

3. Groot S de, Hartgens F, Zweers MF. Enquête onder topsporters over doping, dopingcontroles en medicijngebruik in de sport; Evaluatie van de kennis en houding van topsporters over doping, dopingcontroles en medicijngebruik in de sport, alsmede hun oordeel over het voorlichtingsprogramma hieromtrent. NeCeDo, Rotterdam 1999.
4. Wiefferink K, Detmar S, Hon O de, Vogels T, Paulussen T. Topsport en doping - determinanten van het gebruik van dopinggeduide middelen onder topsporters en evaluatie van het anti-dopingbeleid in Nederland. NeCeDo, Capelle a/d IJssel 2004.
5. Heuvel M van den, Kalmthout J, Houdu F van den. Doping in de breedtesport; een onderzoek naar de aard en omvang van het gebruik van dopinggeduide middelen in de georganiseerde breedtesport. NeCeDo i.s.m. W.J.H. Mullier Instituut, Capelle a/d IJssel 2002.
6. Schilt R, Vlis E van der, Vaes W, Sterk SS, Ginkel LA van. Onderzoek naar het voorkomen van dopinggeduide stoffen in voedingsmiddelen in de aanloop naar de Olympische Winterspelen in Salt Lake City. TNO/RIVM, Zeist 2002.
7. Schänzer W. Analysis of non hormonal nutritional supplements for anabolic androgenic steroids - an international study. Keulen 2002.

8. Catlin DH, Leder BZ, Ahrens B, Starcevic B, Hatton CK, Green GA, Finkelstein JS. Trace contamination of over the counter androstenedion and positive urine test results for a nandrolon metabolite. JAMA 2000; 284: 2618-2621.

Summary

Dietary supplements and doping - differences and similarities. Hon O de. Ned Tijdschr Klin Chem Labgeneesk 2006; 31: 6-10.

At present the use of dietary supplements is widespread in sport. Some of these apparently legitimate supplements for sale may however contain ingredients that are prohibited by the doping regulations of the World Anti-Doping Agency. Contamination by these ingredients is not always declared on the label. This contamination may be the results of the production process. In the Netherlands, the NVZT was founded to help producers and sportsmen to overcome the problems of, respectively, selling and using contaminated dietary supplements. Information on approved dietary supplements in The Netherlands is available on www.necedo.nl.

Key words: dietary supplements; contamination; NVZT; WADA; dope test

Ned Tijdschr Klin Chem Labgeneesk 2006; 31: 10-14

Kan creatinesuppletie de sportprestatie verbeteren?

T. TAKKEN

Creatine is een van de meest gebruikte voedingssupplementen in de sport. In dit overzichtsartikel over creatine en sportprestatie zullen een aantal sleutelartikelen worden uitgelicht en algemene principes worden besproken. De afgelopen jaren zijn veel artikelen verschenen die bepaalde aspecten van creatinesuppletie hebben onderzocht. De artikelen die hebben gekeken naar de effecten van creatine op kracht en anaërobe inspanning (<30 s) laten veelal een positief effect zien. Bij inspanningen tussen 30 s en 3 min is dit minder eenduidig. Bij inspanningen die langer dan 3 min duren is er geen duidelijk effect van creatinesuppletie zichtbaar. De inname van creatine heeft met name een positief effect op de sprintprestatie. Voor krachtsporters heeft de inname van creatine als voordeel dat ze meer trainingsarbeid kunnen leveren tijdens de trainingen. Bovendien zijn er aanwijzingen dat creatinesuppletie de spiermassa, lichaamsgewicht en de hoeveelheid spierglycoeen kan laten toenemen.

Trefwoorden: creatine; inspanningsfysiologie; creatinefosfaat; training

Creatine is vandaag de dag ongetwijfeld een van de meest gebruikte voedingssupplementen in de sportwereld. Creatine is in de vorm van creatinefosfaat (PCr) voornamelijk tijdens korte intensieve inspanning een belangrijke energiebron in de spiercel ($\text{PCr} + \text{ADP} + \text{H}^+ \rightarrow \text{ATP} + \text{creatine}$). Uit verschillende studies blijkt dat de suppletie van creatine leidt tot een toename in de hoeveelheid PCr in de spier (1, 2). Dit heeft een positief effect op zowel een eenmalige (kortdurende) maximale inspanning als op herhaalde (kortdurende) intensieve inspanningen. Bovendien kan door een toename in de hoeveelheid vrije creatine in de spier de resynthese van PCr sneller verlopen. Ook deze factor heeft een positief effect op herhaalde (kortdurende) intensieve inspanningen.

De orale suppletie van creatinemonohydraat kan gemiddeld de hoeveelheid creatine in de spier met ongeveer 25% toe laten nemen, echter is er veel individuele spreiding om het gemiddelde. De maximale hoeveelheid creatine in de spier is ongeveer 160 mmol/kg droge spiermassa (1, 2).

Ook binnen de sportwetenschappen is creatinesuppletie op dit moment een 'hot' onderwerp, getuige het grote aantal publicaties over dit onderwerp in de sportliteratuur op dit moment. Voor een volledig overzicht van de literatuur verwijs ik naar diverse overzichtsartikelen (3-7). In dit artikel zal aan de

Afdeling Kinderfysiotherapie & Pediatrische Inspanningsfysiologie, Wilhelmina Kinderziekenhuis, Universitair Medisch Centrum, Utrecht.

Correspondentie: Dr. T. Takken, klinisch inspanningsfysioloog, Afdeling Kinderfysiotherapie & Pediatrische Inspanningsfysiologie, Wilhelmina Kinderziekenhuis, Universitair Medisch Centrum Utrecht, Huispost: KB02.056.0, Postbus 85090, 3508 AB Utrecht.
E-mail: t.takken@umcutrecht.nl

hand van diverse sleutelpublicaties de effecten van creatine op de sportprestatie worden geïllustreerd. Tot slot zal er nog een praktische aanbeveling worden gegeven voor het gebruik van creatine als supplement om de sportprestatie te verbeteren.

Invloed op spierkracht

De spierkracht van sporters wordt bepaald door de spiermassa en neuromusculaire coördinatie. Volek et al. (8) laten in een gerandomiseerde placebo-gecontroleerde studie met 19 getrainde krachtsporters zien dat na 12 weken creatinetoediening (de eerste week 25 g/dag en vervolgens 5 g/dag (week 2-12)) de spierkracht van de sporters die creatine kregen significant was toegenomen ten opzichte van de placebo-groep. Alle proefpersonen startten na de eerste week met een krachttrainingsprogramma, begeleid door een persoonlijke trainer. De onderzoekers bepaalden aan het begin en eind van de eerste week en na de periode van 12 weken het lichaamsgewicht, de vetvrije massa (onderwater wegen), de spiermorfologie (spierbiopt in m. vastus lateralis; alleen aan begin week 1 en week 12), en het prestatievermogen van de proefpersonen tijdens verschillende krachttesten.

Naast de toegenomen spierkracht, had de creatine-groep na de 12 weken creatinesuppletie ook een significant grotere toename in lichaamsgewicht, vetvrije massa, prestatievermogen en in de dwarsdoorsnede van de spiervezels (type I, IIA en IIB) bereikt dan de placebogroep. Verder was ook de totale hoeveelheid creatine in de spier significant toegenomen in de creatinegroep, in tegenstelling tot de placebogroep (8). Een van de verklaringen die de auteurs geven voor het studieresultaat is dat door het gebruik van creatine de creatinegroep in staat was om meer trainingsarbeid te verrichten vanwege een sneller herstel tijdens en na de trainingen. Vergeleken met de placebogroep heeft dit geleid tot een 'groter' trainingseffect en vandaar de prestatieverbetering. Men zou daarom kunnen zeggen dat creatine in combinatie met (kracht)training een *indirecte* anabole werking heeft.

Niet steroïde, wel anabool?

Op het eerste gezicht lijken de resultaten van de eerder besproken studie van Volek et al (8) slechts de 'bekende' gevolgen van creatinesuppletie te bevestigen, maar de auteurs geven aan dat er mogelijk ook sprake is van een directe anabole werking. Zij wijzen hierbij op de toename in lichaamsgewicht en vetvrije massa, die zij bij de creatinegroep al na de eerste week (zonder training) vonden. Op zich is een toename in het lichaamsgewicht een bekende bijwerking van creatine, die men toeschrijft aan een verandering in de hydratiestatus binnen de spiercellen dat wil zeggen de spiercellen houden meer water vast. Maar dit kan niet de gevonden toename in de vetvrije massa, bepaald door onderwater te wegen, verklaren. Volek et al. (8), evenals Maganaris en Maughan (9) overigens, suggereren dan ook dat creatine mogelijk direct een stimulerend effect heeft op de eiwitsynthese. Iets wat al eerder in vitro is gevonden (10). Helaas hebben de onderzoekers alleen aan het begin en aan het einde van de onderzoeksperiode (en niet na de eerste

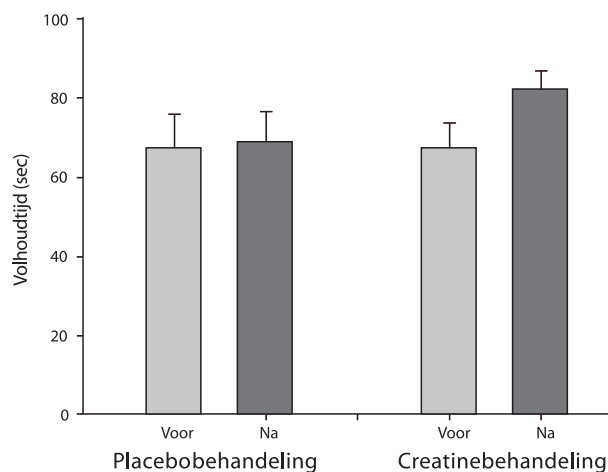
week) de dwarsdoorsnede van spiervezels bepaald. Wellicht had dit iets meer duidelijkheid kunnen geven over een mogelijke directe anabole werking van creatine.

Creatine en anaërobie inspanning

Kan creatinesupplementatie ook het prestatievermogen verbeteren tijdens sporten waarin binnen een korte tijd een hoog vermogen moet worden geleverd zoals tijdens baanwielrennen, sprint, voetbal etc? Vanuit theoretische gronden zou dit wel te verwachten zijn. Vanwege de grotere hoeveelheid creatine en creatinefosfaat in de spier is er meer energie beschikbaar om binnen een korte tijd vrij te maken; voorts kan door een hogere creatineconcentratie in de spier het herstel van de creatinefosfaathoeveelheid na de inspanning sneller verlopen.

In een placebo-gecontroleerde trial lieten Chwalbinska-Moneta et al. (11) zien dat roeiers al na 7 dagen creatinesuppletie (20 g/dag) significant waren verbeterd op een anaërobie roei-ergometertest in vergelijking met de placebogroep. Tijdens deze test moesten de roeiers maximaal sprinten op een roei-ergometer totdat ze uitgeput waren. De roeiers die creatine hadden gebruikt lieten na 7 dagen een vooruitgang zien van maar liefst 15 s, terwijl de placebogroep maar 1 s vooruitgang liet zien (figuur 1).

Ook diverse studies naar het effect van creatinesuppletie op het kunnen uitvoeren van herhaalde korte sprintjes laten zien dat creatine hier ook een positief effect op kan hebben. Balsom et al. (12) lieten dit zien in een gerandomiseerde dubbelblinde trial waarbij proefpersonen 10 sprintjes van 6 s moeten uitvoeren, waarbij ze maximaal moesten sprinten op de fietsergometer met 30 s rust tussen de sprintjes. Na 6 dagen creatinesuppletie (30 g/dag) was er al een duidelijk effect zichtbaar. De eerste 4 sprintjes was er nog geen effect zichtbaar tussen de 2 groepen, terwijl er vanaf de 5^e sprint een duidelijke betere prestatie kon blijven worden geleverd door de proefpersonen in de creatinegroep, terwijl de proefpersonen in de



Figuur 1. Het effect van creatinesuppletie (7 dagen; 20 g / dag) op de roei-prestatie (sprinten tot uitputting). Uit Chwalbinska-Moneta et al (11).

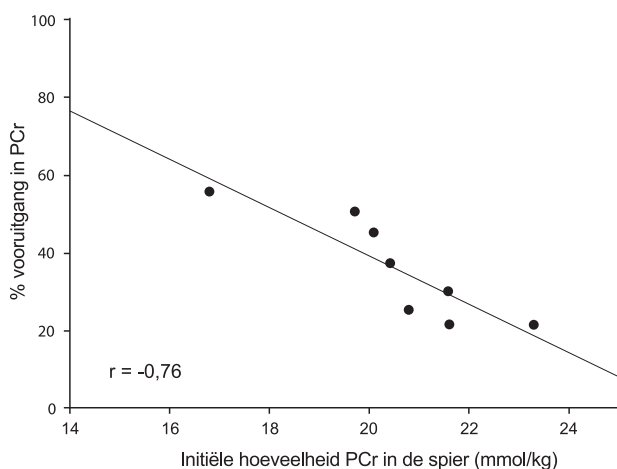
controlegroep een toenemende verslechtering in hun prestatievermogen lieten zien. Deze observaties zijn door vele studies geconfirméerd (7).

Aëroob metabolisme

Diverse studies hebben gekeken naar het effect van creatinesuppletie op het duurprestatievermogen van sporters. In theorie zou creatinesuppletie de mitochondriale werking kunnen beïnvloeden (13), wat een mogelijke positieve werking zou kunnen hebben op de duursportprestatie. Echter, studies die het effect op duursportprestatie hebben onderzocht, hebben geen significant effect kunnen vinden van creatinesuppletie op de duurprestatie. Van Loon et al. (14) bijvoorbeeld hebben gekeken naar het effect van creatine na 5 dagen (oplaadfase; 20 g/dag) en na 42 dagen (onderhoudsfase; 5 g/dag) bij een groep gezonde proefpersonen. Tijdens deze studie werden er geen effecten gevonden op de substraatoxidatie tijdens duurinspanning. Wel werden er positieve effecten gevonden op het sprintvermogen, de creatine had dus wel effect, maar niet op de duurprestatie.

Effect op glycogeensynthese

Maar de inname van creatine heeft niet alleen effect op de hoeveelheden creatine en creatinefosfaat in de spier. Verscheidene auteurs hebben een effect van creatine op het glucosemetabolisme verondersteld. Een recente studie heeft daadwerkelijk het effect van creatine op het glucosemetabolisme onderzocht (15). In deze studie vonden de auteurs dat creatine geen effect had op de glucosetransporter in de spier (GLUT-4), maar wel op de hoeveelheid glycogeen in de spier wanneer het in de oplaadfase met een hoge dosis werd gegeven (20 g/dag). Tijdens de onderhoudsfase (2 g creatine/ dag) verdween dit effect weer. Hoge doseringen creatine kunnen dus de glycogeenhoeveelheid in de spier verhogen. Dit is een belangrijke bevinding daar het volhouden van een zeer zware inspanning gerelateerd is aan de hoeveelheid glycogeen in de spier (16).



Figuur 2. Initiële hoeveelheid creatinefosfaat (PCr) in de spier beïnvloedt de grootte van het effect van creatinesuppletie op het percentage verhoging van de hoeveelheid creatinefosfaat in de spier. Overgenomen met permissie uit (17).

Responders versus non-responders

De sterkste determinant voor de opname van creatine in de spier is de initiële creatinehoeveelheid in de spier (1, 2). Personen met lagere creatinehoeveelheden in de spier laten de grootste respons zien in creatineopname terwijl mensen die al van nature hoge waarden hebben een kleiner effect laten zien (figuur 2). Onderzoek laat zien dat vooral vegetariërs lage creatine- en creatinefosfaatconcentraties in de spier hebben. Echter er zijn ook andere factoren die de opname van creatine in de spier beïnvloeden.

Verschillende klinische studies laten zien dat de creatineopname in de spier verhoogd kan worden of de uitscheiding van creatine in de urine verlaagd kan worden door de infusie van insuline, de inname van koolhydraten en de inname van een mix van koolhydraten en eiwitten (18-20). De praktische toepasbaarheid van deze studies was laag, insuline staat immers op de dopinglijst van verboden middelen en de hoeveelheid ingenomen koolhydraten was erg groot. Een andere studie van Steenge et al. (21) liet zien dat de inname van een mix van 50 g koolhydraten in eiwitten de creatineopname in de spier op een zelfde niveau stimuleerde als de opname van creatine in combinatie met 100 g koolhydraten. Kortom, in combinatie met koolhydraten en eiwitten wordt creatine beter opgenomen in de spier. Je krijgt dan meer waar voor je geld!

Creatine en denksport

PCr is ook een belangrijk energierijk fosfaat voor de energievoorziening in het brein. Verder is het bekend dat de hoeveelheid creatinefosfaat in het brein afneemt bij activiteit van het brein. Dit bracht Rae en collegae (23) tot de hypothese dat creatinesuppletie het prestatievermogen van het brein kan verbeteren. In een dubbelblinde gerandomiseerde cross-overtrial bij 45 jongvolwassen vegetariërs die 6 weken lang 5 g creatine/dag kregen toegediend, werd gevonden dat geheugen en intelligentie toenamen na de periode van creatinesuppletie. Dus ook denksporters lijken baat te kunnen hebben bij het gebruik van creatine (23).

Tabel 1. Bewijs dat het prestatiebevorderende effect van creatine ondersteunt. Overgenomen uit (22).

| Type inspanning | Bewijs |
|---|-------------------|
| Intensieve kortdurende inspanning (laboratoriumtests; <30 s) | overtuigend |
| Spierkracht (indien creatine gedurende de krachttraining wordt gebruikt) | overtuigend |
| Intensieve inspanning (laboratoriumtests; 30 s tot 3 min; intermitterende inspanning) | matig overtuigend |
| Intensieve inspanning (laboratoriumtests; >3 min) | niet overtuigend |
| Intensieve inspanning (veldtests als zwemmen en sprinten) | niet overtuigend |

Praktische aanbeveling

Voor een volwassen sporter van 70 kg worden de volgende aanbevelingen gedaan door de American College of Sports Medicine (4):

Oplaadfase. Deze fase duurt 5 tot 7 dagen waarbij de sporter 4 maal per dag 5 g (totaal 20 g/dag) neemt. De creatine wordt samen met een koolhydraatrijke drank (vruchtensap) ingenomen. De inname samen met koolhydraten (50 tot 100 g eiwitten en koolhydraten) zorgt ervoor dat de creatine beter wordt opgenomen.

Onderhoudsfase. Na oplaadfase kan worden volstaan met een onderhoudsdosering van 2 tot 5 g/dag. Een grotere inname heeft geen extra meerwaarde omdat het lichaam geen verdere hoeveelheid kan opslaan.

Veiligheid

In het verleden zijn er nog wel eens wat vragen gerezen over de veiligheid van creatinegebruik. Een rapport van de Franse overheid, dat overigens niet op klinische studies was gebaseerd, suggereerde enige jaren geleden een associatie tussen creatinegebruik en kanker (24). Echter, verscheidene studies naar de langetermijneffecten en bijwerkingen van creatine hebben geen ernstige gevolgen gevonden van creatinegebruik bij zowel sporters als patiënten (25, 26), zelfs geen afwijkingen in nierfunctie (27). Gevonden bijwerkingen zijn een toename in lichaamsgewicht (1 tot 3 kg), een toename in beenvolume 'opgeblazen benen volgens sporters' en een toename van glycogeensynthese bij hoge doseringen (20 g/dag). Wel moeten sporters bedacht zijn op een mogelijke verontreiniging van supplementen met andere stoffen die mogelijk op de dopinglijst voorkomen (28). Sommige fabrikanten van supplementen nemen het niet zo nauw met de regels van de 'Good Manufacturing Practice' wat nare gevolgen kan hebben na een eventuele dopingcontrole. Denk maar eens aan de rol van vervuilde voedingssupplementen naar aanleiding van de positieve dopingtesten van Frank de Boer, Edgar Davids en Troy Douglas. Daarom is er door NOC*NSF en het Nederlands Centrum voor Dopingvraagstukken het Nederlands Zekerheidssysteem Voedingssupplementen Topsport opgericht (NZVT; zie website <http://www.necedo.nl/NZVT>). Op deze website is een overzicht van goedgekeurde productbatchcombinaties van supplementen te vinden.

'Sports-based evidence'

De relatief oude studies die de effecten van creatinesuppletie onderzochten werden uitgevoerd bij fysiek fitte studenten (studenten bewegingswetenschappen of lichamelijke opvoeding). Nu reist de vraag of de resultaten bij deze groep proefpersonen ook vertaald kunnen worden naar zeer goed getrainde sporters. Diverse recente studies, uitgevoerd bij goed getrainde sporters, hebben laten zien dat de resultaten van creatinesuppletie ook doorgetrokken kunnen worden naar goed getrainde sporters (7). Een probleem bij sportonderzoek is het vaak aangehouden 5%-signifi-

cantieniveau en de onnauwkeurigheid van de uitkomstmaten. Veel inspanningsfysiologische tests hebben een meetfout van rond de 4% (29). Prestatieverbeteringen binnen deze marge worden toegeschreven aan meetfout of toeval, terwijl kleine prestatieverbetering van minder dan 1% al praktisch relevant kunnen zijn voor de topsport, waar de marges tussen winst en verlies minimaal zijn.

Conclusies

De inname van creatine heeft vooral positieve effecten op de sprintprestatie. Voor krachtsporters heeft de inname van creatine als voordeel dat ze meer trainingsarbeid kunnen leveren tijdens de trainingen, waardoor ze een grotere vooruitgang kunnen boeken. Naast deze 'bekende' effecten van creatine, zijn er aanwijzingen dat creatinesuppletie mogelijk ook directe anabole effecten heeft op de spier, waardoor de totale vetvrije massa toeneemt. Dit kan voor sommige sporters juist weer nadelig zijn, omdat het verhoogde lichaamsgewicht mee moet worden getransporteerd tijdens het sporten. Ook kunnen hoge doseringen creatine de glycogeensynthese vergroten. Over de mogelijke bijwerkingen bestaat nog veel onduidelijkheid, echter in diverse studies bij sporters die langdurig creatine gebruiken zijn (nog) geen nadelige gevolgen geconstateerd.

Literatuur

1. Hultman E, Soderlund K, Timmons JA, Cederblad G, Greenhaff PL. Muscle creatine loading in men. *J Appl Physiol* 1996; 81: 232-237.
2. Harris RC, Soderlund K, Hultman E. Elevation of creatine in resting and exercised muscle of normal subjects by creatine supplementation. *Clin Sci (Lond)* 1992; 83: 367-374.
3. Paddon-Jones D, Borsheim E, Wolfe RR. Potential ergogenic effects of arginine and creatine supplementation. *J. Nutr* 2004; 134 (10 suppl) S2888-2894.
4. Terjung RL, Clarkson P, Eichner ER, Greenhaff PL, Hespel PJ, Israel RG, et al. American College of Sports Medicine roundtable. The physiological and health effects of oral creatine supplementation. *Med Sci Sports Exerc* 2000; 32: 706-717.
5. Kreider RB. Effects of creatine supplementation on performance and training adaptations. *Mol Cell Biochem* 2003; 244: 89-94.
6. Kraemer WJ, Volek JS. Creatine supplementation. Its role in human performance. *Clin Sports Med* 1999; 18: 651-666.
7. Bembien MG, Lamont HS. Creatine supplementation and exercise performance: recent findings. *Sports Med* 2005; 35: 107-125.
8. Volek JS, Duncan ND, Mazzetti SA, Staron RS, Putukian M, Gomez AL, et al. Performance and muscle fiber adaptations to creatine supplementation and heavy resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 1999; 31: 1147-1156.
9. Maganaris CN, Maughan RJ. Creatine supplementation enhances maximum voluntary isometric force and endurance capacity in resistance trained men. *Acta Physiol Scand* 1998; 163: 279-287.
10. Ingwall JS, Morales MF, Stockdale FE. Creatine and the control of myosin synthesis in differentiating skeletal muscle. *Proc Natl Acad Sci U S A* 1972; 69: 2250-2253.
11. Chwalbinska-Moneta J. Effect of creatine supplementation on aerobic performance and anaerobic capacity in elite rowers in the course of endurance training. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2003; 13: 173-183.

12. Balsom PD, Harridge SD, Soderlund K, Sjodin B, Ekblom B. Creatine supplementation per se does not enhance endurance exercise performance. *Acta Physiol Scand* 1993; 149: 521-523.
13. Saks VA, Kongas O, Vendelin M, Kay L. Role of the creatine/phosphocreatine system in the regulation of mitochondrial respiration. *Acta Physiol Scand* 2000; 168: 635-641.
14. Loon LJ van, Oosterlaar AM, Hartgens F, Hesselink MK, Snow RJ, Wagenmakers AJ. Effects of creatine loading and prolonged creatine supplementation on body composition, fuel selection, sprint and endurance performance in humans. *Clin Sci (Lond)* 2003; 104: 153-162.
15. Loon LJ van, Murphy R, Oosterlaar AM, Cameron-Smith D, Hargreaves M, Wagenmakers AJ, et al. Creatine supplementation increases glycogen storage but not GLUT-4 expression in human skeletal muscle. *Clin Sci (Lond)* 2004; 106: 99-106.
16. Bergstrom J, Hermansen L, Hultman E, Saltin B. Diet, muscle glycogen and physical performance. *Acta Physiol Scand* 1967; 71: 140-150.
17. Rawson ES, Clarkson PM, Price TB, Miles MP. Differential response of muscle phosphocreatine to creatine supplementation in young and old subjects. *Acta Physiol Scand* 2002; 174: 57-65.
18. Green AL, Hultman E, Macdonald IA, Sewell DA, Greenhaff PL. Carbohydrate ingestion augments skeletal muscle creatine accumulation during creatine supplementation in humans. *Am J Physiol* 1996; 271(5 Pt 1): E82182-82186.
19. Green AL, Simpson EJ, Littlewood JJ, Macdonald IA, Greenhaff PL. Carbohydrate ingestion augments creatine retention during creatine feeding in humans. *Acta Physiol Scand* 1996; 158: 195-202.
20. Preen D, Dawson B, Goodman C, Beilby J, Ching S. Creatine supplementation: a comparison of loading and maintenance protocols on creatine uptake by human skeletal muscle. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2003; 13: 97-111.
21. Steenge GR, Simpson EJ, Greenhaff PL. Protein- and carbohydrate-induced augmentation of whole body creatine retention in humans. *J Appl Physiol* 2000; 89: 1165-1171.
22. Rawson ES, Clarkson PM. Scientifically debatable: is creatine worth its weight? *Gatorade Sport Science Institute. Sports Science Exchange # 91* 2003; 16(4).
23. Rae C, Digney AL, McEwan SR, Bates TC. Oral creatine monohydrate supplementation improves brain performance: a double-blind, placebo-controlled, cross-over trial. *Proc Biol Sci* 2003; 270: 2147-2150.
24. Peres G. Opinion of the French Agency for Food Safety and report on the Assessment of the risks of creatine on the consumer and of the veracity of the claims relating to sports performance and the increase of muscle mass. *Maisons-Alfort Cedex: Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments*; 2001.
25. Groeneveld GJ, Beijer C, Veldink JH, Kalmijn S, Wokke JH, Berg LH van den. Few adverse effects of long-term creatine supplementation in a placebo-controlled trial. *Int J Sports Med* 2005; 26: 307-313.
26. Poortmans JR, Francaux M. Adverse effects of creatine supplementation: fact or fiction? *Sports Med* 2000; 30: 155-170.
27. Poortmans JR, Francaux M. Long-term oral creatine supplementation does not impair renal function in healthy athletes. *Med Sci Sports Exerc* 1999; 31: 1108-1110.
28. Schilt R, Vlis E van der, Vaes W, Sterk S, Ginkel L van. Onderzoek naar het voorkomen van dopinggeduide stoffen in voedingssupplementen in de aanloop naar de Olympische Winterspelen in Salt Lake City. *Zeist: TNO Voeding/RIVM*; 2002.
29. Shephard RJ, Rankinen T, Bouchard C. Test-retest errors and the apparent heterogeneity of training response. *Eur J Appl Physiol* 2004; 91: 199-203.

Summary

Does creatine supplementation improve exercise performance? Takken T. Ned Tijdschr Klin Chem Labgeneesk 2006; 31: 10-14.

Creatine is one of the most studied nutritional supplements in sports. In this narrative review on creatine and sports performance, the key papers will be highlighted and general principles will be discussed. The last years a lot of papers have been published studying certain aspects of creatine supplementation. The papers that studied the effects of creatine on muscle strength and anaerobic exercise (<30 s) showed positive effects of creatine supplementation over placebo. In exercises lasting between 30 s and 3 min, the performance-enhancing abilities of creatine are less equivocal. Exercises lasting over 3 min show no clear effect of creatine supplementation on performance. Conclusion: The intake of creatine has positive effects on sprinting performance. For strength sportsmen, creatine supplementation gives the advantage to increase training load during training sessions. Moreover, there are indications that creatine can increase muscle mass, body mass and glycogen concentrations in the muscle.

Keywords: creatine; exercise physiology; creatinephosphate; training.