

Voeding levert de brand- en bouwstoffen voor alle processen in ons lichaam, dus ook voor krachttrainingsadaptaties, zoals een toename in spiermassa en spierkracht. In deel 1 van dit artikel bespraken we de rol die voeding hierbij speelt, maar bleef de mogelijke ergogene werking van bepaalde voedingssupplementen nog onbesproken. In dit tweede deel zetten we de wetenschappelijke stand van zaken hierover op een rijtje.

Krachtvoer

Deel 2: Optimaliseren van krachttrainingsadaptaties met voedingssupplementen

Luuk Hilkens, Rob van der Werf, Nick Iedema & Tjieu Maas

Zoals we in deel 1 al aangaven, zouden we deze wetenschappelijke kennis heel kort als volgt kunnen samenvatten: *'If it works, it's probably banned. If it's not banned, then it probably doesn't work. There are some exceptions.'*³⁶ Welnu, wat werkt er waarschijnlijk niet en welke uitzonderingen zijn er?

Creatine

We beginnen met zo'n uitzondering, namelijk creatine. Creatinefosfaat is een substraat dat wordt gebruikt voor energieproductie tijdens korte (herhaalde) intensieve inspanningen, zoals springen, sprinten (bij teamsporten) of krachttraining. De voorraad die ligt opgeslagen in de spieren volstaat voor ongeveer 5 tot 15 seconden maximale inspanning. De dagelijkse behoefte van ons lichaam aan creatine wordt voor de helft geleverd via voedingsmiddelen als vlees en vis en voor de andere helft via productie (in de lever en de nieren) uit de aminozuren arginine en glycine.⁴⁵ Een gemiddeld dagelijks dieet dat vlees en vis bevat, levert 1-2 gram creatine. Deze hoeveelheid zal de opslagcapaciteit in het lichaam voor ongeveer 60-80% verzadigen. Het doel van creatinesuppletie is het verder vergroten van de intramuscu-

laire creatinevoorraad, waardoor hoogintensieve inspanning langer kan worden volgehouden. Tijdens een set in een krachttraining kunnen er daardoor meer herhalingen worden gemaakt, waardoor het trainingsvolume toeneemt. Op deze wijze zorgt creatinesuppletie voor sterkere spieraanpassingen als gevolg van krachttraining.^{46,47}

Creatine is het meest onderzochte supplement en wordt door veel toonaangevende organisaties gezien als effectief en veilig voor kracht- en powersporten.^{32,36,47} Om de intramusculaire voorraad toe te laten nemen, wordt vaak een suppletieprotocol gebruikt dat bestaat uit een oplaadfase van 5 dagen met 20 gram creatine per dag, gevolgd door een onderhoudsfase van 3-5 gram per dag.³⁶ Creatinesuppletie kan leiden tot een snelle gewichtstoename tot wel 2 kg, omdat creatine vocht aantrekt. Er zijn aanwijzingen dat creatine innemen met een maaltijd (~50 g eiwit en ~50 g koolhydraten) zorgt voor een betere creatine-absorptie.⁴⁸ Dit omdat insuline het transport van creatine naar de spiercel lijkt te verbeteren.

De sportdiëtist kan creatinesuppletie strategisch inzetten tijdens perioden van intensieve training, maar

in principe kan het supplement ook veilig continu gebruikt worden.⁴⁹ In het laatste geval is de oplaadfase niet steeds nodig. In sommige situaties, bijvoorbeeld bij een belangrijke wedstrijd, waarin inname van creatine een ongewenste invloed kan hebben op de spierspanning (anekdotisch bewijs), kan de suppletie een periode worden onderbroken, of kan een lagere dosis worden genomen. Het poeder creatinemonohydraat is de aanbevolen bron bij de aanschaf van een creatinesupplement. Timing van creatine inname lijkt niet relevant, omdat het vooral gaat om het chronisch verhogen van de intramusculaire creatinevoorraad en niet om het verkrijgen van een acuut effect.

Cafeïne

Cafeïne is een stimulantium (stof die de werking van het centrale zenuwstelsel bevordert), waarvan de positieve effecten vooral bij duursport zijn bevestigd.^{36,50} Inname van 3-6 mg cafeïne per kilogram lichaamsgewicht, 60 minuten voor inspanning, geeft een ergogeen effect. Mogelijke mechanismen zijn een toegenomen neuromusculaire functie en alertheid en een afgenomen perceptie van de zwaarte van de inspanning.⁵¹ Bij meer anaerobe activiteiten van 1-2 minuten zorgt cafeïne voor een > 3% hogere power output.⁵²

De eerste resultaten van onderzoek naar het effect van cafeïne-suppletie bij krachtsporten gaven gemengde resultaten. Zo vonden Williams et al.⁵³ en Astorino et al.⁵⁴ geen effect op maximale kracht en power. Goldstein et al.⁵⁵ en Grgic & Mikulic⁵⁶ vonden echter wel een ergogeen effect op dezelfde anaerobe prestatie-indicatoren. Leeftijd, trainingservaring en het kleine aantal proefpersonen kunnen een verklaring zijn voor de tegenstrijdige resultaten. Recent voerden Grgic et al.⁵⁷ daarom een meta-analyse uit naar het effect van cafeïne op spier-

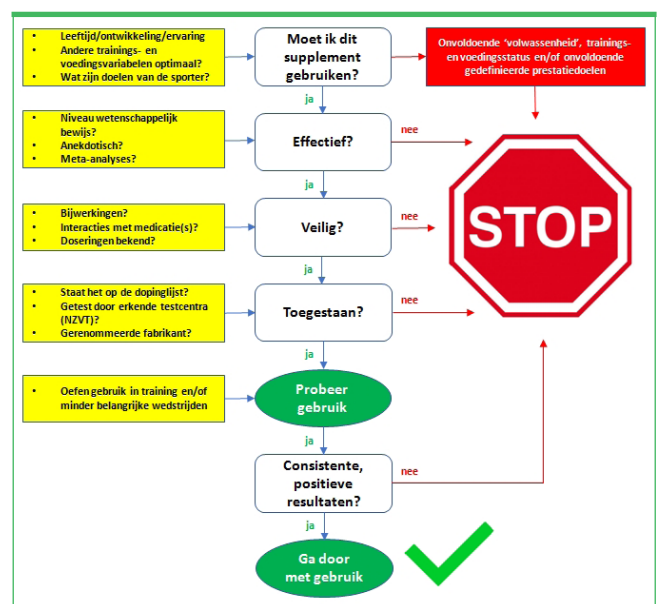
kracht en power. Zij concludeerden dat cafeïne een positief effect lijkt te hebben op de spierkracht van het bovenlichaam, maar niet op die van het onderlichaam. Omdat er maar 10 studies werden geïncludeerd, moeten we de gevonden resultaten met enige voorzichtigheid interpreteren. Door de mogelijke toename van trainingsintensiteit en/of -volume als gevolg van cafeïnesuppletie zou men sterkere adaptaties kunnen verwachten, maar lange termijn studies zijn er niet. *In vitro* studies suggereerden dat cafeïne op moleculair niveau de toename van spiermassa juist zou kunnen remmen. Onderzoek in muizen laat echter zien dat cafeïne geen negatief effect heeft op anabole celsignaleringspaden (mTOR¹), eiwitsynthese² en spierhypertrofie.⁵⁸ Gezien de wisselende onderzoeksresultaten ligt het niet voor de hand om cafeïne te suppleren voor het optimaliseren van krachttrainingsadaptaties. Voor wedstrijden, zoals powerliften of gewichtheffen, waarbij een acuut effect wel relevant is, is suppletie wel geschikt.⁵⁷

Er is enig anekdotisch bewijs dat bij veel sporters een afhankelijkheid van cafeïne lijkt te ontstaan om te trainen, vaak ingenomen als onderdeel van zogeheten pre-workout supplementen. Het is de vraag of dit gewenst is. Een sportdiëtist kan hierin een belangrijke adviserende rol spelen.

Bèta-alanine

Bèta-alanine is een intracellulaire buffer die de prestatie lijkt te verbeteren bij inspanningen waarbij een beroep wordt gedaan op de anaerobe

glycolyse. Bij zo'n inspanning komen onder andere waterstofionen (H⁺) vrij, die de pH-waarde van de cel doen dalen, resulterend in een verminderde werking van glycolytische enzymen. Daarnaast gaat H⁺ op de bindingsplaatsen voor tropomyosine een competitie aan met calcium en remt daarmee de binding tussen myosine en actine. Ten slotte zijn er voor H⁺ gevoelige pijnreceptoren aanwezig in de spier. Waterstofionen hinderen dus op verschillende manieren de spiercontractie, waardoor bufferen ervan zinvol lijkt. In de spier ligt carnosine opgeslagen, dat als H⁺-buffer kan optreden. Het is een dipeptide bestaande uit alanine en histidine. Het suppleren van carnosine zelf is zinloos, omdat dit niet verteerd kan worden en hierdoor een lage bio-beschikbaarheid kent. Verder weten we dat de intramusculaire concentratie van histidine groter is dan die van alanine, waardoor bèta-alanine de beperkende factor is bij de synthese van carnosine.⁵⁹ Suppletie van bèta-alanine leidt dan ook tot een toename van 60-80% van de intramusculaire carnosine-



Figuur 5 | Beslismodel voor gebruik van supplementen. Aangepast overgenomen uit het IOC consensus statement 'Dietary supplements and the high-performance athlete'.³⁶

concentratie, voornamelijk in de type II spiervezels.⁵⁹ Deze toename lijkt de prestaties te verbeteren bij korte (herhaalde), hoogintensieve inspanningen (30 sec tot 4 min) en continue hoogintensieve inspanningen tot 10 minuten.^{36,60}

Om tot de genoemde toename van de intramusculaire carnosineconcentratie te komen, wordt het volgende suppletieprotocol geadviseerd: minimaal twee, maar beter vier weken van 4-6 gram/dag, verdeeld over doses van 2 gram of minder.⁶¹ Ook kan 10-12 weken lang dagelijks circa 65 mg/kg lichaamsgewicht gebruikt worden, in doses van 0,8-1,6 gram, elke 3-4 uur.³⁶ Bij suppletie van bèta-alanine wordt soms een dosisafhankelijke (> 800 mg) onschuldige paresthesie gerapporteerd.

Ondanks dat bèta-alanine suppletie zorgt voor een toename in trainingsvolume en een afname van vermoeidheid bij krachttraining, zijn er geen sterke aanwijzingen dat bèta-alanine de spierkracht en spiermassa door krachttraining sterker laat toenemen⁶¹, waarschijnlijk omdat er bij traditionele krachttraining onvoldoende H⁺ wordt opgebouwd en het herstel vaak lonend is om het ontstane H⁺ te klaren.⁵⁹

Natriumbicarbonaat

Natriumbicarbonaat werkt als extracellulaire buffer volgens een vergelijkbaar mechanisme als bèta-alanine. In onderzoek zijn diverse doseringsstrategieën effectief gebleken:³⁶

1. een eenmalige acute inname van 0,2-0,4 gram/kg lichaamsgewicht, 60-150 minuten voor inspanning;
2. dezelfde totale hoeveelheid, verdeeld over kleinere doses in een periode van 30-180 minuten voor de wedstrijd;
3. in de 2-4 dagen voor een wedstrijd 3-4 kleinere doses (0,4-0,5 gram/kg) per dag.

Deze strategieën bleken de prestatie te verbeteren bij korte, hoog intensieve inspanning tot ongeveer 1 minuut. Als de totale inspanning

langer duurt dan 10 minuten neemt het ergogene effect van natriumbicarbonaat af.

Het belang van geïndividualiseerde begeleiding en het uitproberen van suppletie in de training blijkt uit de interindividuele verschillen in natriumbicarbonaatconcentraties in het bloed na suppletie.⁶² Aan de andere kant liet een recent onderzoek zien, dat de concentraties in het bloed geleidelijk toenemen na inname van 0,3 gram/kg natriumbicarbonaat (in capsulevorm, een uur na een gestandaardiseerd ontbijt). Na circa 120-160 minuten werd een piek bereikt die circa 4 uur aanhield. Omdat reeds na 60 minuten een theoretische drempelwaarde (+5-6 mmol/L) werd behaald waarboven ergogene effecten te verwachten zijn⁶³, was er een effectief tijdframe van circa 3 uur. De onderzoekers suggereren daarom dat het individualiseren van natriumbicarbonaatsuppletie op basis van 'time-to-peak' (piekwaarde in het bloed) niet nodig is, wanneer althans 0,3 gram/kg in capsulevorm wordt gegeven. Meer onderzoek naar het individualiseren van natriumbicarbonaatsuppletie is echter zeker nodig.

Een bekend nadeel van natriumbicarbonaat is het optreden van maag-darmproblemen. Het nemen van kleinere doses verdeeld over meerdere dagen en het innemen van het supplement met een koolhydraatrijke maaltijd zijn mogelijke oplossingen voor deze problemen. Op dit moment zijn er geen aanwijzingen dat natriumbicarbonaatsuppletie zinvol is bij sporters die een toename van spiermassa en spierkracht nastreven.

Omega 3

Omega 3 vetzuren zijn meervoudig onverzadigde vetzuren zoals alfa-linoleenzuur (ALA), eicosapentaeenzuur (EPA) en docosahexaeenzuur (DHA). Plantaardige oliën zijn doorgaans rijk aan ALA en vooral vette vis voorziet in de EPA- en DHA-behoefte. Omega 3 vetzuren spelen een

rol in de regulering van het behoud van spiermassa, door incorporatie van vetzuren in het sarcolemma en de intracellulaire organellen.⁶⁴ McGlory et al.⁶⁵ onderzochten daarnaast of suppletie van omega 3 vetzuren ook zorgt voor een sterkere stimulatie van de spiereiwitssynthese bij jonge mannen na een krachttrainingssessie. Ze zouden de ontstekingsreactie na de training kunnen remmen, waardoor spierhypertrofie meer zou worden gestimuleerd. In de studie, die specifiek keek naar eiwitopbouw in de myofibrillen, werd echter geen effect gevonden. In lijn met deze bevindingen concludeerden Rossato et al.⁶⁶ recent dat er onvoldoende bewijs is om omega 3 vetzuren te suppleren voor het stimuleren van spierhypertrofie. Wel wordt om gezondheidsredenen aangeraden om eenmaal per week vette vis te consumeren als onderdeel van een gezonde basisvoeding. Hiermee wordt voldaan aan de omega 3 behoefte van ons lichaam.

HMB

HMB (beta-hydroxy-beta-methylbutyraat) wordt geproduceerd vanuit het aminozuur leucine. Onderzoek laat zien dat HMB de eiwitssynthese kan stimuleren.⁶⁷ Ook zijn er publicaties⁶⁸⁻⁷⁰ waarin wordt gerapporteerd dat HMB-suppletie gecombineerd met krachttraining een forse toename van spiermassa en spierkracht veroorzaakt. Deze resultaten lijken echter op zijn zachtst gezegd twijfelachtig, omdat de vetvrije massa na 2-3 maanden krachttraining met maar liefst 7-9 kg zou zijn toegenomen.⁷¹ Normaal veroorzaakt 2-3 maanden krachttraining een toename van de vetvrije massa van 1,0-1,5 kg.²⁵

In recent onderzoek⁶⁸ lieten Canadese onderzoekers daarom 26 jonge mannen, die al ervaring hadden met krachttraining, 12 weken lang trainen. De proefpersonen kregen dagelijks 50 gram wei-eiwit of 50 gram wei-eiwit + 3 gram HMB. Men

vond geen additioneel effect van HMB-suppletie op lichaamssamenstelling (DXA), spierdikte en -omvang (echografie), spiervezelhypertrofie (biopt), spierkracht (1RM) en power (Wingate en spronghoogte). Deze bevindingen waren in strijd met de position stand van de International Society of Sports Nutrition uit 2013⁷², maar in lijn met andere recente onderzoeken.^{73,74} Alles bij elkaar genomen lijkt er onvoldoende bewijs om HMB suppletie te adviseren voor krachtsporters.

Collageen

Spierweefsel bevat ook bindweefsel, als structurele component van het endo-, peri- en epimysium.⁷⁵ Deze structuren zijn onderdeel van de zogeheten extracellulaire matrix van spierweefsel, die een belangrijke rol speelt bij zowel de overdracht van gegenereerde spierkracht aan de pees als de intramusculaire communicatie tussen spiervezels.⁷⁶ Bindweefsel in de spier bestaat voor het grootste deel uit het eiwit collageen, dat de aminozuren glycine en proline als belangrijke bouwstenen heeft. Een goede bron van deze aminozuren is gehydrolyseerd collageen of gelatine.⁷⁶

Collageen stimuleert de spiereiwitsynthese na krachttraining, maar niet sterker dan wei-eiwit.⁷⁷ Zdzieblik et al.⁷⁸ waren de eersten die het effect van collageensuppletie op lichaamssamenstelling en spierkracht na krachttraining onderzochten. Zij vonden in hun studie met oudere proefpersonen na 12 weken lang 3 keer per week krachttraining een significant sterkere toename in vetvrije massa en spierkracht. De vetvrije massa nam in de collageengroep met 4,2 kg toe en de vetmassa nam met 5,5 kg af, een spectaculaire bevinding die in twijfel wordt getrokken door andere onderzoekers.⁷⁹ Er zijn nog drie andere onderzoeken⁸⁰⁻⁸² gepubliceerd naar het effect van collageensuppletie gecombineerd met krachttraining op spiermassa en

-kracht, zonder duidelijke resultaten. Gezien de kwaliteit van die studies lijkt het vooralsnog niet aan te bevelen om collageen te gebruiken als supplement om spiermassa en spierkracht te laten toenemen. Collageen kan mogelijk wel een rol spelen bij de preventie en/of behandeling van bindweefselblessures, maar dit valt buiten de beschouwing van dit artikel.

Citrulline

Stikstofmonoxide (NO: nitric oxide) kan vasodilatatie veroorzaken, zodat de doorbloeding en de zuurstofvoorziening van de spier toenemen. Ook lijkt NO te zorgen voor een betere huishouding van calcium (nodig voor een spiercontractie) en een betere werking van de mitochondriën.⁸³ Vanwege deze ergogene eigenschappen zijn er voedingssupplementen ontwikkeld (zogenaamde 'NO-boosters') waarmee men de lichaamseigen NO-voorraad kan vergroten. Omdat het niet-essentiële aminozuur arginine wordt gemetaboliseerd tot NO ligt het voor de hand om arginine te suppleren. De bio-beschikbaarheid van arginine is echter laag, aangezien het wordt afgebroken in het spijsverteringsstelsel. Suppletie van arginine leidt dus niet tot hogere bloedplasmawaarden. Omdat 1) arginine in de ureumcyclus wordt gevormd uit het eveneens niet-essentiële aminozuur citrulline en 2) de biobeschikbaarheid van citrulline wel hoog is, heeft citrulline recent veel aandacht gekregen als kandidaat om de NO-productie te verhogen. Een recente meta-analyse naar de invloed van citrullinesuppletie op de acute prestatie tijdens kracht- en powerinspanningen liet een klein, maar statistisch significant positief effect zien.⁸⁴ De twee lange termijn studies die tot op heden zijn uitgevoerd en waarin het effect van kortdurende citrullinesuppletie (8 weken) op spiermassa en -kracht is bestudeerd, vonden matige tot geen effecten.⁸³ In de literatuur wordt ge-

suggereerd dat 3 gram een minimale effectieve dosis is en 10-15 gram de maximale effectieve dosis. Inname van citrulline 60-90 minuten voor inspanning wordt gezien als meest effectief voor acute prestatietoename, maar chronische suppletieprotocollen (> 7 dagen) lijken effectiever.⁸³ Bij topsporters zou het zinvol kunnen zijn om gebruik van citrulline uit te proberen voor het verbeteren van de acute (kracht)prestatie (net als cafeïne). Hierbij moet wel in acht worden genomen dat 15% van de proefpersonen in de literatuur maagklachten rapporteert.⁸³ Voor het verder stimuleren van spiermassa en spierkracht met training lijkt citrullinesuppletie niet zinvol.

Combineren van supplementen

In de sportpraktijk gebruiken sporters vaak meerdere supplementen tegelijkertijd. Ook zijn de laatste jaren zogeheten pre-workout supplementen populair geworden, die meerdere ingrediënten bevatten. Vaak bevatten dit soort supplementen een combinatie van cafeïne, bèta-alanine en citrulline.⁸⁵ Het effect en/of de eventuele veiligheidsrisico's van de interactie tussen deze supplementen is niet vastgesteld. Andere grote nadelen van zulke 'proprietary blends' zijn, dat ze niet altijd de juiste hoeveelheden van de individuele ingrediënten bevatten en/of dat er geen rekening wordt gehouden met oplaadfases die nodig zijn voor bepaalde supplementen. Onderzoek naar dit soort combinatiesupplementen is lastig te interpreteren, omdat hierin hun effect wordt vergeleken met dat van een placebo. Het is dus lastig te zeggen in hoeverre gecombineerde supplementen zorgen voor sterkere adaptaties in vergelijking met een enkel supplement (bijvoorbeeld alleen creatine). Daarnaast worden aan de blends vaak andere stoffen toegevoegd die moeilijk te plaatsen zijn, zoals taurine, arginine, tyrosine of meer exotische stoffen.

Supplementenwijzer



Een goed hulpmiddel om ingrediënten van supplementen te controleren is de door de Dopingautoriteit ontwikkelde Supplementenwijzer app. In deze app kunnen coaches en sporters de werkzaamheid en veiligheid checken van meer dan 3000 ingrediënten van supplementen. Tevens geeft de app aan of het product op de

dopinglijst staat. De app is te downloaden in de App Store en via Google Play. Alle informatie vind je op www.eigenkracht.nl/supplementen/supplementenwijzer/app.

De auteurs danken Pim Knuiman en Niek van Venrooij vriendelijk voor hun waardevolle feedback op een eerdere versie van dit artikel.

Over de auteurs

Alle auteurs zijn bewegingswetenschapper en/of sportdiëtist en als docent en/of onderzoeker werkzaam bij het expertiseteam Sports & Exercise Nutrition van HAN Sport & Bewegen. Tevens zijn Nick en Rob werkzaam als high performance expert nutrition bij TeamNL.

Zie deel 1 van dit artikel (*Sportgericht* 2/2020, pp. 32-39) voor referenties 1 t/m 44.

45. Brosnan ME & Brosnan JT (2016). The role of dietary creatine. *Amino Acids*, 48 (8), 1785-1791.
46. Branch JD (2003). Effect of creatine supplementation on body composition and performance: a meta-analysis. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 13 (2), 198-226.
47. Kreider RB et al. (2017). International Society of Sports Nutrition position stand: safety and efficacy of creatine supplementation in exercise, sport, and medicine. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 14, 18.
48. Steenge GR, Simpson EJ & Greenhaff PL (2000). Protein- and carbohydrate-induced augmentation of whole body creatine retention in humans. *Journal of Applied Physiology*, 89 (3), 1165-1171.
49. Kreider RB et al. (2003). Long-term creatine supplementation does not significantly affect clinical markers of health in athletes. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 244 (1-2), 95-104.
50. Goldstein ER et al. (2010). International society of sports nutrition position stand: caffeine and performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 7 (1), 5.
51. Burke LM (2008). Caffeine and sports performance. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 33 (6) 1319-1334.
52. Wiles JD et al. (2006). The effects of caffeine ingestion on performance time, speed and power during a laboratory-based 1 km cycling time-trial. *Journal of Sports Science*, 24 (11) 1165-1171.
53. Williams AD et al. (2008). The effect of ephedra and caffeine on maximal strength and power in resistance-trained athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22 (2) 464-470.
54. Astorino TA, Rohmann RL & Firth K (2008). Effect of caffeine ingestion on one-repetition maximum muscular strength. *European Journal of Applied Physiology*, 102 (2), 127-132.
55. Goldstein E et al. (2010). Caffeine enhances upper body strength in resistance-trained women. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 7, 18.
56. Grgic J & Mikulic P (2017). Caffeine ingestion acutely enhances muscular strength and power but not muscular endurance in resistance-trained men. *European Journal of Sport Science*, 17 (8), 1029-1036.
57. Grgic J et al. (2018). Effects of caffeine intake on muscle strength and power: a systematic review and meta-analysis. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 15 (1), 11.
58. Moore TM et al. (2017). The effect of caffeine on skeletal muscle anabolic signaling and hypertrophy. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 42 (6), 621-629.
59. Lancha Junior AH et al. (2015). Nutritional strategies to modulate intracellular and extracellular buffering capacity during high-intensity exercise. *Sports Medicine*, 45 (Suppl. 1), S71-S81.
60. Saunders B et al. (2017). β -alanine supplementation to improve exercise capacity and performance: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 51 (8), 658-669.
61. Trexler ET et al. (2015). International society of sports nutrition position stand: beta-alanine. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 12 (1), 30.
62. Jones RL et al. (2016). Dose-response of sodium bicarbonate ingestion highlights individuality in time course of blood analyte responses. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 26 (5), 445-453.
63. De Oliveira LF et al. (2020). Is individualization of sodium bicarbonate ingestion based on time to peak necessary? *Medicine & Science in Sports & Exercise*, doi: 10.1249/MSS.0000000000002313.
64. Tachtsis B, Camera D & Lacham-Kaplan O (2018). Potential roles of n-3 PUFAs during skeletal muscle growth and regeneration. *Nutrients*, 10 (3), 309.
65. McGlory C et al. (2016). Fish oil supplementation suppresses resistance exercise and feeding-induced increases in anabolic signaling without affecting myofibrillar protein synthesis in young men. *Physiological Reports*, 4 (6), e12715.
66. Rossato LT, Schoenfeld BJ & De Oliveira EP (2020). Is there sufficient evidence to supplement omega-3 fatty acids to increase muscle mass and strength in young and older adults? *Clinical Nutrition*, 39 (1), 23-32.
67. Wilkinson DJ et al. (2013). Effects of leucine and its metabolite beta-hydroxy-beta-methylbutyrate on human skeletal muscle protein metabolism. *The Journal of Physiology*, 591 (11), 2911-2923.
68. Wilson JM et al. (2014). The effects of 12 weeks of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate free acid supplementation on muscle mass, strength, and power in resistance-trained individuals: a randomized, double-blind, placebo-controlled study. *European Journal of Applied Physiology*, 114 (6), 1217-1227.
69. Lowery RP et al. (2016). Interaction of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate free acid and adenosine triphosphate on muscle mass, strength, and power in resistance trained individuals. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30 (7), 1843-1854.
70. Kraemer WJ et al. (2009). Effects of amino acids supplement on physiological adaptations to resistance training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41 (5), 1111-1121.
71. Gentles JA & Phillips SM (2017). Discrepancies in publications related to HMB-FA and ATP supplementation. *Nutrition & Metabolism*, 14 (1), 42.
72. Wilson JM et al. (2013). International Society of Sports Nutrition position stand: beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (HMB). *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 10 (1), 6.
73. Teixeira FJ et al. (2019). No effect of HMB or alpha-HICA supplementation on training-induced changes in body composition. *European Journal of Sport Science*, 19 (6), 802-810.
74. Teixeira FJ et al. (2019). Leucine metabolites do not enhance training-induced performance or muscle thickness. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 51 (1), 56-64.
75. Gillies AR & Lieber RL (2011). Structure and function of the skeletal muscle extracellular matrix. *Muscle & Nerve*, 44 (3) 318-331.
76. Shaw G et al. (2017). Vitamin C-enriched gelatin supplementation before intermittent activity augments collagen synthesis. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 105 (1), 136-143.
77. Oikawa SY et al. (2020). Whey protein but not collagen peptides stimulate acute and longer-term muscle protein synthesis with and without resistance exercise in healthy older women: a randomized controlled trial. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 111 (3), 708-718.
78. Zdzieblik D et al. (2015). Collagen peptide supplementation in combination with resistance training improves body composition and increases muscle strength in elderly sarcopenic men: a randomised controlled trial. *British Journal of Nutrition*, 114 (8), 1237-1245.
79. Phillips SM et al. (2016). Exceptional body composition changes attributed to collagen peptide supplementation and resistance training in older sarcopenic men. *British Journal of Nutrition*, 116 (3), 569-570.
80. Oertzen-Hagemann V et al. (2019). Effects of 12 weeks of hypertrophy resistance exercise training combined with collagen peptide supplementation on the skeletal muscle proteome in recreationally active men. *Nutrients*, 11 (5), 1072.
81. Jendricke P et al. (2019). Specific collagen peptides in combination with resistance training improve body composition and regional muscle strength in premenopausal women: a randomized controlled trial. *Nutrients*, 11 (4), 892.
82. Kirmse M et al. (2019). Prolonged collagen peptide supplementation and resistance exercise training affects body composition in recreationally active men. *Nutrients*, 11 (5), 1154.
83. Gonzalez AM & Trexler ET (2020). Effects of citrulline supplementation on exercise performance in humans: a review of the current literature. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34 (5), 1480-1495.
84. Trexler ET et al. (2019). Acute effects of citrulline supplementation on high-intensity strength and power performance: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 49 (5), 707-718.
85. Jagim AR, Harty PS & Camic CL (2019). Common ingredient profiles of multi-ingredient pre-workout supplements. *Nutrients*, 11 (2), 254.