

Bart Aben

Vakgroep Neuropsychologie en Psychofarmacologie,
Faculteit der Psychologie en Neurowetenschappen,
Universiteit Maastricht

70

Sven Stapert

Vakgroep Neuropsychologie en Psychofarmacologie,
Faculteit der Psychologie en Neurowetenschappen,
Universiteit Maastricht

Arjan Blokland

Vakgroep Neuropsychologie en Psychofarmacologie,
Faculteit der Psychologie en Neurowetenschappen,
Universiteit Maastricht

Correspondentieadres:

B. Aben

Universiteit Maastricht

Vakgroep Neuropsychologie en Psychofarmacologie
Faculteit der Psychologie en Neurowetenschappen

Postbus 616

6200 MD Maastricht

L.Aben@student.maastrichtuniversity.nl

Kortetermijngeheugen en werkgeheugen: Zinnig of dubbelzinnig?^I

Samenvatting

De theoretische concepten kortetermijngeheugen (KTG) en werkgeheugen (WG) refereren aan het vasthouden, respectievelijk het vasthouden plus manipuleren van informatie. Ondanks dit conceptuele verschil worden KTG en WG vaak door elkaar gebruikt, zowel in de experimentele als in de klinische literatuur. Dit is opmerkelijk, aangezien de twee concepten tegelijkertijd volledig geaccepteerd lijken te zijn in het woordenboek van de neuropsychologie. Het ambigue onderscheid tussen KTG en WG kan deels verklaard worden door een gebrekkige differentiatie van de taken die gebruikt worden om beide constructen te meten. Bovendien hebben correlatiestudies een grote overlap aangetoond tussen KTG en WG en lijken beide bijvoorbeeld goede voorspellers te zijn van het intellectueel functioneren. Vanuit neurobiologisch oogpunt zijn er echter wel aanwijzingen voor een onderscheid. Desondanks rijst de vraag in hoeverre de handhaving van beide constructen terecht is.

Inleiding

De opslag van nieuwe informatie doorloopt verschillende stadia voordat permanente opslag plaatsvindt in het langetermijngeheugen (LTG). Wat betreft de tijdelijke opslag van informatie kunnen er twee constructen onderscheiden worden: het kortetermijngeheugen

(KTG) en het werkgeheugen (WG). Het KTG wordt gedefinieerd als een cognitief systeem dat gebruikt wordt om sensorische representaties, bewegingen en cognitieve informatie voor korte tijd vast te houden. De term WG heeft zijn origine in het gelijknamige model van Baddeley en Hitch. Dit model kent meer dimensies dan het KTG en het veronderstelt een systeem met een gelimiteerde capaciteit dat fungeert als een tussenstation tussen perceptie, LTG en actie. In het klassieke WG-model worden drie componenten onderscheiden: de centrale verwerker en twee domeinspecifieke slaafsysteemen die gebruikt worden om informatie vast te houden (de fonologische lus en het visueel-ruimtelijke kladbok). De centrale verwerker is geen geheugensysteem, maar coördineert de processen van de twee andere systemen. Een nieuwe component, de episodische buffer, is later toegevoegd aan het model.

Het verschil tussen LTG enerzijds en KTG en WG anderzijds is de tijdspanne waarover informatie vastgehouden wordt. Bij KTG en WG is dit een aantal seconden, maar bij LTG kan dit oplopen tot vele jaren en mogelijk kent LTG zelfs geen limiet in tijdspanne en omvang. Het verschil tussen KTG en WG is lastiger te definiëren en de twee constructen worden dan ook vaak door elkaar gebruikt. Er zijn auteurs die het bestaan van beide constructen erkennen, maar anderen stellen dat WG de oudere term KTG heeft vervangen, of dat WG een theoretische invulling van KTG is. In het recent verschenen boek *Klinische neuropsychologie* wordt WG getypeerd als '(het) vermogen om informatie korte tijd actief te houden' en wordt het dus gelijkgesteld aan KTG. Deze opvatting wordt weliswaar gedeeld in een omvangrijke studie waarin beargumenteerd wordt dat WG-taken en KTG-taken dezelfde processen meten, maar de definitie die Meeter en Hendriks geven wordt meestal gebruikt om KTG te definiëren. Volgens Baddeley moet het WG namelijk beschouwd worden als het vasthouden en tegelijkertijd manipuleren van informatie. Deze definitie is de meest gebruikte, maar in sommige gevallen wordt er geen duidelijk onderscheid gemaakt tussen KTG en WG. Gezien de enorme hoeveelheid literatuur over KTG en WG is deze verwarring opmerkelijk. Blijkbaar lopen de acceptatie en de afgrenzing van de constructen niet parallel, is er geen consensus en hebben neurowetenschappers en klinici de controle over hun eigen woordenboek verloren (Davelaar, 2012).

Dat er wel degelijk een theoretisch onderscheid gemaakt kan worden tussen KTG en WG blijkt uit de taken die gebruikt worden om beide constructen te meten. Eenvoudige spanne-taken worden gebruikt om het KTG te meten en vereisen het vasthouden van informatie. Het WG wordt gemeten met complexe spanne-taken, waarbij informatie vastgehouden en gemanipuleerd moet worden. Deze splitsing lijkt enige houvast te bieden in het verwarrende gebruik van KTG en WG.

Voor de klinische praktijk is het belang van een helder onderscheid tussen KTG en WG genesteld in de traditie van de theoretisch gestuurde neuropsychologie, die zijn waarde heeft bewezen binnen het onderzoek naar de organisatie van hersenfuncties en in het bijzonder het begrijpen van normale cognitieve prestaties. De klinische neuropsychologie kent een belangrijke traditie op het gebied van 'single case'-onderzoeken, die gebruikt worden om theorieën over normale cognitieve processen te bevestigen of te ontcrachten. Deze aanpak heeft waardevolle informatie opgeleverd die heeft bijgedragen aan theorievorming en discussie over het functioneren van de hersenen. De klinisch neuropsycholoog als *scientist-practitioner* is de specialist op het gebied van cognitie en gedrag en is daarmee

aan zijn stand verplicht om zijn diagnostisch materiaal kritisch te beoordelen. In de theorievorming over KTG en WG is het diagnostisch materiaal niet meegeëvolueerd. Ook de recente ontwikkeling en populariteit van werkgeheugentrainingen die veel overeenkomst vertonen met aandachtstrainingen, laat deze lacune in theorievorming zien.

In dit artikel worden verschillende factoren die een rol spelen bij KTG-en WG-taken besproken en wordt geschetst hoe deze het ambigue gebruik van de constructen KTG en WG beïnvloeden. Ook de manier waarop fundamentele aspecten van KTG en WG in corresponderende taken zijn opgenomen, komt aan bod.

Eenvoudige spanne versus complexe spanne

Baddeley baseerde zijn WG-model mede op het gegeven dat het onthouden van een reeks items niet of nauwelijks beïnvloed wordt door het tegelijkertijd oplossen van een andere taak. De twee processen blijken niet te interfereren en dit is in tegenspraak met de weergave van het geheugen als een enkelvoudig systeem voor zowel kortetermijnopslag als het online verwerken van informatie. Deze bevinding ligt tevens ten grondslag aan het onderscheid dat gemaakt wordt tussen de taken die KTG en WG meten (zie Tabel 1).

TABEL 1 Voorbeelden van eenvoudige en complexe spanne-taken. In de tabel worden de namen van de tests genoemd zoals ze in de Engelstalige vakliteratuur worden beschreven. De lijst is niet uitputtend.

	KORTETERMIJNGEHEUGEN	WERKGEHEUGEN
SOORT TAAK	Eenvoudige spanne	Complexe spanne
AARD VAN DE TAAK	Vasthouden van informatie	Vasthouden en manipuleren van informatie
VOORBEELDEN	Word Span Digit Span (forward) Letter Span Corsi Block Dot Memory Sentence Repetition Knox Cube Test Spatial Span Delayed Match to Sample	Reading Span Counting Span Digit Span (backward) Operation Span Computation Span N-back Dot Matrix Keeping Track Running Memory abcd Alphabet Mental Counters Letter Rotation Loaded Word Span Paced Auditory Serial Addition Test Mental Control Serial Subtractions Mental Tracking Alpha Span Letter-number Sequencing

Bij eenvoudige spanne-taken wordt aan participanten gevraagd om een verzameling symbolen, elementen, of ruimtelijke posities te onthouden voor een korte periode. Door een secundaire cognitieve taak toe te voegen aan een eenvoudige spanne-taak wordt een

complexe spanne-taak verkregen. Voorbeelden van een dergelijke secundaire taak zijn het oplossen van rekenkundige opgaven (bij de Operation Span taak), of het controleren of een zin syntactisch en semantisch correct is (bij de Reading Span taak). Complexe spanne-taken zijn dus gebaseerd op het idee dat wg altijd een KTG-component bevat. Het onderscheid tussen de twee soorten taken wordt bemoeilijkt doordat onderzoekers geneigd zijn om nieuwe taken te creëren voor specifieke experimenten. Dit heeft geleid tot een wildgroei van met name wg-taken, waardoor het soms onduidelijk is wat een taak nu precies meet. In een onderzoek naar de capaciteit van KTG werd bijvoorbeeld een complexe spanne-taak gecreëerd door een verwerkingstaak toe te voegen aan een eenvoudige spanne-taak. Op deze manier ontstond dus een wg-taak, terwijl de auteurs pretendeerden het KTG te meten. Ook omgekeerd ontstaat er soms verwarring. In studies naar het visuele wg werd aan participanten gevraagd de afbeelding van een gezicht of de locatie van een cirkel te onthouden. Dit soort taken valt onder de noemer eenvoudige spanne-taken.

Afgezien van het onzorgvuldige gebruik van KTG- en wg-taken is het tevens de vraag in hoeverre eenvoudige spanne-taken en complexe spanne-taken KTG en wg kunnen onderscheiden. Het is onwaarschijnlijk dat de twee typen taken geïsoleerde processen meten. Een eenvoudige spanne-taak meet wellicht dezelfde combinatie van processen als een complexe spanne-taak, maar sommige processen komen sterker tot uiting in de eerste taak en andere in de tweede. Dit is niet alleen van toepassing *tussen* eenvoudige en complexe spanne-taken, maar ook *binnen* taken van dezelfde categorie. Sommige complexe spanne-taken bevatten bijvoorbeeld een duidelijke secundaire taak die interfereert met de geheugentaak. Deze taak kan gerelateerd zijn aan de primaire taak, zoals bij Reading Span, waarbij zinnen gelezen moeten worden (secundaire taak) en het laatste woord van de zin telkens onthouden moet worden (primaire taak). Maar de secundaire taak kan ook ongerelateerd zijn aan de primaire taak, bijvoorbeeld bij 'Operation Span'-taken, waarbij de woorden die onthouden moeten worden (primaire taak) afgewisseld worden met rekenkundige opgaven (secundaire taak). In andere wg-taken is de secundaire taak minder duidelijk. Bij de veelgebruikte 'N-back'-taak dient de participant een reeks items te onthouden en deze reeks continu te updaten. Bij de '3-back'-taak is het bijvoorbeeld de bedoeling om bij iedere stimulus die gepresenteerd wordt te oordelen of deze gelijk is aan de stimulus die drie stappen eerder getoond werd. De primaire en secundaire taak zijn hier dus met elkaar verweven.

Ook bij veel tests die in de klinische praktijk gebruikt worden, zoals de Wechsler Adult Intelligence Scale, is het construct wg niet duidelijk afgebakend. Deze klinische test bevat drie taken die samen de werkgeheugenindex vormen, te weten het oplossen van rekenopgaven (Rekenen), het onthouden van cijfers in voorwaartse en achterwaartse richting (Cijferreeksen) en het herschikken van een reeks cijfers en letters (Cijfers en Letters Nazeggen). Het klassieke onderscheid tussen eenvoudige spanne-taken en complexe spanne-taken is in deze tests niet duidelijk aanwezig. Bij de subtest Rekenen lijkt inderdaad sprake te zijn van zowel het vasthouden als het manipuleren van informatie. De patiënt of proefpersoon dient de opgave te onthouden en tegelijkertijd met deze informatie te rekenen. Het is echter duidelijk dat de prestatie op deze taak sterk beïnvloed wordt door de mathematische capaciteiten van de participant. Deze taak correleert dan ook niet goed met andere metingen van wg.

De subtest Cijferreeksen heeft twee vormen. In het geval dat de cijfers in dezelfde volgorde herhaald moeten worden is er duidelijk sprake van een eenvoudige spanne-taak. Bij het achterwaarts herhalen van de cijfers is het minder duidelijk of het KTG of het WG gemeten wordt. Men kan beargumenteren dat het manipuleren van de volgorde van de cijfers een secundaire taak is, maar Richardson stelt dat er veel onduidelijkheid is over de processen die de taak meet.

Bij de derde subtest, Cijfers en Letters Nazeggen, moet een reeks met afwisselend cijfers en letters onthouden worden, maar moet de volgorde van de cijfers en de letters veranderd worden. De participant dient eerst de cijfers in oplopende volgorde te reproduceren en daarna de letters in volgorde van het alfabet. Er is dus sprake van zowel het vasthouden als organiseren en structureren van de aangeboden informatie. De subtests Cijferreeksen en Cijfers en Letters Nazeggen blijken wel goed te correleren met de complexe spanne-taken die in experimentele studies gebruikt worden.

Kortom, het onderscheid tussen eenvoudige spanne-taken en complexe spanne-taken moet voorzichtig gemaakt worden. De dichotomie lijkt in eerste instantie houvast te bieden bij het differentiëren van KTG en WG, maar de twee taken meten geen geïsoleerde processen. Zeker in experimentele literatuur wordt een wildgroei aan taken aangetroffen en het is vaak onduidelijk in hoeverre een taak KTG en/of WG meet. Dit bemoeilijkt de scheiding van KTG en WG en kan deels verklaren waarom de twee constructen zo vaak door elkaar gebruikt worden.

Overlap tussen constructen

Van oudsher wordt beweerd dat het WG belangrijk is voor complexe cognitieve activiteiten en dat dit tot uiting komt in correlaties met intelligentiemetingen. Tegelijkertijd werd lange tijd beweerd dat KTG geen goede voorspeller van intelligentie is. Er zijn echter studies die deze discrepantie in twijfel trekken. Ackerman en collega's toonden bijvoorbeeld aan dat de geschatte correlaties tussen intellectuele vermogens en WG en KTG respectievelijk .48 en .35 bedragen. Dit komt overeen met een gedeelde variantie van 22% tussen WG en intellectuele vaardigheden en 12% tussen KTG en intellectuele vaardigheden. Het is de vraag in hoeverre dit verschil betekenis heeft.

Om de relatie tussen KTG, WG en intelligentie verder uit te diepen, moeten we kijken naar studies die een factoranalyse hebben uitgevoerd over deze constructen. Bij zo'n analyse worden eerst de processen die zowel door KTG als WG gemeten worden, gescheiden van de overige processen die alleen door WG-taken gemeten worden. Dat wil zeggen dat alle taken een KTG-component (factor) bevatten, maar dat WG-taken daarnaast een residuale WG-component bevatten die onafhankelijk is van de KTG-component. Vervolgens wordt bepaald of de KTG-component of de WG-component de beste voorspeller is van intellectuele vaardigheden. Het bleek dat de KTG-component van beide taken verantwoordelijk is voor de correlatie met intelligentie. Dit wordt ondersteund door een meta-analyse van Unsworth en Engle. Zij voerden een heranalyse uit van belangrijke studies waarin eenvoudige spanne-taken met complexe spanne-taken werden vergeleken. Alleen taken waarbij een duidelijk onderscheid gemaakt werd tussen eenvoudige en complexe spanne werden geïncludeerd, waarbij dezelfde operationalisatie werd aangehouden als in dit artikel. Unsworth en Engle concludeerden dat de correlaties tussen eenvoudige en complexe spanne-taken

enerzijds en hogere cognitieve functies anderzijds even groot zijn. Zij suggereren daarom dat de overlappende variantie tussen eenvoudige en complexe spanne-taken het sterkste verband vertoont met intellectuele capaciteiten en verwerpen het standpunt dat $\kappa\tau\gamma$ en $w\gamma$ verschillende constructen zijn. Volgens Unsworth en Engle meten eenvoudige en complexe spanne-taken dus dezelfde combinatie van processen (oftewel: ze meten geen pure processen), maar verschilt de mate waarin deze processen actief zijn in een bepaalde taak. Tegelijkertijd is er weinig verband tussen de residuale $w\gamma$ -factor en intelligentie.

Aangezien het $\kappa\tau\gamma$ een belangrijke functie vervult in het $w\gamma$ -model van Baddeley, maar ook in andere $w\gamma$ -modellen zijn deze bevindingen wellicht niet erg verassend. Het toont echter opnieuw aan dat het onderscheid tussen $\kappa\tau\gamma$ en $w\gamma$ vaag is. Een andere complicerende factor die hierbij een rol speelt, is de overlap tussen het werkgeheugen en andere cognitieve domeinen, zoals verwerkingssnelheid en aandacht. Hogere-ordeprocessen zijn hiërarchisch afhankelijk van deze basale cognitieve processen, maar $\kappa\tau\gamma$ -taken en $w\gamma$ -taken verschillen in de mate waarin deze processen van invloed zijn. De cognitieve belasting van spanne-taken kan variëren, bijvoorbeeld door het aantal te onthouden items te verhogen of door de complexiteit van de secundaire taak in complexe spanne-taken te veranderen. Complexe spanne-taken waarbij de secundaire taak relatief simpel is en waarbij slechts minimale verwerkingssnelheid of aandacht nodig is, zijn wellicht meer verwant aan $\kappa\tau\gamma$ dan complexe spanne-taken waarbij zwaardere secundaire processen vereist zijn. De dorsolaterale prefrontale cortex (dlPFC) lijkt hierin een cruciale rol te spelen. Onderzoeken met functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI) toonden aan dat activiteit in de dlPFC gerelateerd is aan het vasthouden van informatie. De dlPFC is echter ook sterk betrokken bij aandachtsfuncties en er zijn studies die aantonen dat een verhoogde dlPFC-activiteit gerelateerd is aan een verhoogde taakcomplexiteit. Dit lijkt in overeenkomst met modellen die stellen dat aandacht bepalend is voor zowel intelligentie als $w\gamma$. Het is echter tevens aangetoond dat transcraniële magnetische stimulatie (TMS) van de dlPFC geen effect had op het vasthouden van informatie. Er trad echter wel een effect op nadat de taak was uitgebreid met een manipulatiecomponent. Dit lijkt erop te duiden dat de dlPFC niet zozeer betrokken is bij het $\kappa\tau\gamma$, maar meer bij de uitvoerende functies die een rol spelen bij het $w\gamma$. Het is bijvoorbeeld mogelijk dat bij toenemende complexiteit van geheugentaken personen van strategie veranderen en dat dit gelinkt is aan verhoogde dlPFC-activatie.

Conclusie

Het uitwisselbare gebruik van $\kappa\tau\gamma$, $w\gamma$, eenvoudige spanne- en complexe spanne-taken in de hedendaagse literatuur impliceert dat het onderscheid tussen $\kappa\tau\gamma$ en $w\gamma$ verre van duidelijk is. Er zijn weliswaar conceptuele verschillen, maar het dubbelzinnige gebruik van de constructen is min of meer begrijpelijk aangezien de concepten tevens veel gemeen hebben. Tot nu toe hebben correlatiestudies niet aan kunnen tonen waarin $\kappa\tau\gamma$ - en $w\gamma$ -taken precies verschillen. In tegendeel, er zijn sterke argumenten voor een grote of wellicht volledige overlap tussen $\kappa\tau\gamma$ en $w\gamma$.

Het is belangrijk om te beseffen dat de definities van $\kappa\tau\gamma$ en $w\gamma$ afhankelijk zijn van de taken die gebruikt worden om de constructen te meten. Op dit moment is de differentiatie in $\kappa\tau\gamma$ - en $w\gamma$ -taken in overeenstemming met $w\gamma$ -modellen die een $\kappa\tau\gamma$ -component

bevatten. De grote variatie in eenvoudige spanne- en complexe spanne-taken, die ook nog eens variëren in cognitieve belasting, vertroebelt echter het onderscheid tussen KTG en WG. Er zijn geen standaard KTG- en WG-taken, waardoor het moeilijk is verschillende studies en taken te vergelijken. Het gevaar bestaat tevens om hierbij in een cirkelredenering te stranden. KTG en WG zijn in dit artikel gedefinieerd naar de taken die gebruikt worden om de constructen te meten. Er zijn voldoende aanwijzingen dat het verschil tussen deze twee typen taken klein en misschien wel verwaarloosbaar is. Betekent dit dat KTG en WG grotendeels identiek zijn of dat de afgeleide taken niet in staat zijn om beide te onderscheiden? De makkelijkste uitweg zou zijn om beide concepten dan maar als identiek te beschouwen, maar dat strookt niet met de huidige terminologie. Bovendien zijn er recente neurobiologische studies die wel lijken te differentiëren tussen KTG (oftewel vasthouden) en WG (oftewel vasthouden plus manipuleren).

Het onderscheid tussen KTG en WG is niet alleen belangrijk vanuit cognitief perspectief, maar ook omdat verscheidene (neuro)psychologische testbatterijen gebaseerd zijn op de taken die verondersteld worden deze concepten te meten. Daarnaast is veel geheugenonderzoek op verschillende terreinen afhankelijk van dit soort taken en wordt er getracht hersenstructuren en -processen te linken aan KTG, dan wel WG. Prestaties op eenvoudige en complexe spanne-taken worden bijvoorbeeld gecorreleerd aan cognitieve veroudering, ontwikkelingsstoornissen zoals autisme en psychopathologie zoals schizofrenie. Zolang de constructen en taken niet uniform gebruikt worden kan dit leiden tot inconsistente interpretaties en conclusies. Het is daarom belangrijk om bewust te zijn van het wetenschappelijke debat dat gevoerd wordt over de scheiding van KTG en WG en om uiteindelijk tot overeenstemming te komen.

Er zijn goede argumenten om het onderscheid tussen de twee constructen los te laten en slechts de term KTG te handhaven. Zolang dat echter niet het geval is, is het voor de klinisch neuropsycholoog belangrijk om duidelijk te specificeren wat bedoeld wordt wanneer men naar één of beide constructen verwijst. Met name in het geval van WG is het belangrijk te vermelden welke andere processen behalve KTG er beoogd worden te meten.

Noot

1. Bewerking van: Aben, B., Stapert, S. & Blokland, A. (2012). About the distinction between working memory and short-term memory. *Frontiers in Psychology*, 3, 301.

Literatuur

- Ackerman, P.L., Beier, M.E. & Boyle, M.O. (2005). Working memory and intelligence: The same or different constructs? *Psychological Bulletin*, 131(1), 30-60.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417-423.
- Baddeley, A. & Hitch, G. (1974). Working Memory. In: G.H. Bower (red.), *The psychology of learning and motivation* (vol. 8: pp. 47-89). New York: Academic Press.
- Bor, D., Cumming, N., Scott, C.E. & Owen, A.M. (2004). Prefrontal cortical involvement in verbal encoding strategies. *European Journal of Neuroscience*, 19(12), 3365-3370.
- Colom, R., Rebollo, I., Abad, F.J. & Shih, P.C. (2006). Complex span tasks, simple span tasks, and cognitive abilities: A reanalysis of key studies. *Memory & Cognition*, 34(1), 158-171.
- Conway, A.R.A., Cowan, N., Bunting, M.F., Theriault, D.J. & Minkoff, S.R.B. (2002). A latent variable analysis of working memory capacity, short-term memory capacity, processing speed, and general fluid intelligence. *Intelligence*, 30(2), 163-184.
- Conway, A.R.A., Kane, M.J. & Engle, R.W. (2003). Working memory capacity and its relation to

- general intelligence. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(12), 547-552.
- Courtney, S.M., Ungerleider, B.G., Keil, K. & Haxby, J.V. (1997). Transient and sustained activity in a distributed neural system for human working memory. *Nature*, 386(6625), 608-611.
- Cowan, N. (2008). What are the differences between long-term, short-term, and working memory? *Progress in Brain Research*, 169, 323-338.
- Daneman, M. & Carpenter, P.A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 19, 450-466.
- Davelaar, E. J. (2013). Short-term memory as a working memory control process. *Frontiers in Psychology*, 4, 13.
- Davidson, M.C., Amso, D., Anderson, L.C. & Diamond, A. (2006). Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: Evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia*, 44(11), 2037-2078.
- Engle, R.W. & Kane, M.J. (2004). Executive attention, working memory capacity, and a two-factor theory of cognitive control. *Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory*, 44, 145-199.
- Gathercole, S.E. & Alloway, T.P. (2006). Practitioner review: Short-term and working memory impairments in neurodevelopmental disorders: Diagnosis and remedial support. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 47(1), 4-15.
- Goldman-Rakic, P.S. (1994). Working-memory dysfunction in schizophrenia. *Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, 6(4), 348-357.
- Gray, P. (2007). Memory and consciousness. In: P. Gray (red.), *Psychology* (5th ed.), (pp. 325-365). New York: Worth Publishers.
- Hill, B.D., Elliott, E.M., Shelton, J.T., Pella, R.D., O'Jile, J.R. & Gouvier, W.D. (2010). Can we improve the clinical assessment of working memory? An evaluation of the Wechsler Adult Intelligence Scale-Third Edition using a working memory criterion construct. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 32(3), 315-323.
- Jensen, O., Kaiser, J. & Lachaux, J.P. (2007). Human gamma-frequency oscillations associated with attention and memory. *Trends in Neurosciences*, 30(7), 317-324.
- Kane, M.J., Bleckley, M.K., Conway, A.R.A. & Engle, R.W. (2001). A controlled-attention view of working-memory capacity. *Journal of Experimental Psychology-General*, 130(2), 169-183.
- Kane, M.J., Hambrick, D.Z., Tuholski, S.W., Wilhelm, O., Payne, T.W. & Engle, R.W. (2004). The generality of working memory capacity: A latent-variable approach to verbal and visuospatial memory span and reasoning. *Journal of Experimental Psychology-General*, 133(2), 189-217.
- Klingberg, T., Forssberg, H. & Westerberg, H. (2002). Increased brain activity in frontal and parietal cortex underlies the development of visuospatial working memory capacity during childhood. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(1), 1-10.
- Kolb, B. & Wishaw, I.Q. (2009). *Fundamentals of human neuropsychology* (6th ed.). New York: Worth Publishers.
- Meeter, M. & Hendriks, M. (2012). Geheugen. In: R. Kessels, P. Eling, R. Ponds, J. Spikman & M. van Zandvoort (red.), *Klinische neuropsychologie* (pp. 197-218). Amsterdam: Uitgeverij Boom.
- Miyake, A. & Shah, P. (red.), (1999). *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Nairne, J.S. & Neath, I. (in druk). Sensory and working memory. In: A.F. Healy & R.W. Proctor (red.), *Comprehensive handbook of psychology* (pp. 419-445). New York: Wiley.
- Narayanan, N.S., Prabhakaran, V., Bunge, S.A., Christoff, K., Fine, E.M. & Gabrieli, J.D.E. (2005). The role of the prefrontal cortex in the maintenance of verbal working memory: An event-related fMRI analysis. *Neuropsychology*, 19(2), 223-232.
- Pennington, B.F. & Ozonoff, S. (1996). Executive functions and developmental psychopathology. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 37(1), 51-87.
- Postle, B.R., Ferrarelli, F., Hamidi, M., Feredoes, E., Massimini, M., Peterson, M., e.a. (2006). Repetitive transcranial magnetic stimulation dissociates working memory manipulation from retention functions in the prefrontal, but not posterior parietal, cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(10), 1712-1722.
- Richardson, J.T. (2007). Measures of short-term memory: A historical review. *Cortex*, 43(5), 635-650.
- Todd, J.J. & Marois, R. (2004). Capacity limit of visual

- short-term memory in human posterior parietal cortex. *Nature*, 428(6984), 751-754.
- Unsworth, N. & Engle, R.W. (2007). On the division of short-term and working memory: An examination of simple and complex span and their relation to higher order abilities. *Psychological Bulletin*, 133(6), 1038-1066.
- Veltman, D.J., Rombouts, S. & Dolan, R.J. (2003). Maintenance versus manipulation in verbal working memory revisited: An fMRI study. *Neuroimage*, 18(2), 247-256.
- Wechsler, D. (2000). *Wechsler Adult Intelligence Scale* (3rd ed.). Lisse: Swets Test Publishers.