P&lt;0,05</b>
<b>TESZTOSZTERON(nmol/l)</b>	<b>20,1±7,2</b>	<b>21,5±7,4</b>	<b>P&lt;0,05</b>
<b>T/K arány</b>	<b>0,0470</b>	<b>0,0472</b>	<b>P=NS</b>

**13. táblázat: Az I. csoport katonáinak a szérumban a hormonszintjeinek alakulása terhelés előtt és után**

Az II. csoport katonáinak a szérumban a kortizol és tesztoszteron változását extrém terhelés hatására a **14. táblázatban** ábrázoljuk.

	<b>TERHELÉS ELŐTT N=15 II. csoport</b>	<b>TERHELÉS UTÁN N=15 II. csoport</b>	
<b>KORTIZOL(nmol/l)</b>	<b>427,3±121,6</b>	<b>467,6±148,2</b>	<b>P&lt;0,05</b>
<b>TESZTOSZTERON(nmol/l)</b>	<b>19,8±6,9</b>	<b>20,9±6,1</b>	<b>P=NS</b>
<b>T/K arány</b>	<b>0,0463</b>	<b>0,0447</b>	<b>P&lt;0,05</b>

**14. táblázat: Az II. csoport katonáinak a szérumban a hormonszintjeinek alakulása terhelés előtt és után**

Az I. csoportba tartozó katonák anabolikus/katabolikus folyamatainak az aránya az anabolikus hatás túlsúlyát mutatják, ami jobb edzettségi állapotra, illetve hatékonyabb adaptációra utal. Az anabolikus folyamatok során növekszik az izomfehérjék szintézise, ami az izomtömeg gyarapodásával jár együtt.

#### **6.4. MEGBESZÉLÉS**

Az elvégzett vizsgálatok alapján a kapott eredményekből az alábbi megalapításokra jutottunk:

1. Spiroergometriás terhelés hatására, amit teljes kifáradásig végeztek, a katonák szérumszteszteron és szérumszteszteron és szérumszteszteron szintje, illetve a szteszteron/kortizol aránya szignifikánsan emelkedett. Ezek a változások az anabolikus folyamatok előtérbe kerülését tükrözik, ami a maximális intenzitású terhelés hatásának tulajdonítható edzett személyek esetében.

Jurimae és mts. sportolóknál akut, rövid ideig tartó terhelésre adott hormonális válasz vizsgálata során nem találtak szignifikáns változást sem a szérumszteszteron szint, sem a szérumszteszteron szint alakulásában, habár megjegyzi mind a két frakciónak az emelkedését (55). Az alacsonyabb mértékű hormonszint emelkedés, a mi vizsgálati eredményeinkhez képest, a rövidebb ideig tartó terheléssel magyarázható.

Linnamo és mts. nehéz rezisztenciaterhelés hatására szignifikáns szérumszteszteron emelkedést találtak, mely nélkülözhetetlen a megfelelő anabolikus adaptációhoz (72).

Pucsok összehasonlította a cselgáncsozók és a karatézók szérumszteszteron és szérumszteszteron alakulását terhelést követően, és azt találta, hogy a cselgáncsos sportolók szérumszteszteron szintje szignifikánsan emelkedett a karatésokkal szemben (87). A katonák mindennapi terhelését inkább a cselgáncsosok terhelésével hasonlítjuk, ezért a kapott eredmények összehasonlíthatók.

Lag és Berthon tartós megerőltető versenyt követően vizsgálták a szteszteron/kortizol arányt, és azt találták, hogy ilyenkor a katabolikus folyamatok kerülnek előtérbe (64).

Tremblay és mts. szignifikáns összefüggést találtak a terhelés időtartama és a szteszteron/kortizol arány alakulása között, és hangsúlyozták az egyenes arányú összefüggést a szérumszteszteron szint és a terhelés időtartama között (103). A terhelés időtartamának függvényében kezdetben az anabolikus folyamatok dominálnak, míg hosszabb ideig tartó terhelésnél a katabolikus anyagcsere folyamatokat reprezentáló hormonok kerülnek előtérbe.

Hagobian és mts. cikkükben aláhúzták a megfelelő hormonválasz szerepét az optimális energiaszolgáltatás biztosításában akut terhelés során (42). A szerzők rámutattak az anabolikus (tesztoszteron) és katabolikus (kortizol) hormonok emelkedésére akut terhelés hatására, megfelelően adaptálódott személyeknél. Vizsgálatunkban hasonló következtetésekre jutottunk.

**Spiroergometriás terhelés hatására, melyet az edzett katonák kifáradásig végeztek, szignifikánsan emelkedett a szérumban a tesztoszteron és a szérumban a kortizol szintje, ami az edzett katonák esetében megfelelő adaptációt jelez.**

Az általunk feldolgozott irodalomban, hasonló adatokkal nem találkoztunk katonák esetében, ezért ezt az eredményt az értekezésünk **első új tudományos eredményeként** tekintjük.

A két hetes strukturált edzésprogramot követően a katonáknál ismételt spiroergometriás vizsgálatot végeztünk. Vogel és mts. részletesen elemezték a rendszeres edzés hatását a katonák aerob kapacitásának alakulására (106).

A kapott spiroergometriás vizsgálat eredményei alapján a katonákat két egyforma létszámú csoportba soroltuk annak függvényében, hogy jobb vagy gyengébb eredményt értek el.

Bilzon és mts. azt közölték, hogy az aerob kapacitás a genetikai adottságok függvényében alakulhat (10). Kowal és mts. összehasonlították a kiképzés előtti és utáni aerob kapacitást a katonák körében (61).

2. A két hetes strukturált edzésprogram után a terhelés előtti szérumban a kortizol szintje mind a két csoportban csökkent, de csak az I. csoport katonáinak körében érte el a szignifikancia szintjét.

Kraemer és mts. azt találták, hogy az edzett személyek jobb hormonális adaptációt, azaz fokozott tesztoszteron és mérsékeltebb kortizol szint emelkedést mutattak, szemben az edzetlenekkel (63). Tartós edzés hatására az éhomi szérumban a kortizol szint csökkenése az edzés eredményességére utal, illetve a megfelelő adaptációt tükrözi, amit vizsgálatunkban is észleltünk.

Purge és mts. evezők 24 hetes edzése után több vizsgált hormonfrakció közül a szérumban a tesztoszteron és a szérumban a kortizol szintek monitorozását találták a legérzékenyebbeknek, és szorosan korrelálónak a további edzés intenzitásának megállapításához (86).



3. A két hetes strukturált edzésprogram után az éhomi szérumszteszteron szintje mind a két csoportban emelkedett, de csak az első csoport tagjainál bizonyult az emelkedés szignifikánsnak.

Mäestu és mts. az atléták adaptációs képességének csökkenésénél a terhelésre indukált szérumszteszteron szint csökkenését találták (73).

Viru és mts. tartós fizikai terhelésnél csökkent endokrin választ találtak, mely következtében a fáradtság tünetei jelennek meg. Vizsgálatuk összefüggést talált a fáradtság tünetei és hormonkoncentráció között (105).

Nindl és mts. amerikai katonák nyolc hetes kiképzését követően vizsgálták a szérumszteszteron szintjeinek alakulását, és azt találták, hogy a kiképzés végére a szérumszteszteron szignifikánsan emelkedett, a szérumszteszteron szint szignifikánsan csökkent, és a szérumszteszteron szint és a testsúly csökkenése között szorosabb volt az összefüggés, mint a testsúly és a szérumszteszteron szint között (81). Annak ellenére, hogy a mi vizsgálatunkban az edzésprogram két hétig tartott, az anabolikus és a katabolikus folyamatokat tükröző szérumszteszteron szint változása hasonló tendenciát mutatott.

4. A két hetes strukturált edzésprogram után az éhomi szérumszteszteron/szteszteron arány mind a két csoportban szignifikánsan emelkedett. Az T/K arány emelkedése az éhomi szérumszteszteron növekedése és az egyidejű szérumszteszteron szint csökkenése miatt következett be, ami egyben a megfelelő edzettséget és az adaptációs folyamatok meglétét is jelzi.

Lac és Berthon vizsgálatukban részletesen elemzik a szérumszteszteron szintet, a szérumszteszteron szintet és a T/K arány alakulását tartós edzés hatására. Azt találták, hogy az edzés időintervallum hosszabbodásával, nagy intenzitású edzés esetében, egyre fokozódik a katabolikus folyamatot fémjelző szérumszteszteron szint növekedése, ami a túledzettségre utal. Mérsékelt intenzitású edzésnél az anabolikus folyamat aktivizálódik, mely során megemelkedik a szérumszteszteron szint (64). Vizsgálati eredményeink a szérumszteszteron szint alakulása alapján hatékony edzésprogramról tanúskodnak, melyek megfelelő adaptációt váltottak ki a katonáknál.

**Két hetes strukturált edzésprogram megfelelő adaptációt biztosít az edzett katonák számára az extrém körülmények között végzett feladatok sikeres elvégzéséhez.**

Ezt a megállapítást az értekezés **második új tudományos eredményeként** tartjuk nyilván.

5. Az extrém terhelés hatására mind a két csoport katonáinál a szérumban a kortizol értéke szignifikánsan emelkedett.

Radomski és mts. a külső hőmérséklet növekedésével jelentősen emelkedett kortizol választ találtak fizikai terhelést követően (89). Vizsgálatunk során hasonló szérumban a kortizol szint növekedést észleltünk.

Kenefick és mts. mérsékelt és magas külső hőmérsékleten végzett rövid ideig tartó fizikai terhelés után vizsgálták a kortizol és a tesztoszteron szintek változását. Nem találtak szignifikáns változást sem a kortizol, sem a tesztoszteron, sem a T/K arány alakulásában rövid ideig tartó futást követően (57). A hormonszintek megfelelő változásának az elmaradása a rövid ideig tartó terheléssel magyarázható, melynek során a szervezet bonyolult neurohormonális szabályozó rendszere nem tudott kellő képen aktivizálódni.

Morris és mts. mérsékelt és magas hőmérsékleten végeztek tartós, intermittáló, és magas intenzitású terhelést. Azt találták, hogy mind a három terhelési típusnál a kortizol szint szignifikánsan megemelkedett magas külső hőmérsékleten végzett terhelés során (78). A vizsgálatunkban a katonák magas külső hőmérsékleten teljes kimerülésig végezték a terhelést, így a kortizol szint alakulásában is hasonló eredményeket találtunk.

6. Extrém terhelés hatására a szérumban a tesztoszteron szintje mind két csoport katonáinál emelkedett.

Maresh és mts. hipohidratált állapotú futóknál nem találtak változást a terhelés indukálta tesztoszteron változásában, ellenben a kortizol szintjében szignifikáns növekedést észleltek (74). A kapott eredmények a katabolikus folyamatok előtérbe kerülését tükrözik, mely a hipohidráltsággal magyarázható.

Hoffman és mts. a rövid ideig tartó fizikai terhelés hatását vizsgálták a hormontermelés változására termosemleges és magas hőmérsékleten. A kutatók nem találtak szignifikáns hormonszint változást a két hőmérsékleti körülmény között rövid ideig tartó terhelés hatására (45). Egy másik tanulmányban Hoffman és mts. a mérsékelt hipohidráltságot és a mérsékelt fizikai aktivitás hatását vizsgálták a hormonszintek alakulására. Arra a következtetésre jutottak, hogy a mérsékelt vízhiány mérsékelt terhelés esetében nem okoz szignifikáns változást a szérumban a kortizol, illetve a tesztoszteron szintjében, ellenben az adrenalin szintet jelentősen megemeli (46).

A két hetes strukturált edzésprogram után extrém terhelés hatására a két csoport tagjainál a tesztoszteron/kortizol aránya különböző mértékben változott. Az I. csoport katonáinál az arány kis mértékben emelkedett, a II. csoport tagjainál szignifikánsan csökken. Ez a különbség az eltérő adaptációt, edzettségi szintet, illetve katabolikus/anabolikus folyamatok irányát tükrözi a két csoport katonái között. Míg az I. csoport tagjainál az anabolikus hatások domináltak, addig a II. csoport katonáinál a katabolikus folyamatok kerültek előtérbe. A tesztoszteron és a kortizol aránya az edzettségi szintet jellemzi.

A kortizol koncentrációjának emelkedése és a tesztoszteron csökkenése a terheléshez történő rossz adaptációt jelzi, amely, esetleg, túlterhelést is jelent. A túledzettséget a tesztoszteron/kortizol arány értékének a 30%-os csökkenése jelzi.

Vizsgálatunk azt igazolta, hogy **extrém körülmények között végzett terhelés a megfelelően adaptálódott edzett katonáknál nem változtatja meg az anabolikus/katabolikus folyamatok arányát.**

Hasonló következtetésekkel az általunk feldolgozott irodalomban nem találkoztunk, ezért ezt a megállapítást az értekezés **harmadik új tudományos eredményeként** ismertetjük.

A kevésbé edzett katonák esetében elmaradt a megfelelő anabolikus folyamatokat reprezentáló hormonális válasz, így a katabolikus folyamat került előtérbe, melynek hatására csökkent a tesztoszteron/kortizol arány.

**Extrém terhelés hatására bekövetkezett szignifikáns tesztoszteron/kortizol arány csökkenése a katabolikus folyamatok túlsúlyba kerülését tükrözi, amely a katonák elégtelen adaptációját jelzi.**

Ezt a következtetést az értekezés **negyedik új tudományos eredményeként** jegyezzük be.

Booth az ausztrál katonák körében öt-hetes kiképzést követően a tesztoszteron/kortizol arány csökkenését a túledzettség jelével azonosította (12). Hasonlóan Banfi és Dolci rendszeresen edző sportolóknál a meghatározott tesztoszteron/kortizol arány alakulásának függvényében javasolják a túledzettség megállapítását (7).

Duclos és mts. kritikus tanulmányukban rámutattak a szakirodalomban előforduló ellentétes adatokra a hormonszint változását illetően terhelés hatására, de egyben megjegyzi a hipotalamusz-hipofízis-mellékvese tengely fontos szerepét a terheléshez szükséges adaptációs mechanizmusok kialakulásában (31).

## KÖVETKEZTETÉSEK

A modern hadsereggel szemben elvárt egyre nagyobb kihívásoknak csak tudományos alapokra épülő munkával felelhetünk meg. Az anatómiai, biomechanikai, biokémiai, élettani ismeretek nagyban elősegíthetik az eredményes szerepvállalást. A teljes kifáradásig tartó futószalagos spiroergometriás vizsgálat a fizikai teljesítőképesség mérésének objektív, számszerűsíthető módszere. Az aerob és az anaerob munkavégzés átmenetét jelző anaerob küszöb mellett az edzettségi állapot meghatározásának nemzetközileg elfogadott módja a relatív aerob kapacitás meghatározása, ami az egy perc alatt testtömeg kilogrammonként felvett oxigén mennyiségét jelöli ( $VO_2$  ml/kg/perc). Nyugalmi értéke 3,5 oxigén ml/kg/perc, amit a szakirodalom 1 metabolikus ekvivalensnek (MET) nevez.

Az elvégzett spiroergometriás vizsgálat során a katonák terhelhetősége megfelelőnek bizonyult. A terhelés során kapott spiroergometriás eredmények érzékeny mutatókkal szolgálnak a katonák aerob kapacitásának a megítéléséhez. A vizsgált katonák átlagosan 15 MET-nek megfelelő teljesítményi szintet értek el, ami az átlagos populáció köréhez képest magasabbnak bizonyult. A relatív oxigénfogyasztás is az egészséges átlag populáció szintjéhez képest jelentősebb volt: 49  $VO_2$  ml/kg/min. A vértejsav eredmények is azt tükrözik, hogy a katonák igénybevétele igen jelentős volt.

Az elvégzett kortizol és tesztoszteron vizsgálatok azt mutatták, hogy akut, rövid ideig tartó terhelés hatására mind a kortizol, mind a tesztoszteron szintek megfelelő mértékben emelkedtek, a tesztoszteron/kortizol arány az anabolikus folyamatok dominanciájára utalt. Ezen hormonváltozások meghatározó mutatói mind az edzettségnek, mind a specifikus adaptáció meglétének.

A két hetes strukturált edzésprogram elvégzése után az I. csoport katonái a spiroergometriás terhelés során szignifikánsan magasabb terhelési szintet értek el. A terhelés időtartama az I. csoport tagjainál hosszabb volt, habár a különbség nem volt szignifikáns a két csoport között. A maximális oxigénfogyasztás szignifikánsan magasabb volt. A respiratórikus kvóciens a I. csoport katonáinál nem szignifikánsan, de alacsonyabbnak bizonyult. A II. csoport tagjainál az anaerob küszöb a maximális oxigénfogyasztás alacsonyabb szintjén alakult ki, és a két csoport között a különbség szignifikáns volt. A laktát szint emelkedése az anaerob folyamatok részarányát, illetve a nagyobb igénybevételt mutatja. Az I. csoport tagjainál az alacsonyabb laktát érték az alacsonyabb terhelési szinttel magyarázható.

A két hetes edzésprogramot követően mind a két csoport tagjainál az éhomi kortizol értéke alacsonyabb volt, míg a tesztoszteron szintje emelkedett. A tesztoszteron/kortizol hányados változása az anabolikus folyamatok előtérbe kerülését mutatta. Az extrém klimatikus körülmények között végzett terhelés hatására a két csoport katonái között lényeges különbség mutatkozott. Annak ellenére, hogy mind a két csoport tagjainál a hormonszintek emelkedtek, a II. csoportban észlelt hormonváltozások szignifikáns katabolikus irányú folyamatot tükröztek, míg az I. csoport tagjainál az anabolikus hatás érvényesült. A terhelés hatására mind a két csoportban értékelhető változások történtek, ami arra utal, hogy a hormonális adaptációnak jelentős szerepe van. A jobb edzettségi szintű csoport tagjainál, akik a spiroergometriás terhelés során magasabb értékeket értek el, a kortizol szint emelkedése alacsonyabb szintű, a tesztoszteron emelkedése magasabb értékű volt, mint a II. csoport tagjainál. A II. csoport katonái a katabolikus hatású hormonok nagyobb mértékű emelkedését mutatták.

Az elvégzett vizsgálatok bizonyítják, hogy mind a két csoport katonáinál a spiroergometriás terhelés során szignifikáns változások következtek be a szérumban a tesztoszteron és a kortizol szintek változásában, ami azt jelzi, hogy a spiroergometriás vizsgálat alkalmas az extrém körülmények között teljesített szolgálat közben bekövetkező válaszok prognosztizálására. Tisztában vagyunk azzal is, hogy szélsőséges klimatikai viszonyok (forró, száraz hőmérséklet) közepette, aktív szolgálat során a katona egyéb más tényező együttes hatásának is ki van téve, mely nagymértékben befolyásolja az érintett válaszreakcióját. Vizsgálatunk elvégzését fontosnak tartjuk egy olyan csapat kiválogatásában, amely jobb adaptációs képessége révén nagyobb biztonsággal vethető be rendkívüli feladatok elvégzése esetében a világ bármely részén.

## ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK

A terhelés élettani hatásának a megismerésére, és a szervezet működésében szélsőséges fizikai és pszichés körülmények között bekövetkező metabolikus változások elemzésére irányuló kutatások nagy segítséget nyújtanak a megfelelő edzésprogramok kialakításához. A rendszeres, optimális aerob testedzést végzők körében várhatóan kisebb mértékben jelentkeznek a kedvezőtlen körülmények között végzett terhelés okozta kóros folyamatok. A testedzés során beinduló biokémiai szabályozási mechanizmusok biztosítják azokat a metabolikus folyamatokat, amelyek eredményeként fokozódik a szervezet teherbíró-képessége.

Szervezetünk az igénybevétel intenzitásától és időtartamától függően, négy főrendszer segítségével mozgósít energiát. Ezek az anaerob alaktacid, anaerob laktacid, aerob glikogénégető és aerob zsírégető rendszerek. A különböző energiatermelési formák a legtöbb testi terhelésnél átfedik egymást, az intenzitástól, a terhelés időtartamától, és az egyéni képességektől függően.

Az állóképességi edzés morfológiai változásokkal járó alkalmazkodáshoz vezet. Ennek során csökken a nyugalmi szívfrekvencia, fokozódik a szívizomhipertrófia, fokozódik a nyugalmi vagustónus, csökken a légzésfrekvencia, fokozódik a vázizomhipertrófia.

A fizikai tevékenységgel összefüggően aktivizálódik a hipotalamusz-hipofízis-mellékvese tengely, mely a katabolikus és az anabolikus folyamatok mellett kiemelkedő szerepet játszik a víz- és elektrolitháztartás egyensúlyának szabályozásában.

Az állóképesség, a teljesítménydiagnosztika, illetve az egészségügyi vizsgálatra alkalmas módszerek közül a spiroergometria jelenti a legérzékenyebb és legspecifikusabb diagnosztikai eljárást. Ez az aerob teljesítőképesség értékelése mellett, a kardiorespiratorikus rendszer, a metabolikus folyamatok, és a légzési gázok meghatározására is kiválóan alkalmas diagnosztikai módszer.

Az utóbbi években tapasztalható globális felmelegedés, illetve a nemzetközi feladatokban való aktív részvétel miatt a katonák fokozott hőterhelésnek vannak kitéve. Ennek hatására szervezetükben felborulnak a metabolikus folyamatok, víz- elektrolit, és sav-bázis háztartás, csökken a koncentrációs képességük, és megnő a kardiovaszkuláris események kockázata. Ezen kórélettani változások összessége veszélyezteti nem csak a harci feladat végrehajtásának

eredményességét, hanem a katona egészségi állapotát, sőt súlyos esetekben akár az életét is. Megfelelő akklimatizálódással, illetve edzettséggel ezen kóros állapotok kialakulása nagymértékben csökkenthető.

Hatékony adaptáció során a szervezetben változik az egyes hormonok szekréciójának kapacitása, melyek irányítják az anabolikus és katabolikus folyamatokat. Ezek alapvetőek az optimális ergotropátálláshoz. Ezeknek a hormonoknak a monitorozása érzékenyen jelzi a katonák edzettségi állapotát, mely nélkülözhetetlen a feladatok sikeres elvégzéséhez.

## ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Vizsgálatunk célja, a spiroergometriás terhelés során bekövetkezett metabolikus és hormonális változások vizsgálata extrém klimatikus körülmények között, és azok prognosztikus értéke edzett katonáknál. Hasonló típusú vizsgálatok száma a tudományos irodalomban erősen limitált és ellentmondó. Hazai kutatások ebben az irányban nem történtek.

Vizsgálatunk a korlátozások ellenére is bizonyítja, hogy már a két hetes strukturált edzésprogramot követően is olyan adatok birtokába juthatunk, melyek jelentős mértékben előrevetítik a katona állóképességét és adaptációját.

A modern hadsereg egyre növekvő kihívásainak csak a tudományos alapokra építő edzőmunkával és kiképzéssel felelhetünk meg. A katonavestudomány célja a felkészülés elősegítése.

### **Értekezésem négy új tudományos megállapítást tartalmaz:**

1. Spiroergometriás terhelés hatására, melyet az edzett katonák kifáradásig végeztek, szignifikánsan emelkedett a szérum tesztoszteron és kortizol szintje.
2. Két hetes strukturált edzésprogram megfelelő adaptációt biztosít az edzett katonák számára az extrém körülmények között végzett feladatok sikeres elvégzéséhez.
3. Extrém körülmények között végzett terhelés a megfelelően adaptálódott edzett katonáknál nem változtatja meg az anabolikus/katabolikus folyamatok arányát.
4. Extrém terhelés hatására bekövetkezett szignifikáns tesztoszteron/kortizol arány csökkenése a katabolikus folyamatok túlsúlyba kerülését tükrözi, amely a katonák elégtelen adaptációját jelzi.



## AJÁNLÁSOK

Tudományos értekezésem célja, hogy megfelelő indikátorokat határozzak meg a katonák edzettségi állapotának és adaptációs képességének megítélésére, valamint az extrém fizikai körülmények között végzett terhelés hatására bekövetkező metabolikus és hormonális változásokra. Ezeknek a folyamatoknak részletes és pontos megismerése segít a gyakorlatban alkalmazható vizsgálati módszerek kidolgozásában.

A megállapított tudományos kutatási eredmények hozzájárulnak a katonák edzésprogramjának, illetve kiképzésének javításához, melynek következtében az extrém körülmények között végzett harcászati valamint békefenntartó szerepvállalás eredményesebbé válik.

Ezen információk birtokában biztonságosabban lehet kiválogatni azokat a katonákat, akiknél a szolgálat teljesítése - extrém körülmények között - nem jelent veszélyt az egészségükre.

Az alkalmazott spiroergometriás futószalagos terheléses vizsgálat, illetve a terhelés előtti és utáni tesztoszteron és kortizol meghatározása megbízhatóan jellemzi a katonák terhelésre adott metabolikus és hormonális válaszát, a katona fizikai teljesítőképességét és edzettségét, valamint megbízhatóan prognosztizálja az adaptáció mértékét.

Ajánlásaim:

1. A különleges katonai szolgálatot teljesítő állomány spiroergometriás vizsgálatának elvégzését javaslom egybekötni a terhelés előtti és utáni szérum tesztoszteron, kortizol és tesztoszteron/kortizol hányados meghatározásával.
2. Minimum két hetes irányított és ellenőrzött edzésprogram után a spiroergometriás vizsgálat megismétlését ajánlom éhomi és terhelés utáni szérum tesztoszteron, kortizol és tesztoszteron/kortizol hányados meghatározásával.

Tudományos értekezésem eredményeit szeretném megosztani azokkal a katonai döntéshozókkal, akiknek célja a Magyar Honvédség szervezetébe tartozó állományba történő, fizikailag a legmegfelelőbb állapotban lévő katonák beválogatása a különösen extrém körülmények között végzett feladatok elvégzéséhez.

## **KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS**

Ezúton szeretnék köszönetet mondani Prof. Fűrész József ezredes úrnak, aki a doktori értekezésem értelmi szerzője és tudományos irányítója volt.

Külön köszönet Dr. habil. Grósz Zoltán tanár úrnak, akitől sok gyakorlati tanácsot kaptam tudományos munkám elkészítéséhez.

Köszönet a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Doktori Iskola oktatóinak, akik ezalatt a három év alatt bevezettek a kutatói tevékenység rejtelmeibe, és kifejlesztették bennem a tudományos igényesség iránti elkötelezettséget.

Külön köszönet munkatársaimnak, az ÁEK Balatonfüredi Kardiológiai Intézet dolgozóinak, a kutatási munkámban nyújtott segítségért és a biztatásért az eltelt időszakban.

Köszönettel tartozom a családomnak, akik biztosították a nyugodt háttérrel és a támogatást az értekezésem elkészítéséhez.

## RÖVIDÍTÉSEK

**ACTH:** adrenokortikotrop hormon

**ADP:** adenzin difoszfát

**AT:** anaerob vagy légzési küszöb, az a terhelési szint, amikor a metabolizmus anaerob arányba terelődik el, mely során  $VCO_2$  értéke a  $VO_2$  értékhez képest jelentősen megnövekszik

**ATP:** adenzin trifoszfát

**BMI:** test-tömeg-index

**CPET:** kardiopulmonális terheléses teszt

**CRED:** Katasztrófák Előfordulását Kutató Központ

**CRH:** corticotropin-releasing hormon

**CrP:** kreatin-foszfát

**DIC:** disszeminált intrvaszkuláris koaguláció

**FFA:** szabad zsírsavak

**GHRH:** növekedési hormon releasing hormone

**GnRH:** gonadotropin-releasing hormon

**HR:** szívfrekvencia

**IPCC:** Éghajlat-változási Kormányközi Testület

**KIR:** központi idegrendszer

**MET:** metabolikus ekvivalens, a terhelés intenzitásának az egysége (3,5 ml/tskg/min oxigénfogyasztás)

**MODS:** multi-organ-dysfunktion, sokszervi elégtelenség

**NSAID:** non-steroid gyulladáscsökkentők, fájdalomcsillapítók

**PRL:** prolaktin

**RQ** vagy **RER:** a széndioxid termelés és az oxigénfogyasztás hányadosa

**RR:** vérnyomásérték

**TRH:** tireotropin-releasing hormon

**VE:** percventilláció, az egy perc alatt belégzett levegő térfogata

**$VO_2$** , és  **$CO_2$** : oxigénfogyasztás és széndioxid termelés, a belégzett és kilégzett levegőben mért gázkoncentrációk különbségéből és a légzési volumenből számíthatók

**$VO_{2max}$** : maximális oxigénfogyasztás, az a legnagyobb oxigénfogyasztás, amely a terhelés további fokozásával nem növelhető.

## TÉMAKÖRBŐL KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓIM

A PUBLIKÁCIÓ TÍPUSA	RÉSZVÉTELI ARÁNY (%)	PONT-SZÁM
<b>II. LEKTORÁLT FOLYÓIRATCIKKEK (on-line is)</b>		
Külföldi idegen nyelvű folyóiratban (6 pont)		
Magyarországon megjelenő idegen nyelvű folyóiratban (4 pont)		
1. Consequences and solutions to extreme physical and psychological stresses among disaster relief military personnel. AARMS Vol. 6, 2007/1, 3-8	100	4
2. The aerobic capacity and fitness of Hungarian soldiers. AARMS Vol. 6, 2007/4, 687-697	100	4
3. Stress tolerance of military personnel during exercise in hot, dry climates- the physiology. AARMS Vol. 7, 2008/1, 35-45	100	4
4. Stress tolerance of military personnel during exercise in hot, dry climates- Prevention and treatment. AARMS Vol. 7, 2008/2, 301-307	100	4
Magyar nyelvű mértékadó folyóiratban (2 pont)		
1. A rendszeresen sportoló katonák aerob kapacitása. Kard és toll. 2006/2, 173-180	100	2
2. Katonák aerob kapacitásának és állóképességének a vizsgálata. Honvédorvos, LVIII, 2006/3-4, 171-182	100	2
<b>V. HAZAI KONFERENCIA KIADVÁNYBAN MEGJELENT (on-line is)</b>		
Magyar nyelvű előadás (1 pont)		
1. Az endotel diszfunkció: az atheroszklerózis prediktora. Balatonfüred, 2005.03.17.	100	1
2. Pitvarfibrilláció kezelése. Veszprém, 2005.05.19.	100	1
3. Dyslipidaemia és a vasculáris remodelling. Várpalota, 2005.10.18	100	1
4. Fizikai aktivitás szerepe az egészség megőrzésében. Balatonfüred, 2005.11.04.	100	1
5. Az anaerob szint változása rendszeres tréning hatására Székesfehérvár 2006.11.21	100	1
6. A metabolikus szindróma mint a koszorúsérbetegség kockázati tényezője. Balatonfüred, 2006.03.23	100	1
7. Lipid célértékek változásai metabolikus szindromában. Veszprém. 2006.04.26	100	1
8. A rendszeresen sportoló katonák aerob kapacitása. Budapest. 2006.06.14	100	1
9. A hőártalom sürgősségi ellátása operatív feladatokat végrehajtó katonánknál. Budapest. 2007.10.16.	100	1
<b>Összesen:</b>		<b>29</b>

## FELHASZNÁLT IRODALOM

1. Aarsland A, Chinkes D, Wolfe RR. Hepatic and whole-body fat synthesis in humans during carbohydrate overfeeding. *Am J Clin Nutr* 1997;65:1174-1182.
2. Adolph EF, Associates. *Physiology of Man in the Desert*. Nex York, NY: Intersciences, IN; 1947.
3. Allen TE, Smith DP, Miller DK. Hemodynamic response to submaximal exercise after dehydration and rehydration in high school wrestlers. *Med sci Sports*. 1977; 9: 159-163.
4. Amorena CF, Wilding TJ, Manchester JK, Roos A. Changes in intracellular pH caused by high K in normal and acidified frog muscle. *J Gen Physiol* 1990; 96: 959-972.
5. Armstrong LE, Pandolf KB. Physical training, cardiorespiratory physical fitness and exercise-heat tolerance. In: Pandolf KB, Sawka MN, Gonzalez RR, eds. *Human Performance Physiology and Environmental Medicine at Terrestrial Extremes*. Carmel, Ind (now in Traverse City, Mich): Cooper Publishing Group; 1988: 199-226.
6. Bahr R. Excess postexercise oxygen consumption – magnitude, mechanisms and practical implications. *Acta Physiol Scand* 1992; 144:3-70.
7. Banfi G, Dolci A. Free testosterone/cortisol ratio in soccer: usefulness of a categorization of values. *J Sports Med Phys Fitness*. 2006 Dec;46(4):611-6.
8. Bangsbo J, Graham T, Johansen L, Strange S, Christensen C, Saltin B. Elevated muscle acidity and energy production during exhaustive exercise in humans. *Am J Physiol* 1992; 263: R891-R899.
9. Bigland-Ritchie B, Woods JJ. Changes in muscle contractile properties and neural control during human muscular fatigue. *Muscle Nerve* 1994;7:691-699.
10. Bilzon JL, Scarpello EG, Bilzon E, Allsopp AJ. Generic task-related occupational requirements for Royal Naval personnel. *Occup Med (Lond)*. 2002 Dec; 52(8):503-10.
11. BNO-10. *Betegségek Nemzetközi Osztályozása*, Budapest, 1995, 445
12. Booth CK, Probert B, Forbes-Ewan C, Coad RA. Australian army recruits in training display symptoms of overtraining. *Mil Med*. 2006 Nov;171(11):1059-64.
13. Bosce L, Aragon JJ, Sols A. Modulation of muscle phosphofructokinase at physiological concentration of enzyme. *J Biol Chem* 1995;260:2100-2107.
14. Candas V, Liber P, Vogt JJ. Sweating and sweat decline of resting men in hot humid environments. *Eur J Appl Physiol*. 1983;50:223-234.
15. Carter, R., Chevront, S.N., Williams, J.O., Kolka, M.A., Stephenson, L.A., Sawka, M.N. and P.J. Amoroso. Epidemiology of hospitalizations and deaths from heat illness in soldiers. *Med. Sci. Sports Exerc*. 2005, 37(8):1338-1344.
16. Carter, R., Chevront, S. N., Sawka M.N. A case report of idiosyncratic hyperthermia and review of U.S. Army heat stroke hospitalizations. *J Sport Rehabil*. 2007 Aug;16(3):238-43
17. Casa, D.J. Exercise in the heat. I. Fundamentals of thermal physiology, performance implications, and dehydration. *J. of Athl. Training*. 1999, 34(3):246-252.
18. Casaburi R, Patessio A, Ioli F, Zanaboni S, Donner CF, Wasserman K. Reductions in exercise lactic acidosis and ventilation as a result of exercise training in patients with obstructive lung disease. *Am Rev Respir Dis* 1991; 143:9-18.
19. Chang SKW, Gonzalez RR. Limited Effectiveness of Heat Acclimation to Soldiers Wearing U.S. Air Force Chemical Protective Clothing. Natick, Mass: US Army Research Institute of Environmental Medicine; 1996. Technical Report TR 96-6.
20. Chase PB, Kushmerick MJ. Effects of pH on contraction of rabbit fast and slow skeletal muscle fibers. *Biophys J* 1988;53:935-946.
21. Cheung, S.S, McLellan T.M. Influence of hydration status and short-term aerobic training on tolerance during uncompensable heat stress. *J. Appl. Physiol*. 1998, 84:1731-1739.
22. Costill DL, Coyle E, Dalsky G, Evans W, Fink W, Hoopes D. Effect of elevated plasma FFA and insulin on glycogen usage during exercise. *J Appl Physiol* 1977;43:695-699.
23. Cotter, J.D., Roberts, W.S., Amos, D., Lau, W. and S.K. Prigg. Soldier performance and heat strain during evaluation of a combat fitness assessment in Northern Australia. Department of Defence of Australia, 2001. DSTO-TR-1023.
24. Coyle EF, Coggan AR, Hemmert MK, Ivy JL. Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *J Appl Physiol* 1986;61:165-172.

25. Coyle EF. Fat metabolism during exercise. *Gatorade Sport Science Exchange* 1995;8.
26. Cunningham DJ, Stolwijk JAJ, Wenger CB. Comparative thermoregulatory responses of resting men and women. *J Appl Physiol*. 1978;45:908-915.
27. Danforth WH. Activation of glycolytic pathway in muscle. In: Chance B, Estrabrook BW, Williamson JR, eds. *Control of energy metabolism*. New York: Academic Press, 1965:287-297.
28. Derchak, P.A., Ostertag, K.L. and M.A. Coyle. LifeShirt® as a monitor for heat stress and dehydration. 2002, 1-18.
29. Dickhuth, Hans-Hermann, Sportélettan, sportorvostan. Nordex Kft., Dialóg Kampus, Budapest, 2005: pp. 47-57, 162-172.
30. Draper ES, Lombardi JJ. Combined Arms in a Nuclear/Chemical Environment: Force Development, Testing and Experimentation, Summary Evaluation Report, Phase I. Fort McClellan, Ala: US Army Chemical School; 1986, 28-36.
31. Duclos M, Guinot M, Le Bouc Y. Cortisol and GH: odd and controversial ideas. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2007 Oct;32(5):895-903.
32. Epstein, Y, and D.S. Moran. Thermal comfort and the heat stress indices. *Industrial Health*. 2006, 44:388-398.
33. Essén B, Hagenfeldt L, Kaijser L. Utilisation of blood-borne and intramuscular substrates during continuous and intermittent exercise in man. *J Physiol* 1977;265:489-506.
34. Essén B. Studies on the regulation of metabolism in human skeletal muscle using intermittent exercise as an experimental model. *Acta Physiol Scand Suppl* 1978;454:1-32.
35. Evans WJ, Fisher EC, Hoerr RA, Young VR. Protein metabolism and endurance exercise. *Phys Sports Med* 1983;11:63-72.
36. Gao J, Ren J, Gulve E, Holloszy JO. Additive effect of contractions and insulin on GLUT-4 translocation into the sarcolemma. *J Appl Physiol* 1994;77:1597-1601.
37. Garrett W E, Kirkendall D T, *Exercise and Sport Science*, Philadelphia, 2000, 67-81
38. Gisolfi, C.V. and C.B. Wenger. Temperature regulation during exercise: old concepts, new ideas. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 1984, 12:339-372.
39. Greenleaf JE. Environmental issues that influence intake of replacement beverages. In Marriott BM, ed. *Fluid Replacement and Heat Stress*. Washington, DC: National Academy Press;1994:195-214.
40. Greenleaf JE. Problem: Thirst, drinking behavior, and involuntary dehydration. *Med. Sci Sports Exerc.* 1992;24:645-656.
41. Guyton, AC. Body temperature, temperature regulation and fever. In: *Textbook of medical physiology*, Philadelphia, WB Saunders Co. 1996, 911-922.
42. Hagobian TA, Sharoff CG, Braun B. Effects of short-term exercise and energy surplus on hormones related to regulation of energy balance. *Metabolism*. 2008 Mar;57(3):393-8.
43. Hamilton AL, Killian KJ, Summers E, Jones NL. Muscle strength, symptom intensity, and exercise capacity in patients with cardiorespiratory disorders. *Am J Respir Crit Care Med* 1995;152:2021-2031.
44. Havenith G., Individualized model of human thermoregulation for the simulation of heat stress response. *J Appl Physiol* 2001; 90: 1943-1954. 8750-7587/01
45. Hoffman JR, Falk B, Radom-Isaac S, Weinstein Y, Magazanik A, Wang Y, Yarom Y. The effect of environmental temperature on testosterone and cortisol responses to high intensity, intermittent exercise in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1997;75(1):83-7.
46. Hoffman JR, Maresh CM, Armstrong LE, Gabaree CL, Bergeron MF, Kenefick RW, Castellani JW, Ahlquist LE, Ward A. Effects of hydration state on plasma testosterone, cortisol and catecholamine concentrations before and during mild exercise at elevated temperature. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1994;69(4):294-300.
47. Hogan MC, Gladden LB, Kurdak SS, Poole DC. Increased (lactate) in working dog muscle reduces tension development independent of pH. *Med Sci Sports Exerc* 1995;27:371-377.
48. Homérosz: Íliász. Budapest. 1957. Európa. Devecseri Gábor fordítása. XI. ének 62. sor
49. Houghton et al., op. Cit. Note 3, pp. 5-10: C. D. Kelling and T.P. Whorf, „Atmospheric CO2 Concentrations-Mauna Loa Observatory, Hawaii, 1958-2000 (revised August 2001).”
50. Houghton J.T. et al., eds., *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

51. Hubbard RW. Water as a tactical weapon: A doctrine for preventing heat casualties. *Army Sci Conf Proc.* 1982;2:125-139.
52. IPCC Fourth Assessment Report (AR4). "Climate Change 2007"  
[http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_spm.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf)
53. Johnson JM, Proppe DW. Cardiovascular adjustments to heat stress. In: Fregley MJ, Blatteis CM, eds. *Handbook of Physiology, Section 4: Environmental Physiology.* New York, NY: Oxford University Press;1996:215-243.
54. Joy RJT, Goldman RF. A method of relating physiology and military performance: A study of some effects of vapor barrier clothing in a hot climate. *Mil Med.* 1968;133:458-470.
55. Jurimae J, Jurimae T. Responses of blood hormones to the maximal rowing ergometer test in college rowers. *J Sports Med Phys Fitness.* 2001 Mar;41(1):73-7.
56. Kasperek GJ, Snider RD. Effect of exercise intensity and starvation on the activation of branched-chain keto acid dehydrogenase by exercise. *Am J Physiol* 1987;252:E33-E37.
57. Kenefick RW, Maresh CM, Armstrong LE, Castellani JW, Whittlesey M, Hoffman JR, Bergeron MF. Plasma testosterone and cortisol responses to training-intensity exercise in mild and hot environments. *Int J Sports Med.* 1998 Apr;19(3):177-81.
58. Killian KJ, Leblanc P, Martin DH, Summers E, Jones NL, Campbell EJ. Exercise capacity and ventilatory, circulatory, and symptom limitation in patients with chronic airflow limitation. *Am Rev Respir Dis* 1992;146:935-940.
59. King, J. Physiological responses and adaptations to exercise in hot and cold environments. *J. Hyperplasia Res.* 2004, 4(3): 103-121.
60. Kolka MA, Stephenson LA. Human temperature regulation during exercise after oral pyridostigmine administration. *Aviat Space Environ Med.* 1990;61:220-224.
61. Kovács P. A fizikai alkalmasság aktuális kérdései az önkéntes haderőre történő áttérés küszöbén. *Nemzetvédelmi Egyetemi közlemények,* 2004/3: 2004-209
62. Kowal DM, Patton JF, Vogel JA. Psychological states and aerobic fitness of male and female recruits before and after basic training. *Aviat Space Environ Med.* 1978 Apr;49(4):603-6
63. Kraemer WJ, Ratamess NA. Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sports Med.* 2005;35(4):339-61.
64. Lac G, Berthon P. Changes in cortisol and testosterone levels and T/C ratio during an endurance competition and recovery. *J Sports Med Phys Fitness.* 2000 Jun;40(2):139-44.
65. Lac G.; Chamoux A. Elevated salivary cortisol levels as a result of sleep deprivation in a shift worker. *Occupational medicine* 2003, vol. 53, no2, pp. 143-145
66. Lau, W.M., Roberts and C. Forbes-Ewan. Physiological performance of soldiers conducting long range surveillance and reconnaissance in hot, dry environments. 2000:Dept. of Defence of Australia, DSTO-TR-0894.
67. Lemon PWR, Nagle FJ. Effects of exercise on protein and amino acid metabolism. *Med Sci Sports Exerc* 1981;13:141-149.
68. Lemon PWR. Dietary protein requirements in athletes. *Nutr Biochem* 1997; 28:52-60.
69. Lenzte MJ. Molecular and cellular aspects of hydrolysis and absorption. *Am J Clin Nutr* 1995;61:946S-951S.
70. Lévy Gábor. A globális felmelegedés lehetséges hatása a biztonságra. HM, Budapest, 2007.  
[http://www.hm.gov.hu/hirek/kiadvanyok/uj\\_honvedsegesi\\_szemle/a\\_globalis\\_felmelegedes](http://www.hm.gov.hu/hirek/kiadvanyok/uj_honvedsegesi_szemle/a_globalis_felmelegedes)
71. Lind AR. A physiological criterion for setting thermal environmental limits for everyday work. *J Appl Physiol.* 1963; 18:51-56.
72. Linnamo V, Pakarinen A, Komi PV, Kraemer WJ, Häkkinen K. Acute hormonal responses to submaximal and maximal heavy resistance and explosive exercises in men and women. *J Strength Cond Res.* 2005 Aug;19(3):566-71.
73. Mäestu J, Jürimäe J, Jürimäe T. Hormonal response to maximal rowing before and after heavy increase in training volume in highly trained male rowers. *J Sports Med Phys Fitness.* 2005 Mar;45(1):121-6.
74. Maresh CM, Whittlesey MJ, Armstrong LE, Yamamoto LM, Judelson DA, Fish KE, Casa DJ, Kavouras SA, Castracane VD. Effect of hydration state on testosterone and cortisol responses to training-intensity exercise in collegiate runners. *Int J Sports Med.* 2006 Oct;27(10):765-70.

75. Maw GJ, Mackenzi IL, Comer DAM, Taylor NAS. Whole-body hyperhydration in endurance-trained males determined using radionuclide dilution. *Med. Sci Sports Exerc.* 1996;28:1038-1044.
76. McLellan, T.M. and S.S. Cheung. Impact of fluid replacement on heat storage while wearing protective clothing. *Ergonomics.* 2000, 43:2020-2030.
77. Montain SJ, Maughan RJ, Sawka MN. Heat acclimatization strategies for the 1996 Summer Olympics. *Athletic Ther Today.* 1996;1:42-46.
78. Morris JG, Nevill ME, Boobis LH, Macdonald IA, Williams C. Muscle metabolism, temperature, and function during prolonged, intermittent, high-intensity running in air temperatures of 33 degrees and 17 degrees C. *Int J Sports Med.* 2005 Dec;26(10):805-14.
79. Nicolas CW, Williams C, Lakomy KHA, Phillips G, Nowitz A. Influence of ingesting a carbohydrate, electrolyte solution on endurance capacity during intermittent, high-intensity shuttle running. *J Sports Sci* 1995;13:283-290.
80. Nielsen B, Hales JRS, Strange S, Christensen NJ, Warberg J, Saltin B. Human circulatory and thermoregulatory adaptations with heat acclimation and exercise in a hot, dry environment. *J Physiol.* 1993;460:467-485.
81. Nindl BC, Barnes BR, Alemany JA, Frykman PN, Shippee RL, Friedl KE. Physiological consequences of U.S. Army Ranger training. *Med Sci Sports Exerc.* 2007 Aug;39(8):1380-7.
82. Pandolf KB, Griffin TB, Munro EH, Goldman RF. Heat intolerance as a function of percent body surface involved with miliaria rubra. *Am J Physiol.* 1980;239:R233-R240.
83. Pandolf KB, Stroschein LA, Drolet LL, Gonzalez RR, Sawka MN. Prediction modeling of physiological responses and human performance in the heat. *Comput Biol Med.* 1986;16:319-329.
84. Patton, John F. ; Murphy, Michelle ; Bidwell, Tracy ; Mello, Robert ; Harp, Marjorie, *Metabolic Cost of Military Physical Tasks in MOPP 0 and MOPP 4.* US ARMY RESEARCH INST OF ENVIRONMENTAL MEDICINE NATICK MA, 1995. USARIEM Technical Report T95-9
85. Pescatello LS, Mack GW, Leach CN, Nadel ER. Thermoregulation in mildly hypertensive men during  $\beta$ -adrenergic blockade. *Med Sci Sports Exerc.* 1990;22:222-228.
86. Pilegaard H, Domino K, Noland T, et al. Effect of high intensity exercise training on lactate/H<sup>+</sup> transport capacity in human skeletal muscle. *Am J Physiol* 1999;276:E255-E261.
87. Pucsok JM *Az edzés munka hatása a szteroidhormon profiljára és egyéb anyagcsere mutatókra küzdősportokban,* Budapest, 2005, 42-64
88. Purge P, Jürimäe J, Jürimäe T. Hormonal and psychological adaptation in elite male rowers during prolonged training. *J Sports Sci.* 2006 Oct;24(10):1075-82.
89. Radomski MW, Cross M, Buguet A. Exercise-induced hyperthermia and hormonal responses to exercise. *Can J Physiol Pharmacol.* 1998 May;76(5):547-52.
90. Randle PJ, Garland RB, Hales CN, Newsholme EA. The glucose fatty acid cycle: its role in insulin sensitivity and the metabolic disturbances of diabetes mellitus. *Lancet* 1963;1:785-789.
91. Sato K, Dobson RL. Regional and individual variations in the function of the human eccrine sweat gland. *J Invest Dermatol.* 1970;54:443-449.
92. Sawka MN, Toner MM, Francesconi RP, Pandolf KB. Hypohydration and exercise: Effects of heat acclimation, gender, and environment. *J Appl Physiol.* 1983;55:1147-1153.
93. Sawka MN, Young AJ, Cadarette BS, Levine L, Pandolf KB. Influence of heat stress and acclimation on maximal aerobic power. *Eur J Appl Physiol.* 1985;53:294-298.
94. Sawka MN, Young AJ, Francesconi RP, Muza SR, Pandolf KB. Thermoregulatory and blood responses during exercise at graded hypohydration levels. *J Appl Physiol.* 1985;59:1394-1401.
95. Sawka, M.N. R.R. Gonzalez, eds. *Human performance physiology and environmental medicine at terrestrial extremes.* Dubuque, IA: Brown and Benchmark. 1988, pp.97-152.
96. Scott W, Stevens J, Binder-Macleod SA. Human skeletal muscle fiber type classifications. *Phys Ther.* 2001 Nov;81(11):1810-6.
97. Shearer S. Dehydration and serum electrolyte changes in South African gold miners with heat disorders. *Am J Ind Med.* 1997;17:225-239.
98. Sherman WM, Costill DL, Fink WJ, Miller JM. The effect of exercise and diet manipulation on muscle glycogen and its subsequent use during performance. *Int J Sports Med* 1981;2:114-118.
99. Sjogaard G. Exercise induced muscle fatigue: the significance of potassium. *Acta Physiol Scand Suppl* 1990;140(593):1-63.
100. Soldier 2005. *Research on physical performance, Series 3/6.* Helsinki, Education. 2004: 8-10



101. Sue DY, Wasserman K. Impact of integrative cardiopulmonary exercise testing on clinical decision making. *Chest* 1991;99:981-992.
102. Taylor, N.A.S. and J.D. Cotter. Heat adaptation: guidelines for the optimization of heat performance. *Intl. Sport. Med. J.* 2006, 14(3):226-235.
103. Tremblay MS, Copeland JL, Van Helder W. Influence of exercise duration on post-exercise steroid hormone responses in trained males. *Eur J Appl Physiol.* 2005 Aug;94(5-6):505-13.
104. Városok és természeti katasztrófák. A világ helyzete 2007. Wordwatch Institute. Budapest. 2007, 164-165.
105. Viru AM, Hackney AC, Välja E, Karelson K, Janson T, Viru M. Influence of prolonged continuous exercise on hormone responses to subsequent exercise in humans. *Eur J Appl Physiol.* 2001 Oct;85(6):578-85.
106. Vogel JA, Patton JF, Mello RP, Daniels WL An analysis of aerobic capacity in a large United States population. *J Appl Physiol.* 1986 Feb;60(2):494-500.
107. Wasserman K, Whipp BJ. Exercise physiology in health and disease. *Am Rev Respir Dis* 1975;112:219-249.
108. Webster S, Rutt R, Weltman A. Physiological effects of a weight loss regimen practiced by college wrestlers. *Med Sci Sports Exerc.* 1990;22:229-234.
109. Young AJ, Sawka MN, Levine L, Cadarette BS, Pandolf KB. Skeletal muscle metabolism during exercise is influenced by heat acclimation. *J Appl Physiol.* 1985;59:1929.

## MELLÉKLETEK