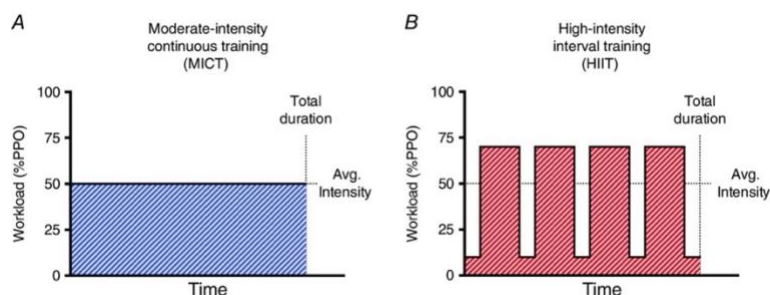


Magas intenzitású intervallumos edzés (HIIT) akut hatásai a BDNF-re, VEGF-re, immun citokinekre és oxidatív stresszre egyetemi élsportolók és egyetemi amatőr sportolók körében

Bevezetés

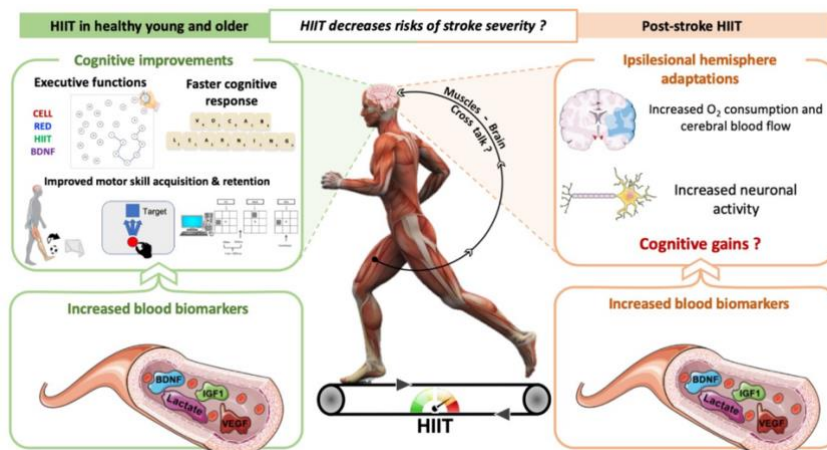
A fizikai aktivitás minden izom összehúzódással járó hely- vagy helyzetváltoztató tevékenység, amely során a szervezetünk energiát használ fel, ezzel szemben az edzés egy meghatározott cél érdekében történő tudatos, tervszerű, tudományos alapokon nyugvó, konkrét céllal bíró, vagyis konkrét funkciója van, tehát funkcionális tevékenység, mely során az egyén teljesítőképessége és teljesítőkészsége is formálódik (RADÁK, 2019; BALOGH és mtsai. 2015; DASSON, 2019; DUBECZ J, 2009). A különböző típusú edzések más-más célok elérését teszik lehetővé. A magas intenzitású intervallumos edzés - high intensity intervall training (HIIT) az intervallumos edzések közé sorolható, amely folyamán az intenzív munkaszakaszok és a pihenő szakaszok szabályosan és tervszerűen váltakoznak (FOX és mtsai., 1973). A HIIT során a munka szakaszban a pulzusszám eléri a maximális pulzusszám 75-90%-át, amely 30 másodperctől több percig is tarthat, a pihenési szakaszban a sportoló aktív pihenést végez (ITO és SHIGERONI, 2019).



1. ábra: HIIT és a CMIT intenzitásának grafikus ábrázolása, Forrás: (MacInnis, Gibala 2016)

Ezen edzéstípus teljeskörű krónikus élettani hatásait számos nemzetközi tanulmány vizsgálja. Tanulmányok megállapították, hogy a HIIT hatékonyabban növeli a VO₂max-ot, mint a klasszikus MICT (GIST és mtsai., 2013; MEKARI 2020; GIBALA 2006; MILANOVIC és mtsai., 2016; BACON és mtsai., 2013; WESTON és mtsai., 2014). Az orvostudomány egyik fő céljává vált, hogy a VO₂max javításával fejlessze az egészségi állapotot (ITO és SHIGERONI, 2019). Többek között kutatások megállapították, hogy az aerob kapacitás (VO₂max) a legjelentősebb előrejelzője a jövőbeli egészségnek, az összhalálozásnak (MYERS és mtsai., 2002; DC LEE és mtsai., 2011) és a kardiovaszkuláris kockázatnak (MYERS és mtsai., 2015; DEFINA, 2015). A legújabb bizonyítékok azt mutatják, hogy a edzés pozitív hatással lehet az

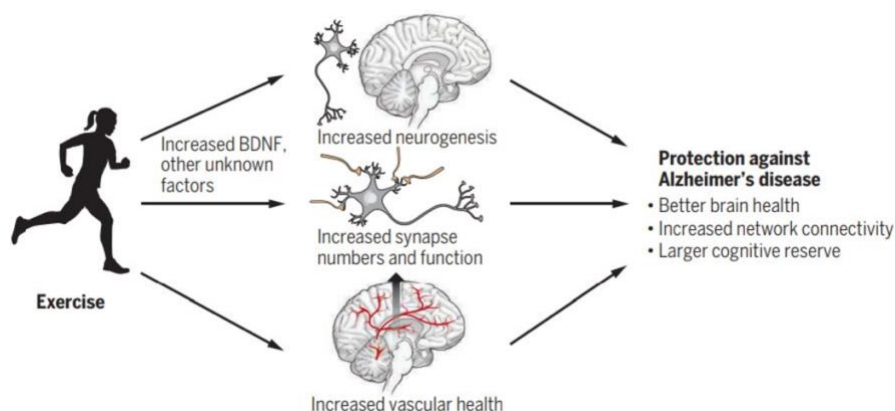
agy egészségére mivel specifikus folyamatokat aktivál, amelyek elősegítik a szinaptikus plaszticitást, a növekedést és a neuronok túlélését (VAYMAN és mtsai., 2004, 2005; 2006). A kognitív funkciókat, beleértve a figyelmet, a végrehajtó funkciókat és a memóriát, az emberi agy egyik legfontosabb magasabb rendű funkciójának tekintik (ARIDI és mtsai., 2017). Számos tanulmány arra utal, hogy az akut HIIT hatása a kognitív funkciókra egészséges fiatal felnőtteknél összefügg a HIIT intenzitásával (RADÁK és mtsai., 2006; HASHIMOTO és mtsai., 2018; LUDYGA és mtsai., 2019; SCHWARCK és mtsai., 2019; TIAN és mtsai., 2021). Az egyetemi sport átmenetet képezhet a nemzetközi élsport és a rekreációs célú sport között, hiszen itt a sportolók még részt vesznek az oktatásban és emellett komoly szintű sportolási lehetőségeket biztosíthat nekik az egyetem, amely idő alatt eldől, hogy a sportoló alkalmas-e a későbbiekben a nemzetközi élsport mezőnyben való részvételre. Azonban az általunk vizsgált biomarkerek (VEGF, BDNF, IGF-1) és az oxidatív stressz tekintetében még nem történt olyan összehasonlító elemzés, amely az amatőr egyetemi sportolók és profi egyetemi sportolók között történt volna akut HIIT hatására.



2. ábra: A HIIT edzés komplex élettani hatásai, Forrás: Hughes és mtsai, 2021

A krónikus edzésélettani hatások mellett fontosnak tartjuk megvizsgálni az akut hatásokat is, mivel a rendszeresen ismétlődő akut hatások krónikus adaptációs folyamatokat indíthatnak el. Az aerob állóképességi és rezisztencia edzésre adott akut válaszok ellentmondásosak a VEGF szempontjából, egyes tanulmányok kimutatták, a BDNF, VEGF, IGF-1 szint növekedését (ETNIER és mtsai., 2016; KNAPEN és mtsai., 2010; GAVIN és mtsai., 2007;), más tanulmányok viszont csökkenésről vagy a változás elmaradásáról számolnak be (SWIFT és mtsai., 2012; RANJBAR és mtsai., 2014). Számos tanulmány bemutatja, hogy az akut vagy krónikus edzés növeli a BDNF szintet (KNAPEN és mtsai., 2010; LAMBOURNE és mtsai., 2010; CHANG és mtsai., 2012; HUANG és mtsai., 2014), többek között kutatásokban olvashatjuk, hogy már egyetlen edzés is növeli a BDNF szintet (SEIFERT

és mtsai., 2010; NOFUJI és mtsai., 2012; CHO és mtsai., 2012). A BDNF egy neurotrofin, amely a központi idegrendszer olyan funkcióit szabályozza, mint a neurogenesis, a neuroprotekcio, a neuroregeneracio, a sejtek túlélése, valamint a neuronok közötti szinaptikus kapcsolatok kialakulása és fenntartása (LISPKY és mtsai., 2007; VAYMAN és mtsai., 2004; VAYMAN és mtsai. 2003). Többek között a BDNF hozzájárul a kognicio fejlődéséhez, a hippocampus aktivitásának növelésével és az angiogenesishez. A legújabb szakirodalmak szerint ezek a biológiai tevékenységek kulcsfontosságúak a tanulás és a memória fejlődésében, és hatékonyan hozzájárulnak a jobb tanulmányi teljesítményhez (GOLDFIELD, GRAY és mtsai., 2018; SZUHANY és mtsai., 2015). Ezek mellett a BDNF fontos szerepet játszik számos agyi plaszticitási folyamat tekintetében, szabályozhatja az anyagcsere funkciókat (zsíroxidáció és glükózfelvétel), hozzájárulhat a szív- és érrendszeri állapot javulásához, és csökkentheti a neurodegeneratív betegségek kockázatát (FETER N és mtsai., 2019). Tanulmányok szerint a BDNF elsősorban az agyban – a hippocampusban - termelődik, amelynek egy része átjut a vér-agy gáton (LOMMATZCH és mtsai., 2005) és a perifériára jut, ahol a plazmában és a szérumban mérhető (PAN és mtsai., 1998). Más kutatásokban viszont azt is olvashatjuk, hogy a BDNF-szintézis más lehetséges lokalizációja a vázizomzat sejtjei (MATTHEWS és mtsai., 2009; OZAN és mtsai., 2010). Eken és munkatársai (2022) bemutatták, hogy az agy a perifériás BDNF 70-80%-át szabadítja fel edzés közben. Mivel BDNF könnyen átjut a vér-agy gáton, a perifériás BDNF-felhalmozódás az agyban végbemenő változások indikátora (RASMUSSEN és mtsai., 2009). Számos tanulmány vizsgálja a BDNF szint növekedését, amely a fizikai aktivitás intenzitásának fokozásával arányosan növekszik (MARQUEZ és mtsai., 2015; MÜLLER és mtsai., 2020), ezen okból kifolyólag választottuk kutatásunk edzés módszerének a HIIT edzést.



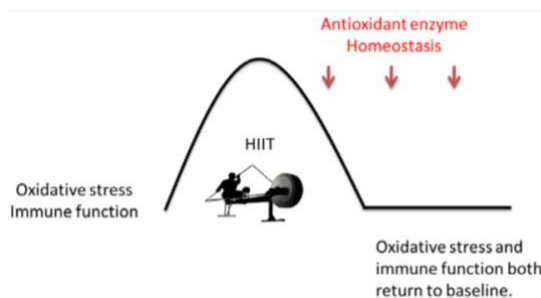
3. ábra: Az edzés hatására termelődő BDNF hatásai az idegrendszerre és a szervezetre, Forrás: Spires és mtsai., 2018

A HIIT mellet szól még az érv, hogy összehasonlító tanulmányokban olvashatjuk, hogy a HIIT edzés alatt nagyobb BDNF-szint növekedés figyelhető meg, mint egy mérsékelt intenzitású

folytonos edzés esetében, ebből következtethetünk arra, hogy HIIT edzés hatékony stratégia lehet az agy egészségének előmozdítására a BDNF-hez kapcsolódó mechanizmusokon keresztül (MARQUEZ és mtsai., 2015; AZEVEDO és mtsai., 2020).

Tanulmányok azt írták le, hogy az aerob kapacitás javításában fontos szerepet játszik a vázizmokban történő angiogenezis, mivel a vázizmok így tudnak adaptálódni az edzéshez. Ezen adaptációból következően az az anyagcsere folyamatok javulnak az izomzatban (BAYATI és mtsai., 2018; HEDBERG, 2022). Az izomtevékenység során ugyanis a metabolikus igény és a hipoxia hatására olyan sejtszintű jelzések jönnek létre, amelyek növelik az angiogén faktorok termelését. A legfontosabb faktor a folyamatban a VEGF (Hoier és Hellsten, 2014). A VEGF (vascular endothel growth faktor - vaszkuláris endotél növekedési faktor) serkenti az angiogenezist, és növeli a kapillárisok áteresztőképességét (YANCOPOULOS és mtsai. 2000). Az edzés intenzitása meghatározó tényező a VEGF szekrécióban. Wahl és munkatársai (2010) összehasonlító elemzésében a HIIT edzést és magas intenzitású folytonos edzést hasonlították össze, az eredmények arra mutattak rá, hogy 10 perc munkavégzést követően megemelkedett a VEGF szint, de kitartó terhelésnél nem emelkedett magasabbra. Több tanulmány is összehasonlított a HIIT és a CMIT (continous moderate intensity training-folytonos mérsékelt intenzitású edzés) módszerét és azt találták, hogy a HIIT hatékonyabban támogatja a VEGF szekréciót (FERRIS és mtsai., 2007; MARQUEZ és mtsai., 2015; WAEVER és mtsai., 2021). A vaszkuláris endotél növekedési faktor (VEGF), az angiogenezist serkentő jelzőfehérje, az idegi regeneráció javításával döntő szerepet játszik a kognitív funkciókban (Morland és mtsai., 2017).

A hosszan tartó, nagy intenzitású edzés jelentős szisztémás gyulladásos és oxidatív stresszreakciókat vált ki (ZWESTLOOT és mtsai., 2017). A rendszeres edzés viszont bizonyítottan növeli az antioxidáns kapacitást ezáltal csökkenti az oxidatív stresszt, míg egy egyszeri edzés oxidatív stresszhez vezethet (RADÁK és mtsai., 2016; K.KEANE, 2014; RADÁK és mtsai., 2008).



4. ábra: Az oxidatív stressz és imuunfunkciók változásának lehetséges mechanizmusa, Forrás: (Lee és mtsai., 2023)

Az, hogy az edzés milyen mértékben indukál oxidatív stresszt, különböző tényezőktől függ, például az edzés típusától, módjától, gyakoriságától, időtartamától és intenzitásától (JOHNSON és mtsai., 2012). Egy tanulmány arról számolt be, hogy az akut alacsony- és közepes folytonos intenzitású edzés nem elég intenzív az antioxidáns kapacitás javításához és ezáltal az oxidatív stressz csökkentéséhez (TAKAHASHI és mtsai., 2012). Azonban a HIIT edzésre vonatkozó akut válaszokat még nem sokan vizsgálták. A sejtek az anyagcsere folyamatok részeként folyamatosan szabad gyököket és reaktív oxigénfajokat termelnek, amelyet egy enzimekből álló, bonyolult antioxidáns védelmi rendszer semlegesíti, ezen egyensúly felborulását nevezzük oxidatív stressznek. Az oxidatív stressz számos rendellenesség, köztük a szív- és érrendszeri betegségek, a neurodegeneratív betegségek, a cukorbetegség és számos ráktípus patogenezisében kiváltója lehet (CAMPBELL és mtsai., 2010). A reaktív gyökök (ROS) termelésének mértéke valószínűleg a FITT-elvtől (Frequency, Intensity, Type, Time) függ, mivel minden edzés energiai igénye, oxigénszintje és az oxigéntartalma eltérő (FISHER-WELLMAN és mtsai., 2009). Ezért valószínű, hogy az edzés módja, intenzitása, időtartama, valamint az edzettség mind hatással van az oxidáció mértékére (FISHER-WELLMAN és mtsai., 2009). A rövid és közepes időtartamú, mérsékelt intenzitású folyamatos edzés (CMIT) általánosan elismert, hogy javítja az immunvédelmet (NIEMAN és mtsai., 2019; BALOGH és mtsai., 2022). A rendszeres edzéssel járó aktív életmód az immunfunkciók javulását és a szisztémás gyulladásos aktivitás csökkenését eredményezi (BALOGH és mtsai., 2022). Vizsgálatok az igazolják, hogy a HIIT edzés hatására jelentősen növekedik az oxidatív stressz (LEE és mtsai., 2023; K.KEANE, 2014; UGRAS, 2013; GONCALVES és mtsai., 2020). Erre magyarázattal szolgálhat a HIIT edzés alatt megnövekedett intenzitásra válaszul adott megnövekedett oxigén felvétele. Bár egyetlen edzés gyakran vezet akut oxidatív stresszhez, a hormonális folyamat elvével összhangban, úgy tűnik, hogy ez a növekedés szükséges ahhoz, hogy lehetővé váljon az endogén antioxidáns védekezés fokozása (FISHER-WELLMAN és mtsai., 2009). Több tanulmány is kimutatta, hogy az akut edzés növeli az antioxidáns enzimek, köztük a szuperoxid-diszmutáz (SOD), a kataláz és a GSH-peroxidáz (GPX) aktivitását a vázizomzatban, a szívben és a májban (JI LILI, 1995), egyes kutatások ezt az állítást szintén igaznak vélik az intervallumos edzések akut hatására vonatkozóan is (LEE és mtsai., 2023).

Egyre több bizonyíték támasztja alá a fizikailag aktív életmód megelőző szerepét a fertőzések és más immunmediált betegségek esetében is, mivel javítja az immunrendszer kompetenciáját és szabályozását (BALOGH és mtsai., 2022; KOSTKA és mtsai., 2000; PAPE és mtsai., 2016; SHARIF és mtsai., 2018). Lee és munkatársai (2023) HIIT edzés akut

hatásaival foglalkozó vizsgálatában azt állapították meg, ez az edzés módszer megváltoztatja az keringő immunsejtek számát. A leukociták összlétszáma közvetlenül az edzés után és 3 órával az edzés után megnőtt. A regenerációs időszakban a keringő limfociták százalékos aránya a nyugalmi szint alá csökkent, míg a keringő neutrofilek száma és százalékos aránya legalább 3 órával az edzés utánig tovább nőtt. Több vizsgálat is megerősítette a teljes leukocitaszám átmeneti, akár 6 órán át tartó emelkedését a HIIT után (FISCHER és mtsai., 2011; WALSH és mtsai., 1998).

Az edzés, különösen a nagy intenzitású intervallumos edzés (HIIT) bizonyítottan neuroprotektív eszköz (JIMÉNEZ és mtsai., 2023). Az edzés hasznos stratégiának bizonyult a végrehajtó funkciók teljesítményének javítására felnőtteknél (RENTERÍA és mtsai., 2020). Ez a pozitív hatás a plaszticitásra és a neuronális növekedésre gyakorolt hatásának köszönhető. Az edzés ugyanis fokozott agyi véráramláshoz, fokozott neurogenesis-stimulációhoz, optimalizált szinaptikus összeköttetésekhez és a neurotróf faktorok, például az IGF-1 fokozott termelődéséhez vezet (FERNANDEZ és TORRES-ALÉMAN, 2012). Az IGF-1 az agyi plaszticitás hatékony elősegítőjének bizonyult fiatal felnőtteknél. Így az IGF-1 magasabb koncentrációja elősegítheti a magasabb agyi teljesítményt és a jobb kogníciót (AI és mtsai., 2021). Az edzésösszetevők az IGF-1 tekintetében is fontos szerepet játszanak, vizsgálatokban azt olvashatjuk, hogy az intenzitás, mint változó fontos szerepet képez az IGF-1 szekréciójának mértékében (KERCHER és mtsai., 2023; JIMÉNEZ és mtsai., 2023). Jimenez és munkatársai (2023) kutatásukban megállapították, hogy az alacsony, közepes intenzitású edzés bizonyos krónikus előnyöket mutatott mind az IGF-1 koncentráció, mind a végrehajtó funkciók tekintetében, ezzel szemben a nagy intenzitású edzés mindkét változó esetében nagyobb teljesítményt mutatott. Ezek alapján következtethetünk arra, hogy az IGF-1 növekedése és a végrehajtó funkciók között kapcsolat van, illetve, hogy a HIIT edzés megfelelő módszer lehet a vizsgálathoz.

Célkitűzés

Kutatásunk célja ként tűztük ki, hogy megvizsgáljuk a HIIT edzés akut hatásait az idegrendszerre a BDNF, VEGF, IGF1 termelődésének segítségével, illetve az oxidatív stressz és különböző immunhatások által kiváltott változásokon keresztül. A kutatásunkban egyetemista profi sportolók és egyetemista amatőr sportolók vettek részt, mivel a célunkhoz tartozik a fent említett paraméterek közötti különbség vizsgálata. Az egyetemista amatőr sportoló körébe tanulmányunkba azok tartoznak bele, akik minimum 6 hónapja nem sportoltak versenyszerűen s heti egy edzésen vagy testnevelés órán vesznek részt és az egyetem nappali

tagozatos hallgatói. Egyetemi élsortolóknak azokat, az egyetemi nappali tagozatos hallgatókat soroltuk be, akik minimum heti 5 sportági edzésen vesznek részt és NBIII szinten játszanak. Akut edzés hatásokat vizsgáltunk, mivel ez egy kevésbé kutatott terület napjainkban, hatása azonban kiemelkedő, akár a krónikus hatások tekintetében is. A vizsgálatunk eredményével hozzájárulhatunk a megfelelő edzés módszer tudományosan megalapozott kiválasztásához, mivel láthatjuk, hogy az edzettségi szinttel (és ennél jóval több változó) összefüggő adaptáció milyen mértékben tudja befolyásolni az adott edzés módszer akut hatásait is. Illetve eredményeink további tanulmányok létrehozásában nyújtanak segítséget. Nem utolsó sorba kutatásunkkal szeretnénk ösztönözni az egyetemi hallgatókat a profi sportban való részvételre.

K1: Az akut HIIT edzés hatására a BDNF szekrécióban milyen változást tapasztalhatunk az amatőr sportolók és a profi sportolók között?

H1: Feltételezem, hogy a HIIT edzés után mért BDNF szint magasabb lesz, mint edzés előtt. Arányaiban a változás a profi sportolóknál lesz magasabb.

K2: Az akut HIIT edzés hatására a VEGF, IGF-1 szekrécióban milyen változást tapasztalhatunk az amatőr sportolók és a profi sportolók között?

H2: Feltételezem, hogy a HIIT edzés után mért VEGF, IGF-1 szint magasabb lesz, mint edzés előtt. Arányaiban a változás a profi sportolóknál lesz magasabb.

K3: A HIIT edzés hatására magasabbá válik az oxidatív stressz, a profi sportolók szervezetében mint az amatőr sportolók szervezetében?

H3: Feltételezem, hogy a profi sportolók szervezetében magasabb lesz a HIIT edzés hatására kiváltott akut oxidatív stressz mértéke, mint az amatőr sportolók esetében.

K4: Az egyetemi profi sportolók szervezetében nagyobb lesz az antioxidáns kapacitás, mint az egyetemi amatőr sportolók esetében?

H4: Feltételezem, hogy a profi sportolók szervezetében egyfajta előzetes krónikus adaptáció miatt magasabb lesz az antioxidáns kapacitás, mint az egyetemi amatőr sportolók esetében.

Anyagok és Módszerek

A kutatás etikai engedélyének száma: DE RKEB/IKEB-nél: 6088-2022.

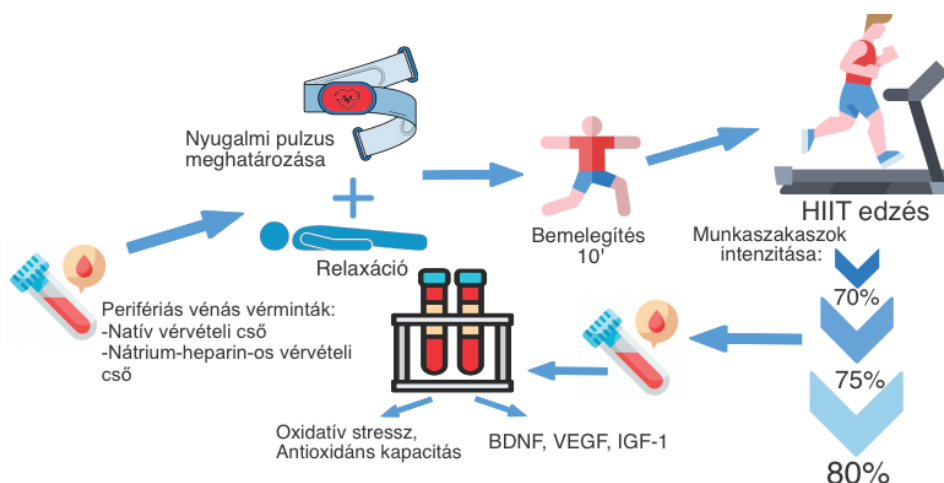
Alanyok

A vizsgálatban összesen N=24 személy vett részt, ebből n=10 egyetemi amatőr sportoló és n=14 egyetemi profi sportoló. Az alanyok 100%-ban férfiak voltak. A vizsgálatból kizáró ok bármilyen lefolyásban levő infekció, ha 6 hónapon belül sportversenyen vettek részt, ha heti több, mint egyszer sportoltak. Az egyetemi profi sportolók heti 6 edzésen vettek részt emellett

változó számban meccseknek játszanak, mind a DEAC labdarúgói, NBIII szinten játszanak. A sportági edzések mellett részt vesznek kiegészítő konditermi edzéseken, gyógytornán és dietetikussal konzultálnak. Az összes alany a Debreceni Egyetem hallgatója.

A HIIT edzésintervenció módszertana

A vizsgálatban résztvevő önkéntesek HIIT edzése a Debreceni Egyetem Unifit Fitness and Gym Centeré-ben zajlott. A HIIT terhelés megkezdése előtt minden résztvevőnek meghatároztuk a nyugalmi pulzusát. Méréseinkhez Polar H10 mellkasi jeladót és Polar RS300x órát használtuk, amelyet minden személy viselt a teljes vizsgálat alatt. A mérés 10 perc relaxációval kezdődött háton fekvő pozícióban, amely során a mért legalacsonyabb érték meghatározta a nyugalmi pulzust. A személyre szabott pulzuszónák meghatározásához Carvenen-képletet alkalmaztunk $[(\text{maximális pulzus} - \text{nyugalmi pulzus}) \times \text{erőkifejtés\%} - a + \text{nyugalmi pulzus}]$. A maximális pulzus kiszámításához a 220 - életkor formát alkalmaztuk. A kiszámított zónák 60% -, 75% -, 80% - és 85%. A HIIT terhelést 10 perc bemelegítés előzte meg. A résztvevők a fokozatosság elvét követve először bemelegítő gimnasztikát hajtottak végre, majd a pulzusszámot emelő, dinamikus gyakorlatokkal folytatták. Ezt követően 5-6 perc sétát/könnyű kocogást végeztek futópadon maximum 60%-os intenzitással. Az intervallum edzéshez Polar-kompatibilis futópadot használtunk, így a vizsgálat során e-szerint szabályoztuk a terhelés erősségét. A program 10 darab 45 másodperc hosszúságú munka szakaszból és 45 másodpercnyi pihenő szakaszból épült fel, melyek egymás után felváltva következtek. A pihenőszakaszban az alanyok sétát/kocogást végeztek. Az első munka szakaszban résztvevőknek el kellett érniük a 75%-os intenzitást, a másodikban a 80%-osat, a harmadikban a 85%-osat, amelyet innentől kezdve az összes többi munkaszakaszban el kellett érniük. A célzott intenzitási zónák eléréséhez a futópadok sebességének beállítását egyénre szabva, manuálisan végeztük.



5. ábra: A vizsgálat folyamatának főbb pontjai,

Forrás: Saját forrás

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Nyugalmi pulzus	52	62	47	54	55	71	72	64	68	56	70	54	72	53	55	57	50	75	63	62	50	65	67
60%-os	141,4	144,8	139,4	136,8	140,8	144,8	147,6	144,4	147,8	141,8	145,6	139,2	147	135,2	143,2	144,6	142,4	148,2	143,4	142,4	140,6	144,2	145,6
70%-os	156,3	158,6	154,8	150,6	155,1	157,1	160,2	157,8	161,1	156,1	158,2	153,4	159,5	148,9	157,9	159,2	157,8	160,4	156,8	155,8	155,7	157,4	158,7
80%-os	171,2	172,4	170,2	164,4	169,4	169,4	172,8	171,2	174,4	170,4	170,8	167,6	172	162,6	172,6	173,8	173,2	172,6	170,2	169,2	170,8	170,6	171,8
85%-os	178,65	179,3	177,9	171,3	176,55	175,55	179,1	177,9	181,05	177,55	177,1	174,7	178,25	169,45	179,95	181,1	180,9	178,7	176,9	175,9	178,35	177,2	178,35

1.táblázat: Az alanyok személyre szabott pulzusértékei,

Forrás: saját forrás

Mintavétel és mintaelőkészítés

A HIIT edzést megelőzően és közvetlenül az edzés után perifériás vénás vérmintát vettünk natív, valamint nátrium-heparint tartalmazó vérvételi csövekbe az összes alanytól.

A citokinek és az oxidatív paraméterek meghatározásához szérumból mintákra volt szükségünk. A szérumból szeparálásához natív vérvételi csövekbe vett vérmintákat 30 percig szobahőmérsékleten tartottuk az alvadási folyamat lezajlásáig, majd ezt követően 2800 rpm fordulatszámon 10 percig centrifugáltuk. Majd a felső szérumból frakciót begyűjtöttük és felhasználásig -70°C-on tároltuk.

Citokinek meghatározása

A BDNF (brain derived neurotrophic factor), a VEGF (vascular endothelial growth factor) és az IGF-1 (insulin like growth factor 1) citokinek mennyiségét szérumból mintákból a következő kitékkel határoztuk meg: Human BDNF ELISA kit (Fine Biotech, Wuhan, Kína), Human VEGF-A ELISA kit ((Merck KGaA, Darmstadt, Németország) és Human IGF-1 ELISA kit (Merck KGaA, Darmstadt, Németország). A meghatározásokat a gyártó által javasolt protokoll szerint végeztük.

A vizsgálatok előtt 20 perccel a kitéket szobahőmérsékleten inkubáltuk. Első lépésben elkészítettük a reagensek beoldását, valamint a standard sor hígítását. Ezt követően 100ul standard és szérumból mintákat mértünk az antigénnel gyárilag fedett plate-re és 90 percig, 37°C-on inkubáltuk. Inkubációt követően a nem kötődő komponenseket kétszeri mosással távolítottuk el. A biotinnel jelölt detektáló antitestből 100 ul-t pipettáztunk a wellekbe, és 60 percig, 37°C-on inkubáltuk. Ezután háromszor mostuk a welleket, eltávolítva a nem kötődő antitesteket. Ezután 100 ul SABC munkaooldatot (Streptavidinnel jelölt torna-peroxidáz enzim) mértünk a wellekbe, mellyel 30 percig, 37°C-on inkubáltuk a plate-t. Ötszöri mosást követően 90ul TMB (3,3',5,5'-tetrametil-benzidin) szubsztátot mértünk a wellekbe és 20 percig 37°C-on inkubáltuk. A reakciót 50ul stop oldattal (kénsav) állítottuk le. Abszorbancia leolvasása 450nm-en történt ELISA reader készüléken.

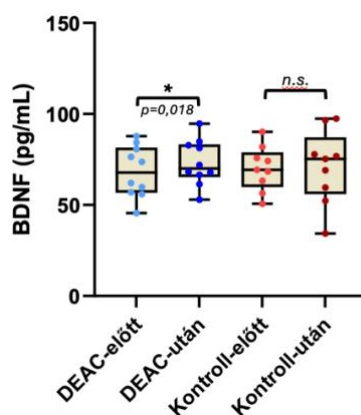
Az eredmények kiértékelése GraphPad Prism 8.0 szoftver segítségével végeztük el. A standardok alapján a kalibrációs görbét nem lineáris illesztéssel („four parameter logistic curve”) állítottuk fel.

Oxidatív változások és antioxidáns kapacitás meghatározása

A szérumból meghatároztuk a kataláz, szuperoxid-diszmutáz, és glutathion peroxidáz enzim aktivitásokat és a teljes nitrit-nitrát szintjét is. A vizsgálatokhoz az alábbi eszközöket használtuk fel: Antioxidant Assay kit, Catalase Assay kit, Superoxide Dismutase Assay kit, Glutathione Peroxidase Assay kit, Nitrate/Nitrite Colorimetric Assay kit).

Eredmények

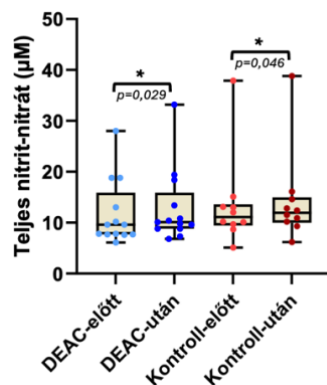
A BDNF szinteknél szignifikáns emelkedést figyeltünk meg a profi sportolók körében az edzést követően ($68,33 \pm 14,12$ pg/ml vs. $73,26 \pm 12,48$ pg/ml, $p = 0,037$). Ellentétben az amatőr sportolóknál nem tapasztaltunk érdemi változást a BDNF szintekben ($70,04 \pm 12,28$ pg/ml vs. $71,01 \pm 20,26$ pg/ml; $p = 0,801$). Ez arra utalhat, hogy a változás rendszeresen edzést végző személyeknél figyelhető meg, előzetes krónikus adaptáció hatására.



6.ábra: A BDNF szint változása akut HIIT edzés hatására egyetemi profi sportolóknál és egyetemi amatőr sportolóknál, Forrás: saját forrás

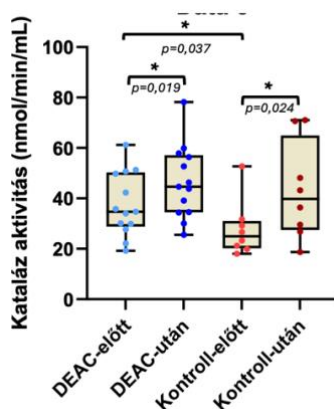
A VEGF és az IGF-1 citokin szintek esetén nem tapasztaltunk szignifikáns változást egyik csoportban sem.

Az oxidatív változások vizsgálatából nyert eredményeink rámutattak a HIIT edzés hatására szignifikáns emelkedést mutató totál nitrit és nitrát szintekre. Az akut HIIT hatására a profi sportolók ($11,74 \pm 6,38$ uM vs. $12,84 \pm 7,21$ uM, $p = 0,029$), és az amatőr sportolók esetében szignifikáns változást figyeltünk meg ($13,49 \pm 9,01$ uM vs. $14,27 \pm 9,06$ uM, $p = 0,046$).



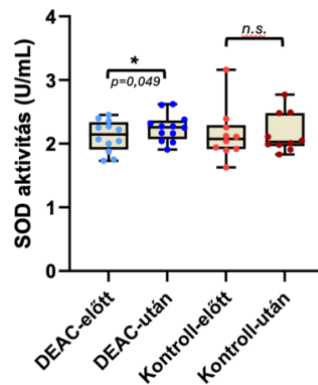
7.ábra: A teljes nitrit-nitrát szint változása akut HIIT edzés hatására egyetemi profi sportolóknál és egyetemi amatőr sportolóknál, Forrás: saját forrás

A kataláz enzim aktivitása az akut HIIT hatására szignifikáns emelkedést mutatott mind a profi sportolók körében ($37,60 \pm 12,59$ nmol/min/mL vs. $46,41 \pm 14,50$ nmol/min/mL, $p = 0,019$), mind a amatőrök esetében ($27,82 \pm 11,09$ nmol/min/mL vs. $43,07 \pm 19,45$ nmol/min/mL, $p = 0,024$). A kiindulási értékeket tekintve a profi sportolóknál szignifikánsan magasabb volt a kataláz aktivitás az amatőr sportolókhöz képest ($p = 0,037$). Ez alátámasztja azt, hogy a rendszeres edzésben álló profi sportolók krónikus adaptációja az antioxidáns rendszerük fokozottabb működéséhez és annak jobb hatékonyságához vezet.



8.ábra: A kataláz enzim aktivitásának változása akut HIIT edzés hatására egyetemi profi sportolóknál és egyetemi amatőr sportolóknál, Forrás: saját forrás

A szuperoxid-diszmutáz esetében csak a profi sportolók körében figyeltünk meg szignifikáns aktivitásfokozódást a HIIT edzés hatására ($2,12 \pm 0,24$ U/mL vs. $2,25 \pm 0,22$ U/mL, $p = 0,049$), míg az amatőrök esetében nem jelentkezett változás ($2,15 \pm 0,41$ U/mL vs. $2,16 \pm 0,31$ U/mL, $p = 0,953$).



9.ábra: A szuperoxid-diszmutáz enzim aktivitásának változása akut HIIT edzés hatására egyetemi profi sportolóknál és egyetemi amatőr sportolóknál, Forrás: saját forrás

A glutation peroxidáz enzim aktivitásában nem figyeltünk meg szignifikáns változást.

Összegzés

A kutatási eredmények alapján megállapíthatjuk, hogy a HIIT edzés pozitív hatást gyakorol a BDNF szint növekedésére. A profi sportolóknál volt megfigyelhető szignifikáns összefüggés. Ez arra utalhat, hogy az előzetes krónikus adaptáció lévén alakul ki nagyobb mértékű BDNF szint növekedés akut HIIT edzés hatására, tehát javaslatot tudunk megfogalmazni arra vonatkozóan, hogy az egyetemistáknak rendszeresen érdemes sportolniuk. A BDNF szint növekedése hatással van a hippocampus aktivitására. A hippocampus részt vesz a tanulási és memória feladatokban, valamint a magasabb szintű agyi folyamatokban, tehát elősegíti a kognitív képességek javulását. A VEGF és az IGF-1-nél nem tapasztalunk szignifikáns különbséget.

A vizsgálat folyamán megfigyeltünk tovább egy komplex anti-stresszt hatást, amely a BDNF szint növekedése és az antioxidáns kapacitás javulása lévén jön létre. A hippocampus a fent említettek mellett még részt vesz a stressz hormonok gátlásában is, tehát a hippocampus aktivitásának növekedésével, amelyet a BDNF fokoz akut HIIT hatására, stresszcsökkentő hatás jön létre. Továbbá a hatékonyabban működő antioxidáns kapacitás, amelye HIIT edzés hatására alakul ki, a szervezetünk hatékonyabban meg tud küzdeni az oxidatív stresszel, nem csak az edzés ideje, vagy az edzés után közvetlen.

Az teljes antioxidáns kapacitás javulása a profi sportolóknál megfigyelhetővé vált, a kataláz enzim aktivitása és a szuperoxid-diszmutáz enzim aktivitásában is szignifikáns emelkedést figyeltünk meg a profi sportolóknál. Az amatőr sportolóknál csak a kataláz enzim aktivitásában figyeltünk meg szignifikáns javulást. Az oxidatív stressz eredményeinél szignifikáns különbséget figyeltünk meg a teljes nitrit – nitrát szint emelkedésében mindkét csoportnál. Ezekből arra következtethetünk, hogy a szervezet krónikusan adaptálódik a

rendszeresen egymást követő akut oxidatív stressz hatására és megnövekedik az teljes antioxidáns kapacitás, amely az egészségmegőrzés szempontjából nem elhanyagolható tényező. Ez is okot ad arra, hogy javaslatot tudjunk tenni, arról, hogy a rendszeres edzőmunkát végző sportolóknak érdemes a HIIT edzést beépíteni az edzőtervükbe.

Az eredmények arra utalnak, hogy az edzőterhelés rendszeressége és folytonossága is kulcs szerepet játszik az akut hatásokban, amelyek rendszeressége lévén tud létrejönni krónikus adaptáció és kedvező hatás mind a kognitív képességekre, mint az oxidatív stresszel való megküzdéssel szemben. Ez a tanulmány tovább megerősíti azt, hogy az edzett személyeknél az edzetlenekkel szemben már egy edzés hatására is jelentős pozitív hatás jön létre, ebből arra következtethetünk, hogy a rendszeres edzés jelentősen befolyásolja a kiváltott akut hatások mértékét és minőségét. Továbbá a HIIT edzés jó módszernek bizonyult profi sportolók körében az említett célok kiváltására. Azonban szeretnénk kiemelni, hogy a Debreceni Egyetemen sportoló hallgatók tudományosan megalapozott és tervszerű edzőtervben vesznek részt, hiszen a sportági edzések mellett részt vesznek kiegészítő konditermi edzéseken, gyógytornán és dietetikussal konzultálnak. Ezért szeretnénk buzdítani minden sportolót, hogy vegyen részt az egyetemi profi sportban.

Irodalomjegyzék

- Ai, Jing-Yi, et al. "The effect of acute high-intensity interval training on executive function: A systematic review." *International journal of environmental research and public health* 18.7 (2021): 3593.
- Aridi, Yasmine S., Jacqueline L. Walker, and Olivia RL Wright. "The association between the Mediterranean dietary pattern and cognitive health: a systematic review." *Nutrients* 9.7 (2017): 674.
- Azevedo, Kesley Pablo Morais de, et al. "The effects of exercise on BDNF levels in adolescents: a systematic review with meta-analysis." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17.17 (2020): 6056.
- Bacon, A. P., Carter, R. E., Ogle, E. A., & Joyner, M. J. (2013). VO2max trainability and high intensity interval training in humans: a meta-analysis. *PloS one*, 8(9), e73182.
- Balogh, László, et al. "The effect of aerobic exercise and low-impact pilates workout on the adaptive immune system." *Journal of Clinical Medicine* 11.22 (2022): 6814.

- Bayati, Mahdi, et al. "The effect of four weeks of high-intensity interval training on PGC-1 α and VEGF protein contents in skeletal muscle of active men." *Journal of Arak University of Medical Sciences* 21.3 (2018): 24-32.
- Campbell, Peter T., et al. "Effect of exercise on oxidative stress: a 12-month randomized, controlled trial." *Medicine and science in sports and exercise* 42.8 (2010): 1448.
- Chang, Yu-Kai, et al. "The effects of acute exercise on cognitive performance: a meta-analysis." *Brain research* 1453 (2012): 87-101.
- Cho, Hyun-chul, et al. "The concentrations of serum, plasma and platelet BDNF are all increased by treadmill VO₂max performance in healthy college men." *Neuroscience letters* 519.1 (2012): 78-83.
- Dasso, Nancy A. "How is exercise different from physical activity? A concept analysis." *Nursing forum*. Vol. 54. No. 1. 2019.
- DeFina, Laura F., et al. "Physical activity versus cardiorespiratory fitness: two (partly) distinct components of cardiovascular health?." *Progress in cardiovascular diseases* 57.4 (2015): 324-329.
- Dubecz, J. "Általános edzéselmélet és módszertan." *Rectus, Budapest* 43 (2009): 161.
- Eken, Özgür, and Muhammed Emin Kafkas. "Effects of low and high intensity interval training exercises on VO₂max and components of neuromuscular and vascular system in male volunteers." *Journal of Musculoskeletal & Neuronal Interactions* 22.3 (2022): 352.
- Elenkov, Ilia J., and George P. Chrousos. "Stress hormones, Th1/Th2 patterns, pro/anti-inflammatory cytokines and susceptibility to disease." *Trends in Endocrinology & Metabolism* 10.9 (1999): 359-368.
- Etner, Jennifer L., et al. "The effects of acute exercise on memory and brain-derived neurotrophic factor (BDNF)." *Journal of Sport and Exercise Psychology* 38.4 (2016): 331-340.
- Fernandez, Ana M., and Ignacio Torres-Alemán. "The many faces of insulin-like peptide signalling in the brain." *Nature Reviews Neuroscience* 13.4 (2012): 225-239.
- Ferris, Lee T., James S. Williams, and Chwan-Li Shen. "The effect of acute exercise on serum brain-derived neurotrophic factor levels and cognitive function." *Medicine & Science in Sports & Exercise* 39.4 (2007): 728-734.

- Feter, N., et al. "How do different physical exercise parameters modulate brain-derived neurotrophic factor in healthy and non-healthy adults? A systematic review, meta-analysis and meta-regression." *Science & Sports* 34.5 (2019): 293-304.
- Fisher-Wellman, Kelsey, and Richard J. Bloomer. "Acute exercise and oxidative stress: a 30 year history." *Dynamic medicine* 8 (2009): 1-25.
- Fisher, Gordon, et al. "Lymphocyte enzymatic antioxidant responses to oxidative stress following high-intensity interval exercise." *Journal of Applied Physiology* 110.3 (2011): 730-737.
- Gavin, T. P., et al. "Acute resistance exercise increases skeletal muscle angiogenic growth factor expression." *Acta physiologica* 191.2 (2007): 139-146.
- Gibala, Martin J., et al. "Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance." *The Journal of physiology* 575.3 (2006): 901-911.
- Gist, N. H., Fedewa, M. V., Dishman, R. K., & Cureton, K. J. (2014). Sprint interval training effects on aerobic capacity: a systematic review and meta-analysis. *Sports medicine*, 44(2), 269-279.
- Goldfield, Gary S., et al. "Effects of aerobic training, resistance training, or both on brain-derived neurotrophic factor in adolescents with obesity: The hearty randomized controlled trial." *Physiology & behavior* 191 (2018): 138-145.
- Gonçalves, Ciro Alexandre Mercês, et al. "Effect of acute and chronic aerobic exercise on immunological markers: a systematic review." *Frontiers in physiology* 10 (2020): 1602.
- Hashimoto, Takeshi, et al. "Maintained exercise-enhanced brain executive function related to cerebral lactate metabolism in men." *The FASEB Journal* 32.3 (2018): 1417-1427.
- Hedberg, Maria. "Myokines in young, healthy subjects: the acute effect on VEGF-A, IL-1ra and IL-10 from a single bout of high intensity interval training." (2022).
- Hoier, Birgitte, and Ylva Hellsten. "Exercise-induced capillary growth in human skeletal muscle and the dynamics of VEGF." *Microcirculation* 21.4 (2014): 301-314.
- Huang, Tao, et al. "The effects of physical activity and exercise on brain-derived neurotrophic factor in healthy humans: A review." *Scandinavian journal of medicine & science in sports* 24.1 (2014): 1-10.

- Hugues, Nicolas, et al. "Is high-intensity interval training suitable to promote neuroplasticity and cognitive functions after stroke?." *International journal of molecular sciences* 22.6 (2021): 3003.
- Ito, Shigenori. "High-intensity interval training for health benefits and care of cardiac diseases-the key to an efficient exercise protocol." *World journal of cardiology* 11.7 (2019): 171.
- Ji, LiLi. "Oxidative stress during exercise: implication of antioxidant nutrients." *Free Radical Biology and Medicine* 18.6 (1995): 1079-1086.
- Jiménez-Roldán, Manuel-Jesús, Borja Sañudo, and Luis Carrasco Páez. "Influence of High-Intensity Interval Training on IGF-1 Response, Brain Executive Function, Physical Fitness and Quality of Life in Sedentary Young University Women—Protocol for a Randomized Controlled Trial." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 20.7 (2023): 5327.
- Johnson, Blair D., Jaime Padilla, and Janet P. Wallace. "The exercise dose affects oxidative stress and brachial artery flow-mediated dilation in trained men." *European journal of applied physiology* 112 (2012): 33-42.
- Keane, Karen. *Impact of high intensity interval training (HIIT) and/or selenium (Se) supplementation on oxidative stress and antioxidant status in active females*. Diss. 2014.
- Kercher, Vanessa M. Martinez, et al. "2023 fitness trends from around the globe." *ACSM's Health & Fitness Journal* 27.1 (2023): 19-30.
- Knaepen, Kristel, et al. "Neuroplasticity—exercise-induced response of peripheral brain-derived neurotrophic factor: a systematic review of experimental studies in human subjects." *Sports medicine* 40 (2010): 765-801.
- Knaepen, Kristel, et al. "Neuroplasticity—exercise-induced response of peripheral brain-derived neurotrophic factor: a systematic review of experimental studies in human subjects." *Sports medicine* 40 (2010): 765-801.
- Kostka, T. O. M. A. S. Z., et al. "The symptomatology of upper respiratory tract infections and exercise in elderly people." *Medicine and science in sports and exercise* 32.1 (2000): 46-51.
- Lambourne, Kate, and Phillip Tomporowski. "The effect of exercise-induced arousal on cognitive task performance: a meta-regression analysis." *Brain research* 1341 (2010): 12-24.

- Lee, Duck-Chul, et al. "Comparisons of leisure-time physical activity and cardiorespiratory fitness as predictors of all-cause mortality in men and women." *British journal of sports medicine* 45.6 (2011): 504-510.
- Lee, Ting-Ting, et al. "Effect of Acute High-Intensity Interval Training on Immune Function and Oxidative Stress in Canoe/Kayak Athletes." *Biology* 12.8 (2023): 1144.
- Lipsky, Robert H., and Ann M. Marini. "Brain-derived neurotrophic factor in neuronal survival and behavior-related plasticity." *Annals of the New York Academy of Sciences* 1122.1 (2007): 130-143.
- Lommatzsch, Marek, et al. "The impact of age, weight and gender on BDNF levels in human platelets and plasma." *Neurobiology of aging* 26.1 (2005): 115-123.
- Ludyga, Sebastian, et al. "Immediate and sustained effects of intermittent exercise on inhibitory control and task-related heart rate variability in adolescents." *Journal of science and medicine in sport* 22.1 (2019): 96-100.
- MacInnis, M. J., & Gibala, M. J. (2017). Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity. *The Journal of physiology*, 595(9), 2915-2930.
- Marquez, Cinthia Maria Saucedo, et al. "High-intensity interval training evokes larger serum BDNF levels compared with intense continuous exercise." *Journal of applied physiology* (2015).
- Matthews, Vance B., et al. "Brain-derived neurotrophic factor is produced by skeletal muscle cells in response to contraction and enhances fat oxidation via activation of AMP-activated protein kinase." *Diabetologia* 52 (2009): 1409-1418.
- Mekari, S., Earle, M., Martins, R., Drisdelle, S., Killen, M., Bouffard-Levasseur, V., & Dupuy, O. (2020). Effect of high intensity interval training compared to continuous training on cognitive performance in young healthy adults: a pilot study. *Brain Sciences*, 10(2), 81.
- Milanović, Z., Sporiš, G., & Weston, M. (2015). Effectiveness of high-intensity interval training (HIT) and continuous endurance training for VO₂max improvements: a systematic review and meta-analysis of controlled trials. *Sports medicine*, 45(10), 1469-1481.
- Morland, C., et al. "Exercise induces cerebral VEGF and angiogenesis via the lactate receptor HCAR1. *Nat Commun* 8: 15557." 2017,
- Müller, Patrick, et al. "Lactate and BDNF: key mediators of exercise induced neuroplasticity?." *Journal of Clinical Medicine* 9.4 (2020): 1136.

- Myers, Jonathan, et al. "Exercise capacity and mortality among men referred for exercise testing." *New England journal of medicine* 346.11 (2002): 793-801.
- Myers, Jonathan, et al. "Physical activity and cardiorespiratory fitness as major markers of cardiovascular risk: their independent and interwoven importance to health status." *Progress in cardiovascular diseases* 57.4 (2015): 306-314.
- Nieman, David C., and Laurel M. Wentz. "The compelling link between physical activity and the body's defense system." *Journal of sport and health science* 8.3 (2019): 201-217.
- Nofuji, Yu, et al. "Different circulating brain-derived neurotrophic factor responses to acute exercise between physically active and sedentary subjects." *Journal of sports science & medicine* 11.1 (2012): 83.
- Ozan, Erol, et al. "The effect of depression, BDNF gene val66met polymorphism and gender on serum BDNF levels." *Brain research bulletin* 81.1 (2010): 61-65.
- Pan, Weihong, et al. "Transport of brain-derived neurotrophic factor across the blood–brain barrier." *Neuropharmacology* 37.12 (1998): 1553-1561.
- Pape, Kathrine, et al. "Leisure-time physical activity and the risk of suspected bacterial infections." *Medicine and science in sports and exercise* 48.9 (2016): 1737-1744.
- Pedersen, Bente Klarlund, and Laurie Hoffman-Goetz. "Exercise and the immune system: regulation, integration, and adaptation." *Physiological reviews* (2000).
- Radak, Zsolt, et al. "Exercise effects on physiological function during aging." *Free Radical Biology and Medicine* 132 (2019): 33-41.
- Radak, Zsolt, et al. "Exercise, oxidative stress and hormesis." *Ageing research reviews* 7.1 (2008): 34-42.
- Radak, Zsolt, et al. "Physical exercise, reactive oxygen species and neuroprotection." *Free Radical Biology and Medicine* 98 (2016): 187-196.
- Radak, Zsolt, et al. "The effects of training and detraining on memory, neurotrophins and oxidative stress markers in rat brain." *Neurochemistry international* 49.4 (2006): 387-392.
- Ranjbar, Kamal, Maryam Nourshahi, and Meysam Gholamali. "The Effect of Acute Sub-Maximal Endurance Exercise on Serum Angiogenic Indices in Sedentary Men." *Zahedan Journal of Research in Medical Sciences* 16.6 (2014): 58-63.
- Rasmussen, Peter, et al. "Evidence for a release of brain-derived neurotrophic factor from the brain during exercise." *Experimental physiology* 94.10 (2009): 1062-1069.

- Rentería, Iván, et al. "Short-term high-Intensity interval training increases systemic brain-derived neurotrophic factor (BDNF) in healthy women." *European journal of sport science* 20.4 (2020): 516-524.
- Ross, Mark, et al. "Exercise-induced skeletal muscle angiogenesis: impact of age, sex, angiocrines and cellular mediators." *European Journal of Applied Physiology* 123.7 (2023): 1415-1432.
- Schwarck, Svenja, et al. "Inter-individual differences in cognitive response to a single bout of physical exercise—A randomized controlled cross-over study." *Journal of clinical medicine* 8.8 (2019): 1101.
- Seifert, Thomas, et al. "Endurance training enhances BDNF release from the human brain." *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* 298.2 (2010): R372-R377.
- Sharif, Kassem, et al. "Physical activity and autoimmune diseases: Get moving and manage the disease." *Autoimmunity reviews* 17.1 (2018): 53-72.
- Spires-Jones, Tara L., and Craig W. Ritchie. "A brain boost to fight Alzheimer's disease." *Science* 361.6406 (2018): 975-976.
- Steensberg, Adam, et al. "Strenuous exercise decreases the percentage of type 1 T cells in the circulation." *Journal of applied physiology* 91.4 (2001): 1708-1712.
- Swift, Damon L., et al. "The effect of exercise training modality on serum brain derived neurotrophic factor levels in individuals with type 2 diabetes." (2012): e42785.
- Szuhany, Kristin L., Matteo Bugatti, and Michael W. Otto. "A meta-analytic review of the effects of exercise on brain-derived neurotrophic factor." *Journal of psychiatric research* 60 (2015): 56-64.
- Takahashi, Masaki, et al. "Effects of different intensities of endurance exercise on oxidative stress and antioxidant capacity." *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine* 1.1 (2012): 183-189.
- Tian, Shudong, Hong Mou, and Fanghui Qiu. "Sustained effects of high-intensity interval exercise and moderate-intensity continuous exercise on inhibitory control." *International journal of environmental research and public health* 18.5 (2021): 2687.
- Ugras, A. Faruk. "Effect of high intensity interval training on elite athletes' antioxidant status." *Science & Sports* 28.5 (2013): 253-259.

- Vaynman, S., Z. Ying, and F. Gomez-Pinilla. "Interplay between brain-derived neurotrophic factor and signal transduction modulators in the regulation of the effects of exercise on synaptic-plasticity." *Neuroscience* 122.3 (2003): 647-657.
- Vaynman, Shoshanna, and Fernando Gomez-Pinilla. "License to run: exercise impacts functional plasticity in the intact and injured central nervous system by using neurotrophins." *Neurorehabilitation and neural repair* 19.4 (2005): 283-295.
- Vaynman, Shoshanna, and Fernando Gomez-Pinilla. "Revenge of the “sit”: how lifestyle impacts neuronal and cognitive health through molecular systems that interface energy metabolism with neuronal plasticity." *Journal of neuroscience research* 84.4 (2006): 699-715.
- Vaynman, Shoshanna, Zhe Ying, and Fernando Gomez-Pinilla. "Hippocampal BDNF mediates the efficacy of exercise on synaptic plasticity and cognition." *European Journal of neuroscience* 20.10 (2004): 2580-2590.
- Wahl, Patrick, et al. "Effects of acid–base balance and high or low intensity exercise on VEGF and bFGF." *European journal of applied physiology* 111 (2011): 1405-1413.
- Walsh, N. P., et al. "The effects of high-intensity intermittent exercise on the plasma concentrations of glutamine and organic acids." *European journal of applied physiology and occupational physiology* 77 (1998): 434-438.
- Weaver, Samuel R., et al. "Cerebral hemodynamic and neurotrophic factor responses are dependent on the type of exercise." *Frontiers in physiology* 11 (2021): 609935.
- Weston, K. S., Wisløff, U., & Coombes, J. S. (2014). High-intensity interval training in patients with lifestyle-induced cardiometabolic disease: a systematic review and meta-analysis. *British journal of sports medicine*, 48(16), 1227-1234.
- Yancopoulos, George D., et al. "Vascular-specific growth factors and blood vessel formation." *nature* 407.6801 (2000): 242-248.
- Zwetsloot, Kevin A., et al. "Effect of 4 weeks of high-intensity interval training on exercise performance and markers of inflammation and oxidative stress." *The FASEB journal* 31 (2017): 839-1.

Lezárás dátuma: 2024.11.25.