

Cafeïne en Prestatievermogen **Bronnen, Mechanismen, Effecten, Adviezen**

Prof Dr Fred Brouns

Faculteit Voor Gezondheid, Geneeskunde en Levenswetenschappen, Afdeling Humane Biologie,
Universiteit van Maastricht, NL.

Inleiding

Cafeïne (CAF) is wereldwijd het meest ingenomen stimulerende middel. Koffie en “mate” is de belangrijkste bron van CAF inname. Kleine hoeveelheden worden ook door het nuttigen van chocolade en sommige fris- en energie dranken ingenomen (tabel 1).

CAF is een door de koffieplant gevormde stof met de naam tri-methylxanthine. Er zijn ook di-methylxanthines zoals theophylline en theobromine met eenzelfde biologisch actieve werking. Deze komen voor in thee en cacao. Deze stoffen zijn ook in puur verkrijgbaar voor de toepassing in voeding, drank en geneesmiddelen (Tab 2).

Sterke of slappe koffie?

CAF is slechts een van de vele chemische stoffen in koffie, dat in feite enkele honderden complexe verbindingen bevat. Het gehalte van deze verbindingen kan sterk variëren afhankelijk van het land van herkomst van de koffieboon en de bereidingswijze van de koffie. Zo beïnvloeden de omstandigheden waarin de koffie bonen groeien (grondsoort en klimaat) de chemische samenstelling van de koffieboon aanzienlijk.

Er zijn twee soorten koffiebonen, Robusta en Arabica die beiden een andere samenstelling hebben. Tijdens het “branden” van de bonen worden tevens honderden vluchtige verbindingen gevormd die samen het specifiek geurende koffiearoma geven. De manier waarop de koffie wordt bereid, gekookt, gefilterd en geperst heeft eveneens een sterk effect op de samenstelling. Om die reden is een espresso, een Turkse koffie of een “Brabants bakkie” verschillend in smaak, geur en CAF gehalte. Men kan dus m.b.t. de inhoudsstoffen en de bio-actieve effecten “koffie niet over een kam te scheren”. Anders ligt het met CAF houdende fris en energie dranken die op de markt zijn waaraan CAF in pure vorm is toegevoegd en dus alle andere in koffie voorkomende verbindingen ontbreken.

Hoe verbeterd cafeïne de prestatie?

Een traditionele verklaring voor het prestatieverbeterend effect van CAF tijdens duurprestaties betreft een vergroting van de vrijmaking van vrije vetzuren uit vetweefsel. Daardoor neemt het gehalte aan vrije vetzuren in het bloed toe waardoor er een verhoogde vetzuuropname en verbranding in de spieren plaatsvindt. Men veronderstelde daarbij dat dit effect tot een verminderd spierglycogeengebruik zou leiden waardoor het gevoel van “lood in de benen” dat optreedt bij een snel verminderd glycogeengehalte zou kunnen worden voorkomen. Deze verklaring was vooral gebaseerd op uitkomsten van de eerste studies op dit gebied door het Human Performance Lab van Prof. David Costill, Ball State University, USA. Deze studies lieten een verminderd glycogeengebruik na CAF inname zien (voor overzicht zie Graham 2001, 2008).

Andere studies van meer recente datum hebben deze resultaten echter niet kunnen bevestigen. Zo werd er bijvoorbeeld een vergrote concentratie van de vrije vetzuren in het bloed waargenomen zonder dat er meer vet werd geoxideerd (Graham 2001)

De oorzaak van deze tegenstelling is niet geheel duidelijk. Het zou met de aard en intensiteit van de inspanning te maken kunnen hebben en/of met de mate van getraindheid van de

proefpersonen. Onafhankelijk daarvan laten de meest recente studies zien dat CAF de prestatie kan bevorderen zonder dat er een effect op het spierglycogeengehalte optreedt. Er zijn nog andere redenen om een vraagteken te plaatsen bij de oorspronkelijke “vetzuurhypothese”. Zo heeft CAF een prestatie bevorderend effect tijdens een inspanning die slechts enkele minuten duurt. Dat wil zeggen in een situatie waarbij de stimulatie voor een verhoogde vrijmaking van vetzuren uit het vetweefsel nog nauwelijks op gang is gekomen en het spierglycogeen zelf ook nog geen prestatie beperkende factor is. Zo werd in een studie naar het prestatievermogen bij een inspanningsintensiteit van 85%Vo₂max, met een tijdsduur van resp. 3 en 15 minuten waargenomen dat CAF de tijd tot uitputting verlengde zonder dat er een meetbaar verschil was in het verbruik van het spierglycogeen (Chesley 1998).

In een ander onderzoek (Graham 2008) werd aan de hand van spierbiopten (een klein stukje spierweefsel) afgenomen direct na een inspanning van 10-15 min met een intensiteit 70%-85% Vo₂Max. nagegaan welke veranderingen er in het spierglycogeen gehalte en de concentratie van metabolieten waren opgetreden. Uit de verkregen gegevens werd geconcludeerd dat er tijdens de inspanning geen effect van CAF was op de vetoxidatie. Om die redenen is het aanneembaar dat de prestatiebevorderende werking van CAF vooral in de richting van een prestatiebevorderende stimulering van het centrale zenuwstelsel gezocht moet worden. CAF kan ook een effect hebben op de verwerking en interpretatie van inkomende zenuwprikkels (waardoor een verminderd gevoel van vermoeidheid en ook van pijn wordt waargenomen, reden waarom CAF ook aan veel pijnstillers is toegevoegd). Er zijn ook gegevens dat CAF het ontstaan van vermoeidheid in elektrisch gestimuleerde menselijke spieren kan voorkomen, de vrije calcium concentratie in de spiercellen kan verhogen en de afgifte van kalium aan het plasma kan verlagen. Dit zijn allemaal werkingsmechanismen die vermoeidheid en pijn in de spieren kunnen verminderen (Graham 2001, Magkos 2005, Davis 2009).

Cafeïne gebruik door sporters

Er is geen goede documentatie over het kwantitatieve gebruik van koffie en CAF voor en tijdens sport, alhoewel het wijd verbreide gebruik wel de conclusie toe laat dat CAF waarschijnlijk wel meest gebruikte stimulerende middel in de sport is. Veelzeggende informatie over het gebruik van CAF door jongeren in de sport werd verkregen uit een enquête die door het “Canadese Centrum Voor Doping Vrije Sport” in 1993 onder jeugdsporters gehouden werd (Graham 2001) . In deze enquête werd gevraagd welke prestatiebevorderende middelen gedurende de laatste 12 maanden waren ingenomen. Met 27% van de deelnemers die aangaven CAF specifiek te hebben ingenomen met het doel de prestatie te verbeteren was CAF was nummer EEN op de lijst. Uit de duursport is bekend dat CAF regelmatig wordt ingenomen door duuratleten om de vermoeidheid tijdens de langdurende- en eentonige belasting tegen te gaan en daardoor het prestatievermogen te verbeteren. Daarnaast wordt CAF ook door sprinters gebruikt vanuit de veronderstelling dat het de reactietijd op het startschot verbeterd. Krachtsporters nemen het in omdat ze geloven dat CAF het mobiliseren van een zo groot mogelijke piekkracht bevordert. Pure CAF, toegevoegd aan energie drankjes, wordt ook veel in het uitgaansleven geconsumeerd met als doel een energiekick te krijgen en “all night long” te kunnen “feestbeesten”. In dit opzicht heeft zich wereldwijd een grote markt ontwikkeld voor energiedranken die in de meeste gevallen een CAF gehalte van 320mg/liter hebben. Hoewel; vaak verondersteld wordt dat dit extreem hoog is, is dit slechts evenveel als de hoeveelheid in 4 koppen sterke koffie. Het CAF gehalte/liter in koffie is dus aanzienlijk hoger dan dat in energiedranken (tabel 1)

Tabel 1 Vergelijkend cafeïne gehalte van een aantal dranken/voedingsmiddelen

<i>Product/drank</i>	<i>kwantiteit</i>	<i>CAF (mg)</i>
Koffie (filter)	100 ml	77
Koffie (Instant)	100 ml	40
Koffie (Espresso)	100 ml	166
Koffie (CAF vrij)	100 ml	<1
Theezakje, zwart	100 ml	20, 33*
Theezakje, groen	100 ml	10, 23*
Thee losse blaadjes	100 ml	13, 20*
Chocolade Melk	100 ml	2
Coca-Cola	100 ml	15
Pepsi Cola	100 ml	11
Red Bull	100 ml	32
Chocolade**	50 g	>10

*Na laten "trekken" gedurende resp. 1 en 5 minuten.

** gehalte in chocolade is afhankelijk van het cacao gehalte.

Hoe donkerder de chocolade hoe meer CAF er in zit.

Bron Graham, Univ of Geulph, Canada. t.b.v. van vergelijking aangepast naar ml/Liter.

Verbeterd CAF de duurinspanning?

De meeste laboratoriumstudies hebben het effect van CAF inname op het vermogen om een continue belasting zo lang mogelijk vol te houden onderzocht. Op grond van de beschikbare gegevens is er geen twijfel dat CAF een meetbaar prestatiebevorderend effect heeft, maar niet altijd. Zo werd, als voorbeeld bij een 110KM tijdrit geen effect aangetoond (Hunter 2002). De resultaten van duurtesten in het inspanningslaboratorium worden vaak veralgemeend naar wedstrijdporten, waarbij snelheid en het maximale arbeidsvermogen belangrijke factoren zijn. De beschikbare gegevens suggereren dat de snelheid inderdaad toe kan nemen.

Er zijn publicaties die melden dat CAF een positief effect heeft op 1500 m hardlopen, 1500 m zwemmen, een tijdrit van ongeveer 1 uur, 21 km cross country skiën (skilopen) en ook op het totale arbeidsvermogen dat gedurende 2 uur fietsen gehaald werd. CAF kan ook een positief effect hebben op de training (zowel kwalitatief als kwantitatief) doordat het de atleet in staat stelt om langer door te gaan bij een zwaardere belasting.

In de, naar men aanneemt tot nog toe beste gecontroleerde studie tijdens duurinspanning uitgevoerd door Kovacs (1998, Universiteit van Maastricht) werd het prestatiebevorderende effect van cafeïne onomstotelijk aangetoond. De atleten konden een van te voren vastgelegde inspanning (tijdrit) in kortere tijd uitvoeren doordat er een groter arbeidsvermogen kon worden gerealiseerd (Tabel 2). Uit dit onderzoek bleek dat 2-3 mg CAF reeds tot een significante prestatieverbetering leidt.

Table 2: Effecten van cafeïne op het prestatievermogen

	A	B	C	D	E
Drank soort	Sport dr-150	Pla-W	Sport dr-320	Sport dr-0	Sport dr-225
Gemiddelde prestatie tijd (Min ±SE)	60.38±1.03	62.45±1.34	58.92±1.20	61.51±1.10	58.94±0.99
Gemiddeld vermogen (Watt ± SE)	299±10	292±10	309±10	295±9	308±9

A: sportdrank met 150 mg. CAF, **B:** placebo - water, **C:** sportdrank met 320mg. CAF, **D:** sportdrank zonder CAF, **E:** Sportdrank met 225mg. CAF.

Effect van CAF bij spelsporten:

De meeste spelsporten worden gekarakteriseerd door een afwisseling van korte sprints met momenten van relatieve pauze. Voorbeelden zijn voetbal, hockey, rugby, ijshockey, handbal, basketbal, etc. Men spreekt daarbij van duur-interval arbeid waarbij met een toename van de grootte van het speelveld een groter duurvermogen vereist is. Ter verduidelijking, er zijn grote verschillen tussen tennis, volleybal en voetbal m.b.t. loopafstand, totaal energie verbruik, aerobisch arbeidsvermogen etc. Er zijn verschillende studies gedaan naar het effect van koolhydraat dranken op de spelsportprestatie maar de effecten van CAF zijn daarbij nog maar weinig onderzocht. Roberts (2010) vond bij rugby spelers dat na CAF korte 15 meter sprints sneller werden uitgevoerd ($P < 0.01$) dan na het placebo en dat de technische spelvaardigheden beter werden uitgevoerd. CAF verminderde ook het subjectieve vermoeidheidsgevoel ($P < 0.05$). Een studie bij tennis spelers toonde aan dat langdurig tennissen leidt tot een beduidende vermindering in de effectiviteit van uitvoering van de tennisvaardigheden. CAF inname kon deze afname gedeeltelijk voorkomen en leidde tot een verbetering van de service snelheid. (Hornery 2007). Daarentegen observeerde Vergouwen (1998) bij een gesimuleerde tenniswedstrijd wel een significant prestatie effect na de inname van koolhydraat houdende dranken maar geen effect van CAF.

Een positief effect bij sprint?

Bij veel wedstrijdporten gaat het vooral om snelheid en een maximaal haalbaar arbeidsvermogen in een zeer beperkte tijd. Voorbeelden zijn alle sprint- en middenafstandnummers in de atletiek, bij het schaatsen, wielrennen, etc. Er zijn echter maar een paar studies in deze omstandigheden gedaan met wisselende uitkomsten als resultaat. Men gaat ervan uit dat dit komt doordat dit soort inspanning teveel afhankelijk is van andere sterk beïnvloedende factoren zoals bijvoorbeeld vooral het kunnen pieken van concentratie en motivatie binnen een zeer kort tijdsbestek. Tevens dat het ook moeilijk is om dergelijke prestaties nauwkeurig te meten.

Kracht en Power

Krachtsporters schijnen CAF te gebruiken omdat ze geloven dat het de maximale kracht vergroot of vermoeidheid en concentratie/motivatie afname voorkomt. Hiernaar is echter heel weinig onderzoek gedaan. In laboratoriumstudies waarbij de dijbeenspieren elektrisch gestimuleerd werden en/of het iso-kinetisch krachtvermogen gemeten werd, werd in het algemeen geen effect van CAF waargenomen. Op dit moment kan men derhalve alleen maar concluderen dat er geen wetenschappelijk bewijs is om het gebruik van CAF door krachtsporters t.b.v. een prestatie verbetering te ondersteunen.

Bestaat er gewenning aan CAF?

In Canada is heeft men onderzocht of het stoppen met CAF inname een negatief effect heeft op de duurprestatie. Dit bleek niet het geval te zijn. Wanneer “regelmatige koffiedrinkers” gedurende 2 tot 4 dagen stopten met koffiedrinken dan was het stimulerend effect van CAF niet verschillend t.o.v. gewoon doorgaan met koffiedrinken. Wel waren de proefpersonen die stopten met koffiedrinken meer gevoelig voor een overdosering. Dat wil zeggen dat ze dan vaker negatieve effecten ondervonden (hoofdpijn, hyperactiviteit, slecht slapen) bij inname van een grote hoeveelheid CAF.

Echter, Bell (2002) deed onderzoek naar de duur van het CAF effect op de prestatie en of er verschillen bestaan tussen personen die veel CAF gebruiken (n=13) en personen die nooit gebruiken (n=8). Alle 21 proefpersonen volbrachten meerdere inspanningen met een intensiteit van 80% Vo₂max na inname van 5mg/KG CAF of placebo. CAF werd ingenomen op 1, 3 of 6 uur voor de inspanning. De resultaten lieten zien dat zowel de duur als het effect van CAF groter was bij de “niet gebruikers” vergeleken met de “gebruikers”. Dit lijkt te betekenen dat er t.g.v. van frequent CAF gebruik zowel een afname van de effectiviteit mogelijk t.g.v. een toename van de afbraak/uitscheidingsnelheid optreedt.

Bestaat er een optimaal tijdstip van CAF inname?

Er is geen systematisch onderzoek gedaan naar het effect van het tijdstip van CAF inname op het prestatievermogen. CAF wordt vrij snel in het lichaam opgenomen (reeds na 15 minuten meetbaar) en heeft vervolgens een lange halfwaardetijd (4-6 uur), d.w.z. wordt maar langzaam afgebroken en uitgescheiden. Bij de uitvoering van wetenschappelijke studies wordt met het starten van de inspanningstest meestal een uur gewacht omdat de bloed CAF concentratie dan pas maximaal is.

Omdat we het precieze mechanisme van de prestatie bevorderende werking van CAF niet goed kennen is het niet mogelijk om te concluderen dat dit ook de optimale tijdsduur is voor toepassing bij de sportprestatie. Er is ook gesuggereerd dat men het beste 3 uur kan wachten omdat dan de hoogste concentratie aan vrije vetzuren in het bloed bereikt wordt. (daarbij wordt dan wel aangenomen dat plasma vrije vetzuren concentratie belangrijk is voor het prestatie effect, maar dit blijkt, zoals hiervoor eerder beschreven echter niet het geval te zijn).

Bell (2003) deed een studie bij 9 mannen die een inspanning met een intensiteit van 80% Vo₂max tot uitputting uitvoerden, eerst in de ochtend en vervolgens opnieuw in de middag. Placebo of CAF (2.5 of 5.0 mg/KG lichaamsgewicht) werden een uur voor de aanvang van de inspanning ingenomen. De resultaten lieten zien dat de herhaalde dosis in de middag geen extra effect toevoegde t.o.v. de eerste dosering in de ochtend. M.a.w. de effecten van CAF inname bleven in deze studie gedurende 7 uur na inname nog onveranderd. Er waren echter wel grote inter-individuele verschillen, mede doordat er een grote variatie bestaat in de eliminatie snelheid. Er zijn atleten die in een korte periode wel het twee tot drievoudige in urine en zweet uitscheiden in vergelijking met anderen.

Een beetje meer is beter

Omdat CAF niet langer op de dopinglijst staat is de weg open om CAF inname als werkzame en getolereerde methode toe te passen!

In de zin van prestatie ondersteuning gaat de redenering “hoe meer hoe beter” echter niet op. Bij experimenten in Canada werd waargenomen dat sommige proefpersonen met een inname 9 mg per kg lichaamsgewicht negatieve effecten ondervonden, dat wil zeggen dat ze niet meer in staat

waren om zich te concentreren, erg spraakzaam en snel afgeleid werden en in enkele gevallen zelfs niet meer konden concentreren op de inspanningstaak waardoor hun prestatie verslechterde! Bij experimenten uitgevoerd aan de Universiteit van Maastricht werden soortgelijke bevindingen gedaan. Hogere dosis CAF leidden er toe dat men in concentratie en reactie testen weliswaar sneller “tot actie kwam” maar vaker “het verkeerde deed”. Men zou dat kunnen vergelijken met een wielrenner of marathonloper die kort voor de finish per abuis een verkeerde weg inslaat of een voetballer die te snel een fatale pass geeft, met alle gevolgen van dien.

Is puur cafeïne werkzamer dan koffie?

In het algemeen hebben wetenschappers “koffie consumptie” gelijkgesteld aan “CAF inname”, Een studie aan de universiteit van Guelph in Canada (Graham 2001) tijdens hardlopen met een intensiteit van 85% Vo₂max liet echter zien dat dit niet opgaat. Er werd een vergelijking gemaakt tussen de reactie van proefpersonen die 4.5 mg CAF per kg lichaamsgewicht (als puur CAF opgelost in 500-600 ml water) innamen, normale koffie of CAF vrije koffie met toegevoegd puur CAF. De enige test waarbij CAF een prestatieverbeterend effect had was die waarbij de pure CAF was ingenomen (volhoudtijd 41 minuten). De andere 4 testen resulteerden in een kortere maar onderling bijna dezelfde tijd tot uitputting (ongeveer 32 minuten) . Uit de studie bleek duidelijk is dat gewone koffie om de een of andere reden veel minder efficiënt was dan puur CAF (Graham 2001).

Bijwerkingen van CAF

Bijwerkingen van overvloedige CAF inname op het centrale zenuwstelsel zijn een verminderde bewegingscoördinatie en trillen van de handen. Bij sommige sporten kan dit een duidelijk nadeel betekenen. Daarnaast kan het leiden tot slapeeloesheid na de inspanning en ook een stijging van de bloeddruk en de hartslag.

Er zijn speculaties geweest dat langdurig en frequent koffie- of CAF gebruik een risicofactor kan zijn voor het ontstaan van blaaskanker maar goed bewijs hiervoor is er niet. CAF gebruik wordt ook wel in verband gebracht met een verhoogde calcium en magnesium uitscheiding in de urine (Massey 1990, Kovacs 1998b) waarvoor bij regelmatig koffie drinken geen adaptatie bestaat. Dit zou theoretisch een effect kunnen hebben op botontkalking en tevens leiden tot lage bloed- en spiermagnesium spiegels. De effecten van CAF inname op de maag-darmfunctie tijdens inspanning is slechts fragmentarisch onderzocht. Recent onderzoek in Maastricht liet zien dat een hoeveelheid van 150mg CAF, ingenomen met drank, geen effect had op de maagzuurproductie, het opboeren van maagzuur of het transport van de drank door het maag-darmkanaal. Bij hogere dosis is mogelijk wel een effect op de maagzuurproductie en waarschijnlijk ook het opboeren tijdens inspanning te verwachten.

Effecten op de waterhuishouding

Er is in het verleden gesuggereerd dat de toename van de urine uitscheiding (na inname van CAF in tabletvorm) bijdraagt tot dehydratie en tot een afname de mineralen in het bloed. Dit zou er theoretisch toe kunnen leiden dat het prestatievermogen bij de duursporter negatief beïnvloedt wordt. In een aantal studies naar de effecten van CAF ingenomen met een drank is echter geen verandering gevonden in het urine volume en het bloedplasma volume. Na een uur rust was het volume geproduceerde urine even groot was als de hoeveelheid ingenomen vloeistof. Of de drank wel of geen CAF bevatte deed er niet toe. Het lijkt er dus op dat als de inspanning geleverd wordt binnen een uur na CAF inname, de urine productie even groot is als het volume van de ingenomen

vloeistof. Dat er geen verschillen waren is waarschijnlijk tevens een gevolg van het feit dat het remmend effect van inspanning op de urine productie de stimulering door CAF gewoon te niet doet. CAF is dus tijdens een inspanning niet diuretisch. (Falk 1990, , Neuhauser 1997, Grandjean 2000, Kovacs 2002, Armstrong 2002).

Is CAF voor een prestatieverbetering aan te raden?

Gebruik van CAF is geen “must” maar een “het mag!

Als de concurrent het wel doet en jij niet verlies je op voorbaat aan arbeidsvermogen”

Op basis van het gegeven dat CAF gebruik niet strafbaar is en in het licht van de aangetoonde vermoeidheidsverminderende, prestatieverbeterende en pijnreducerende effecten kan een gericht CAF gebruik in de prestatiesport toegepast worden. Om een zo goed mogelijk effect te bewerkstelligen kan men het beste puur CAF innemen toegevoegd aan water of koolhydraathoudende drank. Commerciële cafeïnehoudende energiedranken bevatten allemaal deze CAF vorm, waarvan de dosering op de verpakking vermeld staat. In topsport onderdelen waarbij een maximale intensiteit gedurende korte of langere tijd moet worden volgehouden is het aan te raden een individueel samengestelde drank te maken die een CAF gehalte heeft van 2-3mg/KG lichaamsgewicht in een klein volume.

Conclusies:

Voor de meeste mensen is CAF een normaal bestanddeel van de dagelijkse drankconsumptie. Het is geen substantie met voedingswaarde maar een biologisch actieve stimulerende substantie. CAF stimuleert het centraal zenuwstelsel en daardoor vele orgaansystemen in ons lichaam. CAF is een krachtig prestatiebevorderend middel waardoor meestal het arbeidsvermogen toeneemt of een hoge snelheid kan langer volgehouden worden. Een gewenning aan frequent CAF gebruik kan optreden. Het kan daardoor zijn dat er op termijn een iets hogere dosering nodig is om eenzelfde effect te krijgen als bij niet koffie/CAF gebruikers. CAF ingenomen in de vorm van koffie is minder effectief dan wanneer dezelfde dosis CAF in pure vorm wordt ingenomen. Wetenschappelijke studies hebben aangetoond dat relatief kleine hoeveelheden CAF al een prestatiebevorderend effect kunnen hebben. In het algemeen is een inname van 2-3mg /kg lichaamsgewicht een effectieve prestatie ondersteunende dosis zonder negatieve bijwerkingen op de concentratie en het maken van keuzes. Hogere doseringen hebben geen meerwaarde en kunnen tot ongewenste neveneffecten leiden.

Dankwoord: Prof Dr Terry Graham , Afdeling Humane Biologie en Voedingswetenschappen, Universiteit van Guelph, Ontario, Canada was actief betrokken bij de informatieverschaffing.

Aan te bevelen Literatuur:

Er is geweldig veel literatuur op dit gebied verschenen. In het artikel hier beschreven worden de resultaten samengevat van een zeer groot aantal studies. Het opnemen van alle referenties zou in het kader van dit korte overzicht niet goed mogelijk zijn. Om die reden zijn alleen een aantal “sleutelstudies” waarvan in de tekst resultaten zijn gemeld vermeld hieronder in de literatuurlijst opgenomen. Daarnaast zijn er een aantal uitgebreide wetenschappelijke overzichtsartikelen opgenomen die de geïnteresseerde lezer m.b.t. de verschillende aspecten van CAF gebruik, mechanismen en effecten bij lichamelijke inspanning uitgebreid van detail informatie voorzien. In dit kader zijn vooral de overzichtsartikelen van Graham 2001, Armstrong 2002, Keisler 2006, Ruxton 2008, Tunnicliffe 2008, Ganio 2009, Davis 2009 en Astorino, 2010 relevant .

1. Armstrong LE. Caffeine, body fluid-electrolyte balance, and exercise performance. *International Journal of Sport Nutrition, Exercise and Metabolism* 2002 Jun; Vol 12 (no. 2):189-206 (review).
2. Astorino TA, Roberson DW. Efficacy of acute caffeine ingestion for short-term high-intensity exercise performance: a systematic review. *J Strength Cond Res.* 2010 Jan;24(1):257-65.
3. Bell DG, McLellan TM. Effect of repeated caffeine ingestion on repeated exhaustive exercise endurance. *Med Sci Sports Exerc.* 2003 Aug;35(8):1348-54
4. Bell DG, McLellan TM. Exercise endurance 1, 3, and 6 h after caffeine ingestion in caffeine users and nonusers. *J Appl Physiol.* 2002 Oct;93(4):1227-34.
5. Berglund, B. and P. Hemmingsson. Effects of caffeine ingestion on exercise performance at low and high altitudes in cross-country skiing. *Int. J. Sports Med.* 3: 234-236, 1982.
6. Brouns F, Kovacs EM, Senden JM. The effect of different rehydration drinks on post-exercise electrolyte excretion in trained athletes. *Int J Sports Med.* 1998b Jan;19(1):56-60
7. Bryan J. Psychological effects of dietary components of tea: caffeine and L-theanine. *Nutrition Reviews(R)* Vol. 66(2): 82–90,2007.
8. Burke LM. Caffeine and sports performance. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2008 Dec; 33(6):1319-34.
9. Chesley A, Howlett R.a, GHeigenhauser J.F, et al. Regulation of muscle glycogenic flux during intense aerobic exercise after caffeine ingestion. *Am J Physiol* 1998; 275, R596-R603.
10. D'Amicis, A. and R. Viani. The Consumption of Coffee. In: *Caffeine, Coffee, and Health*, edited by S. Garattini. New York: Raven Press, p. 1-16, 1993.
11. Davis JK, Green JM. Caffeine and anaerobic performance: ergogenic value and mechanisms of action. *Sports Med.* 2009;39(10):813-3.
12. Doherty M, Smith PM. Effects of caffeine ingestion on rating of perceived exertion during and after exercise: a meta-analysis. *Scand J Med Sci Sports.* 2005 Apr;15(2):69-78.
13. Falk, B., R. Burnstein, J. Rosenblum, Y. Shapiro, E. Zylber-Katz, and N. Bashan. Effects of caffeine ingestion on body fluid balance and thermoregulation during exercise. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 68: 889-892, 1990.
14. Ganio MS, Klau JF, Casa DJ, Armstrong LE, Maresh CM. Effect of caffeine on sport-specific endurance performance: a systematic review. *J Strength Cond Res.* 2009 Jan;23(1):315-24.
15. Graham T and McLean C. Gender differences in the metabolic responses to caffeine. In: 'Gender Differences in Metabolism.' M Tarnopolski (ed), CRC Press Boca Raton, 1999, page 301-329.
16. Graham TE, Battram DS, Dela F, El-Sohemy A, Thong FS. Does caffeine alter muscle carbohydrate and fat metabolism during exercise? *Appl Physiol Nutr Metab.* 2008 Dec;33(6):1311-8.
17. Graham TE. Caffeine and exercise: metabolism, endurance and performance. *Sports Medicine* 2001; Vol 31 (no. 11):785-807 (review)

18. Grandjean A.C, Kristin J. Reimers, Karen E.Bannick and Mary C. Haven. The Effect of Caffeinated, Non-Caffeinated, Caloric and Non-Caloric Beverages on Hydration. *Journal of the American College of Nutrition*, Vol. 19, No. 5,591-600 (2000)
19. Hogervorst E., V.J. Riedel, E. Kovacs, F. Brouns, J. Jolles. Caffeine improves cognitive performance after strenuous physical exercise. *Int J Sports Med* 20(6): 354-361, 1999.
20. Hornery DJ, Farrow D, Mujika I, Young WB. Caffeine, carbohydrate, and cooling use during prolonged simulated tennis. *Int J Sports Physiol Perform.* 2007 Dec;2(4):423-38.
21. Hunter AM, St Clair Gibson A, Collins M, Lambert M, Noakes TD. Caffeine ingestion does not alter performance during a 100-km cycling time-trial performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2002 Dec;12(4):438-52.
22. Jackman, M., P. Wendling, D. Friars, and T. Graham. Metabolic, catecholamine, and endurance responses to caffeine during intense exercise. *J. Appl. Physiol.* 81: 1658-1663, 1996.
23. Keisler BD, Armsey TD 2nd. Caffeine as an ergogenic aid. *Curr Sports Med Rep.* 2006 Jun;5(4):215-9.
24. Kovacs E.M.R, Martin A.M, Brouns F, The effect of ad libitum ingestion of a caffeinated carbohydrate-electrolyte solution on urinary caffeine concentration after 4 hours of endurance exercise. *Int J Sports Med* 2002, 23: 237-241.
25. Kovacs E.M.R., J.H.C.H. Stegen and F. Brouns. The effect of caffeinated carbohydrate-electrolyte solutions on substrate metabolism, caffeine excretion and time trial cycling performance. *J Appl Physiol* 85(2): 709-715, 1998.
26. MAGKOS F. and STAVROS A. KAVOURAS. Caffeine Use in Sports, Pharmacokinetics in Man, and Cellular Mechanisms of Action. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45:535–562 , 2005.
27. Massey I.K and Opryszek A.A., No Effects of Adaptation to Dietary Caffeine on Calcium Excretion in Young Women, *Nutrition Research* 10(7): 741-747 (July 1990).
28. Neuhauser-Berthold, Beine S, Verwied SC, Luhrmann PM. Coffee consumption and total body water homeostasis as measured by fluid balance and bioelectrical impedance analysis. *Annals of Nutrition and Metabolism* 1997; Vol. 41(no. 1):29-36
29. Nieuwenhoven M.A. van, R-J.M. Brummer, F. Brouns Gastrointestinal function during exercise: a comparison of water, sports drink, and a sports drink with caffeine. *J Appl Physiol* 2000: 89; 1079-1085
30. Roberts S.P , Stokes K.A, Trewartha G, Doyle D , Hogben P, & Thompson D. Effects of carbohydrate and caffeine ingestion on performance during a rugby union simulation protocol. *Journal of Sports Sciences*, 2010; 1–10
31. Ruxton, C. H. S. The impact of caffeine on mood, cognitive function, performance and hydration: a review of benefits and risks . *British Nutrition Foundation Nutrition Bulletin*, 33, 15–25 , 2008
32. Spiller, M. A. The chemical components of Coffee. In: *Caffeine*, edited by G. A. Spiller. CRC Press, p. 97-1611998.
33. Spriet L.L. Caffeine and performance. *Int J Sport Nutr.* 1995 Jun;5 Suppl:S84-99.
34. Tunncliffe JM, Erdman KA, Reimer RA, Lun V, Shearer J. Consumption of dietary caffeine and coffee in physically active populations: physiological interactions. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2008 Dec;33(6):1301-10.

35. Vergauwen L, Brouns F, Hespel P, Carbohydrate supplementation improves stroke performance in tennis. *Med Sci Sports exercise*, 30(8), 1289-1295, 1998
36. Viani, R. The Composition of Coffee. In: *Caffeine, Coffee, and Health*, edited by S. Garattini. New York: Raven Press, p. 17-42, 1993.

Contact

Prof Dr Fred Brouns

Faculty of Health, Medicine and Life Sciences

Dept of Human Biology

Post Box 616,

6200 MD, Maastricht, Netherlands

Tel ++31 (0)433881466/..1467 secr

Cell phone ++ 31 (0)646705055

email: fred.brouns@hb.unimaas.nl