

Az l-citrullin és az almasav hatása a szubsztrát felhasználásra és a laktát eliminációra

Bevezetés

Számos sportágban az egyik legjelentősebb teljesítményt korlátozó tényező, hogy az anaerob munkavégzés csak limitált ideig tartható fent, ezért sok sportoló célja, hogy minél magasabb intenzitásnál lépje át az anaerob küszöböt. Ehhez egyfelől megfelelő állóképességre és hatékony aerob anyagcserére van szükség, másfelől pedig effektív tejsav-eliminációra.

Az almasav szerepe a citromsavciklusban

Az aerob anyagcserének központi állomása a citromsavciklus, mivel a glikolízis után a glükóz, és a béta-oxidáció után pedig a zsírsavak is acetyl-CoA formájában ebbe a folyamatba lépnek be.

Az almasav anionja, a malát, a citromsavciklus egyik intermediere. Az utolsó előtti lépésben a fumaráz enzim segítségével jön létre fumarátból, majd az utolsó lépésben a malát-dehidrogenáz enzim hatására alakul tovább oxálacetáttá. Emellett képződhet anaplerotikus (intermedierképző) reakció révén egyenesen piruvátból is.¹

A kívülről bejuttatott almasav javíthatja a citromsavciklus hatékonyságát, így fokozva az aerob anyagcserét.

Az l-citrullin szerepe a nitrogén-monoxid termelésben és a vazodilatációban

Az l-citrullinnak számos szerepe van az emberi szervezetben: egyrészt intermediere a karbamid-ciklusnak, melynek feladata az ammónia kiválasztása; másrészt az érfal endothéliumában részt vesz a nitrogén-monoxid termelésében. Az endothéliumban l-argininből szintetizálódik az N-hydroxil-arginin, majd ebből keletkezik az l-citrullin. Ezt a folyamatot „citrullináció”-nak hívják és a nitrogén-oxid-szintáz enzim katalizálja. A reakció során nitrogén-monoxid keletkezik és lép be az érfal simaizomszövetébe, ahol annak ellazulását hozza létre, így vazodilatációt eredményezve. Ennek hatására javul a vérkeringés, mely többek között fokozhatja a salakanyagok elszállításának sebességét is.

Szakirodalmi áttekintés

Több kutatásban vizsgálták már az almasav és az l-citrullin hatását a sportteljesítményre, azonban ezekben a vizsgálatokban általában a két étrendkiegészítő adott kombinációját használták (citrullin-malát), mely 2:1 arányban tartalmaz citrullint és almasavat, valamint a hatásokat súlyzós edzés közben vizsgálták.^{2,3} E két étrendkiegészítő alkalmazásával kapcsolatban az eredmények ellentmondásosak, így további kutatásokra van szükség a citrullin-malát szupplementáció hatásának tisztázása érdekében.

Azokban a vizsgálatokban, ahol a szupplementáció pozitív irányba befolyásolta az eredményeket, általában több ismétlést tudtak végrehajtani a résztvevők szubmaximális ellenállással és a placebo-hoz képest jelentősen alacsonyabb szubjektív erő kifejtés érzetről (RPE) számoltak be.^{2,3}

Nem sok olyan tanulmány készült, ahol a citrullin és az almasav szupplementációt külön-külön vizsgálták volna,^{4,5,6,7} továbbá szintén kevés kutatásban mérték a hatásait az állóképességi teljesítményre.^{4,5,6,7} Abban a csekély számú vizsgálatban, ahol külön vizsgálták a két étrendkiegészítő hatását az aerob és anaerob állóképességi teljesítményre, mind a citrullin, mind az almasav adására vonatkozó tapasztalatok megint nem egybecsengők, mely azt jelzi, hogy ez esetben is további kutatásokra van szükség.⁹

A szignifikáns teljesítményfokozó hatást találó vizsgálatokban a citrullin szupplementációra jelentősen nőtt a végkimerülésig úszás ideje, valamint alacsonyabb ammónia és tejsav értékeket figyeltek meg a kutatók, és ugyancsak alacsonyabb szubjektív fáradtságérzetről számoltak be a résztvevők.⁴

Emellett különbséget kell tenni az akut és a hosszú időn keresztül történő citrullin szupplementáció között. A több napon (minimum 7 nap) vagy akár több héten keresztül történő citrullin bevitelről több kutatás jelent meg, melyek sok esetben jelentős teljesítményfokozó hatást találtak. Szignifikánsan csökkentek az időfutamok időeredményei, valamint alacsonyabb tejsav- és RPE (rate of perceived exertion) értékeket figyeltek meg a vizsgálati személyeknél.⁵

Az almasav sportteljesítményre kifejtett hatása még ennél is kevésbé vizsgált téma, állatmodellben és állóképességi sportolóknál azonban kedvező hatásokról számoltak be a kutatók. A szupplementáció hatására megnövekedett végkimerülésig tartó úszási időt figyeltek meg patkányoknál, valamint férfi kerékpárosoknál csökkent fáradtságérzetet.^{6,7}

A RER-, RPE- és RPE*pulzus érték

A RER (respiratory exchange ratio) magyarul „légzési együttható”, az emberi szervezet gázcseréjét mutatja, amelyből következtetni lehet a szubsztrát felhasználásra^{10,11}. Mérése gázcsere-analizátorral történik, értéke a kilélegzett CO₂ és a felvett O₂ hányadosa. Terhelés során az emberi szervezet a megnövekedett energiaigényt (ATP igény) zsír, szénhidrát vagy fehérje elégetéséből tudja fedezni. Annak

függvényében, hogy az energia a szubsztrátok milyen arányú felhasználásából származik, változik a RER-érték. Növekvő intenzitásnál a szubsztrát-felhasználás a szénhidrátok irányába tolódik el, ami növeli a RER-értéket. A nyugalomban átlagosan 0,8-as RER érték, vita maxima terhelés esetén akár 1,2-1,3-ig is emelkedhet.^{12,13,14}

Az RPE (rate of perceived exertion) magyarul „szubjektív erő kifejtés mértéke” a fáradás mértékének szubjektív meghatározására szolgál. Segítségével pontosabb képet kaphatunk arról, hogy az adott terhelés mennyire kimerítő az adott személy számára, mindez hogyan befolyásolja az egyén mentális állapotát és fizikai teljesítményét, ezáltal jobban meghatározhatóvá válik a sportoló teljesítőképessége. A sporttudományban általában a Borg-skálát használják,¹⁵ amelyen klasszikus értelemben egy 6-20-ig terjedő skálán jellemezhető a szubjektív erő kifejtés mértéke, ahol a 6-os érték a „semmi”-nek, a 20-as érték pedig a „maximális erő kifejtés”-nek felel meg. A Borg-skálát 1972-es megjelenése óta számos sporttudományi kutatásban, valamint edzés közben is használják autoreguláció céljából.^{16,17}

Az RPE*pulzus érték az objektív pulzusszám és a szubjektív erő kifejtés értékének szorzata. Az RPE bár egy szubjektív paraméter - erősen függ a vizsgált személy aktuális kondíciójától, motiváltságától – terhelés során mért változása jobban követi az anyagcsere folyamatok változásait, mint a pulzusszám, amely objektív információt ad a keringés igénybevételéről, de nem ad felvilágosítást a szervezetben zajló metabolikus folyamatokról. Az említettek kiküszöbölésére alkalmazható a két érték szorzata, közös befolyásoló hatásuk miatt. Vizsgálatainkban ezért az RPE*pulzus értéket a metabolikus folyamatok jellemzésére alkalmaztuk.

Célkitűzés

A kutatás célja az l-citrullin és az almasav állóképességi teljesítményre kifejtett hatásainak mérése. Fontosnak tartottuk, hogy azonos körülményeket biztosítsunk minden résztvevőnek minden mérés során, valamint, hogy a nyugalmi értékeket is tartósan rögzítsük.

Az állóképesség szempontjából releváns élettani paraméterek közül különös figyelmet szenteltünk a RER- és tejsav értékek, a maximális teljesítmény és pulzusszám, valamint a szubjektív fáradtságérzet vizsgálatának.

Az elméleti háttér és a szakirodalom áttekintése után négy hipotézist állítottunk fel:

1. Az almasav és a citrullin adása csökkenti nyugalomban és terhelés alatt a RER értékét.
2. A szupplementáció a terhelés során a RER 1,1 értékhez tartozó teljesítményt növeli.
3. Az l-citrullin a restitúcióban alacsonyabb tejsavkoncentrációt eredményez.
4. A szupplementáció csökkenti a szubjektív fáradtságérzetet.

Anyag és módszerek

Vizsgált személyek

Vizsgálatunkban 9 férfi rekreációs sportolót vizsgáltunk, akiknek átlag életkora $23,9 \pm 1,9$ év volt. Testmagasságuk $181,9 \pm 4,7$ cm, testtömegük $75,8 \pm 5,0$ kg volt.

A résztvevők toborzása személyes megkereséssel történt, melynek során pontos írásbeli és szóbeli tájékoztatást kaptak a vizsgálati protokoll menetéről (1. függelék).

A minta homogenitását, valamint a résztvevők egészségének biztonságát egy sportorvosi kérdőív kitöltésével biztosítottuk, melyben rákérdeztünk olyan információkra, mint a heti edzés szám, sérülések, krónikus betegség, gyógyszeresedés, táplálkozási szokások stb.

Emellett elláttuk őket egy általunk összeállított, szabvány reggelivel, melyet minden esetben a testösszetétel-mérés előtt 120 perccel kellett elfogyasztaniuk. A reggeli összeállítása során figyelembe vettük a résztvevők humánbiológiai jellemzőit, a terheléses protokoll energiaigényét, valamint törekedtünk arra, hogy az étkezés a makrotápanyagok szempontjából arányos és kiegyensúlyozott legyen (1. táblázat).

1. táblázat. A szabvány reggeli energia és tápanyagtartalma

	Energia (kcal)	Fehérje (g)	Szénhidrát (g)	Zsír (g)
2 db vizes zsemle	305	10	63	0
7 szelet csemege szalámi	285	16	1	24
1 db paradicsom	22	1	2	0
Összesen	612	27	66	24

Vizsgálatunk etikai engedélyének száma: TE-KEB/10/2022.

Az étrendkiegészítők adagolása

A vizsgálati személyek három különböző napon jöttek a laboratóriumba, ahol kettős vak vizsgálatban került sor a három különböző szupplementációra (6000 mg citrullin + 3 dl víz; 3000 mg almasav + 3 dl víz vagy kontroll [3 dl víz]). A szupplementációs dózisok meghatározása során szem előtt tartottuk az irodalomból ismert citrullin-malát 2:1 arányát, valamint a gasztrointesztinális panaszok elkerülését is. A

legtöbb ezzel kapcsolatos kutatásban a bevitt citrullin mennyisége 4000-10000 mg közé tehető, azonban magas dózisoknál több kutatásban is megjelent a gasztrointesztinális diszkomfort-érzés. Ennek elkerülése érdekében viszonylag alacsonyabb adag bejuttatása mellett döntöttünk.

Minden egyes vizsgálat három részből állt: nyugalmi mérések, terheléses mérések és mérések restitúcióban.

Nyugalmi mérések

A nyugalmi mérések minden esetben testösszetétel-méréssel kezdődtek, melyet InBody 720 készülékkel végeztünk. Emellett sor került EKG és vérnyomás-mérésre is. Ezt követően fekvő helyzetben 15 percig pulzus, gázcsere, valamint nyugalmi tejsav-mérést végeztünk. fülcimpából vett vérből (Lactate Plus Sport Meter - Nova Biomedical, Waltham, MA, USA). A 15 perc letelte után került sor a szupplementációra a fent említett dózisokkal. Visszaszereltük a gázcsere-analizátort, majd a peros bevitel után 5 perccel elindítottuk a gázcsere-mérést és 50 percen keresztül fekvő helyzetben tovább rögzítettük a pulzusszámot és a gázcsere paramétereket. A gázcsere mérés (Jaeger CPX Vyntus) készülékkel, az adatok automatikus feldolgozása SentrySuite Version 2.17 szoftverrel történt.

Terheléses mérések

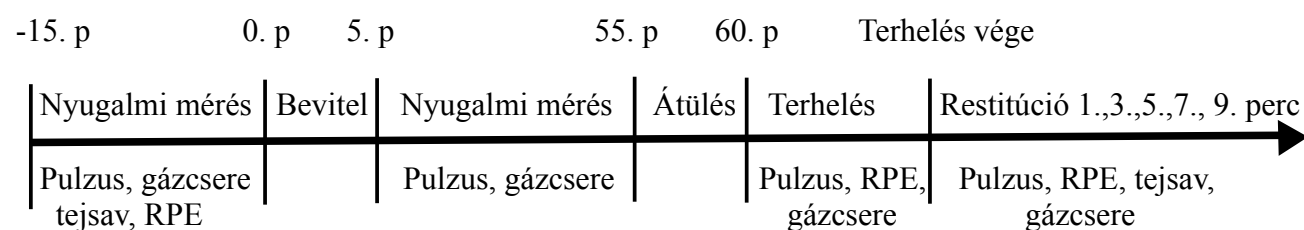
A nyugalmi mérés végeztével a résztvevők átültek a kerékpár ergométerre (Monark Ergomic 839E), ahol minden esetben a szupplementáció után 60 perccel került sor a terheléses vizsgálatra.

A terheléses protokollt 0 W ellenállással kezdtük és ezt 3 percenként 35 Wattal növeltük. Egy ilyen 3 perces blokk számít 1 terheléses lépcsőnek.¹¹ Azért döntöttünk a 0 W ellenállással való kezdés mellett, mert a vizsgálati személyek nagy része még nem ült kerékpár ergométeren, így az első néhány lépcső a bemelegítést és az eszközhöz való hozzászokást szolgálta.

A terhelés minden percében feljegyeztük a pulzus (Polar H10 mellkas jeladó) - és a fordulatszámot. A résztvevőknek az első mérésen rögzített fordulatszámokkal kellett teljesíteniük a további méréseket, mert a magasabb fordulatszám általában magasabb pulzusszámot eredményez.¹⁸ Ezt kiegészítettük minden terhelési lépcső 3. percében egy szubjektív erő kifejtés/fáradtságérzet méréssel, melyre a Borg-skálát használtuk.¹⁵

A terhelés az 1,1-es RER-érték eléréséig és annak stabil, 15 s-os megtartásáig tartott. Azért döntöttünk az 1,1-es RER-érték mellett, mert ez már elég magas intenzitás ahhoz, mert ennél az intenzitásnál a szénhidrát felhasználás jelentőssé válik, ugyanakkor az intenzitás mértéke még nem olyan magas, hogy a résztvevők aktuális pszichoszomatikus állapota (pl.: monotóniatűrés, fájdalomtűrés) befolyásolja az eredményt.

1. ábra. Mérési protokoll



Restitúciós mérések

A terhelés leállítása után 9 perces aktív pihenőben végeztünk további méréseket, amely alatt a résztvevők 0 W ellenállással kerékpároztak az ergométeren. Továbbra is minden percben rögzítettük a pulzusszámot és ezt a restitúció 1., 3., 5., 7. és 9. percében tejsav- és szubjektív fáradtságérzet méréssel egészítettük ki. A 9 perces aktív pihenő után azonnal testösszetétel-visszamérést végeztünk a folyadékterek esetleges változásainak nyomon követése érdekében.

Statisztika

A szupplementációk hatását a vizsgált terhelésélettani mutatókra a nyugalmi időszakban, illetve a terhelés alatt az alacsony elemszám miatt, nem-paraméteres Friedman-féle ANOVA-val vizsgáltuk és az egzakt p értékeket vettük figyelembe. Utóvizsgálatként a kezelések közötti szignifikáns különbségek azonosítására páronkénti Wilcoxon-féle előjeles rangpróbát végeztünk, Bonferroni korrekcióval. A statisztikai elemzéseket SPSS v. 23 programcsomaggal végeztük. Hipotéziseinket 5%-os szinten teszteltük.

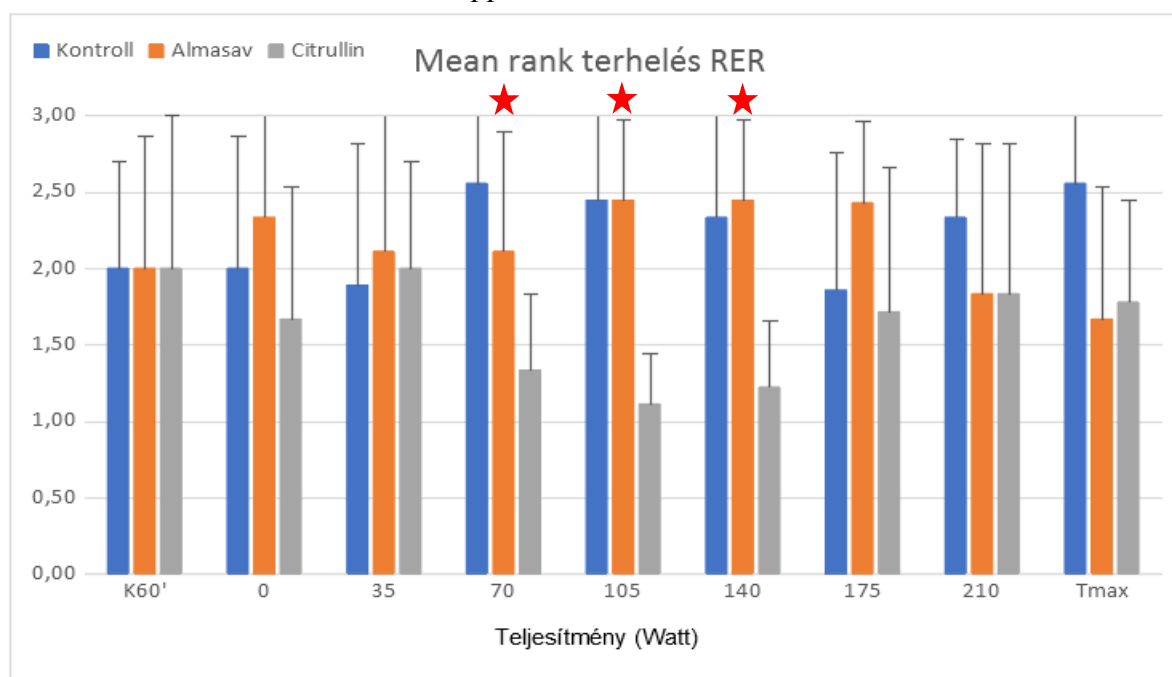
Eredmények

RER-értékek

A nyugalmi mérések során rögzített RER-értékek nem különböztek a 3 csoport között, tehát sem a citrullinnal, sem az almasavval történő szupplementáció nem befolyásolta a résztvevők nyugalmi gázcserejét.

A terhelés során mért RER-értékek azonban szignifikánsan különböztek 105, 140 és 175 Wattos teljesítménynél a citrullin-víz ($p=0,014$; $p=0,006$; $p=0,010$) és a citrullin-almasav ($p=0,010$; $p=0,002$; $p=0,002$) összehasonlításában (2. ábra). Az átlag értékeket a 2. és 3. táblázatban foglaltuk össze.

2. ábra. RER-értékek a különböző szupplementációknál a terhelés alatt



2. táblázat. Elterő szupplementációs átlag RER-értékek különböző intenzitású terhelés alatt (citrullin-almasav)

	Citrullin RER	Almasav RER
70 W	0,820	0,860
105 W	0,898	0,928
140 W	0,931	0,972

3. táblázat. Eltérő szupplementációs és kontroll átlag RER-értékek különböző intenzitású terhelés alatt (citrullin-kontroll)

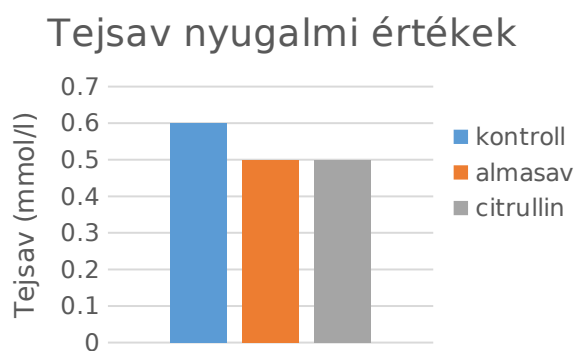
	Citrullin RER	Kontroll RER
70 W	0,820	0,857
105 W	0,898	0,927
140 W	0,931	0,970

Maximális teljesítmény RER 1,1-nél

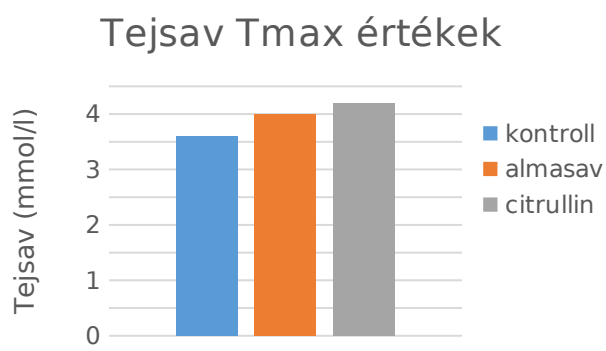
A maximális teljesítmény (Tmax) nem különbözött statisztikailag szignifikánsan a 3 csoport között. A kontrollcsoportnál a Tmax átlagosan 203 W, míg a citrullinnál 207 W ($\pm 45,2$ W) és az almasavnál 208 W ($\pm 44,2$ W) volt.

Tejsavértékek

A szupplementáció hatására a rögzített tejsav-értékek nem különböztek szignifikánsan sem nyugalomban, sem a terhelés maximumán (3-4. ábra).



3. ábra. Medián tejsavértékek nyugalomban



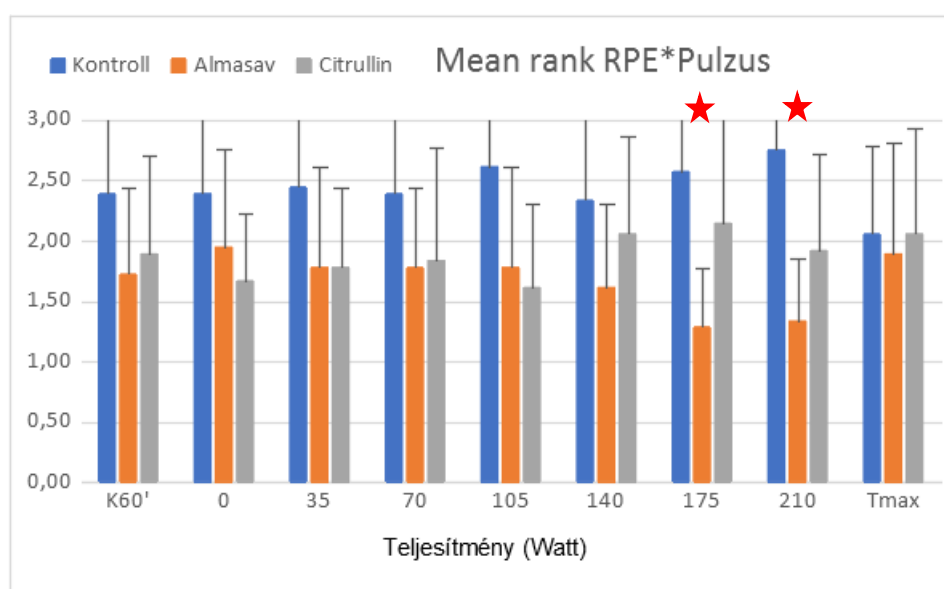
4. ábra. Medián tejsavértékek a terhelés maximumán

RPE*pulzus érték

A vizsgálat során a szubjektív erő kifejtés Borg-skála szerinti értékéből és az objektív pulzusmérésből számolt RPE*pulzus értékek szignifikánsan különböztek az almasavnál a kontrollhoz képest.

175 Wattnál ($p=0,008$) és 210 Wattnál ($p=0,008$) az almasav szupplementáció hatására jelentősen alacsonyabb RPE*pulzus értékeket mértünk (4. ábra).

4. ábra. RPE*pulzus értékek a különböző szupplementációknál a terhelés alatt



Az étrendkiegészítő használata során a különböző intenzitású terhelés alatt szignifikánsan különböző RPE*pulzus átlag értékeket a 4. táblázatban foglaltuk össze.

4. táblázat. Eltérő RPE*pulzus átlag értékek (almasav-kontroll)

	Almasav RPE*pulzus	Kontroll RPE*pulzus
175 W	1633,5	1825,1
210 W	1953,4	2082,3

Megbeszélés és összefoglalás

Feltevéseink és vizsgálati eredményeink összevetése során az alábbi megállapításokat tehetjük.

H1: Az almasav és a citrullin adása csökkenti nyugalomban és terhelés alatt a RER értékét.

V1: Mivel a szupplementáció nyugalomban nem, de a terhelés alatt alacsonyabb RER-értékekkel járt, mint a kontroll esetében, az 1. hipotézist részben elfogadom.

H2: A szupplementáció terhelés során a RER 1,1 értékhez tartozó teljesítményt növeli.

V2: Habár a kontroll és a szupplementációk közti különbség nem érte el a statisztikai szignifikancia szintjét, az élsportban jelentős különbségnek számító teljesítmény-eltérés miatt sporttudományi megfontolások alapján a 2. hipotézist részben elfogadom és további, nagyobb elemszámú vizsgálatokat tartok indokoltnak.

H3: Az l-citrullin a restitúcióban alacsonyabb tejsavkoncentrációt eredményez

V3: Sok kutatással ellentétesen a vizsgálatunkban a citrullin nem volt hatásos a tejsav-elimináció folyamatának felgyorsításában, ezért a 3. hipotézist elvetem.

H4: A szupplementáció csökkenti a fáradtságérzetet terhelés alatt és restitúcióban.

V4: Mivel 175 W és 210 W ellenállásnál az almasav hatására jelentősen alacsonyabbak voltak az RPE*pulzus értékek, a 4. hipotézist elfogadom.

Az eredmények azt igazolják, hogy az almasav és a citrullin szupplementáció kedvezően tudja befolyásolni az állóképességi teljesítményt. A terhelés alatt mért alacsonyabb RER-értékek arra utalnak, hogy a kontrollcsoporthoz képest (a gyakorlatban: aki nem szupplementál almasavval és/vagy citrullinnal) a szupplementáció segítségével, akár a citrullin, akár az almasav adása esetén, a teljesítmény fenntartásához szükséges energia nagyobb részét képes a szervezet zsírsavakból fedezni. Purdom és munkatársai (2018) a vizsgálataikban maximális szabad zsírsav felhasználás optimális intenzitását keresték (MFO, maximal fat oxidation), mely az egyén VO_{2max} értékének 45-65%-a között helyezkedik el.¹⁹ Ezt az intenzitást túllépve a 70:30=szénhidrát:zsír arány egyre inkább a szénhidrát felhasználás irányába tolódik el (Brun és mtsai, 2022).²⁰ Az MFO-hoz hozzárendelhető intenzitást számos tényező befolyásolja, mint például: az egyén neme (nők átlagosan 10%-kal több lipidet használnak fel) de befolyásolható az étrend szénhidrát tartalmának változtatásával és alacsony intenzitású (első tejsavküszöb alatti) állóképességi edzéssel (Brun és mtsai, 2022).²⁰ Ez különösen olyan sportágaknál lehet előnyös, ahol a verseny nagy része aerob körülmények között zajlik és a verseny időtartamából kifolyólag a

glikogén raktárak gyorsabb ürülése negatívan befolyásolja a sportteljesítményt (nagy állóképességet igénylő hosszú terhelések, például: hosszútáv-futás, hosszútávú triatlon stb.). Jeukendrup (2011) tanulmányában azt vizsgálta, hogy mely tényezők befolyásolják a fáradást leginkább a hosszú távú állóképességi versenyek során. Az eredmények alapján ezek a dehidráció, a hipernatrémia és a glikogén raktárak kiürülése voltak.²¹

Bár a maximális teljesítmény növekedésében tapasztalható különbségek nem érték el a statisztikai szignifikancia szintjét, az élsportban, ahol tized- vagy századmásodpercek dönthetnek a helyezésekről, a 4-5 Wattal magasabb teljesítmény jelentős előnyt, akár győzelmet jelenthet. A két étrendkiegészítő megfizethető ára és könnyű hozzáférhetősége miatt számos sportág sportolójának érdemes elgondolkodnia a használatukon.

A hosszú alapozási időszakban a felkészülés során a később jelentkező és alacsonyabb fáradtságérzet hozzájárulhat a tartós, rendszeres edzéseknél a hatékony edzőmunkához. Kiyici és munkatársai (2017) kézilabda játékosokat vizsgált egy 4 hetes alapozási időszak közben, ahol az egyik csoport napi 3 alkalommal étkezések mellé részesült citrullin-malát szupplementációban, míg a placebo csoport ugyanabban az időpontban, ugyanolyan színű és ízű placebot fogyasztott.⁸ A szupplementációban részesülő csoportnál jelentősen alacsonyabb tejsav értékeket és csökkent fáradtságérzetet mértek a kutatók.

Gyakorlati jelentőséggel is bír a mindennapi edzéstervezésben és edzésvezetésben az RPE*pulzus érték használata, ugyanis az objektív pulzusszámot kiegészítve a szubjektív Borg-skálával, még pontosabb képet kaphatunk sportolónk aktuális állapotáról. Ez segítheti az edzők munkáját, hogy pontosabban tudják beállítani a terhelés mértékét, így elkerülve az alul- vagy túlterhelést. Előnye, hogy alacsony eszközigénnyel bír, hiszen ma már szinte minden sportklubban rendelkezésre állnak különböző pulzusmérő eszközök, a Borg-skálát pedig könnyen el lehet készíteni akár manuálisan is.

Vizsgálatunknak ugyanakkor számos limitációja van. A további kutatásokban célszerű nagyobb elemszámú csoportokat kialakítani, valamint magasabb dózisú szupplementációt kipróbálni. Ezek a változtatások mind hozzájárulhatnak ahhoz, hogy a pozitív hatások elérjék a statisztikai szignifikancia szintjét, azaz bizonyítottan tekinthessük az adott étrendkiegészítő hatékonyságát. Továbbá célszerű lenne az akut szupplementáció mellett olyan további kutatásokat végezni, melyek a több héten keresztül történő szupplementáció hatásait vizsgálják az állóképességi teljesítményre.

Felhasznált irodalom

1. Owen O., Kalhan S., Hanson R. (2002): The key of anaplerosis and cataplerosis for citric-acid cycle function. *J. Biol. Chem.*, 277: 30409–12
2. Glenn J. M., Gray M., Wethington L. N. et al. (2017): Acute citrulline malate supplementation improves upper- and lower-body submaximal weightlifting exercise performance in resistance-trained females. *Eur. J. Nutr.*, 56: 775–784
3. Varvik F. T., Bjornsen T., Gonzalez A. M. (2021): Acute effect of citrulline-malate on repetition performance during strength training: A systematic review and meta-analysis. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.*, 4: 350-358
4. Takada K., Machida M., Kohara A. et al. (2011): Effects of citrulline supplementation on fatigue and exercise performance in mice. *J. Nutr. Sci. Vitaminol*, 57. 3: 246-250
5. Suzuki T., Morita M., Kobayashi Y. et al. (2016): Oral l-citrulline supplementation enhances cycling time trial performance in healthy trained men: Double-blind randomized placebo-controlled 2-way crossover study. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 13, 6
6. J. L. Wu, Q. P. Wu, J. M. Huang et al. (2006): Effects of l-malate on physical stamina and activities of enzymes related to the malate-aspartate shuttle in liver of mice. *Physiol. Res.* 56: 213-220
7. Qiang F. (2015): Effect of malate-oligosaccharide solution on antioxidant capacity of endurance athletes. *Open Biomed. Eng. J.* 9: 326–329
8. Kiyici F., Eroğlu H., Kishali N. F. et al. (2017): The effect of citrulline-malate on blood lactate levels in intensive exercise. *Biochem. Genet.* 55: 387–394
9. Gonzalez A. M., Texler E. T. (2020): Effects of citrulline supplementation on exercise performance in humans: A review of the current literature. *J. Strength Cond.* 5: 1480-1495
10. Maunder E., Plews D. J., Kilding A. E. (2018): Contextualising maximal fat oxidation during exercise: determinants and normative values. *Front. Physiol.* 23: 599
11. Achten J., Gleeson M., Jeukendrup A. E. (2002): Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34: 92-97

12. Korkmaz E. S., Polat M. (2021): Correlation of maximal respiratory exchange ratio with anaerobic power and maximal oxygen uptake in anaerobic trained athletes. *Pedagogy of Physical Culture and Sports*. 25: 261-6
13. Radák Zsolt: *Edzésélettan 2.0* (2019), Krea-Fitt Kft., Budapest
14. Pavlik Gábor: *Élettan – sportélettan* (2013), Medicina Könyvkiadó Zrt., Budapest
15. Borg G. A. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med. Sci. Sports Exerc.* 14: 377-81
16. Arney B. E., Glover R., Fusco A. et al. (2019): Comparison of RPE (Rating of perceived Exertion) Scales for Session RPE. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 14: 994-996.
17. Scherr J., Wolfarth B., Christle J. W. et al. (2012): Associations between Borg's rating of perceived exertion and physiological measures of exercise intensity. *Eur. J. Appl. Physiol.* 113: 147-55
18. Randy G. Canivel, Frank B. Wyatt (2016): Cardiovascular responses between low cadence/high force vs. high cadence/low force cycling. *Int. J. of Exercise Science* 9: 419-426
19. Purdom T., Kravitz L., Dokladny K. et al. (2018): Understanding the factors that effect maximal fat oxidation. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 12:15-3
20. Brun J. F., Myzia J., Varlet-Marie E. et al. (2022): Beyond the calorie paradigm: Taking into account in practice the balance of fat and carbohydrate oxidation during exercise. *Nutrients* 12: 1605
21. Jeukendrup A. E. (2011): Nutrition for endurance sports: marathon, triathlon, and road cycling. *J. Sports Science* 29: 91-9

Mellékletek

1. melléklet: tájékoztató és beleegyező nyilatkozat

TÁJÉKOZTATÓ ÉS BELEEGYEZŐ NYILATKOZAT

Kedves Hallgatótársaim!

Ebben a dossziében egy tájékoztató találtok a vizsgálatról; egy beleegyező nyilatkozatot arról, hogy elolvastátok és megértettétek a vizsgálat folyamatát, valamint egy kérdőívet, melyet kérek, hogy körültekintően és őszintén töltsétek ki! A kérdőív kitöltése önkéntes, tehát ha olyan kérdéssel találkoztok, amelyre nem szeretnétek válaszolni, akkor azt megtehetitek.

A vizsgálatot az [REDACTED] tanszék munkatársaival fogom végezni, amennyiben bármilyen kérdésetek adódik, bátran keressetek engem az alábbi email címen: [REDACTED] vagy telefonon [REDACTED]!

Minden adatot anonim módon fogunk kezelni, nevek helyett kódszámokat fogunk használni. A mérési adatokat egy Excel táblázatban fogjuk tárolni, melyhez csak nekem és a témavezető tanárnak lesz hozzáférése.

Fáradozásotokat és segítségéteket köszönöm!

Üdvözlettel!

Budapest, 2021.11.01.

A tájékoztatót elolvastam és megértettem, aláírásommal beleegyezek a vizsgálatba.

Aláírás:

Kelt:

TÁJÉKOZTATÓ A VIZSGÁLATRÓL

Mi a vizsgálat tárgya, témája?

Ebben a vizsgálatban egy olyan étrendkiegészítőt vizsgálunk, mely képes lehet a sportolás során a tejsav termelődést csökkenteni. Terhelés során, ha az intenzitás mértéke meghaladja a felvehető oxigénnel fedezhető energiaellátást, a szervezet kénytelen oxigén jelenléte nélkül energiát termelni, amit anaerob energianyerésnek nevezünk. Ilyenkor oxigén nélkül bontja le a testünk a glükózt és nyer belőle ATP-t, amit izmaink fel tudnak használni. Sajnos a folyamat melléktermékeként tejsav keletkezik, amely savas kémhatása miatt felborítja a szervezet homeosztázisát. Az izomzatban megnövekedett tejsavsztint fájdalommal jár, melyek a mozgás leállta után nem sokkal eltűnnek. A szervezet a tejsavat igyekszik minél hamarabb elszállítani a májba, ahol a Cori-kör révén le tudja bontani, sőt még glükózzá is tudja alakítani.

Az l-citrullinnak számos hatása van a szervezetünkben, de ebből kettő kiemelendő a sportolás szempontjából: az egyik, hogy a karbamid-ciklusnak egy közterméke és lehetségessé teszi a szervezet számára mérgező ammónia kiválasztását; a másik pedig, hogy nitrogén-oxid prekursoraként is szolgál. A nitrogén-oxidot az érfal endotheliuma termeli, és segít az érfal ellazulásában, a véráram helyreállításában. Hipotézisünk szerint ennek az érfal ellazító hatásnak szerepe lehet abban, hogy a vér gyorsabban tudja a májba szállítani a felszaporodott tejsavat, ezáltal fokozni tudja a teljesítményt a fáradás késleltetésével.

Mi az az l-citrullin?

Az l-citrullin egy aminosav, mely a természetben is előfordul. Erre jó példa a görögdinnye, mely nagy mennyiségben tartalmazza. Tehát ez egy természetes anyag, melynek nincsenek egészségkárosító hatásai.

Hogyan zajlik majd le a vizsgálat, mire készüljek?

A vizsgálat három lépcsőben fog lezajlani. Ugyanazon vizsgálatot fogjuk elvégezni egyszer hatóanyag nélkül, egyszer l-citrullinnal és egyszer almasavval, melyet gyakran használnak az l-citrullinnal kötésben, hogy segítse annak felszívódását.

A vizsgálatok minden esetben a délelőtti órákban fognak zajlani. A vizsgálat megkezdése előtt 120 perccel kell elfogyasztanotok egy egységes reggelit: 2 db vizes zsemle, 7 szelet csemege szalámi, 1

paradicsom és 3 dl víz. Emellett megkérlek benneteket, hogy az általam kinyomtatott sportorvosi kérdőívet is töltsétek ki, és azzal együtt, sportruházatban gyertek a vizsgálatra

A vizsgálatot néhány előkészítő méréssel kezdjük: vérnyomás, testösszetétel (InBody720) és nyugalmi EKG. Ezek után le fogtok feküdni egy kényelmes ágyra, ahol megismerkedtek majd a gázcsere analizátorral, mellyel 15 percig fogjuk monitorozni a kilélegzett levegőtöket, majd sor kerül az étrendkiegészítő bevitelére. Ezután további 45 percet fogtok feküdni, érdemes hozni fejhallgatót, hogy tudjatok zenét vagy podcastot hallgatni. Az idő letelte után átváltok a kerékpár ergométerre, ahol egy fokozatosan emelkedő Watt-szám mellett kell tekernetek, amíg el nem éritek a RER 1,1-es értéket. Ekkor leállítjuk a terhelést és a 8 perces pihenőidő alatt fogunk vért venni a fülcimpátokból. Ne aggódjatok, alig lehet érezni! A terhelés után 10 perccel megismétljük a vérnyomás mérést és a testösszetétel mérést, és már végeztünk is az első méréssel. Ezt a protokollt fogjuk megismételni további 2 alkalommal.