

De effecten van energiedranken op de cognitieve prestaties

F. VAN DEN EYNDE, P. VAN BAELEN, M. PORTZKY, K. AUDENAERT

ACHTERGROND Energiedrankjes worden sinds de late jaren negentig alsmaar populairder. De belangrijkste ingrediënten ervan zijn cafeïne, glucose, taurine en glucuronolacton. De producenten beweren dat ze het fysieke uithoudingsvermogen, de reactiesnelheid en de aandacht verbeteren. De interactie tussen de verschillende ingrediënten zou verantwoordelijk zijn voor de stimulerende effecten.

DOEL Een antwoord formuleren op de vraag of het gebruik van energiedranken inderdaad leidt tot verbeterde cognitieve mogelijkheden en nagaan welke ingrediënten hiervoor verantwoordelijk zijn.

METHODE Literatuuronderzoek met behulp van Medline voor de periode 1997-2006 met als zoekterm 'energy drink OR energy drinks' en de beperking 'humans'.

RESULTATEN Vooral de gerichte en de volgehouden aandacht, alsook de responstijden in allerlei reactietijdtaken werden gunstig beïnvloed. Verbeteringen in het geheugen stonden minder op de voorgrond.

CONCLUSIE De bevindingen suggereren dat de meeste effecten van energiedrankjes op de cognitieve prestaties in hoofdzaak te relateren zijn aan de aanwezige cafeïne. Verder onderzoek is nodig naar de effecten van de minder bekende bestanddelen van energiedrankjes (taurine en glucuronolacton) om een beter zicht te krijgen op mogelijke interacties.

[TIJDSCHRIFT VOOR PSYCHIATRIE 50(2008)5, 273-281]

TREFWOORDEN cafeïne, cognitieve prestaties, energiedranken, glucose

Energiedrankjes (bijvoorbeeld Red Bull, Bullit, Red Devil en Megaforce) zijn koolzuurhoudende drankjes die vooral in de late jaren negentig populair zijn geworden. Volgens de producenten verbeteren ze het fysieke uithoudingsvermogen, de reactiesnelheid en de aandacht (bijvoorbeeld Baum & Weiss 2001; www.redbull.com). Het gebruik ervan wordt aangemoedigd in 'periodes van verhoogde mentale en fysieke inspanning' en ze kunnen gedronken worden in 'nagenoeg elke situatie waarin je behoefte hebt aan meer energie: bijvoorbeeld tijdens het sporten, op het werk, bij het studeren, tijdens het autorijden of gezellig met vrienden'.

De belangrijkste ingrediënten zijn suikers (glucose en/of sucrose), cafeïne, taurine en glucuronolacton. Er bestaat een uitgebreide literatuur die aantoont dat de toediening van glucose of cafeïne de cognitieve prestaties zoals aandacht en geheugen kan bevorderen (Messier 2004; Smith 2002). Veel minder gegevens hebben wij echter over de potentiële cognitieve effecten van de andere bestanddelen in deze drankjes.

In dit artikel trachten wij een antwoord te formuleren op de vraag of consumptie van energiedranken inderdaad leidt tot verbeterde cognitieve mogelijkheden. Eerst zullen de effecten van

de belangrijkste ingrediënten in detail worden besproken. Vervolgens gaan wij dieper in op de beschikbare onderzoeksgegevens over de effecten van de energiedrankjes op zich.

METHODE

Er werd een literatuuronderzoek uitgevoerd met behulp van Medline voor de periode van januari 1997-december 2006. Eerst werden publicaties gezocht met als zoekterm 'energy drinks OR energy drink' met de restrictie 'humans'. Dit leverde in totaal 42 artikelen op, waarvan er 14 geselecteerd werden omdat ze de relatie tussen het gebruik van energiedranken en cognitief functioneren als onderwerp hadden. Er werd ook gebruikgemaakt van kruisreferenties.

Verder werd de zoekstrategie voor dit overzicht uitgebreid met specifieke aandacht voor de twee belangrijkste componenten van energiedranken, cafeïne en glucose. Dit gebeurde aan de hand van een combinatie van 'cognition' als Mesh Subject Heading én de volgende termen (eveneens als Mesh Subject Heading): 'caffeine' en 'glucose', voor dezelfde periode. Dit leverde respectievelijk 71 en 79 publicaties op. Deze werden gescreend op relevantie op basis van het abstract. Uiteindelijk werden 33 publicaties over cafeïne en 14 over glucose geselecteerd. Opnieuw werden kruisreferenties gebruikt.

RESULTATEN

Wij bespreken eerst de effecten van de afzonderlijke ingrediënten.

Cafeïne

Cafeïne (1,3,7-trimethylxanthine) is een belangrijk bestanddeel van energiedrankjes, maar is ook een ingrediënt in vele andere dranken en voedingsmiddelen, zoals koffie, thee, cola en chocolade (Nawrot e.a. 2003). Ondanks het grote aantal uitgevoerde studies blijft de inconsistentie in de bevindingen groot.

Algemeen wordt verondersteld dat cafeïne het psychische en fysieke energieniveau verhoogt. Het gebruik van cafeïne gaat inderdaad vaak samen met een aantal subjectieve psychische ervaringen zoals een verhoogd gevoel van energie, waakzaamheid, alertheid, concentratie en welbevinden. Positieve effecten op motivatie en op zelfvertrouwen werden ook gerapporteerd (Gevins e.a. 2002; Lieberman 2001; Mumford e.a. 1994; Smit & Rogers 2000; Warburton 1995; Yeomans e.a. 2000).

Daarnaast beschreven verschillende auteurs objectieve effecten van cafeïne op de cognitieve prestaties. Deze prestaties zijn echter het resultaat van een complexe interactie van verschillende cognitieve en motorische handelingen, van informatieperceptie, -selectie en -verwerking tot uitvoering van een actie (Lorist & Tops 2003). De efficiëntie van een prestatie wordt bovendien ook beïnvloed door hogere cognitieve functies, zoals planning en voorbereiding van de actie (Lorist & Tops 2003). Het is dan ook niet duidelijk te bepalen waar precies de gunstige invloed van cafeïne geplaatst moet worden (Gevins e.a. 2002). De geobserveerde effecten werden algemeen toegeschreven aan een globaal verhoogde arousal en aan meer specifieke effecten op perceptie, aandacht en motoriek en effecten op hogere cognitieve functies zoals actiemonitoring (Tiegens e.a. 2004).

Aandacht Studieresultaten suggereerden dat cafeïne vooral de aandacht verbetert (Brice & Smith 2002; Smith e.a. 1993; Warburton 1995). In vergelijking met placebocondities resulteerde de inname van cafeïne in meer correcte reacties en kortere reactietijden op verschillende taken (Brice & Smith 2002; Durlach 1998; Kenemans & Verbaten 1998; Lorist & Snel 1997; Robelin & Rogers 1998; Smit & Rogers 2000). Een betere voorbereiding en uitvoering van motorische reacties werden als verklaring genoemd (Kenemans & Verbaten 1998; Kenemans & Lorist 1995). Bovendien vergrootte cafeïne niet alleen de aandachtsspanne (Brice & Smith 2002; Fine e.a. 1994; Hughes & Hale 1998; Robelin & Rogers 1998; Smith e.a. 1994), maar ook de gerichte of selectieve aandacht, waardoor men

beter kon focussen op de relevante stimuli en de impact van irrelevante informatie verminderde (Kenemans & Lorist 1995; Lorist e.a. 1994; Marsden & Leach 2000).

Geheugen Over het algemeen waren er geen argumenten voor een gunstig effect van cafeïne op het geheugen (Smith e.a. 1999; Warburton 1995; Warburton e.a. 2001).

Dosis De gemiddelde hoeveelheid cafeïne in een kopje koffie of thee (175 ml) varieert van 40 tot 130 mg (Smit & Rogers 2000). Aanvankelijk werden in experimentele studies vaak (éénmalige) hoge doses (meer dan 500 mg) cafeïne toegediend. Deze bleken geen voordelen te bieden en hadden in bepaalde omstandigheden zelfs nadelige effecten (Kaplan e.a. 1997). In latere studies gebruikte men lagere doses (minder dan 100 mg). Deze hadden vaak niet alleen een gunstige invloed op de cognitieve prestaties (Durlach 1998; Robelin & Rogers 1998; Rogers & Dernoncourt 1998; Smith e.a. 1999; Smit & Rogers 2000), maar ook op subjectieve ervaringen zoals algemeen welbevinden, zelfvertrouwen en concentratie (Smit & Rogers 2000). Deze doses benaderden meer het normale consumptiepatroon en de gemiddelde dosis cafeïne in een energiedrankje (80 mg cafeïne/ 250 ml) (Finnegan 2003; Warburton e.a. 2001; Yeomans e.a. 2002). De dosis-responscurve voor cafeïne had ook een omgekeerde U-vorm (bijvoorbeeld Patat e.a. 2000).

Lagere doses cafeïne hingen samen met 'positieve' subjectieve effecten, terwijl hogere doses meer angst, rusteloosheid en spanning gaven (Kaplan e.a. 1997; Loke 1988). Anderen beschreven evenwel een vlakke dosis-responscurve voor het effect van cafeïne op de cognitieve prestaties (Robelin & Rogers 1998; Tiegas e.a. 2004).

Beperkingen van het onderzoek Het belangrijkste punt van discussie en kritiek aangaande de gegevens over cafeïne betrof de mogelijkheid dat de geobserveerde effecten te wijten zijn aan de opheffing van de 'onthoudingsverschijnselen'

(James 1994). De meeste onderzoeksdeelnemers waren namelijk reguliere cafeïnegebruikers die zich onthielden van cafeïne gedurende een bepaalde tijd vóór de test (meestal 10 uur of langer). Lichte onthoudingsverschijnselen zoals hoofdpijn en geïrriteerdheid werden beschreven bij reguliere cafeïnegebruikers 12 tot 24 uur na abstinentie (Juliano & Griffiths 2004).

Bij nadere bestudering van dit fenomeen bleek dat de beschreven gunstige effecten van cafeïne niet toegeschreven konden worden aan onthoudingsverschijnselen (Warburton e.a. 2001): de cognitieve prestaties van zowel een groep mét als een groep zónder onthouding verbeterden significant na inname van een cafeïnehoudend drankje vergeleken met de cafeïnevrije controleconditie. Hoewel deze visie gedeeld werd door sommigen (Amir e.a. 2001; Rogers e.a. 1995), waren er ook onderzoeksresultaten die de hypothese van onthoudingsverschijnselen wel bevestigden (Yeomans e.a. 2002). Bij de interpretatie van studieresultaten dient men dus rekening te houden met een mogelijke invloed van lichte onthoudingsverschijnselen die de effecten van cafeïne kunnen accentueren.

Inconsistentie in de literatuur zou mede verklaard kunnen worden door de aanwezigheid van andere vertekenende factoren, zoals de mate van slaperigheid, gewenning en de gebruikte dosis (Yeomans e.a. 2002).

Fysiologie Cafeïne wordt na inname snel en nagenoeg volledig geresorbeerd en bereikt een plasmapijk na ongeveer 30 minuten (Mumford e.a. 1996). Cafeïne dringt door de bloed-hersenbarrière en bereikt zo het centrale zenuwstelsel (Lorist & Tops 2003). In het belangrijkste verklaringmodel op dit moment legt men de nadruk op de invloed van cafeïne op de neurotransmitter adenosine. Bij gebruikelijke dagelijkse doses gedroeg cafeïne zich als een competitieve antagonist van de inhibitorische adenosine (A_1 - en A_{2A})-receptoren en remde de werking ervan (Lorist & Tops 2003). Adosinereceptoren zijn wijdverspreid in de hersenen, maar het A_1 -subtype wordt vooral in de cortex en

het striatum gevonden, terwijl het A_{2A}-subtype voornamelijk samen met dopaminereceptoren in het striatum tot expressie komt (Acquas e.a. 2002; Ferré 1997). Aangezien adenosine een inhiberende neurotransmitter is, versterkt cafeïne dus de werking van het centrale zenuwstelsel (Smit & Rogers 2000), zonder evenwel de corticale exciteerbaarheid te verhogen (Orth e.a. 2005). Dit laatste werd echter betwijfeld door andere auteurs (Specterman e.a. 2005). Gedragmatige effecten van cafeïne zouden dan ook meestal het gevolg zijn van de stimulatie van de dopaminerge activiteit door de opheffing van de antagonistische interactie tussen de adenosine- en de dopaminereceptor (Garrett & Griffiths 1997; Nehlig 1999). Bovendien zorgde cafeïne voor de afgifte van norepinefrine en serotonine in de hersenen en voor een stijging van de concentratie circulerende catecholamines (Benowitz 1990).

Glucose

Glucose is de belangrijkste energiebron voor het centrale zenuwstelsel en is essentieel voor het normaal functioneren ervan (Sieber & Traystman 1992). Glucose speelt een rol in talrijke biochemische processen en is een substraat voor de synthese van acetylcholine, dat samenhangt met leren en geheugen (Hasselmo & Bower 1993).

Geheugen De meeste consensus bleek te bestaan over de stimulerende invloed van glucose op het geheugen, in het bijzonder het verbale langetermijngeheugen (Foster e.a. 1998; Manning e.a. 1992; Scholey & Fowles 2002; Smith e.a. 1994; Sünram-Lea e.a. 2001, 2002). Dit zou vooral via een hippocampaal effect worden gemedieerd (Foster e.a. 1998). Behalve het oproepen van gegevens uit het geheugen, werd ook het encoderen van informatie bevorderd (Sünram-Lea e.a. 2002). De literatuurgegevens aangaande een gunstig effect op het werkgeheugen waren tegenstrijdig, met positieve (Kennedy & Scholey 2000; Martin & Benton 1999) en negatieve bevindingen (Foster e.a. 1998; Manning e.a. 1992; Sünram-Lea e.a. 2001).

Aandacht Sommige auteurs rapporteerden een aandachtsverbetering bij inname van glucose (Benton e.a. 1994; Korol & Gold 1998; Owens & Benton 1994), terwijl anderen dit niet konden bevestigen (Smith e.a. 1994). Het effect van glucose leek zich voornamelijk te manifesteren bij moeilijkere taken of taken die verdeelde aandacht vereisen (Donohoe & Benton 2000; Kennedy & Scholey 2000; Messier 2004; Owens & Benton 1994; Scholey e.a. 2001; Sünram-Lea e.a. 2001, 2002). Mogelijk wordt dit beïnvloed doordat glucose vrijwel niet kan worden opgeslagen in de hersenen, waardoor deze continu afhankelijk zijn van de aanvoer via het bloed (Korol & Gold 1998).

Dosis De dosis-responscurve van glucose betreffende cognitief functioneren had een omgekeerde U-vorm (Foster e.a. 1998). Met doses van 25 tot 75 g (300 mg/kg tot 1 g/kg voor een persoon van 75 kg) werden positieve effecten aangetoond. Bij jongvolwassenen leken lagere doses (circa 25 g) effectiever te zijn, terwijl bij ouderen hogere doses (50-75 g) de prestaties verbeterden (Messier 2004). Energiedrankjes bevatten meestal een mengsel van glucose-leverende koolhydraten (meestal sucrose en/of glucose, ongeveer 27,5 g/250 ml) in een dosis die gerelateerd werd aan positieve effecten op cognitieve prestaties (Foster e.a. 1998; Kennedy & Scholey 2000; Sünram-Lea e.a. 2001).

Overige ingrediënten

Energiedrankjes bevatten naast cafeïne en glucose ook allerlei toegevoegde vitamines, mineralen en andere bestanddelen zoals taurine, glucuronolacton, inositol en botanische extracten. Aan deze 'unieke combinatie' wordt door de producenten een gunstig effect op de cognitieve toegeschreven (bijvoorbeeld www.redbull.com). Er zijn echter geen specifieke gegevens bekend over de effecten van taurine en glucuronolacton op aandacht en geheugen (Woojae 2003).

Het lichaamseigen essentiële aminozuur taurine wordt geproduceerd in de lever en in de hersenen en speelt een belangrijke rol in de osmo-

tische regulatie, de spiercontractie, de neuroprotectie en in de bevordering van de neurotransmissie in de hersenen (Chepkova e.a. 2002; Kang e.a. 2002). Taurine heeft een aantal modulerende effecten op het centrale zenuwstelsel. Proefonderzoek bij dieren toonde aan dat taurine kan leiden tot een stijging van de concentratie acetylcholine in de hersenen; deze neurotransmitter speelt een belangrijke rol bij leren en geheugen (Birdsall 1998). Er is enige evidentie dat 1 g taurine effectief zou zijn in het tegengaan van vermoeidheid (Reyner & Horne 2002) en in het versterken van de stimulerende werking van cafeïne (Barthel e.a. 2001; Baum & Weiss 2001; Seidl e.a. 2000), maar de onderzoeksgegevens hieromtrent waren beperkt.

Glucuronolacton is eveneens een lichaamseigen stof, maar ook over de effecten hiervan is zeer weinig bekend. De producenten van de drankjes beweren dat glucuronolacton betrokken is in het 'ontgiftingsproces' van het lichaam, hoewel er geen wetenschappelijke ondersteuning voor een dergelijke bewering is (Woojaj 2003).

Onderzoek naar de effecten van energiedrankjes

Doses van bestanddelen kunnen variëren van ongeveer 5 tot > 500 mg per 250 ml (Pena e.a. 2005; McCusker e.a. 2006), maar over het algemeen bevat een energiedrankje van 250 ml ongeveer 80 mg cafeïne, een combinatie van sucrose en/of glucose (ongeveer 27,5 g), 1 g taurine en 600 mg glucuronolacton (Finnegan 2003; Reyner & Horne 2002). De literatuur aangaande de effecten van energiedrankjes (met de genoemde combinatie van ingrediënten) op de cognitie was beperkt.

Energiedranken zouden effect hebben op allerlei cognitieve processen, onder meer op de gerichte aandacht (Alford e.a. 2001; Mucignat-Caretta 1998; Warburton e.a. 2001) en de volgehouden aandacht (Kennedy & Scholey 2004; Smit & Rogers 2002). Zo bleek de inname van een energiedrank wel de snelheidscomponent, maar niet de accuraatheid van aandacht te verbeteren (Scholey & Kennedy 2004). In een studie, gesponsord door Red Bull, onderzocht men het effect van het

drankje op de volgehouden aandacht bij chauffeurs onder monotone rijomstandigheden (Reyner & Horne 2002). In vergelijking met het controle-drankje (zonder cafeïne, taurine en glucuronolacton) reduceerde het energiedrankje significant de slaapgerelateerde rij-incidenten en de subjectief ervaren slaperigheid. De toediening van een energiedrank resulteerde in kortere reactietijd (Alford e.a. 2001; Mucignat-Caretta 1998; Seidl e.a. 2000; Smit & Rogers 2002).

De bevindingen aangaande het effect op geheugen waren minder consistent, met zowel positieve (Smit & Rogers 2002; Warburton e.a. 2001) als negatieve bevindingen (Alford e.a. 2001). Anderen beschreven alleen een gunstige invloed op 'secondary memory', maar niet op het werkgeheugen (Scholey & Kennedy 2004). Energiedranken leken bovendien subjectieve gewaarwordingen van alertheid, aandacht, helderheid en energie te verhogen (Alford e.a. 2001; Kennedy & Scholey 2004; Seidl e.a. 2000; Smit & Rogers 2002; Warburton e.a. 2001).

Deze bevindingen suggereerden dat een combinatie van cafeïne, glucose, taurine en glucuronolacton een positief effect heeft op de cognitieve functies, maar het bleef onduidelijk wat het aandeel van de verschillende ingrediënten was (Alford e.a. 2001; Seidl e.a. 2000). Een combinatie van cafeïne en taurine had geen gunstig effect op het kortetermijngeheugen (Bichler e.a. 2006). Mogelijk oefenen ook andere bestanddelen in dergelijke dranken een - positieve of negatieve - werking uit.

Aangezien de effecten op de aandacht duidelijker zijn dan die op het geheugen, wordt cafeïne veelal als belangrijkste ingrediënt voor het veroorzaken van de geobserveerde effecten aangewezen. Wanneer men de resultaten van onderzoeken met energiedranken vergelijkt met die van studies met vergelijkbare hoeveelheden cafeïne, corresponderden de effecten met elkaar, zowel die op de cognitieve prestaties (bijvoorbeeld Smit & Rogers 2000; Warburton 1995) als die op de subjectieve metingen (bijvoorbeeld Smit & Rogers 2000). Het tijdsinterval tussen de inname van een energie-

drank en het optreden van merkbare effecten bedroeg 35-49 minuten (Kennedy & Scholey 2004; Smit & Rogers 2002). De glucosespiegel in bloed stijgt normaliter al eerder, zodat de effecten van glucose reeds vroeger merkbaar zouden moeten zijn. Het tijdsinterval was echter ook wel consistent met de piekplasmatische tijd van cafeïne (Mumford e.a. 1994, 1996; Smit & Rogers 2000). Het kan niet uitgesloten worden dat deze effecten het resultaat zijn van een interactie tussen cafeïne en glucose (Smit & Rogers 2002) en dat de werking van glucose enigszins gemaskeerd wordt door de effecten van cafeïne en/of andere bestanddelen. Betere aandachts- en geheugencapaciteiten werden immers wel na inname van een cafeïne-glucosedrankje vastgesteld, maar niet na inname van de afzonderlijke bestanddelen (Scholey & Kennedy 2004). Ook werd een verhoogde exciteerbaarheid van de cerebrale cortex na inname van energiedranken toegeschreven aan de interactie van cafeïne en glucose (Specterman e.a. 2005).

CONCLUSIE

De beschikbare onderzoeksbevindingen suggereren dat de effecten van energiedrankjes op de cognitieve prestaties in hoofdzaak te relateren zijn aan de aanwezige cafeïne. Deze effecten blijven niet beperkt tot een verhoogde waakzaamheid en een verbeterde aandachtsfunctie, maar betroffen ook allerlei input- en outputprocessen van de informatieverwerking en hogere cognitieve functies zoals actiemonitoring. In het bijzonder de gerichte en de volgehouden aandacht, alsook de responstijden in allerlei reactietijdtaken worden, vooral door cafeïne, gunstig beïnvloed. Bovendien worden de eigenlijke chemische effecten mogelijk ook versterkt door subjectieve gewaarwordingen en een gerelateerd placebo-effect bij het drinken van energiedrankjes (bijvoorbeeld Smit & Rogers 2002). Verbeteringen in het geheugen, die eerder toegeschreven moeten worden aan de werking van glucose, staan minder op de voorgrond.

De energiedrankjes bevatten ongeveer dezelfde hoeveelheid cafeïne (80 mg) als een gemid-

deld kopje koffie. Het lijkt er dus op dat het drinken van een sterke kop koffie voor dezelfde 'mentale stimulering' kan zorgen als een energiedrankje.

LITERATUUR

- Acquas, E., Tanda, G., & Di Chiara, G. (2002). Differential effects of caffeine on dopamine and acetylcholine transmission in brain areas of drug-naïve and caffeine-pretreated rats. *Neuropsychopharmacology*, 27, 182-193.
- Amir, T., Alshibani, F., Alghara, T., e.a. (2001). Effects of caffeine on vigilance performance in introvert and extravert noncoffee drinkers. *Social Behavior and Personality*, 29, 617-624.
- Alford, C., Cox, H., & Wescott, R. (2001). The effects of red bull energy drink on human performance and mood. *Amino Acids*, 21, 139-150.
- Barthel, T., Mechau, D., Wehr, T., e.a. (2001). Readiness potential in different states of physical activation and after ingestion of taurine and/or caffeine containing drinks. *Amino Acids*, 20, 63-73.
- Baum, M., & Weiss, M. (2001). The influence of a taurine containing drink on cardiac parameters before and after exercise measured by echocardiography. *Amino Acids*, 20, 75-82.
- Benowitz, N.L. (1990). Clinical pharmacology of caffeine. *Annual Review of Medicine*, 41, 277-288.
- Benton, D., Owens, D.S., & Parker, P.Y. (1994). Blood glucose influences memory and attention in young adults. *Neuropsychologia*, 32, 595-607.
- Bichler, A., Swenson, A., & Harris, M.A. (2006). A combination of caffeine and taurine has no effect on short term memory but induces changes in heart rate and mean arterial blood pressure. *Amino Acids*, 31, 471-476.
- Birdsall, T.C. (1998). Therapeutic applications of taurine. *Alternative Medicine Review*, 3, 128-136.
- Brice, C.F., & Smith, A.P. (2002). Effects of caffeine on mood and performance: a study of realistic consumption. *Psychopharmacology*, 164, 188-192.
- Chepkova, A.N., Doreulee, N., Yanovsky, Y., e.a. (2002). Long-lasting enhancement of corticostriatal neurotransmission by taurine. *The European Journal of Neuroscience*, 16, 1523-1530.
- Donohoe, R.T., & Benton, D. (2000). Glucose tolerance predicts performance on tests of memory and cognition. *Physiology and Behavior*, 71, 395-401.
- Durlach, P.J. (1998). The effects of a low dose of caffeine on cognitive performance. *Psychopharmacology*, 140, 116-119.

- Ferré, S. (1997). Adenosine-dopamine interactions in the ventral striatum. Implications for the treatment of schizophrenia. *Psychopharmacology*, 133, 107-120.
- Fine, B.J., Koblrick, J.L., Lieberman, H.R., e.a. (1994). Effects of caffeine or diphenhydramine on visual vigilance. *Psychopharmacology*, 114, 233-238.
- Finnegan, D. (2003). The health effects of stimulant drinks. *Nutrition bulletin*, 28, 147-155.
- Foster, J.K., Lidder, P.G., & Sünram, S.I. (1998). Glucose and memory: fractionation of enhancement effects? *Psychopharmacology*, 137, 259-270.
- Garrett, B.E., & Griffiths, R.R. (1997). The role of dopamine in the behavioral effects of caffeine in animals and humans. *Pharmacology, Biochemistry and Behavior*, 57, 533-541.
- Gevins, A., Smith, M.E., & McEvoy, L.K. (2002). Tracking the cognitive pharmacodynamics of psychoactive substances with combinations of behavioral and neurophysiological measures. *Neuropsychopharmacology*, 26, 27-39.
- Hasselmo, M.E., & Bower, J.M. (1993). Acetylcholine and memory. *Trends in Neurosciences*, 16, 218-222.
- Horne, J.A. & Reyner, L.A. (2001). Beneficial effects of an 'energy drink' given to sleepy drivers. *Amino Acids*, 20, 83-89.
- Hughes, J.R., & Hale, K.L. (1998). Behavioral effects of caffeine and other methylxanthines on children. *Experimental and Clinical Psychopharmacology*, 6, 87-95.
- James, J.E. (1994). Does caffeine enhance or merely restore degraded psychomotor performance? *Neuropsychobiology*, 30, 124-125.
- Jay, S.M., Petrilli, R.M., Ferguson, S.A., e.a. (2006). The suitability of a caffeinated energy drink for night-shift workers. *Physiology and Behavior*, 87, 925-931.
- Juliano, L.M., & Griffiths, R.R. (2004). A critical review of caffeine withdrawal: empirical validation of symptoms and signs, incidence, severity, and associated features. *Psychopharmacology*, 176, 1-29.
- Kang, Y.S., Ohtsuki, S., Takanao, H., e.a. (2002). Regulation of taurine transport at the blood-brain barrier by tumor necrosis factor- α , taurine and hypertonicity. *Journal of neurochemistry*, 83, 1188-1195.
- Kaplan, G.B., Greenblatt, D.J., Ehrenberg, B.L., e.a. (1997). Dose-dependent pharmacokinetics and psychomotor effects of caffeine in humans. *Journal of Clinical Pharmacology*, 37, 693-703.
- Kenemans, J.L., & Lorist, M.M. (1995). Caffeine and selective visual processing. *Pharmacology, Biochemistry and Behavior*, 52, 461-471.
- Kenemans, J.L., & Verbaten, M.N. (1998). Caffeine and visuo-spatial attention. *Psychopharmacology*, 135, 353-360.
- Kennedy, D.O., & Scholey, A.B. (2000). Glucose administration, heart rate and cognitive performance: effects of increasing mental effort. *Psychopharmacology*, 149, 63-71.
- Kennedy, D.O., & Scholey, A.B. (2004). A glucose-caffeine 'energy drink' ameliorates subjective and performance deficits during prolonged cognitive demand. *Appetite*, 42, 331-333.
- Korol, D. L., & Gold, P. E. (1998). Glucose, memory, and aging. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 67, 764-771.
- Lieberman, H.R. (2001). The effects of ginseng, ephedrine, and caffeine on cognitive performance, mood and energy. *Nutrition Reviews*, 59, 91-102.
- Loke, W.H. (1988). Effects of caffeine on mood and memory. *Physiology and Behavior*, 44, 367-372.
- Lorist, M.M., & Snel, J. (1997). Caffeine effects on perceptual and motor processes. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 102, 401-413.
- Lorist, M.M., Snel, J., Kok, A., e.a. (1994). Influence of caffeine on selective attention in well-rested and fatigued subjects. *Psychophysiology*, 31, 525-534.
- Lorist, M.M., & Tops, M. (2003). Caffeine, fatigue, and cognition. *Brain and Cognition*, 53, 82-94.
- Manning, C.A., Parsons, M.W., & Gold, P.E. (1992). Anterograde and retrograde enhancement of 24-h memory by glucose in elderly humans. *Behavioral and Neural Biology*, 58, 125-130.
- Marsden, G., & Leach, J. (2000). Effects of alcohol and caffeine on maritime navigational skills. *Ergonomics*, 43, 17-26.
- Martin, P.Y., & Benton, D. (1999). The influence of a glucose drink on a demanding working memory task. *Physiology and Behavior*, 67, 69-74.
- McCusker, R.R., Goldberger, B.A., & Cone, E.J. (2006). Caffeine content of energy drinks, carbonated sodas, and other beverages. *Journal of Analytical Toxicology*, 30, 112-114.
- Messier, C. (2004). Glucose improvement of memory: a review. *European Journal of Pharmacology*, 490, 33-57.
- Mucignat-Caretta, C. (1998). Changes in female cognitive performance after energetic drink consumption: a preliminary study. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 22, 1035-1042.
- Mumford, G.K., Benowitz, N.L., Evans, S.M., e.a. (1996). Absorption rate of methylxanthines following capsules, cola and chocolate. *European Journal of Clinical Pharmacology*, 51, 319-325.

- Mumford, G.K., Evans, S.M., Kaminski, B.J., e.a. (1994). Discriminative stimulus and subjective effects of theobromine and caffeine in humans. *Psychopharmacology*, 115, 1-8.
- Nawrot, P., Jordan, S., Eastwood, J., e.a. (2003). Effects of caffeine on human health. *Food additives and contaminants*, 20, 1-30.
- Nehlig, A. (1999). Are we dependent upon coffee and caffeine? A review on human and animal data. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 23, 563-576.
- Orth, M., Amann, B., Ratnaraj, N., e.a. (2005). Caffeine has no effect on measures of cortical excitability. *Clinical Neurophysiology*, 116, 308-314.
- Owens, D.S., & Benton, D. (1994). The impact of raising blood glucose on reaction times. *Neuropsychobiology*, 30, 106-113.
- Patat, A., Rosenzweig, P., Enslin, M., e.a. (2000). Effects of a new slow release formulation of caffeine on EEG, psychomotor and cognitive functions in sleep-deprived subjects. *Human Psychopharmacology*, 15, 153-170.
- Pena, A., Lino, C., & Silveira, M.I.N. (2005). Survey of caffeine levels in retail beverages in Portugal. *Food Additives and Contaminants*, 22, 91-96.
- Reyner, L.A., & Horne, J.A. (2002). Efficacy of a 'functional energy drink' in counteracting driver sleepiness. *Physiology and Behavior*, 75, 331-335.
- Robelin, M., & Rogers, P.J. (1998). Mood and psychomotor performance effects of the first, but not of subsequent, cup-of-coffee equivalent doses of caffeine consumed after overnight caffeine abstinence. *Behavioural Pharmacology*, 9, 611-618.
- Rogers, P.J., & Deroncourt, C. (1998). Regular caffeine consumption: a balance of adverse and beneficial effects for mood and psychomotor performance. *Pharmacology, Biochemistry, and Behavior*, 59, 1039-1045.
- Rogers, P.J., Richardson, N.J., & Deroncourt, C. (1995). Caffeine use: is there a net benefit for mood and psychomotor performance? *Neuropsychobiology*, 31, 195-199.
- Scholey, A.B., & Fowles, K.A. (2002). Retrograde enhancement of kinesthetic memory by alcohol and by glucose. *Neurobiology of Learning and Memory*, 78, 477-483.
- Scholey, A.B., & Kennedy, D.O. (2004). Cognitive and physiological effects of an 'energy drink': an evaluation of the whole drink and of glucose, caffeine and herbal flavouring fractions. *Psychopharmacology*, 176, 320-330.
- Scholey, A.B., Harper, S., & Kennedy, D.O. (2001). Cognitive demand and blood glucose. *Physiology and Behavior*, 73, 585-592.
- Seidl, R., Peyrl, A., Nicham, R., e.a. (2000). A taurine and caffeine-containing drink stimulates cognitive performance and well-being. *AminoAcids*, 19, 635-642.
- Sieber, F.E., & Traystman, R.J. (1992). Special issues: glucose and the brain. *Critical Care Medicine*, 20, 104-114.
- Smit, H.J., & Rogers, P.J. (2000). Effects of low doses of caffeine on cognitive performance, mood and thirst in low and higher caffeine consumers. *Psychopharmacology*, 152, 167-173.
- Smit, H.J., & Rogers, P.J. (2002). Effects of 'energy' drinks on mood and mental performance: critical methodology. *Food quality and preference*, 13, 317-326.
- Smith, A. (2002). Effects of caffeine on human behavior. *Food and Chemical Toxicology*, 40, 1243-1255.
- Smith, A.P., Brockman, P., Flynn, R., e.a. (1993). Investigation of the effects of coffee on alertness and performance during the day and night. *Neuropsychobiology*, 27, 217-223.
- Smith, A.P., Clark, R., & Gallagher, J. (1999). Breakfast cereal and caffeinated coffee: effects on working memory, attention, mood, and cardiovascular function. *Physiology and Behavior*, 67, 9-17.
- Smith, A., Kendrick, A., Maben, A., e.a. (1994). Effects of breakfast and caffeine on cognitive performance, mood and cardiovascular functioning. *Appetite*, 22, 39-55.
- Specterman, M., Bhuiya, A., Kuppaswamy, A., e.a. (2005). The effect of an energy drink containing glucose and caffeine on human corticospinal excitability. *Physiology and Behaviour*, 83, 723-728.
- Sünram-Lea, S.I., Foster, J.K., Durlach, P., e.a. (2001). Glucose facilitation of cognitive performance in healthy young adults: examination of the influence of fast-duration, time of day and pre-consumption plasma glucose levels. *Psychopharmacology*, 157, 46-54.
- Sünram-Lea, S.I., Foster, J.K., Durlach, P., e.a. (2002). Investigation into the significance of task difficulty and divided allocation of resources on the glucose memory facilitation effect. *Psychopharmacology*, 160, 387-397.
- Tieges, Z., Ridderinkhof, K.R., Snel, J., e.a. (2004). Caffeine strengthens action monitoring: evidence from the error-related negativity. *Cognitive Brain Research*, 21, 87-93.
- Warburton, D.M. (1995). Effects of caffeine on cognition and mood without caffeine abstinence. *Psychopharmacology*, 119, 66-70.
- Warburton, D.M., Bersellini, E., & Sweeney, E. (2001). An evaluation of a caffeinated taurine drink on mood, memory and information processing in healthy volunteers without caffeine abstinence. *Psychopharmacology*, 158, 322-328.
- Woojoe, K. (2003). Debunking the effects of taurine in Red Bull energy drink. *Nutrition Bytes*, 9(1), Article 6.

Yeomans, M.R., Jackson, A., Lee, M.D., e.a. (2000). Expression of flavour preferences conditioned by caffeine is dependent on caffeine deprivation state. *Psychopharmacology*, 150, 208-215.

Yeomans, M.R., Ripley, T., Davies, L.H., e.a. (2002). Effects of caffeine on performance and mood depend on the level of caffeine abstinence. *Psychopharmacology*, 164, 241-249.

AUTEURS

F. VAN DEN EYNDE is arts in opleiding tot psychiater werkzaam bij de Universitaire dienst Psychiatrie van het Universitair Ziekenhuis Gent en het Maudsley Hospital te London.

P. VAN BAELEN is licentiaat klinische psychologie en werkzaam bij de Universitaire dienst Psychiatrie van het

Universitair Ziekenhuis Gent.

M. PORTZKY is licentiaat klinische psychologie en werkzaam bij de Universitaire dienst Psychiatrie van het Universitair Ziekenhuis Gent.

K. AUDENAERT is psychiater en hoogleraar, verbonden aan de Universitaire dienst Psychiatrie van het Universitair Ziekenhuis Gent.

Correspondentieadres: dr. F. Van den Eynde, Institute of Psychiatry, Section of Eating Disorders, Box PO59, De Crespigny Park, London SE5 8AF, United Kingdom.

E-mail: frederique.vandeneynde@iop.kcl.ac.uk.

Geen strijdige belangen meegeedeeld.

Het artikel werd voor publicatie geaccepteerd op 16-8-2007.

SUMMARY

Energy drink effects on cognitive performance – F. Van den Eynde, P. Van Baelen, M. Portzky, K. Audenaert –

BACKGROUND Energy drinks have become more and more popular since the late nineties. The manufactures claim that these drinks improve physical endurance, reaction speed and concentration. The main ingredients of energy drinks are caffeine, sugar, taurine and glucuronolactone. According to the manufacturers, the stimulating effects of these drinks are due to interaction between the various ingredients.

AIM To investigate whether energy drinks do indeed improve cognitive performance and to find out which ingredients are responsible for this effect and other benefits.

METHOD We searched the literature for the period from 1997 to 2006 on the basis of Medline, by using the search term 'energy drink OR energy drinks' and restricting the search to 'humans'.

RESULTS Not only did focused and sustained attention improve significantly but so did reaction speed in all sorts of reaction-time tasks. Memory improved too, but not to the same degree.

CONCLUSION The findings suggest that most of the effects of energy drinks on cognitive performance are related mainly to the presence of caffeine. Further investigation is needed into the effects of the lesser known ingredients of energy drinks (taurine, glucuronolactone) if we are to obtain a better understanding of the possible interactions.

[TIJDSCHRIFT VOOR PSYCHIATRIE 50(2008)5, 273-281]

KEY WORDS caffeine, cognitive performance, energy drinks, glucose