

# A több évtizeden át tartó testedzés hatása az irizin hormon szintjére

## The effect of decades long training on the irisin hormone

Gombos Zoltán, Torma Ferenc, Kolonics Attila, Radák Zsolt

Testnevelési Egyetem, Molekuláris Edzésélettani Kutató Központ, Budapest

E-mail: gzoltan5@gmail.com

### Összefoglaló

Kutatásunk során célul tűztük ki, hogy felderítsük az élethosszon át tartó edzés hatását a vér irizin szintjére. Vizsgálatunkban edzett és nem edzett közép/időskorú személyek vettek részt. Az irizin hormon, ami egy myokin és adipokin, a fizikai aktivitás során termelődik a peroxiszóma proliferátor aktivált receptor gamma koaktivátor 1 alfa (PGC1A) fehérje jelenlétében. Az irizin számos fontos élettani hatással bír, melyek főként fizikai aktivitás hatására aktiválódnak. Elsősorban a szervezet anyagcsere folyamatait szabályozza, de kapcsolatba hozták már az agyműködéssel és a telomer hosszal is. Legjobb tudomásunk szerint korábban nem vizsgálták még a több évtizedes edzés hatását az irizinre. Eredményeink alapján azt találtuk, hogy az irizin hormon szintje nem mutat korrelációt a  $VO_2max$  értékkel. Többváltozós regressziós analízis alkalmazása során az irizin és a HDL koncentrációja a vérben korrelációt mutatott egymással a különböző funkcionális paraméterek figyelembe vétele mellett. Maximális erő mérés eredményei alapján az edzett és az edzetlen férfi csoport nagyobb maximális erővel rendelkezik, mint az edzett és edzetlen női csoport, azonban a két férfi csoport között nem mutatható ki különbség. Az edzett férfiak robbanékony ereje nagyobb a két női csoporthoz képest. A becsült  $VO_2max$  értékek szignifikánsan magasabbak az edzett férfi csoportban az edzetlen csoportokhoz képest. Az edzett nők magasabb HDL szinttel rendelkeznek, mint az edzetlen férfiak és az edzetlen nők. A HDL, mint előnyös funkciókkal rendelkező lipoprotein, elképzelhető, hogy hasonló élettani adaptációs folyamatok mentén fejti ki a hatásait, mint az irizin. A  $VO_2max$  és az irizin szint között nem találtunk korrelációt, amiből arra következtethetünk, hogy az edzésre adott élettani válaszok komplexebbek annál, minthogy egyetlen mutatóval próbáljuk meg jellemezni azt.

**Kulcsszavak:** több évtizedes testedzés, irizin, HDL, funkcionális paraméterek

### Abstract

The aim of our study was to determine the effects of lifelong training on the level of irisin in the blood. In our study we examined middle/old-aged athletes and non-athletes. The irisin hormone is a myokine and adipokine that is produced in the presence of the peroxisome proliferate activator receptor gamma coactivator 1 alpha (PGC1A) during physical activity. Irisin has lot of physiological roles that are activated mainly during physical activity. One of its main roles is the regulation of the metabolism, but it has a role in brain functions and in the length of the telomere. In our best knowledge we do not know about any studies in which the authors examined the role of irisin on lifelong training. According to our results the level of irisin does not show correlation with the  $VO_2max$ . According to multiple regression analyses the irisin showed correlation with the  $VO_2max$  taking into account the functional parameters. Both trained and untrained male groups had higher maximal strength than the trained and untrained female groups, but there was no difference between the two male groups. Explosive strength was higher in trained males than both of the female groups.  $VO_2max$  was higher in the trained male group than both the non-trained groups. Trained females have higher HDL level than both the non-trained groups. The HDL with an advantageous function lipoprotein has a similar adaptation pathway to that of irisin. The level of irisin and  $VO_2max$  has no correlation, which suggests that the physiological adaptation of the training is so complex that it cannot be characterized with a single parameter.

**Keywords:** decades long training, irisin, HDL, functional parameters

## Bevezetés

Régóta közismert tény, hogy a testedzés, illetve a fizikai aktivitás rendkívül fontos az egészség megőrzésében. A fizikai aktivitás hiánya, ami adódhat különböző betegségek, sérülések vagy akár ágynyugalom következményéből, negatív hatással van a szervezetünkre.

Az izomsejt, mint többmagvú sejt, rendkívül széles spektrumú alkalmazkodással válaszol a különböző ingerekre. Megterhelő, az adott izomban mikrotraumát okozó ingerre hipertrófiával (Gombos és mtsai, 2021), hosszan tartó alacsonyabb intenzitású terhelésre pedig állóképesség növelésével és mitokondriális biogenezissel (Holloszy, 1967) reagál. A  $VO_2\max$  a fizikai fittség, a kardiovaszkuláris funkciók és az állóképesség kiváló mutatója, emellett ismert, hogy a  $VO_2\max$  szintje az életkor előrehaladtával csökken, ami növeli a morbiditás és mortalitás mértékét. A  $VO_2\max$  értéke számos centrális és perifériás tényezőtől függ, többek között a mitokondriumok mennyiségétől és azon enzimeinek aktivitásától, melyek állóképességi edzés hatására növekedést mutatnak (Holloszy, 1967).

A mitokondriális biogenezis egyik mester regulátora a PGC1A, mely többlépcsős molekuláris biológiai folyamatokon keresztül eredményezi a mitokondriumok számbeli növekedését. A mitokondriumok számbeli mennyisége pozitívan korrelál a maximális oxigénfelvétellel (Schwerzmann és mtsai, 1989) és negatívan korrelál a mortalitással (Myers és mtsai, 2002). Spiegelman és munkatársai 2012-ben (Boström és mtsai, 2012) felfedezték az irizin nevű hormont, mely a fent említett PGC1A jelenlétében volt megtalálható. Az irizin egy myokin és egy adipokin is egyben, ami azt jelenti, hogy az izomban és a zsírszövetekben is egyaránt termelődik, majd kijut a véráramba. Az irizin a fibronectin type III domain-containing protein 5 (FNDC5) fehérje PGC1A jelenlétében történő hasítása során keletkezik, ami egy 112 aminosavból álló polipeptid (Elizondo-Montemayor és mtsai, 2018). Az irizin szint negatívan korrelál az életkorral, az inzulin szinttel, az inzulin rezisztenciával, az éhgyomri vércukor szinttel, és a triglicerid szinttel (Huh és mtsai, 2012). Emellett pozitív korrelációt mutat az izomtömeggel és az izomerővel. A fehér zsírszövet irizin termelése csupán az 5%-a az izom által termelt irizinhez képest (Norheim és mtsai, 2014). A viszcerális zsírszövet többet termel, mint a szubkután (Norheim és mtsai, 2014). Több kutatás kimutatta, hogy az irizin jótékony hatással van az agyi funkciókra is (Young és mtsai, 2019). Állat modellben megfigyelték, hogy az edzés hatására megnövekvő FNDC5, és brain-derived neut-

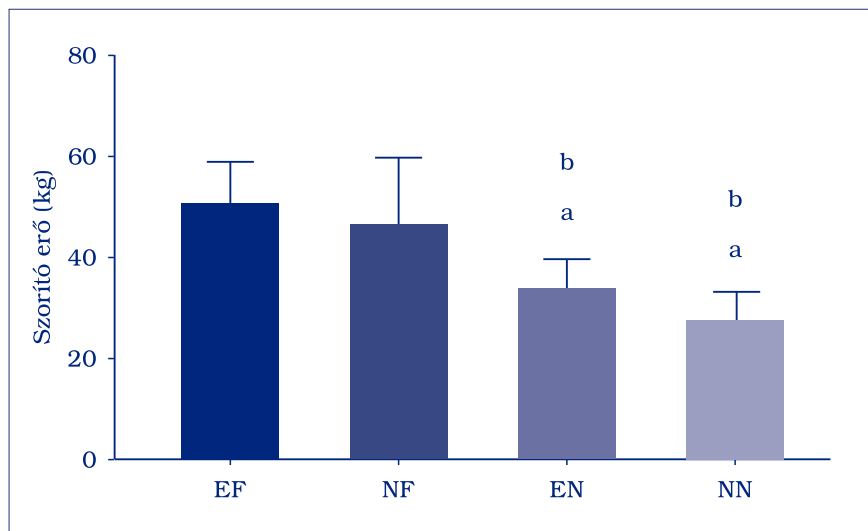
rophic factor (BDNF) emelkedés pozitívan korrelált a hippokampális neurogenézissel (Choi és mtsai, 2018), mely mára már ismert funkciója a BDNF-nek. Az irizin hormonnak „bézsítő” funkciója van, ami azt jelenti, hogy a fehér zsírszövetet barnítja, vagyis átalakítja. Patkányoknál alkalmazott „barnítás” csökkentette a testsúlyt és javította a glükóz homeosztázist (Zhou és mtsai, 2003). Korábbi kutatásokban azt találták, hogy az erőfejlesztő edzés hatására magasabb lett a szérum irizin szintje, szemben az állóképességi edzéssel (Tsuchiya és mtsai, 2015). Akut állóképességi edzés nem mutatott szignifikáns szérum irizinszint emelkedést patkány modellben (Czarkowska-Paczek és mtsai, 2014). Szintén patkány modellnél állóképességi edzést alkalmaztak, magas zsírtartalmú diéta mellett, ahol a kutatók azt találták, hogy edzés hatására a szérum irizin szintje megemelkedett és a testzsír százalékos értéke pedig csökkent (Lu és mtsai, 2016). Humán modellen végzett 8 hetes állóképességi edzés hatására mind a fiatal, mind a középkorú/idős vizsgálati alanyoknak a  $VO_2\max$  szintje megemelkedett az életkori kontrollcsoportéhoz képest. Ellenben a keringő irizin szint csak a középkorú/idős csoportban mutatott eltérést a kontrollcsoportéhoz képest.

Vizsgálati személyeink középidőskorú sportoló és nem sportoló személyek voltak. A sportoló csoportokba evezős versenyzőket választottunk, akik saját bevallásuk alapján gyermekkoruk óta sportolnak. Azért választottuk az evezés sportágat, mert ebben a sportban megjelennek mind a rezisztencia-edzés, mind az állóképességi edzés hatására bekövetkező élettani változások. Jelenlegi ismereteink alapján korábban még nem vizsgálták az élethosszon át tartó edzés hatását a vér irizin szintjére.

## Anyag és módszerek

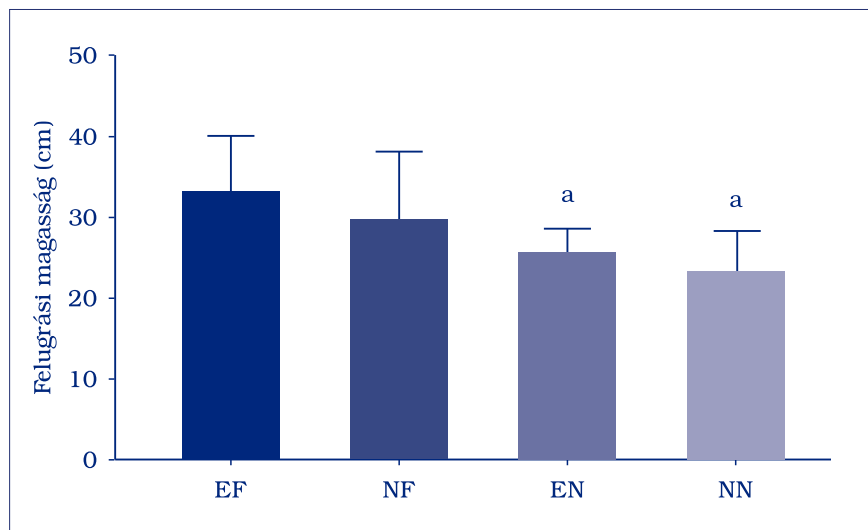
### Alanyok

Vizsgálatunkban 80 középidőskorú személy vett részt, akiket edzettségi státuszuk alapján 4 csoportba osztottunk. Edzett férfi (EF  $n=20$ ;  $60,0 \pm 6,78$  év), edzetlen férfi (NF  $n=19$ ;  $60,89 \pm 10,84$  év), edzett nő (EN  $n=20$ ;  $59,1 \pm 3,18$  év) és edzetlen nő (NN  $n=20$ ;  $59,8 \pm 5,02$  év). Az edzett csoportokba tartozó férfiakat és nőket a 2019-es Masters Evezős világbajnokságon résztvevő sportolók közül vontuk be. Az edzetlen csoportba pedig hirdetés segítségével válogattuk be a korábban nem sportoló alanyokat. Az edzett és edzetlen csoportba önbevallás alapján jutottak be a résztvevők. Mintagyűjtésünket egy többlépcsős teszt sorozattal és vérvétellel végeztük. A vizsgálatunkban csak önkéntesek szerepeltek, a TUKEB etikai engedélyünk száma 25167-6/2019/EÜIG.



**1. ábra.** Az EF és NF csoportok nagyobb szorítóerővel rendelkeznek, mint az EN és NN csoportok. Jelölések: EF: edzett férfi; NF: nem edzett férfi; EN: edzett nő; NN: nem edzett nő; a:  $p < 0,05$  vs. EF; b:  $p < 0,05$  vs. NF;  $p < 0,05$ .

**Figure 1.** The EF and NF group has higher grip strength than EN and NN group. Symboles: EF: exercised male; NF: non-exercised male; EN: exercised female; NN: non-exercised female; a:  $p < 0,05$  vs. EF; b:  $p < 0,05$  vs. NF;  $p < 0,05$ .



**2. ábra.** Az EF csoport nagyobb felugrási magassággal rendelkezik, mint az EN és NN csoportok. Jelölések: EF: edzett férfi; NF: nem edzett férfi; EN: edzett nő; NN: nem edzett nő; a:  $p < 0,05$  vs. EF;  $p < 0,05$ .

**Figure 2.** The EF group has higher jump max than EN and NN group. Symboles: EF: exercised male; NF: non-exercised male; EN: exercised female; NN: non-exercised female; a:  $p < 0,05$  vs. EF;  $p < 0,05$ .

### Tesztek

A tesztek 3 fiziológias vizsgálatot tartalmaztak, melyek a maximális kézi szorítóerő mérésből, maximális felugrásból és egy step tesztből álltak. A kézi szorítóerő méréssel (Electronic hand dynamometer EH110) a test maximális erejére tudunk következtetni (Trosclair és

mtsai, 2011). A teszt végrehajtása során arra kértük a vizsgálati személyeket, hogy jobb-bal kéz váltakozásával háromszor ismételve szorítsák meg az eszközt körülbelül 2 másodpercen keresztül a lehető legnagyobb erő kifejtéssel. A felugrásos teszt egy linear encoder (Muscle Lab, Norvégia) nevű készülék alkalmazásával végrehajtott csípőre tartásos counter movement jump (CMJ) volt, amivel az alsó testfél robbanékony erejére tudunk következtetni. A felugrás során azt kértük a résztvevőktől, hogy a lehető legmagasabbra ugorjanak a legnagyobb sebességgel, ahogy csak tudnak, amit háromszor kellett ismételniük. Az előző két teszt során detektált legnagyobb értéket vettük figyelembe. Végül pedig Chaster steptest gyakorlattal becsültük a  $VO_2$ max értéket, aminek a spiroergométeres vizsgálatokkal összehasonlítva erős korrelációja van (Sykes és Roberts, 2004). A teszt vagy az egyéni maximális pulzus 80%-nál ( $(220 - \text{életkor}) \cdot 0,8$ ) ért véget vagy a 10 perces teszt végén, ha nem érte el a kitűzött végső pulzus értéket. A teszt végrehajtása során maximum 5x2 percig kellett egy 15 cm magas zsámolyra fellépni csípőre tartással. A 2 perces intervallumok után rövid szünetet követően (5 sec) a lépések üteme megemelkedett. A vizsgálati személyek addig hajtották végre a feladatot, míg a pulzus értékük el nem érte az egyénileg becsült maximális pulzus 80%-át ( $208 - 0,7 \cdot \text{életkor}$ ; Tanaka protokoll).

### Vérvétel

A vérvételt a step teszt előtt hajtották végre erre képzett személyzet, annak érdekében, hogy a teszt során bekövetkező fiziológias változások ne zavarják meg a vérkép eredményét. Vérvételi eljárást az irizin hormonnak és a HDL szintjének, mint alapvető vérparaméter detektálásához alkalmaztunk.

### Irizin kit

Immunkémiai eljárással detektáltuk a vérben lévő irizin koncentrációját. Ehhez egy kolorimetriás módszert használtunk, melyet egy spektrofotométerrel detektáltunk (Polyzos és Mantzoros, 2015).

### Statisztikai eljárások

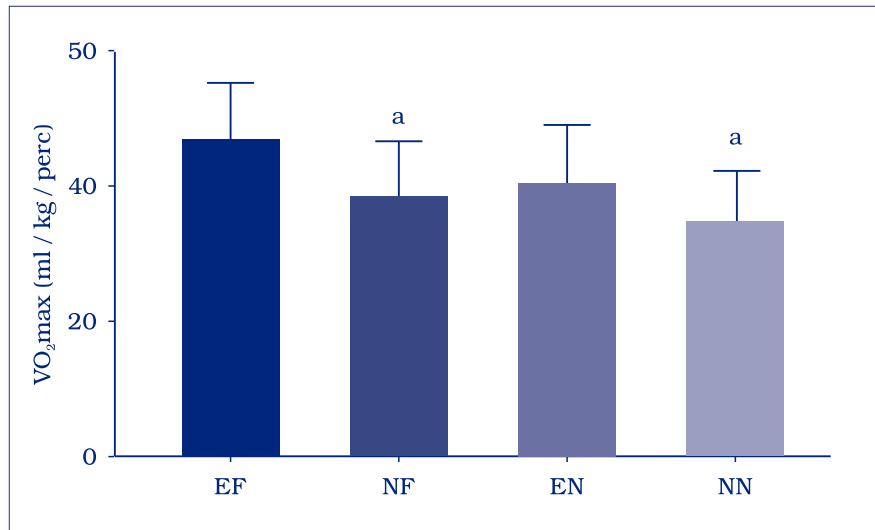
Normalitás vizsgálat után a megfelelő paraméteres, illetve nem paraméteres vizsgálati módszereket alkalmaztuk a következőképpen. A csoportok közötti különbségeket adott paraméterre vonatkoztatva One-Way ANOVA-val vizsgáltuk. Az egyes változók egymáshoz való függését többváltozós regressziós analízissel elemeztük. A statisztikai eljárásokhoz Statistica programot alkalmaztuk.

### Eredmények

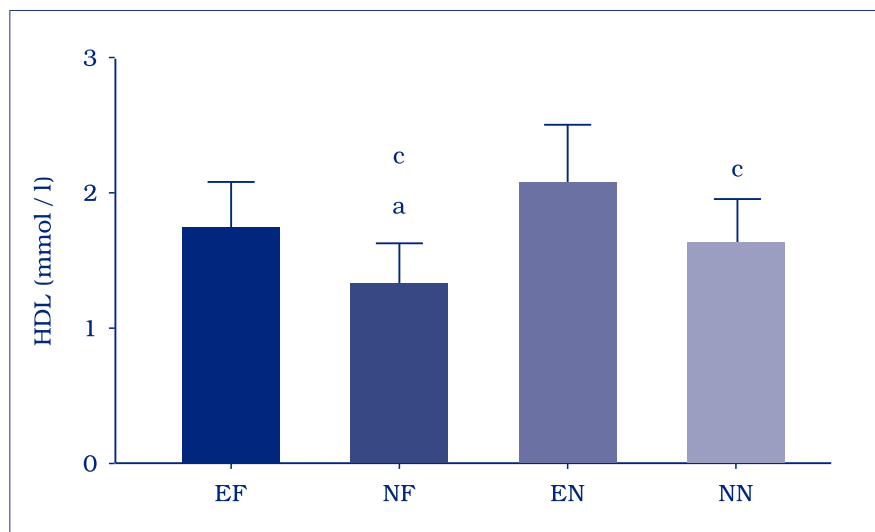
Az egész test maximális erejének meghatározására használt kézi szorítóerő mérés eredményei alapján mindkét férfi csoport nagyobb maximális erővel rendelkezik, mint a két női csoport (1. ábra), azonban a két férfi csoport között nem mutatható ki különbség. A felugrási magasság adatokból azt látjuk, hogy csak az edzett férfiak robbanékony ereje volt nagyobb szignifikánsan a két női csoportéhoz képest (2. ábra). A step teszt által becsült  $VO_2max$  értékek szignifikánsan magasabbak az edzett férfi csoportban az edzetlen csoportokhoz képest (3. ábra). A HDL szint magasabb volt az edzett férfiaknál, az edzetlen férfiakhoz képest. Az edzett nők magasabb HDL szinttel rendelkeznek, mint az edzetlen férfiak és az edzetlen nők (4. ábra).

Többváltozós regressziós analízis alkalmazása során, mikor az irizin szintet vizsgáltuk, mint független tényezőt, azt találtuk, hogy az irizin negatívan korrelál az életkorral, pozitívan a HDL szinttel. Nem találtunk kapcsolatot a  $VO_2max$  értékkel és mindezen változók figyelembe vételével a nőknél magasabb irizin szintet találtunk (5. ábra). Szintén ezen eljárás alkalmazása során, amikor a  $VO_2max$  érték helyett a szorítóerő értéket

vettük figyelembe, azt találtuk, hogy az irizin szint nem függ össze az életkorral, pozitívan korrelál a HDL szinttel, és szintén magasabb értéket mutat nőknél (6. ábra). Abban az esetben, amikor a felugrási magasságot használtuk a funkcionális paraméterek közül, azt találtuk, hogy az irizin szint negatívan korrelál az életkorral és pozitívan a HDL szinttel (7. ábra).

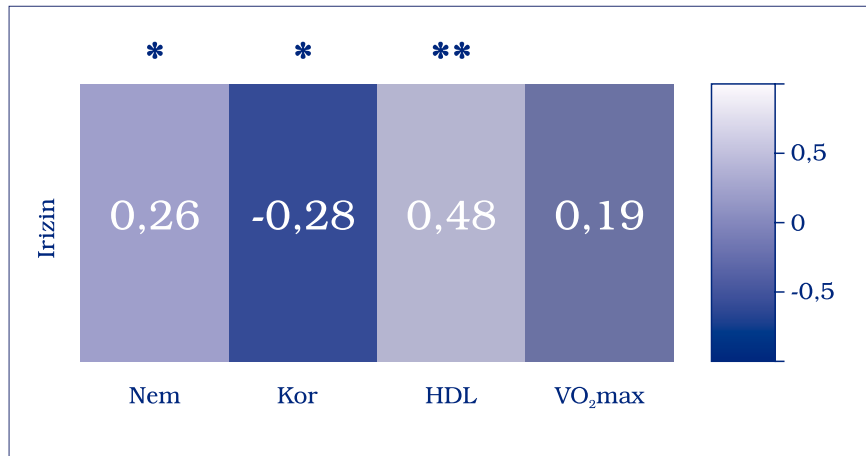


**3. ábra.** Az EF csoport nagyobb  $VO_2max$  értékkel rendelkezik, mint az NF és az NN csoportok. Jelölések: EF: edzett férfi; NF: nem edzett férfi; EN: edzett nő; NN: nem edzett nő; a:  $p < 0,05$  vs. EF;  $p < 0,05$ .  
**Figure 3.** The EF group has higher  $VO_2max$  than NF and NN group. Symboles: EF: exercised male; NF: non-exercised male; EN: exercised female; NN: non-exercised female; a:  $p < 0.05$  vs. EF;  $p < 0.05$ .



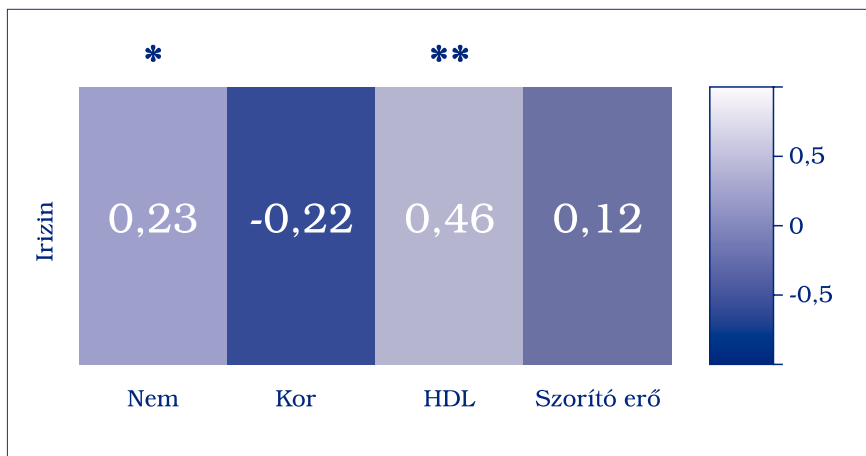
**4. ábra.** Az EF csoport magasabb HDL szinttel rendelkezik, mint az NF csoport. Az EN csoport nagyobb HDL szinttel rendelkezik, mint az NF és az NN csoport. Jelölések: EF: edzett férfi; NF: nem edzett férfi; EN: edzett nő; NN: nem edzett nő; a:  $p < 0,05$  vs. EF; c:  $p < 0,05$  vs. EN;  $p < 0,05$ .  
**Figure 4.** The EF group has higher HDL than NF group. The EN group has higher HDL level than NF and NN group. Symboles: EF: exercised male; NF: non-exercised male; EN: exercised female; NN: non-exercised female; a:  $p < 0.05$  vs. EF; c:  $p < 0.05$  vs. EN;  $p < 0.05$ .





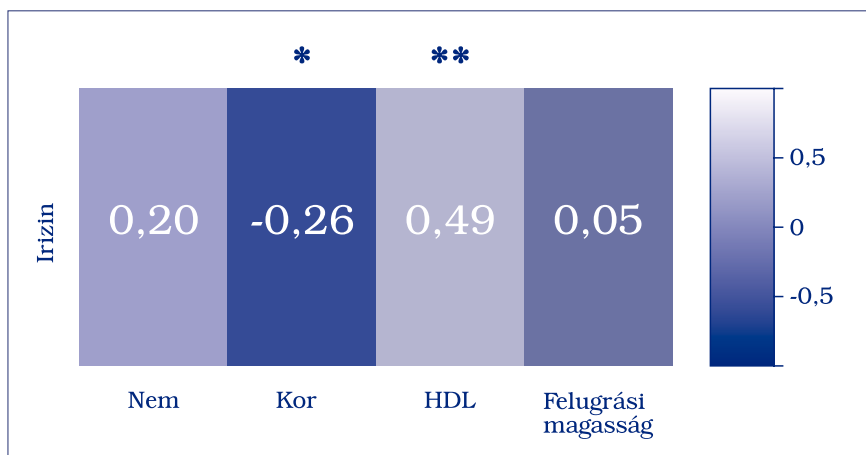
**5. ábra.** Az irizin viszonya a különböző paraméterekhez a VO<sub>2</sub>max figyelembe vételével. Jelölések: \*: p<0,05, \*\*: p<0,01.

**Figure 5.** The relation of irisin to the different parameters taken into consideration to VO<sub>2</sub>max. Symboles: \*: p<0.05, \*\*: p<0.01.



**6. ábra.** Az irizin viszonya a különböző paraméterekhez a szorító erő figyelembe vételével. Jelölések: \*: p<0,05, \*\*: p<0,01.

**Figure 6.** The relation of irisin to the different parameters taken into consideration to grip strength. Symboles: \*: p<0.05, \*\*: p<0.01.



**7. ábra.** Az irizin viszonya a különböző paraméterekhez a felugrási magasság figyelembe vételével. Jelölések: \*: p<0,05, \*\*: p<0,01.

**Figure 7.** The relation of irisin to the different parameters taken into consideration to jump max. Symboles: \*: p<0.05, \*\*: p<0.01..

## Megbeszélés és következtetések

Az irizin hormon élettani hatásai szisztematikusak. A testedzés, mint szisztematikus választ kiváltó faktor, a szervezet több területére pozitív hatással bír. Jelen kutatásunk az irizin szint és a különböző funkcionális és fiziológias paraméterek kölcsönhatásait hivatott vizsgálni. Eredményeinkből kiderült, hogy az élet-hosszon át tartó edzés jótékony hatással van a maximális erő kifejtésére, a robbanékony erőre és a kardiovaszkuláris fitneszre. Emellett pedig a vér HDL, azaz a „hasznos funkciókkal rendelkező” lipoprotein szintjére.

Többváltozós regressziós analízis segítségével kimutattuk, hogy több esetben is kapcsolat van az életkor és az irizin szint között, emellett pedig bármely változó bevonása mellett is azt találtuk, hogy a HDL szint és az irizin függ egymástól.

Lassú izomrostokban nagyobb irizin termelődést találtak, mint a gyors izomrostokban (Roca-Rivada és mtsai, 2013), ami a lassú rostokban található magasabb PGC1A mennyiséghez köthető. Idős vizsgálati személyeknél, akik állóképességi és rezisztencia edzést is folytattak, kétszeres növekedést találtak az izom FNDC5 és a vér irizin szintjében a kontrollcsoportéhoz képest (Boström és mtsai, 2012), melyek az általunk folytatott kutatás során is részben igazolódtak. Más kutatásnál azt találták, hogy edzés hatására időseknél megnőtt, míg fiataloknál nem történt emelkedés az FNDC5 expresszióban (Timmons és mtsai, 2012). 12 hetes erőfejlesztő edzés hatására idős személyeknél az emelkedett irizin szint negatív korrelációt mutatott a testszír százalékkal (Zhao és mtsai, 2017). Állóképességi edzés hatására emelkedett szérumszintű irizin szintet találtak közép/idoőskorú személyeknél edzés

hatására (Miyamoto-Mikami és mtsai, 2015). Patkány kísérlet során edzés hatására emelkedett irizin szintet találtak mind a fiatal, mind az idős állatoknál (Aydin és mtsai., 2014).

A májban az irizin az AMPK-SREBP2 útvonalon keresztül csökkenti a koleszterin szintézist (Tang és mtsai, 2016). A HDL, ami szintén koleszterin szint csökkentő hatással bír, esetünkben azonban megemelkedett, ami csökkent koleszterin szintre engedhetne következtetni minket, de ennek bizonyítására további vizsgálatok szükségesek. Túlsúlyos vizsgálati alanyoknál állóképességi edzés hatására szintén megnövekedett szérum irizin szintet találtak, ami korrelációt mutatott a plazma NO szintjével, emellett pedig negatív korrelációt találtak a szérum irizin szintje és a pulzushullám sebessége között (Inoue és mtsai, 2020).

Nem találtunk korrelációt az irizin és a  $VO_2\max$  között többváltozós regressziós analízisünk során, annak ellenére, hogy a PGC1A és annak útvonalai egy közös „mezsgye”. Ez alatt azt értjük, hogy az irizin hasadása FNDC5-ből PGC1A dependens, ami pedig az egyik mester regulátora a mitokondriális biogenezisnek. A megnövekedett mitokondrium szám pedig a  $VO_2\max$  emelkedés egyik kulcseleme. Kutatási eredményeinkből arra következtetünk, hogy mivel az emelkedett  $VO_2\max$ , ami az egyén kardiovaszkuláris fittségének mutatója, nem mutatott szignifikáns kapcsolatot az irizin szinttel többváltozós regressziós analízis során, ez arra utalhat, hogy az edzésre adott élettani válaszok komplexebbek annál, mint, hogy egyetlen élettani mutatóval jellemezhesük. A HDL, mint „előnyös funkciókkal rendelkező” lipoprotein, elképzelhető, hogy hasonló élettani adaptációs folyamatok mentén fejt ki a hatásait, mint az irizin. Mivel a HDL szint korrelációt mutatott az irizinnel, elképzelhetőnek tartjuk, hogy egyes edzésparamétereket egy HDL mérésből is becsülhetünk irizin mérés nélkül. Jelen eredményekből kiindulva, a továbbiakban egy hosszútávú adaptációs kutatásban vizsgáljuk az időskorban elkezdett rendszeres edzés hatását az irizin szintre és egyéb fiziológias paraméterekre.

Az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-20-3 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült. **ÚNKP-20-3-II-TE-5**

## Felhasznált irodalom

- Aydin, S., Kuloglu, T., Aydin, S., Eren, M.N., Celik, A., Yilmaz, M., Kalayci, M., Sahin, İ., Gungor, O., Gurel, A., Ogeturk, M., Dabak, O. (2014): Cardiac, skeletal muscle and serum irisin responses to with or without water exercise in young and old male rats: Cardiac muscle produces more irisin than skeletal muscle. *Peptides*, **52**: 68-73.
- Boström, P., Wu, J., Jedrychowski, M.P., Korde, A., Ye, L., Lo, J.C., Rasbach, K.A., Boström, E.A., Choi, J.H., Long, J.Z., Kajimura, S., Zingaretti, M.C., Vind, B.F., Tu, H., Cinti, S., Højlund, K., Gygi, S.P., Spiegelman, B.M. (2012): A PGC1- $\alpha$ -dependent myokine that drives brown-fat-like development of white fat and thermogenesis. *Nature*, **481**: 7382. 463-468.
- Choi, S.H., Bylykbashi, E., Chatila, Z.K., Lee, S.W., Pulli, B., Clemenson, G.D., Kim, E., Rompala, A., Oram, M.K., Asselin, C., Aronson, J., Zhang, C., Miller, S.J., Lesinski, A., Chen, J.W., Kim, D.Y., van Praag, H., Spiegelman, B.M., Gage, F.H., Tanzi, R.E. (2018): Combined adult neurogenesis and BDNF mimic exercise effects on cognition in an Alzheimer's mouse model. *Science (New York, N.Y.)*, **361**: 6406. eaan8821.
- Czarkowska-Paczek, B., Zendzian-Piotrowska, M., Gala, K., Sobol, M., Paczek, L. (2014): One session of exercise or endurance training does not influence serum levels of irisin in rats. *Journal of Physiology and Pharmacology: An Official Journal of the Polish Physiological Society*, **65**: 3. 449-454.
- Elizondo-Montemayor, L., Mendoza-Lara, G., Gutierrez-DelBosque, G., Peschard-Franco, M., Nieblas, B., Garcia-Rivas, G. (2018): Relationship of circulating irisin with body composition, physical activity, and cardiovascular and metabolic disorders in the pediatric population. *International Journal of Molecular Sciences*, **19**: 12. E3727.
- Gombos, Z., Koltai, E., Torma, F., Bakonyi, P., Kolonics, A., Aczel, D., Ditroi, T., Nagy, P., Kawamura, T., Radak, Z. (2021): Hypertrophy of rat skeletal muscle is associated with increased SIRT1/Akt/mTOR/S6 and suppressed Sestrin2/SIRT3/FOXO1 levels. *International Journal of Molecular Sciences*, **22**: 14. 7588.
- Holloszy, J.O. (1967): Biochemical adaptations in muscle. Effects of exercise on mitochondrial oxygen uptake and respiratory enzyme activity in skeletal muscle. *The Journal of Biological Chemistry*, **242**: 9. 2278-2282.

- Huh, J.Y., Panagiotou, G., Mougios, V., Brinkoetter, M., Vamvini, M.T., Schneider, B.E., Mantzoros, C.S. (2012): FNDC5 and irisin in humans: I. Predictors of circulating concentrations in serum and plasma and II. mRNA expression and circulating concentrations in response to weight loss and exercise. *Metabolism*, **61**: 12. 1725-1738.
- Inoue, K., Fujie, S., Hasegawa, N., Horii, N., Uchida, M., Iemitsu, K., Sanada, K., Hamaoka, T., Iemitsu, M. (2020): Aerobic exercise training-induced irisin secretion is associated with the reduction of arterial stiffness via nitric oxide production in adults with obesity. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, **45**: 7. 715-722.
- Lu, Y., Li, H., Shen, S.-W., Shen, Z.-H., Xu, M., Yang, C.-J., Li, F., Feng, Y.-B., Yun, J.-T., Wang, L., Qi, H.-J. (2016): Swimming exercise increases serum irisin level and reduces body fat mass in high-fat-diet fed Wistar rats. *Lipids in Health and Disease*, **15**: 93.
- Miyamoto-Mikami, E., Sato, K., Kurihara, T., Hasegawa, N., Fujie, S., Fujita, S., Sanada, K., Hamaoka, T., Tabata, I., Iemitsu, M. (2015): Endurance training-induced increase in circulating irisin levels is associated with reduction of abdominal visceral fat in middle-aged and older adults. *PloS One*, **10**: 3. e0120354.
- Myers, J., Prakash, M., Froelicher, V., Do, D., Partington, S., Atwood, J.E. (2002): Exercise capacity and mortality among men referred for exercise testing. *The New England Journal of Medicine*, **346**: 11. 793-801.
- Norheim, F., Langlete, T. M., Hjorth, M., Holen, T., Kielland, A., Stadheim, H.K., Gulseth, H.L., Birkeland, K.I., Jensen, J., Drevon, C.A. (2014): The effects of acute and chronic exercise on PGC-1 $\alpha$ , irisin and browning of subcutaneous adipose tissue in humans. *The FEBS Journal*, **281**: 3. 739-749.
- Polyzos, S.A., Mantzoros, C.S. (2015): An update on the validity of irisin assays and the link between irisin and hepatic metabolism. *Metabolism*, **64**: 9. 937-942.
- Roca-Rivada, A., Castelao, C., Senin, L.L., Landrove, M.O., Baltar, J., Belén Crujeiras, A., Seoane, L.M., Casanueva, F.F., Pardo, M. (2013): FNDC5/irisin is not only a myokine but also an adipokine. *PLoS One*, **8**: 4. e60563.
- Schwerzmann, K., Hoppeler, H., Kayar, S.R., Weibel, E.R. (1989): Oxidative capacity of muscle and mitochondria: Correlation of physiological, biochemical, and morphometric characteristics. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **86**: 5. 1583-1587.
- Sykes, K., Roberts, A. (2004): The Chester step test – A simple yet effective tool for the prediction of aerobic capacity. *Physiotherapy*, **90**: 4. 183-188.
- Tang, H., Yu, R., Liu, S., Huwatibieke, B., Li, Z., Zhang, W. (2016): Irisin inhibits hepatic cholesterol synthesis via AMPK-SREBP2 signaling. *EBioMedicine*, **6**: 139-148.
- Timmons, J.A., Baar, K., Davidsen, P.K., Atherton, P.J. (2012): Is irisin a human exercise gene? *Nature*, **488**: 7413. E9-10; discussion E10-11.
- Trosclair, D., Bellar, D., Judge, L.W., Smith, J., Mazzerat, N., Brignac, A. (2011): Hand-grip strength as a predictor of muscular strength and endurance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, **25**: S99.
- Tsuchiya, Y., Ando, D., Takamatsu, K., Goto, K. (2015): Resistance exercise induces a greater irisin response than endurance exercise. *Metabolism: Clinical and Experimental*, **64**: 9. 1042-1050.
- Young, M.F., Valaris, S., Wrann, C.D. (2019): A role for FNDC5/Irisin in the beneficial effects of exercise on the brain and in neurodegenerative diseases. *Progress in Cardiovascular Diseases*, **62**: 2. 172-178.
- Zhao, J., Su, Z., Qu, C., Dong, Y. (2017): Effects of 12 Weeks Resistance Training on Serum Irisin in Older Male Adults. *Frontiers in Physiology*, **8**: 171.
- Zhou, Z., Yon Toh, S., Chen, Z., Guo, K., Ng, C.P., Ponniah, S., Lin, S.-C., Hong, W., Li, P. (2003): Cidea-deficient mice have lean phenotype and are resistant to obesity. *Nature Genetics*, **35**: 1. 49-56.

## XIX. Országos Sporttudományi Kongresszus

2022. Szeged