

Fizikai terheléssel kiváltott stresszre adott
kardiopulmonális válasz összehasonlító vizsgálata
sportoló és nem sportoló személyek esetén

OTDK pályamunka

Gallatz Imre, SE-TSK humánkineziológia MSc. II.

Lovas Attila, BME-TTK, matematikus BSc. III.

Hamar Pál, SE-TSK, testnevelő-gyógytestnevelő MSc. I.

2012

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
2. Kérdésfelvetés	4
3. Az elvégzett kísérlet	4
4. Mérési eredmények feldolgozása, hipotézisvizsgálatok	5
5. Összefoglalás	7
6. Következtetések	8
7. Kitekintés	8

1. Bevezetés

Szervezetünk mind fizikai, mind pszichés stresszhez való alkalmazkodását különféle védekező mechanizmusok segítik. Ilyen például a neuroendokrin szimpatoadrenerg rendszer és a celluláris hősokkválasz. Az előbbi egy szervezet szintű válasz, mely a stresszreakció kiváltásáért felelős és információ továbbító szereppel bír, az utóbbi pedig egy sejtszintű válasz a szervezetet ért stresszre és elsősorban védelmi szerepet tölt be.

A celluláris hősokkválasz egy rendkívül összetett biokémiai folyamat, melyben fontos szerep jut az ún. hősokk fehérjéknek (**H**eat **S**hock **P**rotein – HSP). Ezek a fehérjék megtalálhatók minden élő szervezetben a baktériumoktól egészen az emberig. A hősokk fehérjék népes családjának egyik legtöbbet tanulmányozott tagja a 70kDa relatív atomtömegű hősokk fehérje, a Hsp70. A Hsp70 biológiai szerepére a '80-as évek közepén derült fény [1].

A Hsp70 molekulának funkcionálisan három fő része van. A szubsztrát kötő hely képes semleges oldalláncú aminosavak megkötésére. A Hsp70 molekula C-terminális felőli része α -hélix struktúrákban gazdag és úgy működik, mint egy fedél a szubsztrát kötő hely felett. Az N-terminális felőli rész pedig ATP-ázként működik. Ha a Hsp70 molekula ATP-t köt meg, akkor a fehérje konformációt vált (a fedél kinyílik). Ha pedig az N-terminális felőli részhez ADP kötődik, akkor a fedél bezárul. A Hsp70-nek csak nagyon gyenge ATP bontó képessége van, de ezt a megkötött fehérje erősíti.

A Hsp70 legfőbb funkciója, hogy védi a sejteket a termális és oxidatív stressztől. A proteinek hidrofób részeinek ideiglenes megkötésével megakadályozza, hogy a részben denaturálódott protein aggregálódjék és lehetővé teszi, hogy a protein eredeti konformációját visszanyerje [2]. A Hsp70 fehérje – Hsp40-el alkotott komplex alakjában – részt vesz más fehérjék sejthártyán való átjuttatásában is. A Hsp70 által alkotott fehérjekomplexek kinetikájáról Pratt és munkatársai [3] cikkben részletesen írnak.

Az extracelluláris és a membránhoz kötött Hsp70 fehérje molekulák az antigének megkötésével részt vesznek az immunválasz kialakításában [4]. A Hsp70 szerepét mind a fertőzések elleni védelemben, mind a krónikus gyulladásokban valószínűsítik. A legtöbb hősokk fehérjéhez hasonlóan a Hsp70 is hatással van a kardiovaszkuláris rendszerre [1]. Vizsgálataink egy részét éppen ezen hatás tanulmányozásának céljából végeztük el.

Ismeretes, hogy fizikai terhelés egyaránt kivált szimpatikus noradrenalin (NA) szint emelkedést és Hsp70 szekréciót is [5]. Feltételezik, hogy a noradrenerg rendszer szerepet játszhat a Hsp70 válasz kiváltásában [6] (lásd: 1. ábra).

Egyelőre nem tisztázott, hogy a rendszeres sport milyen szerepet játszik ezen válaszok plaszticitásában. Vizsgálataink során az akut fizikai terhelésre adott kardiopulmonális, NA és Hsp70 válaszokat tanulmányoztuk egészséges sportoló és nem-sportoló egyéneknél.

2. Kérdésfelvetés

Az elvégzett vizsgálatokkal a következő kérdéseket szeretnénk megválaszolni:

1. Identikus fizikai terhelés¹ hatására milyen kardiopulmonális, noradrenalin és Hsp70 válaszokat láthatunk?
2. Ezek a válaszok hogyan függnek az egyén edzettségétől?
3. Milyen kapcsolatok tételezhetők fel az egyes válaszok között?

3. Az elvégzett kísérlet

A vizsgálatokban 22 fő vett részt. Ebből 12 fő profi sportoló (első osztályú vagy válogatott judozó) és 10 fő kontroll személy. A kontroll csoport egészséges, nem-sportoló fiatal személyekből állt. A sportolók között is és a kontroll csoportban is nők és férfiak fele-fele arányban voltak jelen.

Az elvégzett vizsgálatok időbeli ütemezését vázlatosan a 2. ábrán találja az Olvasó, a vizsgálati csoportok összetételét pedig a 3. ábrán szereplő táblázatban tüntettük fel részletesen. Kimutattuk (lásd: 4. pont), hogy a Hsp70 vérbeli koncentrációja az általunk vizsgált korcsoportban életkortól független, ezért nem torzítja a mérést az, hogy a kontroll személyek számottevően idősebbek a vizsgált sportolóknál. A mért CRP értékek alapján kijelenthető, hogy gyulladásos reakció senkiben sem zajlott, tehát az ebből adódó mérési hibák kizárhatók.

A stresszválasz kiváltása spiroergometriás terheléses tesztel történt egy Schiller CS 200 típusú kerékpáron (lásd: 4. ábra). A terhelés módosított Bruce protokoll szerint zajlott, menete a következő volt:

1. Vita maxima protokoll az anaerob küszöb megállapítására.
2. RQ 1-nek megfelelő terhelési intenzitás fenntartása 20 percig.

EKG felvétel készült a terhelést megelőzően nyugalmi állapotban, a terhelés végén, valamint a restitúció 5., 10. és 30. percében. Minden esetben meghatároztuk a QT diszperzió és QT variabilitás értékeit is. A méréshez használt EKG készülék típusa: Cardiosys Human ECG, (Experimetria Kft). A mért mennyiségeket tartalmazó táblázat az 5. ábrán látható.

A terhelést megelőzően nyugalmi állapotban, közvetlenül a terhelés végén, valamint a restitúció 30., 60., 120., és 180. percében vénás vérvétel történt. A vérminta noradrenalin és Hsp70 koncentrációját ELISA immunoassay eljárással határoztuk meg.

¹Identikus fizikai terhelés alatt azonos fizikai terhelést értünk a következő értelemben: A vizsgálatban résztvevő személyeket a terhelés második fázisában (lásd: 3. pont) egységnyi respirációs kvóciensnek (RQ 1) megfelelő terhelésnek vetettük alá.

4. Mérési eredmények feldolgozása, hipotézisvizsgálatok

Ebben a pontban röviden ismertetjük a mérési eredmények feldolgozásának menetét és a feldolgozás során alkalmazott statisztikai módszereket. A mérési eredmények feldolgozásához és az ábrák elkészítéséhez a Wolfram *Mathematica*[®] matematikai programcsomagot használtuk.

A matematikai statisztika köréből felhasznált tételeket – ahol a precíz tárgyalásmód megköveteli – kimondjuk, de nem bizonyítjuk. A bizonyításokat az Olvasó a [7] tankönyvben találja meg. Ezen kívül jól érthető bevezető mű a matematikai statisztika alkalmazásaiba és a kísérlettervezésbe [8].

A felhasznált statisztikai módszerek bemutatásánál végig azt a tárgyalásmódot követjük, hogy adott egy valószínűségi változó (X), melynek eloszlása ismeretlen (háttéreloszlás) és adott egy független, azonos eloszlású valószínűségi változó sorozat, melynek eloszlása X eloszlásával egyezik meg (ez a minta). Feltesszük, hogy a nullhipotézis (H_0) és az ellenhipotézis (H_1) két részre partícionálja a mintateret (elfogadási tartományra és kritikus tartományra).

Emlékeztetésképpen megemlítyük, hogy döntésünkör kétféle hibát követhetünk el:

4.1. Definíció. *I. fajú hiba: H_0 fennáll, mégis elutasítjuk. (Ez a hibatípus uralható.)*

II. fajú hiba: H_0 nem áll fenn, mégis elfogadjuk. (Ezt a hibatípust nem tudjuk uralni.)

A nullhipotézist mindig úgy fogjuk megválasztani, hogy a mérés kiértékelés szempontjából fatális hibák elsőfajú hibák legyenek. Az általunk végzett statisztikai próbák ún. konzisztens próbák, ami azt jelenti, hogy a minta elemszám növelésével a másodfajú hiba valószínűsége tetszőlegesen kicsivé tehető.

4.2. Definíció. *Szignifikancia szintnek a $\mathbb{P}(H_0)$ valószínűséget nevezzük.*

A szignifikancia szintet gyakran %-osan fejezzük ki. Statisztikai próbáinkat 95%-os szignifikancia szinten hajtottuk végre. Ahol a nullhipotézis ilyen szignifikancia szinten nem áll fenn, ott közöljük azt a legnagyobb szignifikancia szintet (p -érték), amely mellett a nullhipotézis még elfogadható lenne.

A következő statisztikai próbákat végeztük el:

I. Nemparaméteres statisztikai próbák.

1. χ^2 -próbán alapuló becsléses függetlenség vizsgálat annak ellenőrzésére, hogy a vizsgált korcsoporton belül a Hsp70 szint az életkortól független.

H_0 : A Hsp70 szint és az életkor egymástól független.

Az próba eredménye a 10. ábrán látható táblázatos formában. Látható, hogy a mérési pontok felében 95%-os szignifikancia szinten igaz, hogy a vizsgált korcsoporton belül a Hsp70 szint az életkortól független. A p -értékek mutatják, hogy a mérési pontok másik felében is igen nagy valószínűséggel igaz ez a kijelentés.

2. Homogenitás vizsgálat kétmintás Kolmogorov-Szminov próbával.

H_0 : A két csoportban a mért mennyiség azonos eloszlást követ.

A próba eredménye a 9. ábrán látható táblázatos formában. Ebből a táblázatból megtudható, hogy mely paraméterek vizsgálata esetén szükséges férfiak és nők adatait külön kezelni és melyek azok a paraméterek, amelyek különbséget tesznek sportoló és nem sportoló közt.²

A 9. ábrán látható táblázatról leolvasható, hogy a Hsp70 koncentráció szignifikánsan nem tesz különbséget a nemek között, de sportoló és kontroll személy közt annál inkább. Ugyanez mondható el a NA koncentráció közvetlenül terhelés után mért értékéről is, valamint a 10. és 30. percben mért QT diszperziós értékekről. A 6. és 7. ábrákon szereplő grafikonokon ábrázoltuk a noradrenalin és Hsp70 vérbeli koncentrációját. A QT diszperzió időfüggése a 8. ábrán látható. A szakaszok a minta terjedelmet jelölik. A minta alsó és felső kvantilisei közti értékek pedig a színezett téglalapokon belülre esnek.

3. Egymintás Kolmogorov-Szmirnov próbán alapuló normalitásvizsgálatot ([7, 9]) végeztünk annak eldöntésére, hogy a noradrenalin és Hsp70 koncentráció kezdeti értéke és terhelés utáni érték kezdetihez viszonyított relatív növekménye sportolók és kontroll személyek esetén normális eloszlást követ-e.

H_0 : A vizsgált mennyiség normális eloszlású.

Erre a próbára azért van szükség, mert az elvégzett paraméteres próbák feltételezik, hogy a minta normális háttéreloszlásból származik. Ezt a vizsgálatot a Hsp70 értékekre és QT diszperziós értékekre is elvégeztük. Erre a korrelációs együtthatóra vonatkozó hipotézisvizsgálat miatt volt szükség. A próba eredménye a 11. ábrán látható táblázatos formában.³

II. Paraméteres statisztikai próbák. Vizsgálatainkat ezek után leszűkítettük a Hsp70, noradrenalin és QT diszperzió paraméterhármásra. Sportolók és Kontroll személyek esetén vizsgáltuk a Hsp70 és noradrenalin koncentráció nyugalmi értékét és terhelés alatti relatív növekedését (1. paramétercsoport) valamint korreláció analízist végeztünk a Hsp70, NA és QT diszperziós értékekre (2. paramétercsoport).

1. Az 1. paramétercsoport paramétereit kétoldali F -próbával vizsgáltuk, hogy sportolók és kontroll személyek esetén azonos-e a szórás. ($H_0 : \sigma_1 = \sigma_2$) A próba eredménye a 12. ábrán látható táblázatos formában.
2. Amennyiben az előzetesen végzett F -próbával úgy ítéltük meg, hogy a két csoportban a vizsgált paraméter szórása egyenlő kétmintás t -próbát hajtottunk végre

²A homogenitás vizsgálat elvégzését azért is tartottuk fontosnak, mert kis minta elemszámmal dolgoztunk és egy-egy homogénnek tekinthető csoportban (férfi és sportoló, nő és kontroll, stb.) csak 5-6 fő szerepelt. A csoport összevonás általi minta elemszám növeléssel az elvégzett paraméteres próbák másodfajú hibájának valószínűségét csökkenteni tudtuk.

³Az 1. paramétercsoportra (lásd: következő pont) vonatkozó normalitásvizsgálat eredményét helytakarékosági okok miatt táblázatos formában nem közöltük. Szövegesen említjük, hogy az 1. paramétercsoportba tartozó mérési eredmények esetén a kapott p -értékek a 80%-ot mindenütt meghaladták.

egyoldali ellenhipotézissel annak eldöntésére, hogy a vizsgált mennyiség egyik csoportban szignifikánsan nagyobb-e, mint a másikban. ($H_0 : \mu = \mu_0$ vs. $H_1 : \mu > \mu_0$)

3. Ha a szórások egyenlőségét előzetesen F -próbával elvetettük, akkor Welch-próbát alkalmaztunk egyoldali ellenhipotézissel annak eldöntésére, hogy a vizsgált mennyiség egyik csoportban szignifikánsan nagyobb-e, mint a másikban.

$$H_0 : \mu = \mu_0 \text{ vs. } H_1 : \mu > \mu_0$$

Az előbbi két próba eredménye a 12. ábrán látható táblázatos formában. A szórásokat minden esetben különbözőnek ítéltük meg, ezért Welch-próbát használtunk mindenütt.

4. A 2. paramétercsoport esetén QT diszperzió és Hsp70 valamint NA és Hsp70 közt számoltunk empirikus korrelációs együtthatót. A valódi korrelációs együttható (r) nem nulla voltáról egymintás t -próbával döntöttük kétoldali ellenhipotézissel. ($H_0 : r = 0$ vs. $H_1 : r \neq 0$) Az elvégzett hipotézisvizsgálatot a 4.1 tételre alapoztuk. A korrelációs együtthókat, a próbastatisztikákat és a korrelációs együtthókat szignifikancia szintjét a 13. ábrán látható táblázatban foglaltuk össze.

4.1. Tétel. *Amennyiben az $(X_1, Y_1), \dots, (X_n, Y_n)$ minta kétdimenziós normális eloszlásból származik és R_n jelöli a fenti mintából számított empirikus korrelációs együtthatót igaz a következő kijelentés. Ha a valódi korrelációs együtthó 0, akkor a*

$$t = \sqrt{n-2} \cdot \frac{R_n}{1 - R_n^2} \quad (4.1)$$

statisztika $n \rightarrow \infty$ esetén eloszlásban tart egy $n - 2$ szabadsági fokú Student-eloszlású valószínűségi változóhoz.

5. Összefoglalás

A következő kijelentéseket igaznak fogadtuk el:

1. A vizsgált korcsoporton belül a Hsp70 szint az életkortól független. (Szignifikancia szinteket illetően, lásd: 10. ábra)
2. A sportolók szervezetében az intenzívebb terhelés⁴ is kisebb noradrenalin koncentráció emelkedést indukált, mint a kontroll személyek szervezetében. (Ez 95%-os szignifikancia szinten biztosan igaz, lásd: 12. ábra)
3. A Hsp70 fehérje vérbeli koncentrációja a kontroll személyek körében magasabb értékről indult és nagyobb relatív emelkedést mutatott a nyugalmi értékhez viszonyítva, mint a profi sportolók esetén. (Ez 95%-os szignifikancia szinten biztosan igaz, lásd: 12. ábra)

⁴RQ 1-nek megfelelő terhelési intenzitás mellett a sportolók által leadott teljesítmény nagyobb, mint az amatőrök által leadott teljesítmény.

4. A noradrenalin és Hsp70 értékek korreláltságát 95%-os szignifikancia szinten nem tudtuk bizonyítani sem a sportolók, sem a kontroll személyek körében. (lásd: 13. ábra)
5. A sportolók körében 75%-os szignifikancia szinten ki tudtuk mutatni, hogy a Hsp70 hőszokk fehérje vérbeli koncentrációja és a mért QT diszperzió értékek között negatív korreláció áll fenn. A kontroll személyek esetén nem mutatható ki szignifikáns korreláltság a Hsp70 szint és a QT diszperziós érték között. (Szignifikancia szinteket illetően, lásd: 13. ábra)

6. Következtetések

Az elvégzett vizsgálatok és a statisztikai próbák tanúságának tükrében az alábbi következtetéseket vontuk le:

1. A sportolók bazális Hsp70 szintje alacsonyabb.
2. A sportolók szervezetében a fizikai stressz kisebb és gyorsabban lecsengő adrenerg és Hsp70 választ hoz létre.
3. Valószínűsíthető, hogy a magasabb edzettségi szint nagyobb adaptációs képességgel jár, mely kisebb adrenerg és hőszokk választ tesz szükségessé.
4. További vizsgálódásra ad okot a Hsp70 védő funkciója és a *proarrhythmiára* fokozottabb hajlamot jelző QT diszperzió értékek ellentétes irányú változása.
5. Nem találtunk bizonyítékot a noradrenalin Hsp70 válaszban játszott oki szerepét illetően.⁵

7. Kitekintés

Ez a pont nem képezi szerves részét az OTDK pályamunkánknak, csupán pár sort szeretnénk írni arról, hogy a kutatásunk további előrehaladását illetően milyen terveink vannak.

Johnson a [6] cikkében beszámol arról, hogy a noradrenalin az α_1 -adrenoreceptorokon keresztül hatással van a Hsp70 aktuális szintjére. Noradrenalin hatására a vezikulákban tárolódó Hsp70 felszabadul.

⁵

- a) A korrelációs együttható a két mennyiség közt fennálló sztochasztikus lineáris kapcsolat erősségét méri. Abból a tényből, hogy két valószínűségi változó korrelálatlan nem következik, hogy függetlenek is. Előfordulhat például, hogy – nemlineáris módon – összefüggésben állnak egymással.
- b) A NA és Hsp70 közt esetlegesen fennálló nemlineáris kapcsolatra elkezdtünk kidolgozni egy modellt, amelyet még finomítanunk kell. Erről a 7. pontban részletesebben is szólunk.

Úgy gondoljuk, hogy erre a megfigyelésre fel tudunk építeni egy kinetikai modellt, ami kapcsolatot teremt a terhelés alatt a pillanatnyi noradrenalin és Hsp70 koncentráció között.

Ez több szempontból is érdekes. Egyrészt a noradrenalin mérése a Hsp70 méréséhez képest körülményesebb, ezért hasznos dolog lenne, ha a Hsp70 koncentrációból tudnánk becsülni a noradrenalin koncentrációt, másrészt pedig számszerűsíteni szeretnénk egy egyén (legyen az átlagember vagy profi sportoló) eddzségi szintjét. Ezt az modell illesztett paramétereivel tudjuk megtenni.

Modellünk alapját a következő elsőrendű lineáris inhomogén differenciálegyenlet jelenti.

$$\begin{aligned}\frac{dc_{Hsp70}}{dt} &= k_1 - k_2 c_{Hsp70} + f(t) \\ c_{Hsp70}(0) &= c_0\end{aligned}\tag{7.1}$$

Ahol $t \mapsto c_{Hsp70}(t)$ a pillanatnyi Hsp70 koncentráció. Feltételezzük, hogy a Hsp70-nek van egy konstans termelődési sebessége (k_1) és bomlását elsőrendű kinetika írja le (k_2 a bomlási állandó). Azzal az egyszerűsítéssel élünk, hogy a Hsp70 szintézis sebessége elhanyagolható a vezikulából történő felszabadulás sebességéhez képest a terhelés időtartama alatt. A $t \mapsto f(t)$ zavarfüggvény a NA koncentráció Hsp70 koncentrációra gyakorolt hatását írja le. A 7.1 Cauchy-feladat megoldása az alábbi.

$$c_{Hsp70}(t) = e^{-k_2 t} \left(c_0 + f(0) + k_1 + \int_0^t e^{k_2 \tau} (k_1 + f(\tau)) d\tau \right)\tag{7.2}$$

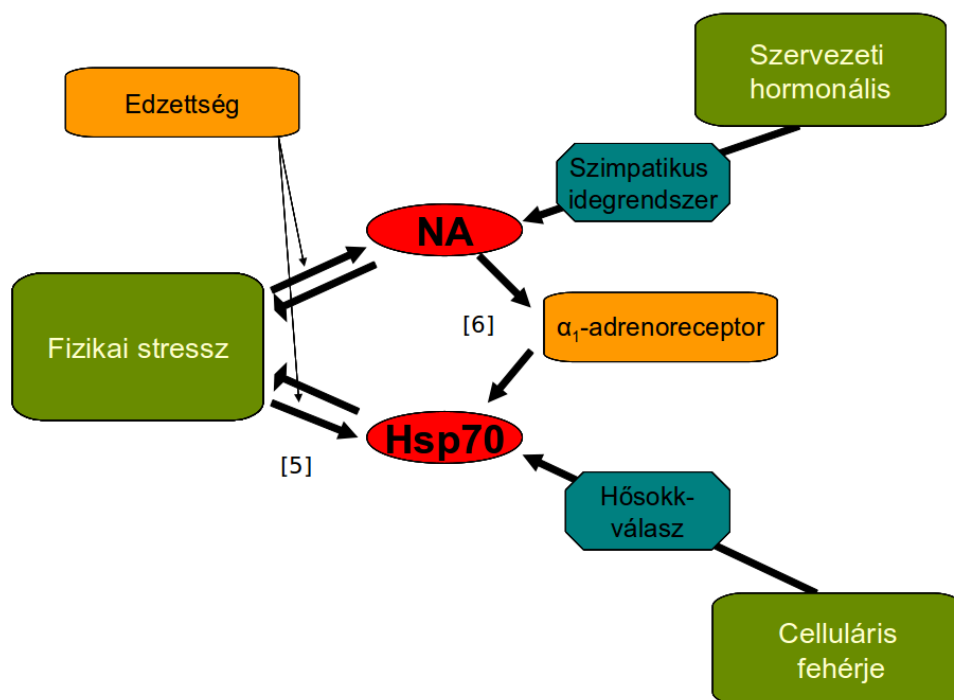
Ha elfogadjuk, hogy a Hsp70 NA általi vezikulákból történő felszabadulását is elsőrendű kinetika írja le (reakciókinetikai megfontolások alapján ez valószínűsíthető), akkor a zavarfüggvény $f(t) = k_3 c_{NA}(t)$ alakú. Ezt a 7.2 formulába helyettesítve kapunk egy nemlineáris függést a NA és Hsp70 koncentráció között. A k_1 , k_2 és k_3 értékeket nemlineáris regresszió útján nyerjük.

Közvetlenül a modelltől kiolvasható, hogy k_2 egyfajta csillapítási tényezőként funkcionál, k_3 pedig a Hsp70-t tároló vezikulák számával és a belőlük felszabaduló Hsp70 mennyiséggel áll szoros kapcsolatban. Úgy sejtjük, hogy a k_2 és k_3 értékekkel az edzettség számszerűsíthető.

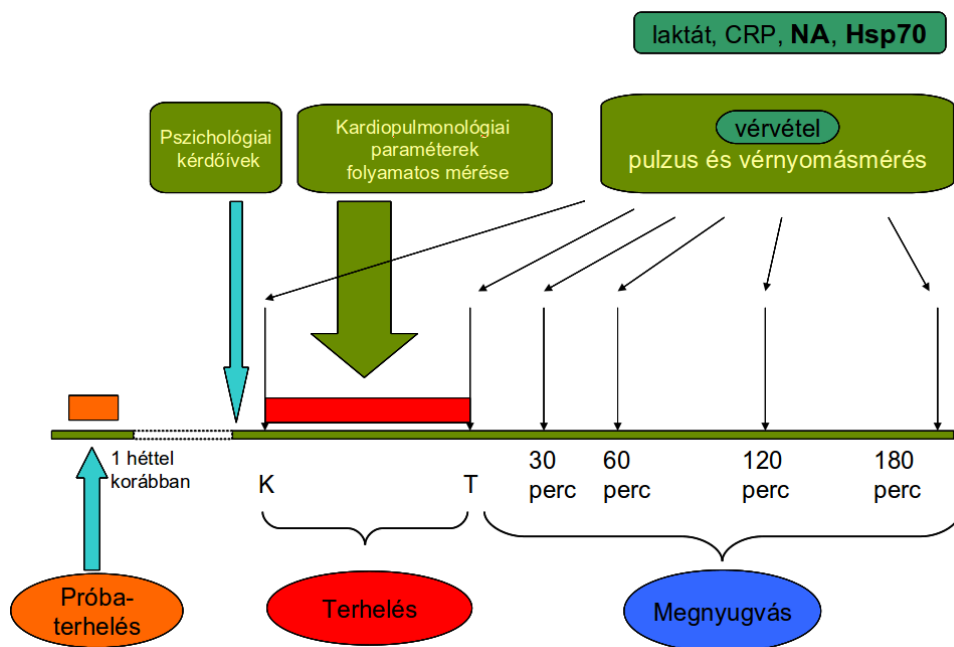
Természetesen mindemellett a többi mért paraméter mérési eredményeinek feldolgozása is folyamatosan zajlik. A dolgozatban bemutatott mérés csupán kis elemszámú elővizsgálat volt, mely arra volt hivatott, hogy előkészítse a talajt egy nagy elemszámú vizsgálatnak (kísérlettervezési célokat szolgált). Ennek ellenére – a felsorakoztatott matematikai statisztikai apparátusnak köszönhetően – ebből a kis minta elemszámából is messzemenő következtetéseket sikerült levonnunk és utat mutatott a további kutatások felé.

Hivatkozások

- [1] Benjamin IJ, McMillan DR.: Stress (heat shock) proteins: molecular chaperones in cardiovascular biology and disease, *Circulation research*, July 1998, 83 (2): 117–32. PMID 9686751
- [2] H. Wegele, L. Muller, J. Buchner: Hsp70 and Hsp90 – a relay team for protein folding, Springer Verlag, 2004, Rev Physiol Biochem Pharmacol 151, 1-44.
- [3] Pratt, W.B., Galigniana, M.D., Morishima, Y., Murphy, P.J.: Role of molecular chaperones in steroid receptor action, *Essays Biochem*, 2004, 40:41-58.
- [4] Nishikawa M, Takemoto S, Takakura Y: Heat shock protein derivatives for delivery of antigens to antigen presenting cells, *Int J Pharm*, April 2008, 354 (1-2): 23–7. DOI:10.1016/j.ijpharm.2007.09.030. PMID 17980980.
- [5] R. C. Walsh, I. Koukoulas, A. Garnham, P. L. Moseley, M. Hargreaves, M. A. Febbraio: Exercise increases serum Hsp72 in humans, *Cell Stress Chaperones*, 2001 October; 6(4): 386–393.
- [6] M. Fleshner, J. D. Johnson: Endogenous extra-cellular heat shock protein 72: Releasing signal(s) and function, *Int. J. Hyperthermia*, August 2005, 21(5): 457–471.
- [7] Krámlí András, Bolla Marianna: Statisztikai következtetések elmélete, Typotex Kiadó, Budapest, 2005.
- [8] Kemény Sándor, Deák András: Kísérletek tervezése és értékelese, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 2002.
- [9] Lilliefors, H. W.: On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown, *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 62, 1967, pp. 399-402.



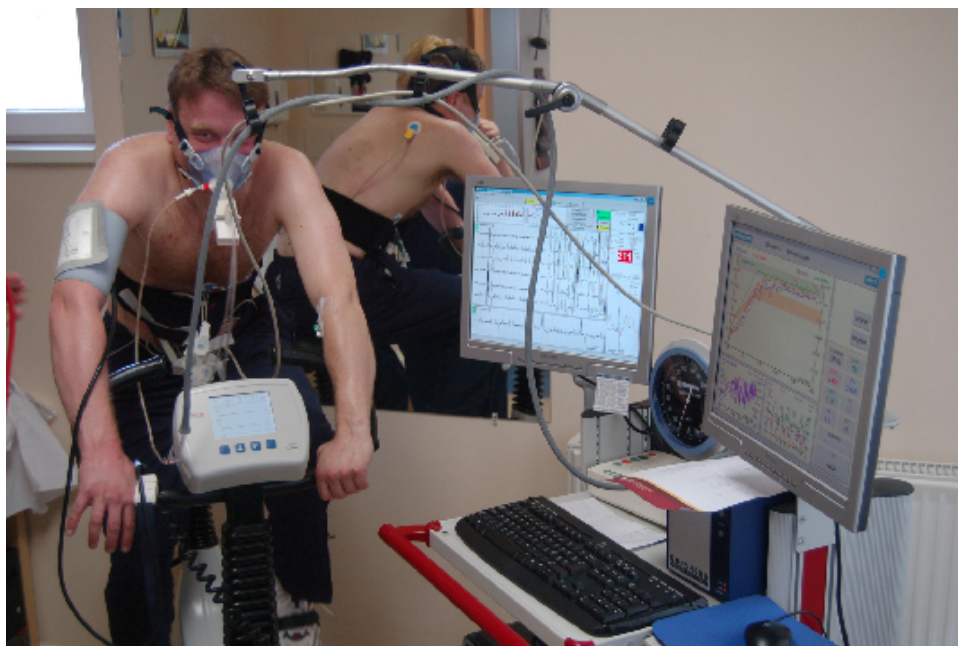
1. ábra. Fizikai stresszre adott válasz feltételezett hatáslánc sémája



2. ábra. A vizsgálatok ütemezése

	Nem	Életkor	Testtömeg [kg]	Testmagasság [m]	BMI [$\frac{kg}{m^2}$]
Kontroll csoport	5 nő, 5 férfi	27 ± 5	72 ± 18	1.76 ± 0.12	23.02 ± 4.41
Sportolók	6 nő, 6 férfi	22 ± 6	66 ± 15	1.71 ± 0.09	22.47 ± 3.01

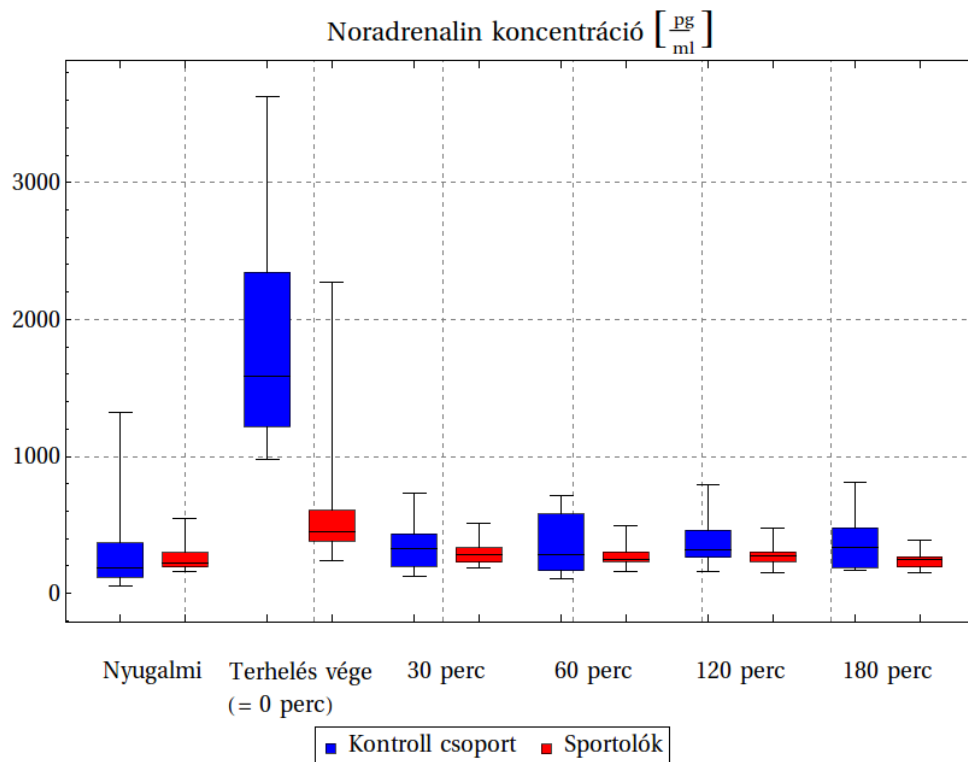
3. ábra. Vizsgálati csoportok



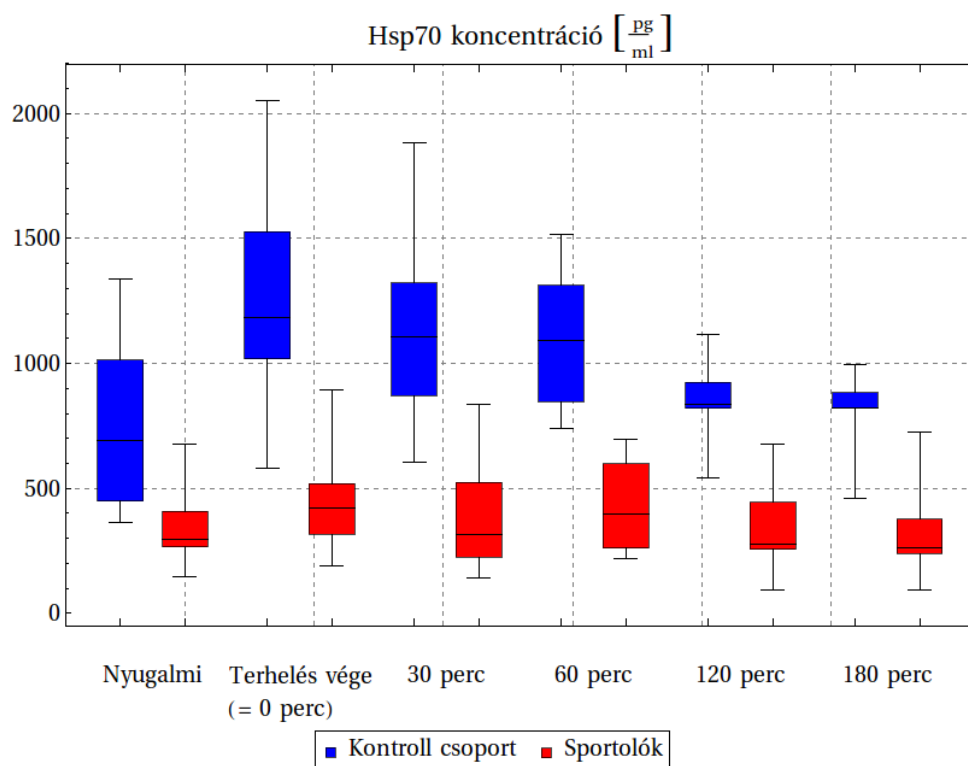
4. ábra. Mérési összeállítás

Általános adatok	Labor adatok	Keringés élettani adatok	Psychologiai tesztek eredményei	Ergospirometriai adatok	EKG
Nem	Laktát	Pulzus	Beck	Max. terhelhetőség	P (mV)
Életkor	CRP	Vérnyomás Szisztolé	Spielberger aktuális	Anaerob küszöb terhelése	Q (mV)
Testtömeg	Glükóz	Vérnyomás Diasztolé	Spielberger általános	Anaerob küszöb pulzusa	R (mV)
Testmagasság	Hsp70	Közép Nyomás MAP	Spielberger összesen	Max. terhelés mérésakor	T (mV)
BMI	NA		Perceived stress scale	Terhelési idő	ST (mV)
Menstruatio				Anaerob küszöb oxigénfelvétele	PQ (ms)
Sporttevékenység				Anaerob küszöb rel. oxigénfelvétele	QRS (ms)
Edzések hetente				Maximális oxigénfelvétel	QT (ms)
				Maximális relatív oxigénfelvétel	QTcb
				Max. terhelés respirációs kvóciense	QTcf
					QTcv
					T-Te (ms)
					STVrr (ms)
					STVqt (ms)
					Qtdisp
					Pulzus Tmax ekg

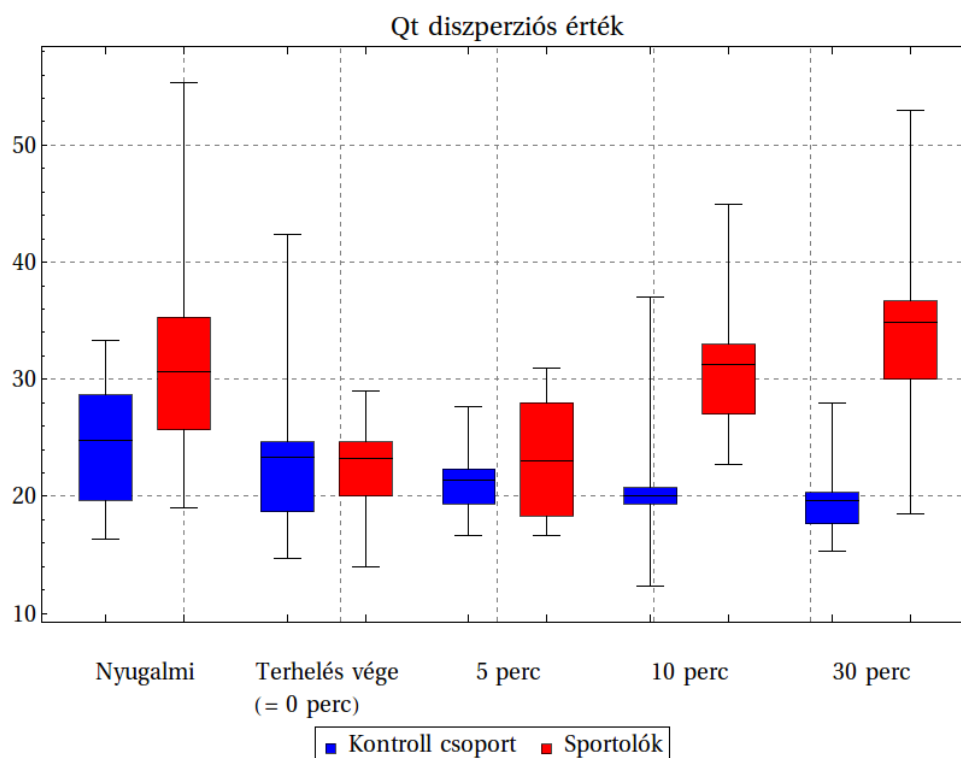
5. ábra. Mért mennyiségek



6. ábra. Noradrenalin vérbeli koncentrációjának időfüggése



7. ábra. Hsp70 fehérje vérbeli koncentrációjának időfüggése



8. ábra. QT diszperzió időfüggése

	Amatőrök és sportolók esetén nem azonos az eloszlása	Férfiak és nők esetén nem azonos az eloszlása
1	Hsp70 K	Spielberger összesen
2	Hsp70 T	Max. terhelhetőség
3	Hsp70 30	Terhelési idő
4	Hsp70 60	Maximális oxigénfelvétel
5	Hsp70 120	Maximális relatív oxigénfelvétel
6	Hsp70 180	
7	NA T	
8	Glükóz K	
9	Glükóz T	
10	Glükóz 180	
11	Pulzus T	
12	Vérnyomás Szisztolé 120	
13	Vérnyomás Diasztolé T	
14	Közép Nyomás MAP T	
15	Közép Nyomás MAP 30	
16	Maximális oxigénfelvétel	
17	Qtdisp 10	
18	Qtdisp 30	

9. ábra. Kétmintás Kolmogorov-Szmirnov próbával végzett homogenitás vizsgálat eredménye ($\alpha = 0.95$)

	Hsp70 K	Hsp70 T	Hsp70 30	Hsp70 60	Hsp70 120	Hsp70 180
Szabadsági fok (f)	10	20	15	15	10	5
Próbastatisztika (χ^2)	18.12	32.91	30.28	16.41	15.27	8.021
p – érték	0.947	0.965	0.989	0.645	0.877	0.845

10. ábra. χ^2 -próbán alapuló becsléses függetlenség vizsgálat eredménye.

	NA-Hps70	QT _{disp.} -Hsp70
Kontroll	0.955	0.93
Sportoló	0.98	0.916

11. ábra. Egymintás Kolmogorov-Szmirnov próbán alapuló normalitás vizsgálat eredménye. (p -értékek, 2. paramétercsoport)

	NA K	NA %-os növekménye a terhelés végére	Hsp70 K	Hsp70 %-os növekménye a terhelés végére
Kontroll mintaközép	339.7	1039.3	746.5	84.2
Sportoló mintaközép	290.7	175.4	386.4	40.2
F-próba p -érték	0.01	0.	0.05	0.58
t/Welch-próba p -érték	0.67	0.97*	0.99*	0.97*

12. ábra. Kétmintás t -próbák és Welch-próbák eredményei, valamint a döntés alapjául szolgáló F -próba eredménye.

	NA-Hps70	QT _{disp.} -Hsp70
Kontroll	$\rho = 0.17$	$\rho = -0.1$
	$t = 0.49$	$t = 0.29$
	$p = 0.37$	$p = 0.22$
Sportoló	$\rho = 0.075$	$\rho = -0.34$
	$t = 0.24$	$t = 1.2$
	$p = 0.18$	$p = 0.75^*$

13. ábra. Korrelációs együtthatók és azok szignifikanciája. (ρ : korrelációs együttható, t : próbastatisztika, p : p -érték)