A BCAA táplálkozás-élettani hatásai, szerepe a sporttáplálkozásban és a klinikumban

Nutritional effects of BCAA, their role in sports nutrition and clinical practice

DOI: 10.21486/recreation.2023.13.2.1

Szerző:
MASZLAG ANNAMÁRIA
Dietetikus
Munkahely: SuperFoods kft.
annamaria.maszlag@gmail.com

Szerző:
MAYER LÍVIA
Dietetikus
Munkahely: SuperFoods Kft.
mayerlivia96@gmail.com

Szerző:
DR. FRITZ RÉKA
Klinikai szakorvos, PhD hallgató
Szegedi Tudományegyetem Klinikai orvostudományi Doktori Iskola
drandoreka@gmail.com

Szerző, rovatszerkesztő:
DR. HABIL. FRITZ PÉTER
okleveles táplálkozástudományi szakember
az egészségtudományok doktora
egyetemi docens
Ferencvárosi Torna Club,
Miskolci Egyetem
pfritz@hotmail.hu
Tudományos tevékenysége:
doktori iskolában témavezető
Főbb kutatási terület:
sporttáplálkozás, rekreáció

ÖSSZEFOGLALÁS:

Az étrend-kiegészítők formájában történő fehérjepótlás szinte nélkülözhetetlen a sportolók körében. A fehérjeporok mellett gyakori a BCAA, azaz elágazó láncú aminosav (leucin, izoleucin, valin) készítmények használata is. Az aminosav kiegészítők szedésének célja, hogy biztosítsák az izmok regenerációját, illetve segítsék az izom épülését a nagy terheléssel járó edzések, versenysorozatok idején (Szabad et al. 2021). Jelen tanulmányban összegezzük a meglévő kutatások eredményeit az elágazó láncú aminosavak felépítéséről, tulajdonságairól, rövid- és hosszú távú hatásairól nemcsak sportolói körökben, hanem a klinikumban is. Képet kapunk arról, hogy méltán preferált és elterjedt-e ezen étrend-kiegészítők használata. Kulcsszavak: aminosav, elágazó láncú aminosav (BCAA), étrend-kiegészítés, adagolás, sport, regeneráció, izom, testösszetétel

Kulcsszavak: sportfogadás, egyetemisták, függőség, nyeremények.

ABSTRACT:

The protein complementation in the form of dietary supplements is almost essential among athletes. Next to protein powders the use of BCAA, branched chain amino acid products (leucine, isoleucine, valine) is also common. The purpose of taking these supplements is to ensure muscle regeneration and help in muscle building during high-load training or competition series (Szabad et al. 2021). In this study, we summarize the results of existing research on the structure, properties, and short- and long-term effects of these amino acids. We get an idea of whether or not they are rightfully preferred and widespread dietary supplements.

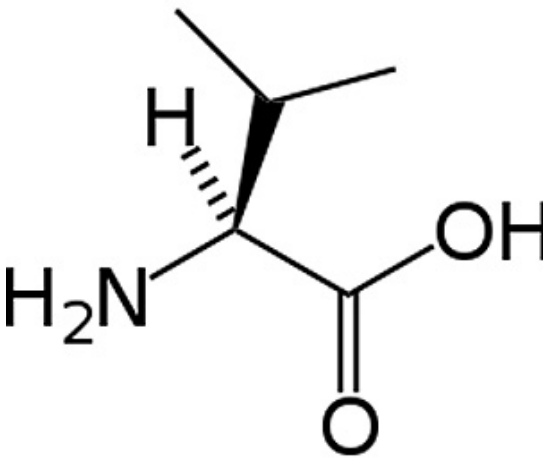
Keywords: amino acid, branched-chain amino acid (BCAA), dietary supplement, dosage, sport, regeneration, muscle, body composition

SZERKEZETE

A BCAA *(Branch Chain Amino Acid)* három elágazó láncú aminosavból álló csoport rövidítése, elnevezése. Az aminosavak olyan szerves vegyületek, melyek aminocsoportot *(-NH2)* és karboxilcsoportot *(-COOH)* is tartalmaznak és peptidkötések kötnek össze. A szervezetben szabadon és kötött formában is megtalálhatóak *(Kamei et al. 2020)*.

Az aminosavak a fehérjék építőköveiként befolyásolják azok jellegzetes tulajdonságait és funkcióit. Összesen 20 féle fehérjeépítő aminosavat *(AS)* tartunk számon, melyből 9 esszenciálisnak tekinthető. Ez azt jelenti, hogy a szervezet nem képes előállítani őket, ezért kiemelt jelentőségű, hogy táplálékkal vagy szükség esetén étrend-kiegészítőkkel pótoljuk őket. A maradék 11 AS nem esszenciális, vagyis az emberi szervezet szintetizálásukra képes *(Santos – Nascimento, 2019)*.

A BCAA a leucin, izoleucin és valin AS-ak közismert elnevezése, melyek mindegyike esszenciális. Szerkezetük jellegzetessége, hogy tartalmaznak elágazó oldalláncot, amely egy szén- és három hidrogénatomból áll *(Plotkin et al. 2021)*. A BCAA-k az izomszövetet alkotó esszenciális aminosavak 50%-át alkotják *(Santos – Nascimento, 2019)*. (1 sz. kép)



A vázizomzat, amely az emberi test legnagyobb szerve, és a teljes testtömeg ~40%-át teszi ki, fontos szerepet játszik a testmozgásban, az energia- valamint a glükóz/aminosav felhasználásban – olyan folyamatokban, amelyeket különböző aminosavak és metabolitjaik szabályoznak *(Kamei et al. 2020)*.

Étrendi bevitelükre legalkalmasabb az állati eredetű termékek fogyasztása, mint pl. a húsok, húskészítmények, halak, tej, tejtermékek és a tojás *(Fritz et al. 20017)*.

METABOLIZMUSA

A legtöbb aminosavtól eltérően a BCAA-katabolizmus kezdeti lépése nem a májban megy végbe, hanem a vázizomban, ugyanis a BCAA aminotraszferáz – amely a BCAA lebontás kezdeti lépéséért felelős enzim – koncentrációja a vázizomban magas, míg a májban alacsony. Emiatt fehérjebevitel után a BCAA szintje gyorsan megnövekszik a szisztémás keringésben, és könnyen elérhető az extrahepatikus szövetek számára. Ez a jelenség egyedülálló előnyt biztosít a BCAA-alapú étrend-kiegészítő formuláknak egyéb termékekhez képest, különösen az agyat és izmokat célzóakkal szemben.

A metabolizmus utolsó lépéseként a vázizomzatban felhasználásra kerülhetnek energiaforrásként vagy új izomfehérjék képzéséhez.

A BCAA-k stimuláló hatást gyakorolnak a fehérjeszintézisre *(Holeček, 2018)*.

Az izomtömeg növeléséhez az izomfehérje szintézis mértékének meg kell haladnia a lebontás mértékét. A myofibrilláris-izomfehérje szintézis fokozható mind az esszenciális aminosavak bevitelével, mind rezisztencia edzéssel a rapamicin komplex-1 *(mTORC1)* jelátviteli út aktiválásán keresztül *(Jackman et al. 2017)*. Továbbá gátló hatást fejtenek ki a proteolízisre, azaz a fehérjéket összetartó peptidkötések hidrolízisésre. Mivel ez utóbbi folyamat a fehérjék kulcsfontosságú összetevőikre, peptidekre és aminosavakra történő lebontását eredményezhetné, így a BCAA-k izommegtartó szerepe ismert *(Holeček, 2018)*. Azonban az izolált BCAA-bevitel emberi izomhipertrófiára gyakorolt hatásosságát vizsgáló kutatások nem mindig azonnos eredményeket mutatnak *(Santos – Nascimento, 2019)*.

FELHASZNÁLÁSA

Sport

Energiaforrás

A BCAA-k gyorsan emészthetők, így fizikai aktivitás során energiaforrásként szolgálhatnak. Képesek megakadályozni az izomtömeg energianyerés céljából történő elégetését. Ebből következik a BCAA-k antikatabolikus hatása *(Holeček, 2018)*.

Teljesítmény

Matsumoto és társai a BCAA-kiegészítés laktátküszöbre gyakorolt hatását vizsgálták. Ugyan az esetszám nagyon alacsony volt *(n=8)*, de az eredmények arra utalnak, hogy a BCAA kiegészítés hatékonyan növelheti az állóképességi edzéskapacitást *(Matsumoto et al. 2009)*.

Ezzel megegyezően Manaf és társai kutatásában az akut BCAA-kiegészítés a placebó csoporttal összehasonlítva szignifikánsan javította a teljesítményt kerékpáros időmérő edzésen szabadidő sportolók körében *(Manaf et al. 2021)*.

A szerotoninnak is nagy szerepe van az edzés közbeni fáradtságért. Úgy gondolják, hogy a BCAA-kiegészítés csökkenti a szerotonin termelését, ezzel hozzájárulva a sportteljesítményhez *(Holeček, 2018)*. Így kifejezetten hasznos lehet állóképességi sportolók számára.

Időseken végzett 40 héten át tartó kutatás során többkomponensű edzésprogram mellett BCAA kiegészítést is alkalmaztak. Az eredmények alapján a BCAA-kiegészítés önmagában nem volt hatással a funkcionális fittségre, de rövid időn belül *(16 hét)* hozzájárult a gyengeség csökkenéséhez, valamint csökkentheti az edzésmentes időszak funkcionális kapacitásra gyakorolt negatív hatását *(Caldo-Silva et al. 2021)*.

Izomkárosodás és regeneráció

A jelenlegi bizonyítékokon alapuló információk szerint az egyik legfontosabb étrend-kiegészítő lehet sportolói körökben. A BCAA használata hatásosabb, mint a passzív felépülés vagy pihenés a kimerítő gyakorlatokat követően, mivel enyhíti az edzést követő izomfájdalmat és javítja az izomműködést *(Rahimi et al. 2017)*.

Egy 2011-es kettős vak, randomizált keresztmetszeti vizsgálat során vizsgálták a BCAA-k hatásait sportolóknál. A kiegészítés hatására később fáradtak el a kiegészítést kapó egyének a kontrollcsoport tagjaihoz képest, illetve a BCAA elősegítette a zsírsavak oxidációját abban az esetben, mikor az izomglikogén mennyisége már lecsökkent *(Gualano et al. 2011)*.

Kim és társai 26 fiatal felnőtt férfin vizsgálták a BCAA adagolásának hatását a fáradást jelző *(szerotonin, ammónia és laktát)*, az izomkárosodást okozó *(CK és LDH)* és az energia anyagcserét jelző paraméterekre *(szabad zsírsav és glükóz)* állóképességi edzés után. Az eredményeik azt mutatják, hogy a BCAA-kiegészítés csökkentette az intramuszkuláris enzimek, például CK és LDH szérumkoncentrációit. Ez a megfigyelés arra utal, hogy a BCAA-k csökkenthetik az állóképességi gyakorlatok által okozott izomkárosodást *(Kim et al. 2013)*.

A BCAA-kiegészítés időzítését vizsgálták izomfájdalom és izomkárosodás vonatkozásában is. A kiegészítés 3 időpontban történt *(edzés előtt, után, placebo)*, melyek közül az edzés előtt történő pótlás eredményezte a legnagyobb mértékű javulást a késleltetett izomfájdalom *(DOMS)*, a felkarkörfogat, illetve könyök mozgástartományát illetően. Továbbá az izomkárosodást jelző paraméterek *(CK, LDH, aldoláz)* szintje jelentősen csökkent a kontroll csoporthoz képest *(Ra et al. 2018)*.

Sharp és Pearson kutatásai alapján a szérum tesztoszteron szintje szignifikánsan magasabb, míg a kortizol és a kreatin kináz szintje szignifikánsan alacsonyabb volt a BCAA csoportban a rezisztencia edzés alatt és azt követően. Ezek az eredmények arra utalnak, hogy a rövid távú aminosav-kiegészítés magas BCAA tartalommal nettó anabolikus hormonprofilt eredményezhet, miközben mérsékli az edzés által kiváltott izomszöveti károsodások növekedését *(Sharp – Pearson, 2010)*.

Pourgharib Shahi és társai áttekintése alapján a BCAA-kiegészítés csökkentheti a szervezet kortizol koncentrációját és javíthatja az izomfunkciót az edzést követő 2 órában, ezzel hozzájárulva a jobb regenerációhoz *(Pourgharib Shahi et al. 2022)*.

Weber és társai 2021-es szisztematikus áttekintésében a BCAA pótlás hatását vizsgálták edzés hatására bekövetkező izomkárosodásra *(EIMD)*, valamint az ennek a következtében kialakuló késleltetett izomfájdalomra *(DOMS)*. A BCAA már egy edzést követően is hasznosnak bizonyult az izomregeneráció elősegítésében, csökkentve a DOMS mértékét, ebből adódóan pótlása nem csak az EIMD protokollt követően javasolt *(Weber et al. 2021)*.

Ezzel szemben egyes kutatásokban hosszútávú állóképességi sportolókat vizsgálva nem sikerült igazolni a BCAA-kiegészítés pozitív hatásait.

Areces és társai 49 maratonistán vizsgálták a BCAA pótlást izokalorikus placeboval szemben. Egy hétig tartó 5g/nap BCAA-kiegészítés nem javította a maraton alatti futásteljesítményt, nem volt hatékonyabb az izomzat védelmében, illetve az izomkárosodás és izomfájdalom megelőzésében sem, a kontroll csoporthoz képest *(Areces et al. 2014)*.

Knechtle és társai arra a következtetésre jutottak, hogy 20g BCAA-pótlás 100 km-es ultramaraton előtt és alatt nem volt hatással a teljesítményre, a vázizomzat károsodására és a vesefunkciókra a kontroll csoporthoz képest *(Knecthle et al. 2012)*.

Bigard és társai pedig azt találták, hogy a BCAA-kiegészítés hatástalan volt szénhidrátpótlással szemben 24 magasan képzett síalpinista hat egymást követő *(egyenként 6-8 órás, 2500-4000m emelkedőt tartalmazó)* túrája alatt. A BCAA nem befolyásolta szignifikánsan a testösszetétel-változásokat, illetve az izometrikus összehúzódás során fellépő izomteljesítményt *(Bigard et al. 1996)*.

Testsúly kontroll

A BCAA-k támogathatják az izomtömeg megőrzését kalóriadeficitben a glükóz-alanin cikluson *(másnéven Cahill-cikluson)* keresztül *(Holeček, 2018)*.

A Dudgeon és munkatársai által 2016-ban végzett kutatásában kalória-csökkentett étrend és rezisztencia edzés melletti BCAA *(2x14g, vagy szénhidrát placebo)* kiegészítés hatását vizsgálták edzés előtt és után adagolva. A szénhidrát csoportnál nagyobb mértékű testtömeg és száraz izomtömeg vesztést mértek, míg a BCAA kiegészítésben részesülő csoportnál nem volt változás az izomtömeg mennyiségében, továbbá nagyobb mértékű testzsír csökkenést mértek. Ugyanakkor nagyobb volt mind a felső-, mind az alsó testrészen mérhető izomerő növekedés *(Dudgeon – Kelley – Scheett, 2016)*.

Egy másik, 2018-ban végzett randomizált, kontrollált vizsgálatot pedig 42 túlsúlyos, valamint elhízott nő bevonásával végeztek. Az eredmények alapján napi 6 g BCAA-val és 40 mg B-6 vitaminnal történő étrend-kiegészítés elősegítette az alsó végtagok száraz izomtömegének megőrzését kalória-csökkentett étrend mellett, valamint csökkentette a derék-csípő arányt *(Novin – Ghavamzadeh – Mehdizadeh, 2018)*.

Inzulinérzékenység

Sportolóknál a rendszeres testmozgásnak köszönhetően növekszik a mitokondriumok BCAA oxidációjának hatékonysága, így javul az inzulinérzékenység.

Ezzel szemben 2 kutatás a BCAA inzulinrezisztenciát fokozó hatásáról számol be. A jelenség hátterében a BCAA mTORC1 fehérje komplex aktiváló hatása, illetve a BCAA elégtelen lebontásából származó köztes termékek felhalmozódása állhat. Mindezt leginkább testmozgás hiányában, vagy elhízottak körében figyelték meg *(Shou – Chen – Xiao, 2019) (Yoon, 2016)*.

BCAA HASZNÁLATA A KLINIKUMBAN

Immunrendszer

Hasznos lehet az immunrendszer támogatásában, ugyanis Bassit és munkatársai tanulmányában a BCAA-kiegészítés *(2x6 g edzések előtt, 3 g verseny előtt, 3 g reggelente 1 hétig a tesztelések után)* visszafordította a szérum glutaminkoncentráció csökkenését, amelyet hosszan-tartó, intenzív edzés után figyeltek meg triatlonisták körében. Ezáltal szervezetük ellenállóbb volt a fertőzésekkel szemben, és alacsonyabb előfordulással jelentek meg a betegségek tünetei *(33,84%) (Bassit et al. 2000)*.

Szív-és érrendszer

Hotta és társai arra a következtetésre jutottak, hogy a tejsavópeptidek és a BCAA-kiegészítés hasznos kezelést jelenthet a krónikus szívelégtelenségben szenvedő betegek számára, ugyanis növelte a fizikai teljesítőképességet *(Hotta et al. 2021)*. Viszont minden esetben alapos körültekintést igényel az étrendbe való bevezetése, ugyanis a szervezet BCAA-anyagcseréje egyénenként eltérő lehet. Egyes esetekben akár negatívan befolyásolhatja a betegség kimenetelét *(Narita – Amiya, 2021)*.

Májbetegségek

A BCAA-k ugyanazon hordozón keresztül jutnak az agyba, mint az AAA-k *(aromás aminosavak: fenilalanin, tirozin, triptofán)*. A BCAA-k és AAA-k közötti versengés

befolyásolhatja egyes neurotranszmitterek *(dopamin, noradrenalin, szerotonin)* szintézisét. Ez a jelenség indokolja a BCAA-k alkalmazását májcirrózisban szenvedő betegeknél, ahol a BCAA-k és AAA-k arányának csökkenése szerepet játszik a hepatikus encephalopathia patogenezisében *(Holeček, 2018)*.

Több kutatás alapján arra következtethetünk, hogy a BCAA alkalmazása biztonságos lehet, és javíthatja a májcirrózisos betegek túlélési esélyeit, valamint hasznos lehet a katabolikus folyamatok minimalizálásában vagy visszafordításában. Viszont ezen jelenségek még további kutatást igényelnek *(van Dijk et al. 2023) (Maddrey, 1985)*. Mindemellett pozitív eredményeket hozott hepatocelluláris karcinómás betegek esetében is, mivel nagy százalékuknál *(80-90%)* cirrotikus állapot állt fenn *(Lo et al. 2022)*.

Szepszis

De Bandt és Cynober áttekintése alapján a BCAA-kiegészítés két prospektív, kontrollált vizsgálatban is javította az alanyok tápláltsági állapotát és betegségük kimenetelét szeptikus betegek körében *(De Bandt – Cynober, 2006)*.

Krónikus veseelégtelenség

Dializált betegek esetében a BCAA orális kiegészítése javította az étvágyat és a tápláltsági állapotot. A BCAA és BCKA *(elágazó láncú ketosavak)* kiegészítőket azért alkalmazták, hogy csökkentsék a további étrendi fehérjebevitelt, mindeközben fenntartva a kielégítő tápláltsági állapotot. Ebben a helyzetben a BCAA-kat és BCKA-kat nem kizárólag, hanem más alapvető AS-val vagy keto analógokkal együtt alkalmazták, így a BCAA-k és/vagy BCKA-k megfelelő hatását nem vizsgálták külön. A fehérjekorlátozás a ketosavakkal és/vagy esszenciális AS-kal együtt javította az inzulinérzékenységet és a hyperparathyreosist, és támogatta a tápláltsági állapot megőrzését *(Cano – Fouque – Leverve, 2006)*.

Hasonló eredményre jutott Milan Holeček egereken végzett kutatások alapján. Állítása szerint alacsony fehérjetartalmú diéta mellett szükséges lehet a BCAA pótlás, például krónikus veseelégtelenségben vagy karbamid ciklus-zavarban szenvedő betegek esetében *(Holeček, 2018)*.

Rákmegelőzés

Mikalayeva és munkatársai daganatos sejteken vizsgálták a BCAA-kiegészítés hatását. A kutatás során találtak olyan sejttípust, mely proliferációjában a BCAA lebontása fontos energia- és szénforrás lehet. Viszont a rákos sejttípusok anyagcsere-szempontból nagyon eltérőek lehetnek, ezért a BCAA terápiás célbajuttatása érdekes lehetőséget vet fel a tumornövekedés csökkentésében és fontos kutatási terület lehet a jövőben *(Mikalayeva et al. 2021)*.

Mentális funkciók

Elliott és munkatársainak vizsgálata alapján napi 2x 30 g BCAA-val történő étrend-kiegészítés hatékonynak tűnt az álmatlanság és az objektív alvászavarok kezelésében traumás agysérülést szenvedett veteránok esetében. A jövőre nézve ígéretes beavatkozási alternatíva lehet az előbb említett állapotok kezelésében *(Elliott et al. 2022)*.

ÖSSZEFOGLALÁS

A BCAA növekvő népszerűsége miatt egyre szélesebb körben kutatott étrend-kiegészítő. Különféle betegségekben, egészségügyi állapotokban, változatos dózisban kutatják élettani hatásait, így kihívást jelent átfogó képet adni hatásmechanizmusáról.

A sport területén főként teljesítmény- és izomtömeg növekedést támogató hatását figyelték meg, míg a klinikumban pozitívan befolyásolta az egyes betegségek lefolyását, kimenetelét. Egészségi állapottól és egyéni céloktól függően akár napi 1-60 g kiegészítés is hatásos lehet. Szükséges lenne meghatározni egy hivatalos adagolási protokollt különböző állapotokra és célokra vonatkozóan.

FELHASZNÁLT IRODALOM:

Areces, F. – Salinero, J. J. – Abian-Vicen, J. – González-Millán, C. – Gallo-Salazar, C. – Ruiz-Vicente, D. – Lara, B. – Del Coso, J. (2014): A 7-day oral supplementation with branched-chain amino acids was ineffective to prevent muscle damage during a marathon. Amino acids. 46. 5. 1169–1176. DOI: 10.1007/s00726-014-1677-3

Bassit, R. A. – Sawada, L. A. – Bacurau, R. F. – Navarro, F. – Costa Rosa, L. F. (2000): The effect of BCAA supplementation upon the immune response of triathletes. Medicine and science in sports and exercise. 32. 7. 1214–1219. DOI: 10.1097/00005768-200007000-00005

Bigard, A. X. – Lavier, P. – Ullmann, L. – Legrand, H. – Douce, P. – Guezennec, C. Y. (1996): Branched-chain amino acid supplementation during repeated prolonged skiing exercises at altitude. International journal of sport nutrition. 6. 3. 295–306. DOI: 10.1123/ijsn.6.3.295

Caldo-Silva, A. – Furtado, G. E. – Chupel, M. U. – Letieri, R. V. – Valente, P. A. – Farhang, M. – Barros, M. P. – Bachi, A. L. L. – Marzetti, E. – Teixeira, A. M. – Massart, A. (2021): Effect of a 40-weeks multicomponent exercise program and branched chain amino acids supplementation on functional fitness and mental health in frail older persons. Experimental gerontology. 155. 111592. DOI: 10.1016/j.exger.2021.111592

Cano, N. J. – Fouque, D. – Leverve, X. M. (2006): Application of branched-chain amino acids in human pathological states: renal failure. The Journal of nutrition. 136. 1. 299S–307S. DOI: 10.1093/jn/136.1.299S

De Bandt, J. P. – Cynober, L. (2006): Therapeutic use of branched-chain amino acids in burn, trauma, and sepsis. The Journal of nutrition. 136. 1. 308S–13S. DOI: 10.1093/jn/136.1.308S

Dudgeon, W. D. – Kelley, E. P. – Scheett, T. P. (2016): In a single-blind, matched group design: branched-chain amino acid supplementation and resistance training maintains lean body mass during a caloric restricted diet. Journal of the International Society of Sports Nutrition. 13.1. DOI: 10.1186/s12970-015-0112-9

Elliott, J. E. – Keil, A. T. – Mithani, S. – Gill, J. M. – O'Neil, M. E. – Cohen, A. S. – Lim, M. M. (2022): Dietary Supplementation With Branched Chain Amino Acids to Improve Sleep in Veterans With Traumatic Brain Injury: A Randomized Double-Blind Placebo-Controlled Pilot and Feasibility Trial. Frontiers in systems neuroscience. 16. 854874. DOI: 10.3389/fnsys.2022.854874

Fritz, P. – Mészáros, N. – Ignits, D. – Katona, S. (2017): A fehérjék táplálkozás-élettani hatása, szerepük a sporttáplálkozásban = The nutritional and physiological effect of proteins,

their influences on sports nutrition. Recreation. 7. 3. 10–12. o. ISSN 2064-4981

Gualano A.B. – Bozza T. – Campos L.D.P. – Roschel H. – Costa A. D.S. – MarqueziL.M. – Benatti F. – Herbert L.J. A. (2011): Branched-chain amino acids supplementation enhances exercise capacity and lipid oxidation during endurance exercise after muscle glycogen depletion. The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness. 51. 1. 82–88. PMID: 21297567

Holeček, M. (2018): Branched-chain amino acids in health and disease: metabolism, alterations in blood plasma, and as supplements. Nutrition & metabolism. 15. 33. DOI: 10.1186/s12986-018-0271-1

Hotta, K. – Taniguchi, R. – Nakayama, H. – Yamaguchi, F. – Sato, Y. (2021): The Effects of an Oral Nutritional Supplement with Whey Peptides and Branched-Chain Amino Acids for Cardiac Rehabilitation of Patients with Chronic Heart Failure. International heart journal. 62. 6. 1342–1347. DOI: 10.1536/ihj.21-102

Jackman, S. R. – Witard, O. C. – Philp, A. – Wallis, G. A. – Baar, K. – Tipton, K. D. (2017): Branched-Chain Amino Acid Ingestion Stimulates Muscle Myofibrillar Protein Synthesis following Resistance Exercise in Humans. Frontiers in physiology. 8. 390. DOI: 10.3389/fphys.2017.00390

Kamei, Y. – Hatazawa, Y. – Uchitomi, R. – Yoshimura, R. – Miura, S. (2020): Regulation of Skeletal Muscle Function by Amino Acids. Nutrients. 12.1. 261. DOI: 10.3390/nu12010261

Kim, D. H. – Kim, S. H. – Jeong, W. S. – Lee, H. Y. (2013): Effect of BCAA intake during endurance exercises on fatigue substances, muscle damage substances, and energy metabolism substances. Journal of exercise nutrition & biochemistry. 17. 4. 169–180. DOI: 10.5717/jenb.2013.17.4.169

Knechtle, B. – Mrazek, C. – Wirth, A. – Knechtle, P. – Rüst, C. A. – Senn, O. – Rosemann, T. – Imoberdorf, R. – Ballmer, P. (2012): Branched-chain amino acid supplementation during a 100-km ultra-marathon--a randomized controlled trial. Journal of nutritional science and vitaminology. 58. 1. 36–44. PMID: 23007065

Lo, E. K. K. – Felicianna – Xu, J. H. – Zhan, Q. – Zeng, Z. – El-Nezami, H. (2022): The Emerging Role of Branched-Chain Amino Acids in Liver Diseases. Biomedicines. 10. 6. 1444. DOI: 10.3390/biomedicines10061444

Maddrey W. C. (1985): Branched chain amino acid therapy in liver disease. Journal of the American College of Nutrition. 4. 6. 639–650. DOI: 10.1080/07315724.1985.10720106

Manaf, F. A. – Peiffer, J. J. – Maker, G. L. – Fairchild, T. J. (2021): Branched-chain amino acid supplementation improves cycling performance in untrained cyclists. Journal of science and medicine in sport. 24. 4. 412–417. DOI: 10.1016/j.jsams.2020.10.014

Matsumoto, K. – Koba, T. – Hamada, K. – Tsujimoto, H. – Mitsuzono, R. (2009): Branched-chain amino acid supplementation increases the lactate threshold during an incremental exercise test in trained individuals. Journal of nutritional science and vitaminology. 55. 1. 52–58. DOI: 10.3177/jnsv.55.52

Mikalayeva, V. – Pankevičiūtė, M. – Žvikas, V. – Skeberdis, V. A. – Bordel, S. (2021): Contribution of branched chain amino acids to energy production and mevalonate synthesis in cancer cells. Biochemical and biophysical research communications. 585. 61–67. DOI: 10.1016/j.bbrc.2021.11.034

Narita, K. – Amiya, E. (2021): Is branched-chain amino acid nutritional supplementation beneficial or detrimental in heart failure?. World journal of cardiology. 13. 6. 163–169. DOI: 10.4330/wjc.v13.i6.163

Novin, Z. S. – Ghavamzadeh, S. – Mehdizadeh, A. (2018): The Weight Loss Effects of Branched Chain Amino Acids and Vitamin B6: A Randomized Controlled Trial on Obese and Overweight Women. International journal for vitamin and nutrition research. Internationale Zeitschrift fur Vitamin- und Ernahrungsforschung. Journal international de vitaminologie et de nutrition. 88. 1-2. 80–89. DOI: 10.1024/0300-9831/a000511

Plotkin, D. L. – Delcastillo, K. – Van Every, D. W. – Tipton, K. D. – Aragon, A. A. – Schoenfeld, B. J. (2021): Isolated Leucine and Branched-Chain Amino Acid Supplementation for Enhancing Muscular Strength and Hypertrophy: A Narrative Review. International journal of sport nutrition and exercise metabolism. 31. 3. 292–301. DOI: 10.1123/ijsnem.2020-0356

Pourgharib Shahi, M. H. – Sobhrakhshan Khah, A. – Sefidari, A. – Mirzaei, K. (2022): Peripheral fatigue and hormone responses to branched-chain amino acids ingestion and exercise in recovery: a systematic review and meta-analysis. Minerva endocrinology. DOI: 10.23736/S2724-6507.22.03782-4

Ra, S. G. – Miyazaki, T. – Kojima, R. – Komine, S. – Ishikura, K. – Kawanaka, K. – Honda, A. – Matsuzaki, Y. – Ohmori, H. (2018): Effect of BCAA supplement timing on exercise-induced muscle soreness and damage: a pilot placebo-controlled double-blind study. The Journal of sports medicine and physical fitness. 58. 11. 1582–1591. DOI: 10.23736/S0022-4707.17.07638-1

Rahimi, M.H. – Shab-Bidar, S. – Mollahosseini, M. – Djafarian, K. (2017): Branched-chain amino acid supplementation and exercise-induced muscle damage in exercise recovery: A meta-analysis of randomized clinical trials. Nutrition. 42. 30–36. ISSN 0899-9007 DOI: 10.1016/j.nut.2017.05.005.

Santos, C. S. – Nascimento, F. E. L. (2019): Isolated branched-chain amino acid intake and muscle protein synthesis in humans: a biochemical review. Einstein (Sao Paulo, Brazil). 17. 3. eRB4898. DOI: 10.31744/einstein_journal/2019RB4898

Sharp, C. P. – Pearson, D. R. (2010): Amino acid supplements and recovery from high-intensity resistance training. Journal of strength and conditioning research. 24. 4. 1125–1130. DOI: 10.1519/JSC.0b013e3181c7c655

Shou, J. – Chen, P. J. – Xiao, W. H. (2019): The Effects of BCAAs on Insulin Resistance in Athletes. Journal of nutritional science and vitaminology. 65. 5. 383–389. DOI: 10.3177/jnsv.65.383

Szabad, A. – Trenyik, E. – Szabó, P. B. (2021): Fehérje komplettált gabonatartalmú szeletek kifejlesztése és piaci helyzete. Jelenkori Társadalmi és Gazdasági Folyamatok. 16. 1-2. 43–55. o. DOI: 10.14232/jtgf.2021.1-2.43-55.

van Dijk, A. M. – Bruins Slot, A. S. – Portincasa, P. – Siegerink, S. N. – Chargi, N. – Verstraete, C. J. R. – de Bruijne, J. – Vleggaar, F. P. – van Erpecum, K. J. (2023): Systematic review with meta-analysis: Branched-chain amino acid supplementation in liver disease. European journal of clinical investigation. 53. 3. e13909. DOI: 10.1111/eci.13909

Weber, M. G. – Dias, S. S. – de Angelis, T. R. – Fernandes, E. V. – Bernardes, A. G. – Milanez, V. F. – Jussiani, E. I. – de Paula Ramos, S. (2021): The use of BCAA to decrease delayed-onset muscle soreness after a single bout of exercise: a systematic review and meta-analysis. Amino acids. 53. 11. 1663–1678. DOI: 10.1007/s00726-021-03089-2

Yoon, M. (2016): The Emerging Role of Branched-Chain Amino Acids in Insulin Resistance and Metabolism. Nutrients. 8. 7. 405. DOI: 10.3390/nu8070405