



AIVOT JA ELINIKÄINEN OPPIMINEN:

Neurotiede kohtaa koulutuksen

LIFELONG LEARNING AND THE BRAIN:

Neuroscience meets Education



HELSINGIN YLIOPISTO
HELSINGFORS UNIVERSITET
UNIVERSITY OF HELSINKI



SISÄLLYSLUETTELO

CICERO Learning -verkoston puheenjohtajan tervehdys . . .	3
1. Johdanto, professori <i>Kristiina Kumpulainen</i>	4
2. CICERO Learning -konferenssi Lifelong Learning and the Brain	8
2.1 Konferenssin pääesiintyjät ja konferenssiesitelmien abstraktit . . .	8
2.2 Suomalainen aivotutkimus ja yhteiskunta: esimerkkejä . . .	16
3. Neurotieteet ja koulutus – uusia tuulia Iso-Britanniasta	20
3.1 Aivoihin ”perustuvat” opetus- ja koulutusstrategiat, <i>Paul Howard-Jones</i>	20
3.2 Työmuisti läpi elämänkaaren: kognition, kehityksen ja neurotieteen tutkimuksen näkökulmia, <i>Sue Pickering</i>	28
4. Lähdeluettelo	38
5. Lisälukemista ja resursseja	41

CONTENTS

Message from the Chair of the CICERO Learning Board of Directors	3
1. Introduction, professor <i>Kristiina Kumpulainen</i>	5
2. CICERO Learning Conference Lifelong Learning and the Brain	9
2.1 Keynote Speakers and Abstracts	9
2.2 Finnish Brain Research and Society: Examples	17
3. Neuroscience and Education – Recent Developments in Britain	21
3.1 ‘Brain-based’ Strategies for Teaching and Training, <i>Paul Howard-Jones</i>	21
3.2 Working Memory Across the Lifespan: Evidence from Cognitive, Developmental and Neuroscientific Research, <i>Sue Pickering</i>	29
4. Bibliography	38
5. Further reading and resources	41

Biologia ja oppiminen
Neurosciences at work
Oppiminen työssä
Lifelong learning
Neuroscience
Formal learning
Informal learning
Learning at school



CICERO Learning –verkoston puheenjohtajan tervehdys

CICERO Learning –verkosto edistää tieteenalojen rajat ylittävää huipputasoista oppimisen tutkimusta. Tärkeä tavoitteemme on laajentaa ja syventää monitieteisen kognitiivisen neurotieteen tutkimusta koulutus- ja kasvatusinstituutioissa, kodeissa ja työelämässä. CICERO Learning –verkosto haluaa luoda aktiivista yhteistyötä tutkijoiden ja käytännön toimijoiden välille. Silta kognitiivisen neurotieteen ja kasvatus- ja koulutuskentän välillä on hyödyksi kaikille osapuolille. Tällaista siltaa tarvitaan nyt kiireellisesti!

Hannele Niemi

Vararehtori

Kasvatustieteen professori

CICERO Learning –verkoston johtoryhmän puheenjohtaja

Message from the Chair of CICERO Learning Board of Directors

CICERO Learning network promotes cutting edge research on learning across the boundaries between diverse scientific fields. Advancing an understanding of cognitive neuroscience as cross-disciplinary research within educational institutions, homes and working life is our important aim. CICERO Learning Network wants to create active cooperation between researchers and practitioners. A bridge between cognitive neuroscience and education is of potential benefit to both communities. This bridge is urgently needed.

Hannele Niemi

Vice-Rector

Professor of Education

Chair of the CICERO Learning Board of Directors

Aivojen kehitys läpi elinkään
Elinikäinen oppiminen
Oppiminen koulussa
Biologia ja oppiminen
Lifelong learning
Neuroscience
Formal learning
Informal learning
Learning at school

1. JOHDANTO

Miten neurotieteellinen tutkimus lisää tietämystämme oppimisesta ja erilaisten yksilöiden oppimistarpeista, lapsista ja nuorista työkäisiin ja ikääntyviin? Miten neurotiede voi auttaa meitä ymmärtämään ja tukemaan oppimista formaaleissa ja informaaleissa ympäristöissä, niin kouluissa kuin työpaikoillakin? Miten neurotiede voi ohjata opetuskäytäntöjä ja metodeja niin, että ne tukevat erilaisten yksilöiden tiedon tuottamista, osaamisen kehittymistä, luovuutta ja hyvinvointia läpi elämänkaaren?

Muunmuassa näitä kysymyksiä käsitellään tässä julkaisussa, joka juontaa juurensa Helsingin yliopistossa 20.–21.11.2007 järjestettävään CICERO Learning –verkoston monitieteiseen konferenssiin LIFELONG LEARNING AND THE BRAIN. Konferenssi tuo yhteen kansainvälisesti merkittäviä tutkijoita, asiantuntijoita ja ammattiharjoittajia koulutuksen ja työelämän aloilta keskustelemaan viimeisimmästä tutkimustiedosta ja sen herättämistä kysymyksistä liittyen elinikäiseen oppimiseen, koulutukseen ja aivotutkimukseen. Tämä konferenssi jatkaa dialogia, joka aloitettiin aiemmassa CICERO Learning –verkoston symposiumissa LEARNING AND THE BRAIN: Building collaborative frameworks for neuroscience, learning and education. Näissä tilaisuuksissa on käyty virallisia ja epävirallisia keskusteluja tämän nousevan monitieteisen alan nykyisestä tilasta ja tulevaisuuden tarpeista. Lisää tietoa ja materiaaleja (ml. esitelmätalioinnit) näistä tilaisuuksista löytyy CICERO Learning –verkoston kotisivuilta (www.cicero.fi)

Tämä julkaisu sekä konferenssi ja muut aihealueeseen liittyvät tapahtumat toimivat alustana monitieteiselle dialogille, joka liittyy

(a) tämänhetkiseen tutkimukseen neurotieteiden ja ihmisen kehityksen tutkimuksen alalla ja siihen miten aivotutkimus haastaa

oppimiseen, koulutukseen ja työelämään liittyviä käsityksiä ja käytäntöjä

(b) tutkimuksen teoreettisiin näkökulmiin ja siihen, miten ne voivat rikastuttaa formaalin ja informaalin oppimisen teorioita ja käytäntöjä

(c) keinoihin, joilla tätä monitieteisen tutkimuksen alaa voidaan kehittää vastaamaan elinikäistä oppimista koskeviin kysymyksiin.

Vaikka aivojen rooli oppimiselle tuntuu itsestään selvältä, virallinen dialogi aivotutkimuksen, elinikäisen oppimisen ja koulutuksen välillä on suhteellisen uusi ilmiö. Viime vuosina tieteessä on tapahtunut merkittävää edistystä aivojen ymmärtämisessä. Esille nouseva tietämys aivoista voi vaikuttaa radikaalisti siihen, miten elinikäistä oppimista voidaan ymmärtää ja tukea sen moninaisissa ja monimuotoisissa puitteissa. Uudella tietämyksellä saattaa olla merkittävä vaikutus käsityksiimme oppimisesta ja siihen miten oppimista voidaan koulutuksen avulla parhaiten tukea.

Haluamme ilmaista kiitoksemme Työsuojelurahastolle ja Suomen Lontoon instituutille, jotka ovat rahallisesti tukeneet tämän konferenssin ja julkaisun toteuttamista. Haluamme kiittää myös Helsingin yliopiston vararehtoria ja CICERO Learning –verkoston johtoryhmän puheenjohtajaa, professori *Hannele Niemeä* sekä johtoryhmän muita jäseniä heidän neuvoistaan, tietämyksestään ja tuestaan voimiemme suuntaamisessa tähän tärkeään, nousevaan aihealueeseen. Samalla haluamme huomioida TLRP-ESRC:n (Teaching & Learning Research Programme – Economic & Research Social Council) rahoittaman tärkeän ja inspiroivan Neuroscience and Education –seminaarisarjan, joka toteutettiin Iso-Britanniassa yhdessä kansallisten ja kansainvälisten asiantuntijoiden kanssa tämän aihealueen edistämiseksi. Kyseinen seminaarisarja ja siitä saadut opit ohjaavat nyt työtämme Suomessa.



1. INTRODUCTION

How can neuroscientific research contribute to our knowledge about learning and the learning needs of individuals – be it children, young people, adults or the elderly? How can neuroscience advance our knowledge and understanding about learning in informal and formal settings, including the school and workplace? How can neuroscience guide educational practices and policies that can support knowledge creation, competence building, creativity and well-being of unique individuals across the lifespan?

These are some of the questions that are addressed in this publication stemming from an interdisciplinary CICERO Learning conference on LIFELONG LEARNING AND THE BRAIN organized at the University of Helsinki on November 20–21, 2007. This conference has brought together internationally distinguished scholars, experts and other respected practitioners from educational and working life settings to discuss and jointly explore recent research knowledge and questions surrounding the field of lifelong learning, education and the brain. This conference has continued the dialogue set forth in an earlier CICERO Learning symposium on Learning and the Brain: Building collaborative frameworks for neuroscience, learning and education. These events have involved formal and informal discussions about the current status and future actions for this emerging interdisciplinary field of inquiry. Further information about the events and their materials including webcasts of all keynote presentations can be found on the website of CICERO Learning network (www.cicero.fi).

This publication, together with the conference and other related events have worked as platforms for constructing multidisciplinary dialogue on

- (a) current research work in neuroscience and human development and how it intersects, contributes and challenges recent conceptions and practices of lifelong learning and education,
- (b) the ways in which theoretical perspectives embedded in neuroscience and human development may conjoin with and enrich contemporary theories of learning and education, and
- (c) identifying the means by which research capacity in this new and emerging interdisciplinary area can be further developed to address topics of interest for life long learning and education.

Although the role of the brain in learning seems somewhat self-evident, formal dialogue between neuroscience, lifelong learning and education is a relatively new phenomenon. Over the past few years, science has made substantial advances in understanding the brain. Emerging knowledge of the brain is set to radically influence how we can understand and support lifelong learning in its rich and diverse settings. This new knowledge of the brain may have a significant impact on our thinking of learning as well as how to best support it via educational practices.

We would like to express our gratitude to The Finnish Work Environment Fund and the Finnish Institute in London for their financial support in the organization of the conference and preparation of this publication. We also thank the chair, vice-rector, professor *Hannele Niemi* as well as the board members of CICERO Learning network for their advice, insights and support in directing our forces to this important emerging field. In this connection, we would also like to acknowledge the important and inspiring work of the Teaching & Learning Research Programme (TLRP)-Economic & Social Research Council (ESRC) seminar series on Neuroscience and Education, a program realized in the UK to promote the field with national and international experts. This work and the lessons learnt from it are now guiding our work in Finland.

Neuropalautte. Neuroimaging Aivokuvantaminen Biology and Learning Biologia ja oppiminen Interdisciplinary

Aivojen ja niiden toiminnan ymmärtämistä tarvitaan opetukseen liittyvien kysymysten ymmärtämiseen ihmisen oppimisen jokaisessa vaiheessa aina sikiöstä vanhuuteen asti. Olemme vasta aloittaneet dialogin siitä, miten tätä tietämystä tulisi hyödyntää koulutukseen ja elinikäiseen oppimiseen liittyvässä päätöksenteossa. Nyt näyttäisi olevan tärkeää suunnata huomio seuraaviin päämääriin:

- Tuottaa yhteinen kieli ja ymmärrys oppimisesta, koulutuksesta ja aivoista ihmisen koko elinkaaren aikana
- Kehittää monitieteinen tutkimusparadigma, joka yhdistää aivotutkimuksen, oppimisen ja koulutuksen
- Luoda mahdollisuuksia monitieteisten projektien ja verkostojen syntymiselle aivotutkimuksen, oppimisen ja koulutuksen alalle, jotta voidaan paremmin vastata elinikäiseen oppimiseen liittyviin kysymyksiin, päätöksentekoon ja käytäntöihin.

Toivomme, että tämä julkaisu yhdessä CICERO Learning –verkoston konferenssin ja muiden tapahtumien kanssa kontribuoi tähän tärkeään, mutta haasteelliseen alaan.

Helsinki, 13.11.2007

Professori **Kristiina Kumpulainen** Heidi Kivekäs
Johtaja, CICERO Learning Hallintosihteeri, CICERO Learning

Tätä julkaisua tullaan täydentämään Lifelong Learning and the Brain –konferenssin jälkeen. Mahdollisia kommentteja voi lähettää osoitteeseen cicero@cicero.fi. Lopullinen julkaisu tulee olemaan saatavilla painettuna sekä osoitteessa www.cicero.fi.

Kitämme Sonja Hornemanian ja Virpi Kalakoskea heidän kontribuutiostaan käännöstyöhön.

CICERO Learning

CICERO Learning –verkosto edistää tieteenalojen ja yliopistojen rajat ylittävää, kansainvälisesti huipputasolle yltävää oppimisen tutkimusta. Verkoston jäsenet edustavat erilaisia suomalaisia yliopistoja ja tutkimuslaitoksia.

CICERO Learning –verkosto perustettiin vuonna 2005 ja sitä koordinoidaan Helsingin yliopistosta. Verkosto edistää yhteistyötä tutkijoiden, elinkeinoelämän ja muiden oppimistutkimuksen tulosten hyödyntäjien välillä ja kokoaa suomalaiset ja kansainväliset huippuosaajat yhteistyöhön, josta hyöttyy sekä globaali tutkimusyhteisö että suomalainen yhteiskunta.

- Uusien avauksien tekeminen oppimisen monitieteisen tutkimuksen alalla
- Tutkimusyhteistyön rakentaminen kansainvälisesti arvostettujen tutkijoiden ja tutkimusryhmien sekä elinkeinoelämän kanssa
- Kansainvälisen tutkijavaihdon edistäminen
- Innovatiivisten symposiumien ja konferenssien järjestäminen

In every phase of human learning, from the embryo stage to later life, there are educational issues whose understanding requires understanding of the brain and its function. The dialogue about the ways in which this knowledge should be harnessed in educational decision-making in relation to lifelong learning and its practices have only just recently begun. Now, it seems important to tackle the following goals:

- Produce a common language and understanding of learning, education and the brain across the human lifespan.
- Advance the emergence of a multidisciplinary research paradigm on neuroscience, learning and education
- Create opportunities for the creation of interdisciplinary projects and networks for neuroscience, learning and education to better address questions surround lifelong learning, its policies and practices.

We sincerely hope that this publication together with the CICERO Learning conference and earlier venues will contribute to this important and, yet, challenging field.

Helsinki November 13, 2007

Professor **Kristiina Kumpulainen**
Director, CICERO Learning

Heidi Kivekäs
Administrator, CICERO Learning

This publication will be adjusted after the Lifelong Learning and the Brain conference. Any comments can be sent to cicero@cicero.fi. The final publication will be available in print and online at www.cicero.fi.

We would like to thank Sonja Horneman and Virpi Kalakoski for their contribution to the translation of the texts.

About CICERO Learning

CICERO Learning is a network for distinguished researchers and research groups on learning. The primary members of the network are based in different universities and research institutes in Finland. The network builds co-operation with research groups and units around the world.

CICERO Learning network was established in 2005, and is coordinated by the University of Helsinki, Finland. The network promotes cutting edge research on learning across the boundaries between diverse scientific fields. CICERO Learning aims to nurture academic innovations and synergies among research communities, businesses and industry, for the benefit of the Finnish society in particular and global community in general.

- Discovering new openings for cross-disciplinary research on learning
- Building joint research activities with internationally-recognized researchers and research groups
- Establishing research co-operation between national and global universities, businesses and industry
- Facilitating international researcher exchange
- Organizing innovative, cutting edge research symposiums and conferences



2. CICERO LEARNING –KONFERENSSI LIFELONG LEARNING AND THE BRAIN

2.1 Konferenssin pääesiintyjät ja konferenssiesitelmien abstraktit

Tohtori **Paul Howard-Jones**
Bristolin yliopisto, Iso-Britannia

Tohtori Paul Howard-Jones on psykologi ja tutkija, joka on erikoistunut monitieteelliseen tutkimukseen neuro- ja kasvatustieteiden aloilla. Hän koordinoi Iso-Britanniassa järjestetyn *Neuroscience and Education* –seminarisarjan yhdessä Dr Sue Pickeringin kanssa ja kirjoitti sen pohjalta katsauksen (Howard-Jones, 2007). Hänellä on laaja kokemus opettajien ja kouluttajien koulutuksesta ja täydennyskoulutuksesta. Howard-Jones käyttää monipuolisia tutkimusmenetelmiä, aivokuvantamisesta toimintatutkimukseen, joiden avulla hän tuottaa ja soveltaa tieteellistä ja kasvatuksellista tietämystä aivojen toiminnasta läpi elämänkaaren. Hänen viimeaikainen tutkimuksensa on käsitellyt luovuutta, opetusteknologiaa ja pelaamista. Paul Howard-Jones työskentelee Bristolin yliopiston CPLIC-keskuksessa (*Centre for Psychology and Learning In Context*).

Konferenssiesitelmä:
Luovuus ja oppiminen läpi elämänkaaren: aivoihin liittyviä käsityksiä

Miten tietämyksemme aivoista voidaan huomioida kasvatustieteellisessä ajattelussa? Tämä esitys tarkastelee brittiläisten aikuisten ja lasten kertomia käsityksiä aivoista ja esittelee opettajien ja opettaajaopiskelijoiden kanssa tehtyjä yrityksiä rakentaa tarkoituksenmukaisempia käsitteitä. Tutkimusryhmä, jolla on sekä tieteellistä että koulutukseen liittyvää asiantuntemusta, pohti yhdessä osallistujien kanssa näiden ajatuksia aikuisuudesta. Tällä tavoin tutkimusryhmä työskenteli yhdessä osanottajien kanssa tavoitteenaan tarkentaa luovuuden ja oppimisen tukemiseen liittyviä käsitteitä ja näin parantaa niiden tieteellisyyttä ja koulutuksellista sovellusarvoa. Tutkimus tuo tietämystä niistä prosesseista, joiden kautta neurotieteelliset käsitykset popularisoituvat muissa ammattikunnissa. Tutkimus tarjoaa myös keinoja siltojen rakentamiseen neurotieteiden ja koulutuksen välille mainituissa ammattikunnissa ja tuo esille sellaisia kysymyksiä, joita matkan varrella todennäköisesti kohdataan.

2. CICERO LEARNING CONFERENCE LIFELONG LEARNING AND THE BRAIN

2.1 Keynote Speakers and Abstracts

Dr ***Paul Howard-Jones***
Graduate School of Education,
University of Bristol, UK

Dr Paul Howard-Jones is a psychologist who specialises in interdisciplinary research involving neuroscience and education. He co-ordinated, with Dr *Sue Pickering*, the UK seminar series on Neuroscience and Education, and authored the subsequent commentary. He has considerable experience in the training and professional development of educators. In his research, he uses research techniques ranging from neuroimaging to practitioner-based action research, in order to produce and apply scientific and educational insights about brain function across the lifespan. Recent research topics include creativity, educational technology and gaming. He works within the Centre for Psychology and Learning In Context (CPLIC) at the Graduate School of Education, University of Bristol.

Keynote presentation:

Developing concepts involving
the brain for creativity and learning
across the lifespan

How can what we know about the brain be included in educational thinking? The speaker will review some of the existing ideas about the brain expressed by adults and children in the UK, and report upon an attempt to co-construct more appropriate concepts with teachers and trainee teachers. This process of co-construction involved a research team with scientific and educational expertise reflecting jointly with the participants upon their experience as adults. In this way, the team worked together with the participants to develop concepts around the fostering of creativity and learning that were improved in terms of their scientific validity and educationally usefulness. This study provides insights about the processes by which neuroscientific ideas become popularised within non-neuroscientific professions, suggests ways forward for developing the bridge between neuroscience and education in these professions, and highlights some of the issues that are likely to be encountered along the way.

Tutkimusprofessori *Kiti Müller* Työterveyslaitos

Professori Kiti Müller johtaa Työterveyslaitoksen Aivot ja työ –tutkimuskeskusta. Hänen asiantuntemusalueisiinsa kuuluvat neurotoksikologia, neurologia, liikennelääketiede, aivot ja ergonomia. Aivot ja työ -tutkimuskeskus tuottaa tietoa aivojen ja aistien toiminnasta ja niihin vaikuttavista ihmiseen ja/tai työhön liittyvistä tekijöistä. Tutkimuksen painopisteitä ovat unen, stressin ja ikääntymisen vaikutukset kognitiiviseen toimintakykyyn ja psykofysiologiseen kuormittumiseen. Tutkimuskeskuksessa tehdään myös tutkimus- ja kehittämistyötä liittyen terveydenhuollon teknologioihin, joita voidaan hyödyntää kokeellisissa ja living lab –ympäristöissä sekä kenttätutkimuksissa.

Konferenssiesitelmä: Stressi, oppiminen ja hyvinvointi työpaikalla: huomioita aivotutkimuksesta

Työn muutokset asettavat haasteen aivojen ja mielen hyvinvoinnille. Useissa ammateissa informaation käsittelemisellä on nykyään olennainen osa tehtävistä suoriutumisessa. Työn vaatimukset muuttuvat jatkuvasti ja työntekijältä odotetaan elinikäistä oppimista, uusien taitojen opiskelua ja vanhojen päivittämistä.

Jatkuvasti muuttuvat informaatioteknologiset sovellukset, työtahdin muuttuva intensiteetti, usean samanaikaisen työtehtävän suorittaminen tai tehtävien vaihdanta sekä 24/7 yhteiskuntamme (vuorotyön lisääntyminen ja pitkät päivät) lisäävät aivojen ylikuormitusriskiä. Aivojen väsyminen voi aiheutua esim. liiasta informaation tulvasta tai akuutista, kasautuvasta ja kroonisesta univajeesta. Haitalliset vaikutukset näkyvät ensin otsalohkon toiminnassa, jotka taas näkyvät toiminnanohjauksen, mentaalisen joustavuuden, ongelmanratkaisun ja sosiaalisten taitojen heikentymisenä. Subjektiiivisia oireita ovat mm. yleinen väsymys, levottomuus ja muut mentaaliset oireet, kuten masentuneisuus. Kognitiivisia oireita ovat mm. keskittymisvaikeudet sekä muisti- ja oppimisongelmat. Työtä ja terveyttä tarkastelevassa suomalaisessa populaatiotutkimuksessa (2006) havaittiin, että 20 % työntekijöistä kaikissa ikäryhmissä valitti usein ilmenevästä, työkykyä heikentävistä muistiongelmista ja keskittymisvaikeuksista. Verrattuna vuoden 2003 tutkimustuloksiin, näiden oireiden määrä lisääntyi erityisesti 24–35-vuotiaiden ikäryhmässä.

Valppaus, uneliaisuus ja stressitaso vaikuttavat autonomisen järjestelmän ja hermoston fysiologiseen tilaan ja siten myös kognitiiviseen ja mentaaliseen suorituskykyyn. Työsimulaation avulla voidaan tutkia, kuinka tietotulva ja työtahti vaikuttavat tietoteknisistä tehtävistä suoriutumiseen ja neurofysiologiaan. Tutkimus tarjoaa myös aineistoa akuutin ja kumulatiivisen univajeen vaikutuksista. Tutkimustuloksia voidaan käyttää neurokognitiivisen ergonomian alalla. Tarkoitus on kannustaa sellaisten työympäristöjen luomista, jotka tukevat kaikenikäisten työntekijöiden mielen ja aivojen terveyttä.



Professor *Kiti Müller* Finnish Institute of Occupational Health

Professor Kiti Müller is Director of the Brain and Work Research Centre at the Finnish Institute of Occupational Health. Professor Müller's areas of expertise include neurotoxicology, neurology, traffic medicine, the brain and ergonomics.

The Brain and Work Research Centre produces information on how the brain and the senses function and how this is influenced by human and/or work-related factors. The Centre conducts research focusing on the impact of sleep, stress and ageing on cognitive functioning and psycho-physiological load. The Centre is also engaged in R&D in the area of health technologies that can be used both in experimental as well as living lab or field studies.

Keynote presentation:

Stress, Learning and Well-being at the Work Place: Insights from Brain Research

Changes in work challenge the well-being of the human brain and mind. In modern worklife information handling is a crucial part of task performance in many professions. Work demands change constantly and life-long learning, updating of skills and learning new ones is required.

Constantly changing information technology applications, changing work pace intensity, the need for multitasking or task switching, as well as, our 24/7 society (increasing shift work and long working hours) increase the risk of brain overload. Brain fatigue can be caused by e.g. information overflow or acute, cumulative, as well as, chronic sleep deprivation. The first adverse effects on the brain are observed in frontal lobe functions. This results in a decline in executive functions, mental flexibility, problem solving and social skills. Subjective symptoms include overall fatigue, anxiety and other mental symptoms such as depressive mood. Cognitive symptoms include difficulties to concentrate, memory and learning problems. In the population based Finnish study on Work and Health 2006, 20 % of workers in all age groups complained of often occurring and disabling memory problems and difficulties to concentrate. Compared to the study of 2003, a rise in these complaints was seen especially in the age group 24-35 yrs.

Factors such as vigilance, sleepiness and stress level affect the physiological state of the autonomous and nervous system and thus also cognitive and mental performance. With work simulation the effects of information load and task pace on human performance on computerized tasks and on neurophysiology can be studied. Data on the effects of acute and cumulative sleep deprivation will also be presented. Research results can be used in the field of neurocognitive ergonomics. The goal is to promote working environments that support the health of the human mind and brain of workers in all age groups.

Professori **Helen J. Neville** Oregonin yliopisto, USA

Helen J. Neville suoritti kandidaatin tutkintonsa British Columbian yliopistossa ja maisterintutkintonsa Fraserin yliopistossa. Väiteltään Cornellin yliopistosta filosofian tohtoriksi Neville suoritti tutkijatohtori-koulutuksensa neurotieteiden laitoksella Kalifornian yliopistossa San Diegossa. Hänen pääasialliset tutkimuskohteensa liittyvät biologisiin rajoitteisiin ja kokemuksen rooliin ihmisen neurosensorisessa ja neurokognitiivisessa kehityksessä. Hänen tutkimusmenetelmiään ovat mm. käyttäytymismittaukset ja aivojen herätevasteet (event-related brain potentials, ERPs) sekä toiminnallinen magneettiresonanssikuvauus (fMRI). Työurallaan Neville on toiminut mm. Salk Instituutin neuro-psykologian laboratorion johtajana ja kognitiotieteiden professorina Kalifornian yliopistossa San Diegossa.

Tällä hetkellä Helen Neville hoitaa Robert ja Beverly Lewisin säätien lahjoitusprofessuurin virkaa psykologian ja neurotieteiden professorina. Lisäksi hän toimii Brain Development Labin johtajana sekä Oregonin yliopiston kognitiivisen neurotieteen keskuksen johtajana Eugeneassa. Nevillen tekstejä on julkaistu lukuisissa kirjoissa ja tieteellisissä lehdissä, kuten *Nature*, *Nature Neuroscience*, *Journal of Neuroscience*, *Journal of Cognitive Neuroscience*, *Cerebral Cortex* ja *Brain Research*. Hän on toiminut useassa luottamustoimessa – hänet on mm. valittu Amerikan kulttuuri- ja tiedeakatemiaan, ja hän on Cognitive Neuroscience Societyn johtoryhmän sekä Birth to Three -ohjelman akateemisen paneelin jäsen. Professori Neville on aktiivinen monissa koulutuksellisissa ohjelmissa.

Konferenssiesitelmä:

Kokemus muokkaa ihmisen aivojen kehitystä ja toimintaa

Olemme tutkineet ihmisaivojen kehitystä ja muovautuvuutta useiden vuosien ajan psykofysiikan ja elektrofysiologisen (ERP) sekä toiminnallisen magneettiresonanssikuvauksen (fMRI) menetelmin. Olemme tutkineet kuuroja ja sokeita henkilöitä ja henkilöitä, jotka ovat oppineet ensimmäisen ja toisen puhutun tai viittomakielen eri-ikäisinä sekä eri-ikäisiä ja erilaisia kognitiivisia kykyjä omaavia lapsia. Tutkimuksissa on havaittu, että erilaisten aivojärjestelmien ja niihin liittyvien toimintojen neuroplasticiteetissa esiintyy huomattavia asteellisia ja "profiili"eroja. Jotkut järjestelmät vaikuttavat olevan vahvasti ennalta määräytyviä eikä niissä tapahdu muutoksia vaikka kokemus olisi ollut hyvin erilainen. Joitakin järjestelmiä kokemus saattaa puolestaan muokata hyvinkin paljon ja ne ovat riippuvaisia kokemuksesta, mutta vain tiettyinä ajanjaksoina ("herkkyyskausina"). Herkkyyskausia on useita jopa prosessoinninkin piirissä. Kolmas "plasticiteetti-profiili" ilmenee sellaisissa hermojärjestelmissä, jotka voivat muuttua kokemuksen myötä koko elämän ajan.

Näiden tulosten ohjaamina olemme hiljattain aloittaneet tutkimusohjelman, jossa tutkitaan erityyppisen harjoittelun vaikutusta aivojen kehitykseen ja kognitioon tyypillisesti kehittyvillä, eri-ikäisillä lapsilla. Tutkimukset lisäävät tietoa ihmisaivojen muovautuvuudesta. Lisäksi tutkimukset saattavat tarjota tietoa, josta on käytännön hyötyä koulutuksellisten ohjelmien suunnittelulle ja toimeenpanolle.



Professor **Helen J. Neville** University of Oregon, USA

Helen J. Neville was awarded the B.A. degree from the University of British Columbia, an M.A. from Simon Fraser University and Ph.D. from Cornell University. Her postdoctoral training was at the University of California, San Diego in the Department of Neurosciences. Her major research interests are the biological constraints and the role of experience in neurosensory and neurocognitive development in humans. Methods include behavioral measures and event-related brain potentials (ERPs), and structural and functional magnetic resonance imaging (fMRI). Her work experience includes Director of the Laboratory for Neuropsychology at the Salk Institute and Professor, Department of Cognitive Science, UCSD.

Dr. Neville is currently The Robert and Beverly Lewis Endowed Chair and Professor of Psychology and Neuroscience, Director of the Brain Development Lab, and Director of the Center for Cognitive Neuroscience at the University of Oregon in Eugene. She has published in many books and journals including *Nature*, *Nature Neuroscience*, *Journal of Neuroscience*, *Journal of Cognitive Neuroscience*, *Cerebral Cortex* and *Brain Research*. She has received many honors including being elected to the American Academy of Arts and Sciences, is a member of the Board of Governors of the Cognitive Neuroscience Society, the Academic Panel of Birth to Three and is active in many educational outreach programs.

Keynote presentation:

Experience Shapes Human Brain Development and Function

For several years we have employed psychophysics, electrophysiological (ERP) and magnetic resonance imaging (MRI) techniques to study the development and plasticity of the human brain. We have studied deaf and blind individuals, people who learned their first or second spoken or signed language at different ages, and children of different ages and of different cognitive capabilities. Over the course of this research we have observed that different brain systems and related functions display markedly different degrees or 'profiles' of neuroplasticity. Some systems appear quite strongly determined and are not altered even when experience has been very different. Other systems are highly modifiable by experience and are dependent on experience but only during particular time periods ("sensitive periods"). There are several different sensitive periods, even within a domain of processing. A third 'plasticity profile' is demonstrated by those neural systems that remain capable of change by experience throughout life.

Guided by these findings, we have recently begun a program of research on the effects of different types of training on brain development and cognition in typically developing children of different ages. These studies will contribute to a basic understanding of the nature of human brain plasticity. In addition, they can contribute information of practical significance in the design and implementation of educational programs.



Tohtori **Sue Pickering** Bristolin yliopisto, Iso-Britannia

Siitä lähtien kun pyrin väitöskirjassani suunnittelemaan testin dysleksian varhaiseen seulontaan, olen tutkimustyössäni yhdistänyt kognitiivisen psykologian, neurotieteen ja kasvatustieteen. Väitelyäni tohtoriksi Sheffieldin yliopistosta vuonna 1995 siirryin Bristolin yliopiston kokeellisen psykologian laitokselle tutkijatohtoriksi Medical Research Councilin rahoittamaan viisivuotiseen Työmuisti ja oppimisvaikeudet -projektiin, jonka johtajina toimivat professorit *Alan Baddeley* ja *Sue Gathercole*. Projektin aikana kehitettiin ja julkaistiin Working Memory Test Battery for Children (Pickering & Gathercole 2001). Vuonna 2003 siirryin lehtoriksi Bristolin yliopiston kasvatustieteelliseen tutkijakouluun, jossa aloitin yhteistyön tohtori Paul Howard-Jonesin kanssa ja Education Research Network perustettiin. Nykyisiin tutkimusintresseihini kuuluu mm. työmuisti ja koulumenestys, kognitiiviset kehityshäiriöt ja neurotieteiden ja koulutuksen välinen yhteys.

Konferenssiesitelmä:

Työmuisti läpi elämänkaaren: Kognition, kehityksen ja neuro- tieteen tutkimuksen näkökulmia

Työmuistia voidaan pitää tiedon "väliaikaisena varastona ja manipuloijana, jonka uskotaan olevan tarpeellinen lukuisille monimutkaisille kognitiivisille toiminnoille" (Baddeley 2003, 189). Tutkijat ovat yli kolmen vuosikymmenen ajan tutkineet ihmisen työmuistin toimintaa ja sen roolia jokapäiväisessä toiminnassa. Tässä esityksessä tarkastelen joitakin tutkimustuloksia kognitiivisen-, kehitys- ja neurotieteellisen tutkimuksen alalta siltä osin kuin ne liittyvät tietämyksemme työmuistin toiminnasta läpi elämänkaaren. Tarkastelen myös tutkimustuloksia, jotka osoittavat, että työmuistilla on ratkaisevan tärkeä rooli eri alojen koulutukseen.

Dr ***Sue Pickering***
University of Bristol,
UK

Since undertaking a PhD that attempted to design an early screening test for dyslexia, my work has always combined the fields of cognitive psychology, neuroscience and education. After completing my PhD, at the University of Sheffield in 1995, I moved to the Department of Experimental Psychology, University of Bristol as a postdoctoral researcher on a 5-year MRC funded project entitled: Working Memory and Learning Disabilities, directed by Professors *Alan Baddeley* and *Sue Gathercole*. During this project the Working Memory Test Battery for Children (Pickering & Gathercole, 2001) was developed and published. In 2003 I took up a Lectureship in the Graduate School of Education at the University of Bristol. It was here that the collaboration with Dr Paul Howard-Jones began, and the Neuroscience and Education Research Network created. My current research interests include: working memory and educational attainment, developmental disorders of cognition, and the link between neuroscience and education.

Keynote Presentation:

Working Memory Across the Lifespan: Evidence from Cognitive, Developmental and Neuroscientific Research

Working memory can be thought of as the 'temporary storage and manipulation of information that is assumed to be necessary for a wide range of complex cognitive activities' (Baddeley, 2003, p. 189). Researchers have spent over three decades studying how the human working memory system operates and what its role might be in a range of everyday activities. In this presentation I will review some of the findings from cognitive, developmental and neuroscientific research as they relate to our understanding of working memory functioning across the lifespan. I will also consider the evidence that suggests that working memory plays a crucial role in educational activities in a range of domains.

2.2 Suomalainen aivotutkimus ja yhteiskunta: esimerkkejä

Tarkkaavaisuuden ja muistin aivoverkostot: yhteydet oppimiseen

Professori *Kimmo Alho*
Psykologian laitos, Helsingin yliopisto

Käytämme elektro- ja magnetoenkefalografiaa sekä toiminnallista magneettikuvausta tutkiessamme tarkkaavaisuuteen ja muistiin liittyviä ihmisaivojen toimintoja. Tällä tutkimuksella on monia yhteyksiä oppimistutkimukseen. Olemme esimerkiksi tutkineet puheenkäsittelyyn liittyviä kuuloaivokuoren toimintoja vastasyntyneillä (esim. Alho ym., *Electroencephal. Clin. Neurophysiol.*, 1990; Cheour-Luhtanen ym., *Psychophysiology*, 1996), kieliympäristön vaikutuksia näihin toimintoihin varhaislapsuudessa (Cheour ym., *Nature Neurosci.*, 1998) ja aikuisiällä (Näätänen ym., *Nature*, 1997) sekä näiden toimintojen palautumista kuurouden jälkeen sisäkorvaproteesin avulla (Lonka et al., *Audiol Neuro-otol.*, 2004). Olemme myös tutkineet sokeuden aiheuttamia muutoksia kuulo- ja tuntuinformaation käsittelyssä aivokuorella (esim. Alho ym., *Electroencephal. Clin. Neurophysiol.*, 1990; Kujala ym., *Neurosci. Lett.*, 1995; Kujala ym., *Exp. Brain Res.*, 1995). Nykyinen Tarkkaavaisuuden ja muistin aivoverkostot -tutkimusryhmäni (www.helsinki.fi/psykologia/groups/amn.htm) keskittyy tutkimaan tarkkaavaisuutta, joka on välttämätöntä suurimmalle osalle korkeampia kognitiivisia toimintoja ja oppimista. Jatkossa tutkimme suoremmin tarkkaavaisuuteen liittyvien aivotointojen merkitystä havainto-oppimisessa ja kognitiivisten taitojen oppimisessa, esimerkiksi sellaisten taitojen, joita tarvitaan usean tehtävän samanaikaisessa suorittamisessa. Tutkimuksemme voi myös auttaa ymmärtämään oppimista haittaavia tarkkavaisuushäiriöitä. Olemme esimerkiksi havainneet tehtäväsuoritusta häiritsevien äänten synnyttävän poikkeavan suuria aivovasteita lapsilla, joilla on tarkkaavaisuus- ja ylivilkkaushäiriö (Gumenyuk ym., *Neurosci. Lett.*, 2005). Tulostemme pohjalta kehitämme yhteistyössä Dos. *Minna Huotilaisen* ja PsT *Anu Kujalan* kanssa tietokonetestiä lasten häiriintyvyyden tutkimiseen.





2.2 Finnish Brain Research and Society: examples

Brain Networks of Attention and Memory: Connections to Learning

Professor *Kimmo Alho*
Department of Psychology, University of Helsinki

We apply electro- and magnetoencephalography and functional magnetic resonance imaging to study human brain activity related to attention and memory. This research is connected to research on learning in several ways. For example, we have investigated auditory-cortex processes involved in speech processing in newborns (e.g., Alho et al., *Electroencephal. Clin. Neurophysiol.*, 1990; Cheour-Luhtanen et al., *Psychophysiology*, 1996), effects of language environment on these brain functions in infants (Cheour et al., *Nature Neurosci.*, 1998) and adults (Näätänen et al., *Nature*, 1997), and recovery of these functions after deafness ended by cochlear implantation (Lonka et al., *Audiol Neuro-otol.*, 2004). Moreover, we have investigated changes related to blindness in cortical processing of auditory and tactile information (e.g., Alho et al., *Electroencephal. Clin. Neurophysiol.*, 1990; Kujala et al., *Neurosci. Lett.*, 1995; Kujala et al., *Exp. Brain Res.*, 1995). My current research group Attention and Memory Networks of Human Brain (www.helsinki.fi/psykologia/groups/amn.htm) focuses on attention that is necessary for most of higher cognitive functions and learning. In future, we will study more directly the role of attention-related brain functions in perceptual learning and in learning cognitive skills, such as those needed in multitasking. Finally, our research may help us understand attention deficits affecting learning. For example, we have found enhanced brain responses to irrelevant sounds distracting task performance in children with an attention deficit hyperactivity disorder (Gumenyuk et al., *Neurosci. Lett.*, 2005). On the basis of our findings, we are currently developing a computerized test to study distractibility in children in collaboration with Dr. *Minna Huotilainen* and Dr. *Anu Kujala*.

Aivot, oppiminen ja koulutus – neurotieteet ja koulumaailman haasteet

Lehtori *Nina Sajaniemi*

Soveltavan kasvatustieteen laitos, Helsingin yliopisto

Oppiminen merkitsee muutosta aivotoiminnassa. Kasvatuksella, koulutuksella ja opettamisella vaikutetaan yksilön kokemuksiin tavoilla, jotka virittävät aivoja kohti kasvavaa ymmärrystä ja elämänhallintaa. Oppiminen on elinikäinen prosessi, ja hyvän oppimisen varmistamiseksi on tärkeä tietää miten aivot valmistautuvat konstruoimaan kokemuksia ja tietoa.

Suomalaisen koulujärjestelmän yhtenä ideologiana on konstruktiiivinen oppimiskäsitys ja itseohjautuvuus tiedon omaksumisessa. Kehitysneuropsykologisesta näkökulmasta tarkasteltuna itseohjautuvuus voidaan nähdä kehittyvänä ominaisuutena, joka liittyy emotionaalisen itsesäätelyn neuraaliseen kypsymiseen. Emotionaalisen itsesäätelyn korkeimmat ohjauskeskukset sijaitsevat etuotsalohkossa alueilla, joiden neurobiologinen kypsyminen jatkuu yli murrosikävuosien. Riittävä itsesäätely mahdollistaa tarkkaavaisen toiminnan myös tilanteissa, jotka eivät ole korkeasti aktivoivia tai korkeasti motivoivia. Riittävän itsesäätelyn voimin yksilö jaksaa ponnistella uusien haasteiden edessä ja keskittyä koulutyöhön vaikka ei aina haluttaisikaan. Lapsuudessa ja murrosiässä neuraaliset valmiudet itseohjautuvuuteen ovat vielä hauraat. Ilman aikuisen ”apuotsalokona” toimimista opetukseen keskittyminen on joskus vaikeaa. Tiedetään myös, että tyttöjen ja poikien itsesäätelyn neuraalisessa kypsymisessä on eri aika-tila. Sen huomioiminen on olennaista ja sen huomiotta jättäminen saattaa liittyä poikien koulunkäyntiongelmisiin.

Joidenkin oppilaiden kohdalla neuraalinen epäkypsyys näkyy vaihtelevan voimakkaina tarkkaavaisuushäiriöinä. Opettajien on tärkeä tietää jotakin haastavan käyttäytymisen kehitysneuropsykologista taustasta, erityisesti itsesäätelyn näkökulmasta. Kun itsesäätelyn merkitys oppimisen olennaisena perusvalmiutena korostuu, voidaan lasta ohjata kohti sisäistyvää, aitoa ja kasvavaa itseohjautuvuutta.

Itsesäätelyn neuraaliseen epäkypsyysyteen liittyen lapset ja nuoret reagoivat kiihtymistilan ja stressin tason vaihteluille monilla ja yllättävillä tavalla. Tieto liian alhaisen tai liian korkean kiihtymistilan, stressin ja oppimisen välisistä yhteyksistä on lisääntynyt paljon viime vuosina. Ilman tämän tiedon hyödyntämistä on vaikea pyrkiä luomaan optimaalinen oppimisympäristö.

Itsesäätelyyn liittyy impulssikontrolli, jota tarvitaan päämääräsuuntautuneessa ja tavoitteellisessa toiminnassa. Lapsen ja nuoren on kyettävä työntämään kilpailevat toimintayhdykkeit pois tietoisesta mielestään. Silloin tarkkaavaisuus voidaan suunata tiedon prosessointiin ja ongelman ratkaisuun.

Tarkkaavaisuudella, työmuistilla ja toiminnan ohjauksella on yhteinen neuraalinen tausta. Aivot integroivat syöttötietoa jatkuvana virtana eikä mikään kognitiivinen toiminta ole riippumaton muista toiminoista. Oppimisen taustalla olevien hermosolukytkentöjen aktivoitumisessa on määrätty hierarkia, ja aktivoituminen alkaa tarkkaavaisuudesta. Aivoissa ei ole erillistä lokeroa älykkyydelle, luovuudelle tai lahjakkuudelle. Oppivat aivot viriävät kokonaisuutena.

Oppimisvaikeudet eivät myöskään ole neuraaliselta taustaltaan irrallisia toimintoja. Syöttötiedon vastaanotossa ja hermosolujen välisissä kytkennöissä saattaa olla häiriöisyyttä. Oppimisvaikeuksia voidaan kuvata epävireisinä aivotointoina. Itsesäätelyn ja tarkkaavaisuuden tukeminen on merkittävä taustavaikuttaja oppimisvaikeuksiin puututtaessa.

Yhteiset tutkimushankkeet ovat välttämättömiä kun rakennetaan siltaa kasvatustieteiden ja neurotieteiden välille. Yksi tärkeä tavoite tutkimustoiminnalle on saada aivotutkimuksen näkökulmasta konfirmoitua tietoa itsesäätelyn ja tarkkaavaisuuden ensisijaisuudesta kognitiivisten prosessien aikana.

Multidisciplinary Research on Human Memory

Professor *Christina M. Krause*
Department of Psychology, University of Helsinki

Christina M. Krause's primary field of research is the cognitive sciences and her expertise is human memory. The primary themes under investigation are human memory and memories, learning and forgetting, language, biolinguistics, childhood memory and memory development, memory and aging, memory and neuro-generative diseases. These research themes are approached by multidisciplinary methods including both behavioral and psychophysiological methods.

The recent clinical applications of the methodologies developed in her research projects include studies on altered memory and cognitive processing in, e.g., Alzheimer's disease, Parkinson's disease, childhood cancer and childhood epilepsy. These clinical applications aim to give information about the neural correlates underlying these diseases. The aim is also to develop clinical tools.

Since the year 1994 Krause and co-workers have produced 43 scientific articles in international scientific journals with referee procedure.

The initial and most central finding in her scientific career was that the auditory and visual memory systems have different neural implementation. Second, the phonological loop was reported to have a cortical correlate. Recently, it was reported that the memory strategy, e.g., phonological loop vs. visualization, used (and reported) by the subjects can be witnessed in brain measures.

In the "Brain Oscillations and Human Memory" research project, funded by the Academy of Finland (2007–2010), these themes are elaborated and additionally the causes and consequences of the inter- and intra-individual variation (in both behaviour and brain responses) are being investigated. The effects of memory load on

human cognitive performance are also assessed. Thus, the aim is to assess which factors (external or internal) affect (impede or facilitate) human information processing.

To integrate the knowledge obtained from basic cognitive neurosciences (often laboratory experiments) with the real-life problems arising in contemporary education is not unproblematic. The questions raised in the two disciplines are not necessary - not at least currently - always in the same discourse. One challenge in the future is to increase and to facilitate active collaboration between the two disciplines. For example, there might exist questions which may be answered by the cognitive neurosciences, once the cognitive neuroscientists become aware of these. Education, on the other hand, might help the cognitive neurosciences to address questions which are also of social importance and have higher levels of ecological validity.

3. NEUROTIETEET JA KOULUTUS – UUSIA TUULIA ISO-BRITANNIASTA

3.1 Aivojen toimintaan perustuvat opetus- ja koulutusstrategiat

Paul Howard-Jones

Aivojen toimintaan perustuvat oppimis- ja harjoitusmenetelmät - nykytilanne

1990-luvulta lähtien on lisääntynyt niiden koulutus- ja opetusohjelmien määrä, jotka väittävät perustuvansa tietoon aivojen toiminnasta. Vain joidenkin näiden opetusohjelmien toimivuutta on arvioitu, mikä on tuonut esiin, että kyseisten ohjelmien kehittämisessä ei ole hyödynnetty neurotieteellisen tutkimuksen käytäntöjä ja tuloksia. Joitkut ohjelmien ajamista ideoista ovat kuitenkin tulleet osaksi koulutuksen ja opetuksen kulttuuria. 30 prosenttia Britannian peruskouluopettajista on tuoreen tutkimuksen mukaan kuullut harjoitteluohjelmasta, joka tunnetaan nimellä Brain Gym ("aivojumppa") (Pickering & Howard-Jones 2007). Kyseinen ohjelma perustuu ajatukseen, että hermostollisiin mekanismeihin voitaisiin vaikuttaa tietyillä fyysisillä harjoituksilla. Ohjelman toimintaa selitetään pseudotieteellisin termein ja käsitteisin, joilla ei ole neurotieteellistä perustaa. Ohjelmaa markkinoidaan tehokkaasti myös koulujen ulkopuolella ja sitä myydään itseapu- ja henkilökohtaisen kehityksen välineenä.

Laajaa joukkoa oppimista koskevia lähestymistapoja voidaan kutsua otsikolla Accelerated Learning – Nopeutettu oppiminen. Tämän otsikon alle kuuluu menetelmiä, joissa on yhdistetty sekalainen kooste neurotieteen ja psykologian popularisoituja ideoita yhdistettynä koulutus- ja opetuskokemukselle perustuviin käytäntöihin. Accelerated Learning -menetelmää on menestyksekkäästi markkinoitu koko elinkaarelle sopivana välineenä, jota voidaan käyttää niin päiväkotikäisten lasten kasvatuksessa kuin mentaalisten toimintojen ikävaikutusten ehkäisemisessä. Accelerated Learning -menetelmää suosivissa

kirjoissa psykologian ja neurotieteiden käsitteitä käyttämällä pyritään edistämään ja selittämään oppimisen prosesseja. Usein nämä väitteet eivät kuitenkaan kestä tieteellistä tarkastelua. Muun muassa Brain Gym ("aivojumppa") korostaa edelleen vasemman ja oikean aivopuoliskon välisen tasapainon tarpeellisuutta. Smithin (1996) mukaan "synergia, joka syntyy uusien yhteyksien luomisesta vasemman ja oikean aivopuoliskon välille, johtaa kaikenkattavaan toiminnan paranemiseen". Tosiasiassa vahingoittumattomissa aivoissa vasemman ja oikean aivopuoliskon välillä on pysyviä yhteyksiä, erityisesti aivokurkiaisessa. Tällä hetkellä ei ole mitään tieteellistä näyttöä siitä, että uusia yhteyksiä voitaisiin luoda tahdonalaisesti.

Accelerated Learning -menetelmän piiriin kuuluu myös muita aivoja koskevia populaarikäsityksiä kuten oppimistyylinen menetelmä Learning Style Preferences, jota käytetään useilla ammatillisen kehityksen aloilla. Tämän näkemyksen kohdalla myös psykologian tutkimustulosten mukaan on mahdollista, että oppimiseen liittyy yksilöllisiä mieltymyksiä sen suhteen miten mieluiten opimme. Oppimistyylinen menetelmässä oppijat saatetaan jaotella kolmen oppimistyylin (visuaalinen, auditiivinen, kinesteettinen, VAK) mukaisesti. Joitkut uskovat, että oppiminen voi helpottua kun oppijoille esitetään oppimismateriaalia siihen tapaan, joka sopii heidän oppimistyyliinsä. (Voitaisiin väittää myös, että oman oppimistyylin kannalta päinvastainen opetusmateriaalin esittäminen voisi olla hyödyllistä: se saattaa toimia korjaavana interventiona, joka parantaa muiden kuin itselle luontaisimman oppimistyylin mukaista prosessointia.) On kuitenkin erittäin vähän laadukasta tutkimusta, joka tukisi ajatusta oppimistyylien tunnistamisen hyödyllisyydestä (Coffield et al 2004). Viimeaikaisessa VAK -periaatteeseen liittyvässä psykologian alan tutkimuksessa tarkasteltiin näiden kolmen tyylin mukaisesti esitetyn tiedon mieleen palauttamista aikuisilla (Kratzig & Arbuthnot 2006). Tutkimustuloksissa ei ilmennyt mitään etua siitä, että opittava materiaali oli esitetty henkilön suosiman oppimistyylin mukaisesti. Tästä pääteltiin että yritykset huomioida eri oppimistyyliä on "ajan haaskausta". Tämä ei tietenkään vähennä sen merkitystä, että oppimateriaalia esitetään eri muodoissa ja eri tavoilla ja välineillä. Tällainen lähestymistapa voi ylläpitää oppijoiden mielenkiintoa ja tukea heidän oppimisprosessejaan monin tavoin. Olemassa olevat tutkimustulokset eivät kuitenkaan tue sitä käsitystä, että oppijoita tulisi lokeroida heidän oppimistyyliensä perusteella.

3. NEUROSCIENCE AND EDUCATION – RECENT DEVELOPMENTS IN BRITAIN

3.1 ‘Brain-based’ Strategies for Teaching and Training

Paul Howard-Jones ‘Brain-based’ Training – where we are now

Since the 1990’s, there have been an increasing number of training and educational programmes that claim to have a “brain basis”. There are few examples of such programmes having been evaluated and they often appear to have developed without neuroscientific scrutiny. Some of the ideas promoted by these programmes have become part of educational culture. In a recent survey, about 30 per cent of school teachers in the UK had already heard of the one programme known commercially as “Brain Gym” (Pickering and Howard-Jones, 2007). This programme promotes the idea that neural mechanisms can be influenced by specific physical exercises. The pseudo-scientific terms that are used to explain how this works, let alone the concepts they express, are unrecognisable within the domain of neuroscience. This programme is now being effectively marketed beyond schools, and is being sold for self-help and personal development.

Approaches to learning that come under the broad heading of “Accelerated Learning” are a more eclectic mixture of ideas from popularly-reported neuroscience and psychology, synthesised with practice derived from training and teaching experience. “Accelerated Learning” has been successfully marketed across the lifespan as means to educate toddlers and reduce the mental effects of ageing. In books that promote accelerated learning, concepts from psychology and neuroscience are often introduced as a means to promote and explain learning processes. However, these too often do not survive scientific scrutiny. For example, as in Brain Gym, there is a

still an emphasis on the desirability of balance between the left and right part of the brain. In Smith (1996), we are reminded “Remember that the synergy generated in creating new pathways between left and right results in all-round improvement”. In fact, in the unlesioned brain, pathways exist permanently between left and right hemispheres, most notably via the corpus callosum. At present, there is no scientific evidence to suggest we can voluntarily create new ones.

Accelerated learning also embraces other popular brain concepts such as Learning Style Preferences. This is being used many areas of professional development. Here, psychological evidence supports the possibility that individual preferences exist regarding how we like to learn. Learners may be allocated to one of three types of learning style (Visual, Auditory or Kinesthetic - VAK). Some believe that presenting material in a way that suits an individual’s preferred learning style can improve their learning. (Note that it could also be argued that the reverse might also be helpful, as a remedial intervention to improve processing associated with the other learning styles.) However, there is a considerable scarcity of quality research to support the value of identifying learning styles (Coffield et al, 2004). A recent psychological investigation of the VAK principle tested recall of information presented to adults in the three different styles (Kratzig and Arbuthnott, 2006). This study showed no benefit of having material presented in one’s preferred learning style, concluding that attempts to focus on learning styles were “wasted effort”. Of course, this does not detract from the general value for all learners when materials are presented using a full range of forms and different media. Such an approach can engage the learner and support their learning processes in many different ways, but the existing research does not support labelling learners in terms of a particular learning style.

Many ideas about the brain currently used in education and professional development may be at odds with present scientific understanding, but perhaps not all of them should be dismissed entirely. For example, short sessions of Brain Gym exercise have been shown to improve response times (Siff and Kahlsa, 1991), and such strategies, if they are effective, may work because exercise can improve alertness. If they do help learning, the basis for this effect should be researched further, to support improved understanding and practice.

Vaikka monet koulutuksessa ja täydennyskoulutuksessa vallitsevat aivoja koskevat käsitykset ovat ristiriidassa nykyisen tieteellisen tiedon kanssa, kaikkia näitä käsityksiä ei pitäisi täysin sivuuttaa. Esimerkiksi lyhytkestoisten Brain Gym -aivojumppa harjoitusten on osoitettu parantavan vastausaikoja (Siff & Kahlsa 1991). Mikäli tällaiset menetelmät ovat tehokkaita kyse saattaa olla viireystilan parantumisesta. Jos nämä aivojumppaharjoitukset parantavat oppimista, ilmiötä selittäviä syitä tulisi tutkia tarkemmin jotta saataisiin ilmiöstä lisää tietoa ja voitaisiin kehittää parempia käytäntöjä. Joillekin voi riittää, että tietty menettelytapa näyttää toimivan, mutta toiset haluavat tietää miksi ja miten se toimii. Selvää on, että valtavia määriä aikaa ja rahaa on käytetty aivojen toimintaan näennäisesti perustuvien ideoiden luomiseen, jotka eivät todellisuudessa koskaan perustuneet millekään tunnetuille tieteellisille käsityksille aivoista. Monet näistä ideoista ovat edelleen testaamattomia ja toiset ovat paljastuneet hyödyttömiksi. Tulevaisuudessa on erittäin tärkeää lisätä neurotieteiden ja kasvatustieteen välistä keskustelua, jotta voidaan tukea sellaisten koulutusohjelmien kehittämistä, soveltamista ja arviointia, jotka perustuvat luotettavalle tieteelliselle ymmärrykselle aivoista.

Mihin voimme jatkossa suunnata: neurotieteen mahdollisuudet oppimisen ja koulutuksen alalla – esimerkkinä aivokuvantaminen – ja cognition perustavanlaatuinen tärkeys

Aivotutkimuksessa käytetään monia kokeellisia menetelmiä, mutta luultavasti eniten huomiota on herättänyt korkean resoluution kuvantaminen, kuten funktionaalinen magneettikuvaus (fMRI). Nämä menetelmät antavat kuitenkin vain kuvan aivoissa tapahtuvista biologisista muutoksista, kuten verenkierrosta. Niillä ei voida suoraan ”nähdä” ajattelua tai oppimista. Tällaisen aivokuvan ja oppimisen välisen yhteyden ymmärtämiseksi tarvitaan psykologinen malli joka auttaa yhdistämään aivokuvan mielen prosesseihin eli tarvitaan kognitiivinen malli. Kun kognitiiviset mallit ja tieto biologisista prosesseista täydentävät toisiaan, voidaan olla varmempia kummankin luotettavuudesta. Kognitiivinen neurotiede keskittyy tutkimaan nimenomaan yhteyttä aivojen ja mielen välillä; kyse on siis aivojen biologian ja mielen kognitiivisten toimintojen yhteydestä. Sitä kautta kognitiivinen neurotiede kiinnittää huomion moniin olemassa oleviin psykologian

käsitteisiin, joilla on merkitystä opetukseen. Erityistä on, että kognitiivisen neurotieteen menetelmät visualisoivat näitä yhteyksiä.

Työmuisti on yksi esimerkki siitä, miten neurotieteet konkretisoivat psykologian käsitteitä. Työmuisti viittaa ihmisen kykyyn pitää mielessä rajattua määrää tietoa sillä aikaa kun aivot prosessoivat sitä. Työmuistin rajallisuuden takia ihmiset kirjoittavat mieluummin puhelinnumeron ylös muutama numero kerrallaan kuin kuulevat koko numeron ennen sen kirjoittamista. Työmuistin keskimääräinen yläraja on seitsemän tietoyksikköä, mutta se vaihtelee yksilöllisesti, mikä puolestaan on yhteydessä oppimissaavutuksiin (Pickering 2006). Työmuistin keskeisyys oppilaiden toiminnassa tulee esiin hyvin selkeästi kun visualisoidaan miten aivotointojen aktiivisuus on yhteydessä matematiikan harjoitteluun. Eräässä viimeaikaisessa tutkimuksessa, jossa aikuiset opettelivat pitkiä kertolaskuja, osoitettiin että harjoituksen myötä tapahtui muutos siinä mitä aivoalueita erityisesti tarvittiin laskutoimitusten tekemiseen (Delazer et al. 2003).

Kun opiskelijat seurasivat täsmällisesti ja kaavamaisesti opittavaa prosessia, työmuistin huomattava kuormitus tuli aluksi esiin aktiivisuutena vasemmassa alimmissa otsalohkopoimussa. Harjoituksen myötä ja kun prosesseista tuli automaattisempia, tämän alueen aktiivisuus väheni ja aktiivisuus vasemmassa kulmapoimussa lisääntyi. Aivokuvantamistutkimuksen tulokset tarjoavat hyödyllisen ja hyvin visuaalisen havaintoesimerkin siitä, miten ongelmanratkaisuun tarvittavat tiedonkäsittelyn resurssit muuttuvat harjoituksen myötä. Näiden tutkimustulosten kanssa yhdenmukaisia ovat myös havainnot oppijoista, joilla on todettu vaikeuksia ongelmanratkaisussa. Tällaisissa tilanteissa voi olla oppilaalle erityisen helpottavaa esittää miten he työskentelevät (ts. vaiheet joita kävivät läpi ratkaistessaan ongelmaa), koska ulkoinen esitys voi auttaa vähentämään työmuistin välitöntä kuormitusta.

Aivokuvantamalla tarkastellaan monia muita psykologian käsitteitä, joilla on suurta merkitystä opetus- ja oppimisstrategioille. On esimerkiksi tiedetty jo jonkin aikaa, että visualisointi on hyödyllinen oppimisstrategia. Esineen kuvittelu tulee esiin voimakkaana fysiologisina reaktioina, ja mielikuvia käytettäessä suurelta osin samat aivoalueet aktivoituvat kuin silloin kun kohteet varsinaisesti

Some might say that we simply need to know that an approach appears to be working, but others would like to know why and how. One thing is clear. An immense amount of time and money has already been invested in 'brain-based' ideas that were never based on any recognisable scientific understanding of the brain. Many of these ideas remain untested and others are being revealed as ineffective. In the future, an improved dialogue between neuroscience and education will be critical in supporting the development, application and evaluation of educational and training programmes based on a sound scientific understanding of the brain.

Where we could travel: The educational potential of neuroscience – the example of neuroimaging – and the fundamental importance of cognition

Many different experimental techniques are used in brain research but outcomes of high resolution imaging such as functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI) have probably attracted the greatest popular interest. However, such techniques only provide us with an image of the biological changes occurring in the brain, such as blood flow. They do not allow us to 'see' thinking or learning directly. To understand what such an image has to do with learning, we need a psychological model to help us relate it to our mental processes – i.e. a cognitive model. When cognitive models and our knowledge of biological processes inform each other, we can feel more confident about both. Cognitive neuroscience is very much concerned with exploring this relationship between the biology of the brain and the cognition of the mind. In this way, cognitive neuroscience is also drawing new attention to a variety of existing psychological concepts relevant to education, and in a very visual way.

Working memory is one example of how neuroscience is helping to concretise psychological concepts. Working memory refers to our capacity to temporarily hold a limited set of information in our attention when we are processing it. This limitation is the reason why we prefer to write down a telephone number a few digits at a time rather than be told the whole number and then start writing. The average upper limit of this type of memory is about seven chunks of information, but there are individual differences in this limit that are

linked to differences in educational achievement (Pickering, 2006). However, understanding pupils' dependency upon working memory becomes more 'real' when brain activities associated with mathematical training are visible. In one recent study, adults learning long multiplication demonstrated a shift, with practice, in the areas of the brain they were using to complete their calculations (Delazer et al., 2003). At first, considerable demand upon working memory was demonstrated by activity in the left inferior frontal gyrus, as students explicitly and formally followed the processes they were learning. After practice, this activity reduced and was replaced by activity in the left angular gyrus, as processes became more automatic. The images generated by this study provide a helpful and very visual illustration of how the types of mental resource required to solve a problem change with practise. They resonate well with observations of the difficulties faced by many learners when engaging with new problems. In such situations, it can be particularly helpful for pupils to show their working since, apart from many other advantages, external representations can help offload some of these heavy initial demands upon working memory.

There are many other psychological insights being explored by neuroimaging that have broad implications for teaching and learning strategies. For example, it has been known for some time that visualisation is a useful strategy for learning. As well as being able to produce strong physiological responses, we now know that visualising an object recruits most of the brain areas activated by actually seeing it (Kosslyn, 2005). This ability of mental imagery to engage so much of the brain circuitry involved with a real perceptual experience emphasises its potential power and usefulness as a learning tool.

The construction of meaning has also been identified as a key to understanding and remembering information. When we learn new information, the links that form between this new information and our existing knowledge serve to make it meaningful. An area of the left hemisphere, the left inferior prefrontal cortex, has been identified as a vital structure in this construction of meaning. When learning something new, additional activity in this area occurs when we try to decide upon its meaning in relation to what we know already. The new information becomes more memorable once we have complet-

nähdään (Kosslyn 2005). Se, että mielikuvat voivat aktivoida näin suurta osaa todelliseen havaitsemiseen tarvittavasta aivoverkosta korostaa niiden potentiaalia ja hyödyllisyyttä oppimisvälineenä.

Myös merkitysten rakentamisella on todettu olevan avainasema tiedon ymmärtämisessä ja muistamisessa. Kun opimme uutta tietoa, uuden ja olemassa olevan tiedon välille muodostuvat yhteydet tekevät uudesta tiedosta merkityksellistä. Vasemman aivopuoliskon otsalohkon alin poimu on tunnistettu merkityksen rakentamisen kannalta keskeiseksi rakenteeksi. Oppiessamme uutta, kyseisellä alueella ilmenee lisääntyntä toimintaa, kun yritämme ratkaista uuden tiedon merkityksen suhteen olemassa olevaan tietoon. Uusi tieto muistetaan paremmin tämän ”merkityksen muodostamisprosessin” jälkeen. Se, kuinka hyvin tieto painuu mieleen, liittyy lisääntyneen aivotoiminnan määrään vasemman aivopuoliskon otsalohkon alimmassa poimussa (Fletcher et al. 2003).

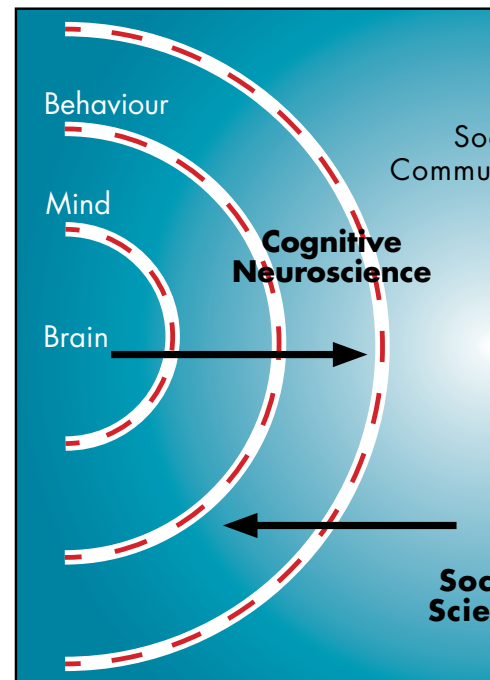
Uuden asian oppimiseen liittyvien varhaisten prosessien parempi ymmärtäminen saattaa auttaa orientoimaan opetuksen uusia lähestymistapoja. Psykologian tieto osoittaa, että luvun suuruusluokan esittäminen rivinä vasemmalta oikealle on automaattinen ja varhainen preferenssi (Berch et al. 1999). Aivokuvantamistutkimukset ovat yhdistäneet tämän kyvyn toimintaan intraparietaalisessa aivourteessa (Dehaene et al 2003), ja Goswamin (2006) mukaan tämä näyttö tukee spatiaalisia lähestymistapoja numeroiden järjestyksen ja tilan arvojen opettamisessa. Spatiaalisiin lähestymistapoihin kuuluu mm. tyhjien numerorivien käyttäminen tehokkuuden lisäämiseksi esimerkiksi yhtä numeroa suurempien lukujen yhteen- ja vähennyslaskuissa (Brammald 2000).

Tulevaisuus: voivatko kasvatustiede ja neurotiede toimia yhdessä?

Lisääntyvä tieto aivoista tuottaa odotuksia uudelle tietämykselle opetuksen alalla, ja paljon onkin jo tullut esille. Samaan aikaan neurotieteilijät ovat yhä kiinnostuneempia siitä, miten aivot toimivat enemmän ”oikeaa elämää” muistuttavissa monimutkaisissa ympäristöissä. Koulutuksen maailmasta näyttääkin tulevan mielenkiintoinen ja haasteellinen alue kognitiiviselle neurotieteelle, kun se pyrkii löytämään uusia konteksteja. Lisääntyvät yhteiset mielenkiinnon kohteet korostavat tarvetta neurotieteiden ja oppimisen alojen asiantuntijoi-

den väliselle vuoropuhelulle elämänlaajuisesta oppimisesta, joka voi olla hyödyksi molemmille aloille (Geake 2004).

Aivokuvien avulla ei tietenkään voi suoraan tehdä koulutus suunnitelmia. Tarvitaan siltä rakentavaa tutkimusta, joka tulkitsee tieteellisiä tuloksia mahdollisten interventioiden valossa sekä näiden interventioiden arviointia sopivissa oppimiskonteksteissa. Lisäksi tarvitaan yhä enemmän neurotieteen ja koulutuksen yhteistyöhankkeita, jotka huomioivat molemmat näkökulmat ja joissa opetusalan ja tieteen edustajat tekevät yhteistyötä tutkimuksen jokaisessa vaiheessa. Tällainen yhteistyö ei ole mutkatonta, sillä tieteen ja koulutuksen filosofiat ovat hyvin erilaisia. Koulutuksen tutkimuksen juuret ovat yhteiskuntatieteissä ja se korostaa sosiaalisen kontekstin ja merkitysten tulkinnan tärkeyttä. Luonnontieteellinen tutkimus on puolestaan kiinnostunut hypoteesien kontrolloidusta



Kuva 1 Kognitiivisen neurotieteen arvokkaimman tietämyksen ja koulutuksen yhteiskuntatieteellisten näkökulmien (joita nuolet edustavat) yhdistämiseksi aivot->mieli->käyttäytyminen -mallia tulee laajentaa. Kuva osoittaa, miten monimutkaisena jo kahden yksilön välinen kanssakäyminen näyttäytyy kun käyttäytyminen on sosiaalisesti välittynyttä. Tämä monimutkaisuus kuuluu pääasiassa yhteiskuntatieteiden alaan, joka tulkitsee vuorovaikutuksen merkityksiä taustalla olevan käyttäytymisen ymmärtämiseksi. Kognitiivinen neurotiede on osoittanut tärkeytensä yksilötason toiminnan ymmärtämisessä, mutta sen piirissä on vasta aloitettu koulutuksen tutkijoiden tutkimien monimutkaisten sosiaalisten tilanteiden tarkastelu (Howard-Jones, 2007).

ed this process of 'meaning making.' How much more memorable the information becomes is linked to the amount of increased neural activity in the left inferior prefrontal cortex (Fletcher et al., 2003).

A better understanding of the earliest processes involved in learning a new subject may also help orientate new approaches to main-

stream teaching. Again, psychological data suggests that we have an automatic and early preference to represent the magnitude of a number as if on a line travelling from left to right (Berch et al., 1999). Neuroimaging studies have linked this ability to activity in the intraparietal sulcus (Dehaene et al, 2003) and Goswami (2006) suggests that such evidence supports spatially-based approaches to teaching about ordinality (i.e. the order and sequence of numbers) and place value. These approaches include us-

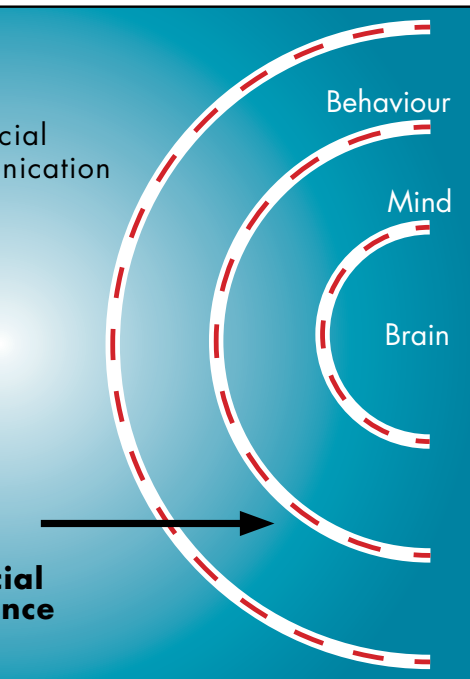


Fig 1 To interrelate the most valuable insights from cognitive neuroscience and the social science perspectives of education (represented by arrows), the brain->mind->behaviour model may need to be extended. Even two individuals interacting, as represented here, is suggestive of the complexity that can arise when behaviour becomes socially mediated. Such complexity remains chiefly the realm of social scientists, who often interpret the meaning of such communication in order to understand the underlying behaviour. Cognitive neuroscience has established its importance in understanding behaviour at an individual level but is only just beginning to contemplate the types of complex social domains studied by educational researchers (Howard-Jones, 2007).

ing empty number lines to improve efficiency when, for example, adding and subtracting numbers of more than one digit (Brammald, 2000).

The future: Can Education and Neuroscience work together?

Our burgeoning knowledge of the brain is producing expectations of new educational insights, and many of these are already beginning to surface. At the same time, neuroscientists are becoming increasingly interested in how the brain functions in complex environments more closely resembling those found in "real life". Education thus appears set to become an interesting area of challenge for cognitive neuroscience, as it attempts to explore new contexts. This sense of increasing mutual interest underlies calls for a two-way dialogue between neuroscience and experts in education across the lifespan that could helpfully inform both areas (Geake, 2004).

Of course, brain scans cannot give rise directly to training plans. There is a need for bridging studies that interpret scientific results in terms of possible interventions, and evaluation of these interventions in suitable learning contexts. Additionally, there is also a growing need for collaborations between neuroscience and education that embrace insights and understanding from both perspectives, and that involve educators and scientists working together at each stage. Such collaborations are not straightforward, since the philosophies of education and science are very different. Educational research, with its routes in social science, places strong emphasis upon the importance of social context and the interpretation of meaning. Science, on the other hand, is more concerned with controlled experimental testing of hypotheses and the development of generalisable cause-effect mechanisms. This suggests that collaborative research projects may need to extend the cognitive neuroscience model of brain->mind->behaviour (Morton and Frith, 1995), to incorporate processes of social construction pertinent to learning. Although challenging, such interdisciplinary projects may be the most effective way to co-construct and communicate concepts involving neuroscience and education that are both scientifically sound and educationally relevant (See Fig 1)

ja kokeellisesta testaamisesta ja yleistettävissä olevien syy-seurausmekanismien kehittämisestä. Tämän perusteella on todennäköistä, että yhteisten tutkimushankkeiden täytyy laajentaa kognitiivisen neurotieteen aivot->mieli->käyttäytyminen -mallia (Morton & Frith 1995) käsittämään oppimisen kannalta olennaiset sosiaalisen rakentumisen prosessit. Vaikka monitieteiset hankkeet ovat haasteellisia, ne saattavat olla tehokkain tapa rakentaa ja välittää yhteisiä neurotieteisiin ja koulutukseen liittyviä käsitteitä, jotka ovat sekä tieteellisesti päteviä että koulutuksen kannalta relevantteja (Ks. kuva 1).

Viimeaikainen esimerkki tämäntyyppisestä yhteistyöstä liittyy ilmaisu-aidon opettajien täydennyskoulutukseen. Kysymys luovuuden edistämisestä johti fMRI -tutkimukseen, johon opettajakoulutettavat osallistuivat (Howard-Jones, et al 2005). Tutkimus osoitti, että luovaan toimintaan liittyvä aivotoiminta lisääntyi sitä mukaa, kun luovan tarinan välitön ärsyke väheni. Esimerkiksi tarinan tuottaminen sanoista delfiini, jalokivi, teksti tuotti enemmän toimintaa alueilla, jotka yhdistetään luovaan toimintaan kuin tarinan tuottaminen sanoista taiteilija, siveltimeet, maali. Riippumaton raati piti luovimpina tarinoita, jotka oli tuotettu käyttäen toisiinsa liittymättömiä sanoja. Mutta fMRI -tulokset osoittavat, että tulos liittyy lisääntyneeseen "luovaan" aivotoimintaan eikä ainoastaan siihen, etteivät tarinan kolme sanaa liity toisiinsa. Opettajankouluttajat käyttivät tutkimuksen tuloksia ja muuta neurologian ja psykologian alan suomaa tietoa lisätäkseen opettajaopiskelijoiden ymmärrystä siitä, miten oppilaiden luovuutta voi tukea (Howard-Jones et al. 2007). Projektin tavoitteena on yhdessä opettajaopiskelijoiden kanssa rakentaa tieteellisesti pätevä käsitys, joka on ilmaistavissa muillekin kuin asiantuntijoille. Tämäntyyppinen tieteidenvälinen tutkimus voi olla tehokas tapa lähestyä neurotieteen ja koulutuksen haasteellista rajapintaa, jotta voidaan löytää sekä uutta tietoa että myös kehittää yhteistä kieltä, jolla voidaan ilmaista uutta tietämystä.

Varovainen optimismi on tarpeen

Aivojen ymmärtämisessä ollaan vasta alkuvaiheessa. Suurin osa tiedosta on peräisin tieteellisistä kokeista ympäristöissä, jotka ovat hyvin erilaisia kuin jokapäiväiset oppimisympäristöt. Tutkimusten soveltamista rajoittaa myös niiden keskittyminen yksittäisiin kognitiivisiin tekijöihin, jokapäiväisissä ja/tai akateemisissa tilanteissa tarvittavi-



en monipuolisten kykyjen sijaan. Monien viimeaikaisten tutkimustulosten valossa on korostunut, miten vähän jopa näistä perustekijöistä tiedetään. Tämän ja muut rajoitteet huomion ottaen on tarvetta sekä varovaisuudelle että molempien alojen asiantuntemukselle, kun yritetään vaihtaa käsitteitä neurotieteiden ja koulutuksen välillä. Toisaalta nykyisen neurotieteellisen tiedon merkityksen huomioimatta jättäminen koulutuksessa olisi terveen järjen vastaista.

Molempien alojen tutkijakunnissa yhä useampi jakaa käsityksen siitä, että neurotieteillä on perustavanlaatuisen ja jatkuvasti lisääntyvä koulutuksellinen merkitys, jota tulisi tutkia harkiten. Epätieteellisten aivoihin liittyvien käsitysten on annettu kukoistaa ja ne vaikuttavat opetukseen ja oppimiseen. Näitä käsityksiä tulee arvioida tieteellisesti ja koulutuksen kannalta. Näköpiirissä oleva kehitys, mukaan lukien aivotoiminnan parantaminen, korostaa tarvetta koulutusnäkökulmille, jotka ottavat paremmin huomioon neurotieteen saavutukset. Tulevaisuudessa neurotiede lupaa positiivisia vaikutuksia useille tärkeille alueille koulutuksessa: sen menettelytapoihin, käytäntöön ja kokemukseen. Jotta lupaukset voidaan täyttää menestyksekkäästi, tarvitaan laajaa ja harkittua koulutuksellista ja tieteellistä tutkimusta.

Huom. Tämä kirjoitus on yhteenveto kirjoittajan laajemmasta katsauksesta tämänhetkiseen tutkimukseen ja ajatteluun neurotieteen ja koulutuksen alalla (ks. Howard-Jones, 2007).



A recent example of this type of collaboration arises in the professional development of drama teachers. Here, an educational question about the fostering of creativity resulted in an fMRI study in which trainee teachers participated (Howard-Jones, et al, 2005). The study revealed that brain activities associated with creative effort increased when the initial stimuli for a creative story decreased in their relatedness to each other. For example, producing a story that includes the words 'dolphin, jewel, print' produced more activity in areas associated with creative effort than 'artist, brushes, paint'. The stories produced using unrelated words were also judged as more creative by an independent panel, but the fMRI results suggest this is linked to increased 'creative' brain activity rather than arising simply from the story including three unrelated words. These results, combining insights at an educational and brain level, support the value of such strategies in fostering creativity and have prompted further insights into their application. Teacher trainers are now using the results of this study, together with other insights from neuroscience and psychology, to help enhance trainees' understanding about fostering creativity in their pupils (Howard-Jones et al., 2007). The project aims to co-construct, with the trainee teachers, an understanding that is scientifically valid and suitable for non-specialist communication. Such interdisciplinary research may be an efficient way to approach the challenging interface between neuroscience and education, both

in terms of revealing new insights and through the development of a common language by which to express them.

The Need for Cautious Optimism

We are still at an early stage in our understanding about the brain. Most of what we know arises from scientific experimentation, in environments that differ greatly from everyday learning contexts. Another limitation in applying such studies is their focus upon individual cognitive factors rather than the complex abilities required in everyday and/or academic settings. And, even in respect of these basic cognitive factors, many recent findings have served to emphasise how much more there is to know. Bearing this and other limitations in mind, considerable caution needs to be applied when attempting to transfer concepts between neuroscience and education. Such attempts need to be well-informed by expertise from within both fields. On the other hand, to ignore the relevance of present neuroscientific understanding to education flies in the face of a common sense connection. There is a belief, shared by an increasing number of researchers in both fields, that neuroscience has a fundamental and increasing relevance to education that needs to be cautiously explored. More pressingly, popular ideas about the brain have flourished without check and are impacting upon teaching and learning already. Such ideas deserve improved scientific and educational evaluation. New developments on the horizon, including the enhancement of brain function, further emphasise the need for educational perspectives that include a greater understanding of developments within neuroscience. In the future, neuroscience promises to positively influence the policy, practice and experience of education in a number of important areas, but the full and successful realization of that promise will require careful educational and scientific scrutiny at all stages.

NB This document summarises the author's broader review of current research and thinking in the area of neuroscience and education (see Howard-Jones, 2007).

3.2 Työmuisti läpi elämänkaaren: kognition, kehityksen ja neurotieteen tutkimuksen näkökulmia

Sue Pickering Mikä työmuisti on?

Työmuistin käsite on kehittynyt huomattavasti viimeisen kolmen vuosikymmenen aikana. Suuri osa kehitystyöstä juontaa juurensa Baddeleyn ja Hitchin vuonna 1974 esittelemään malliin. Ennen heidän malliaan väliaikainen muisti ymmärrettiin sensoristen puskureiden ja lyhytkestoisen aistimuistin aktiviteetin kautta, kuten ns. Modal model -malleissa (esim. Atkinson & Shiffrin 1968). Alettiin ymmärtää, että Modal model -mallit eivät kykene selittämään tapaa, jolla muistijärjestelmä toimii. Tämä johti määrittämään dynaamisesta ja moniosaisesta työmuistista (Baddeley & Hitch 1974; Baddeley 1986), jossa painotetaan erityisesti sen ymmärtämistä, miten työmuistiprosessit osallistuvat jokapäiväisten kognitiivisten tehtävien suorittamiseen.

Työmuistimallissa on kolme osaa: keskusyksikkö sekä kaksi alajärjestelmää: fonologinen silmukka ja visuospatiaalinen lehtiö. Aluksi tutkimus keskittyi enimmäkseen fonologiseen silmukkaan, ja useat erilaiset tutkimukset näyttivät osoittavan, että tämä osa muodostuu kahdesta toisilleen sukua olevasta alakomponentista: fonologisesta taltiosta ja artikulatorisesta kontrolliprosessista eli äänteiden toistamisjärjestelmästä, joista jälkimmäinen kykenee palauttamaan varaston sisällön mieleen estääkseen muistijäljen häipymisen. Kuten nimi kertoo, fonologisen silmukan käyttämän representaatiokoodin arveltiin pohjautuvan puheeseen, eikä muuta kuuloaistein vastaanotettavaa tietoa olisi käsitelty tässä työmuistijärjestelmän osassa. Tukea fonologisen silmukan olemassaolosta on tullut useista lähteistä, mukaan lukien lapsille ja aikuisille tehdyt kokeelliset tutkimukset sekä tutkimus, jossa tarkasteltiin neuropsykologisia potilaita, joilla oli tiettyjä fonologisen työmuistin häiriöitä. Viimeaikainen neurotieteellinen tutkimus on osoittanut, että fonologinen taltio ja kertaillujärjestelmä (rehearsal system) voidaan yhdistää Brodmannin alueisiin 40 ja 44, jotka sijaitsevat vasemmassa aivopuoliskossa (Baddeley 2000).





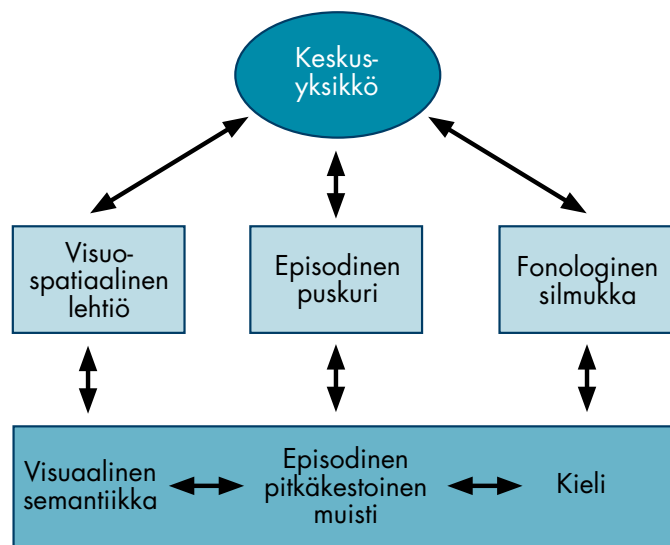
3.2 Working Memory Across the Lifespan: Evidence from Cognitive, Developmental and Neuroscientific Research

Sue Pickering What is working memory?

The concept of working memory has come along way over the last three decades and much of the work in this area owes a great deal to the model originally proposed by Baddeley and Hitch in 1974. Before this time, temporary memory was understood in terms of the activity of sensory buffers and a unitary short-term store, as embodied in so-called 'modal models' of memory (e.g. Atkinson & Shiffrin, 1968). A growing realisation that modal models were unable to account for the way that the human memory system appeared to function led to the specification of a dynamic and multi-component working memory model (Baddeley & Hitch, 1974; Baddeley, 1986), with a specific emphasis on understanding how working memory processes contributed to everyday tasks of cognition.

The working memory model comprised three components: a central executive and two slave systems, referred to as the phonological loop and the visuo-spatial sketchpad. Early research focussed largely on the phonological loop. Findings from a range of studies suggested that this component was made up of two related subcomponents: a phonological store and an articulatory rehearsal system, the latter capable of refreshing the contents of the store to prevent decay of the memory trace. As the name suggests, the representational code used by the phonological loop was suggested to be speech-based; other forms of auditory input did not seem to be handled by this part of the working memory system. Evidence to support the existence of a phonological loop has come from a number of sources, including experimental studies with children and adults and the study of neuropsychological patients with selective impairments in phonological working memory. More recent neuroscientific work has indicated that the phonological store and the rehearsal system are associated

Visuospatiaalista lehtiötä on tutkittu vähemmän ja sen oletetaan vastaavan visuaalisen ja spatiaalisen tiedon väliaikaisesta ylläpitämisestä. Tämä työmuistin alajärjestelmä on osoittautunut edellistä vaikeammaksi tutkia, johtuen lapsuuden aikana tapahtuvista tärkeistä kehityksellisistä työmuistin muutoksista. Jos lapselle esitetään visuaalista tietoa (esim. nimettävissä olevia kuvia), viisivuotiaat ja sitä nuoremmat näyttävät muistavan tiedon kuvina, kun taas noin kahdeksan vuoden iässä lapset alkavat fonologisesti koodata uudeelleen visuaalista tietoa. Toisin sanoen, he liittävät asiaan kielellisen merkin, kuten nimen tai määritelmän (Hitch, Halliday, Schaafstal & Schraagen 1988; Hitch, Halliday, Schaafstal & Heffernan 1991). Ollen puheeseen pohjautuvaa, tämä tieto tallennetaan fonologiseen varastoon (sen sijaan tai sen lisäksi, että se tallentuisi visuospatiaaliseen lehtiöön). Viime vuosina on tullut käyttöön kaksi testimenetelmää, joiden avulla voidaan arvioida visuospatiaalisen lehtiön toimintaa, Corsi Blocks Test (Milner 1971) ja Visual Patterns Test (Della Sala, Baddeley, Gray & Wilson 1997). Näiden menetelmien avulla on saatu tukea siihen, että myös visuospatiaalinen lehtiö muodostuu kahdesta alakomponentista tai -järjestelmästä. Edelleen keskustellaan siitä, mikä näiden komponenttien luonne tarkalleen on (visuaalinen/



Kuva 1. Nykyinen versio työmuistin mallista (muokattu Baddeleyn pohjalta, 2000)

spatiaalinen, staattinen/dynaaminen, aktiivinen/passiivinen – ks. Pickeringin katsaus 2001a). Tosin neuropsykologiset potilaskokeet näyttävät osoittavan, että yhden visuospatiaalisen alakomponentin häiriintyminen on mahdollista ilman että toinen häiriintyy (esim. Della Sala, Gray, Baddeley, Allamano & Wilson 1999). Tämä työmuistin järjestelmän aspekti liittyy oikeaan aivopuoliskoon (alueet 6, 19, 40 ja 47) (Baddeley 2000).

Vielä reilu 10 vuotta sitten tietämys keskusyksikön työmuistikomponentin rakenteesta ja toiminnasta oli kovin vajavaista, kunnes päätettiin alkaa määrittää tarkemmin joitain tämän muistijärjestelmän osan suorittamia toimintoja. Pyrkimyksenä oli kehittää menetelmiä, joilla näitä toimintoja voitaisiin tutkia ja näin selvittää keskusyksikön kapasiteettirajoitukset (Baddeley 1996). Lähtökohtana toimi Normanin ja Shallicen (1986) malli tarkkaavaisuusprosesseista, ja esitettiin neljä mahdollista keskusyksikön prosessia: kyky jakaa tarkkaavaisuutta, keskittää tarkkaavaisuutta, siirtää tarkkaavaisuutta ja yhdistää työmuistin sisältö pitkäkestoiseen muistiin (ks. Repovs & Baddeley 2006). Edelleen keskustellaan siitä, onko keskusyksiköllä varastointikapasiteettia. Kokeelliset ja neuropsykologiset tutkimukset näyttävät osoittavan, että keskusyksikkö on jaettavissa neljään yllä mainittuun prosessiin, joissa voi esiintyä sekä häiriöitä että normaalia toimintaa (esim. Baddeley, Baddeley, Bucks & Wilcock 2001). Keskusyksikön toiminta on liitetty aivojen etuotsalohkoihin (Baddeley 2000). Ei siis ole sattumaa, että osalle potilaista, joilla on vaurio tällä aivojen alueella, diagnoosi on ollut dyseksektiivinen syndrooma, sekä useita tarkkaavaisuuden ongelmia.

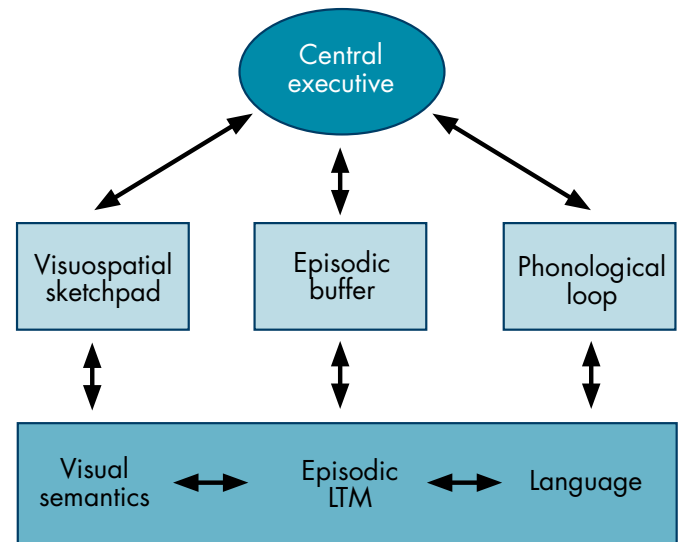
Vuonna 2000 Baddeley esitti kolmiosaisen työmuistimalliin lisäystä, jota kutsutaan episodiseksi puskuriksi. Kuvassa 1 esitetään mallin nykyinen versio. Episodinen puskuri päätettiin lisätä malliin, kun saatiin uutta tietoa, jota ei voitu käsitellä tehokkaasti kolmikomponenttimallin avulla. Episodisen puskurin alle siirrettiin se keskusyksikön prosessi, joka liittää työmuistin sisällön pitkäkestoiseen muistiin. Todettiin, että episodinen puskuri kykenee tallettamaan tietoa moniulotteisena koodina. Keskusyksikkö kontrolloi episodista puskuria, ja sen ajatellaan toimivan väliaikaisena rajapintana kahden alajärjestelmän ja pitkäkestoisen muistin välillä. Näin se mahdollistaa useasta lähteestä tulevan tiedon sitomisen yhtenäiseksi tapahtumiksi. Baddeley (2000) on esittänyt, että episodisen puskurin yhdistäminen tiettyyn aivojen alu-

with locations in the left-hemisphere of the brain known as Brodmann areas 40 and 44, respectively (Baddeley, 2000).

Less research has been carried out to investigate the visuo-spatial sketchpad, however, the slave system thought to be responsible for the temporary maintenance of information in visual and spatial form. This aspect of working memory has proved more difficult to study as a consequence of an important developmental change in the use of working memory during childhood. When presented with information in visual form (e.g. nameable pictures) children of around 5-years of age and younger tend to remember the items as images. However, by the age of around 8 years, children have begun to phonologically recode visually-presented information, that is, they produce a verbal label for the item, such as a name or description (Hitch, Halliday, Schaafstal & Schraagen, 1988; Hitch, Halliday, Schaafstal & Heffernan, 1991). Being speech-based, this information is therefore stored in the phonological store (instead of, or in addition to, the visuo-spatial sketchpad). In recent years, two tests have emerged as good measures of visuo-spatial sketchpad function – the Corsi Blocks test (Milner, 1971) and the Visual Patterns Test (Della Sala, Baddeley, Gray & Wilson, 1997). Using these tests, evidence has been provided to suggest that the visuo-spatial sketchpad is also made up of two subcomponents. Debate exists as to the precise nature of the subcomponents (visual/spatial, static/dynamic, active/passive – see Pickering, 2001a, for a review), however evidence from neuropsychological patients points to the possibility that one subcomponent of the visuo-spatial sketchpad can be impaired while the other is spared (e.g. Della Sala, Gray, Baddeley, Allamano & Wilson, 1999). This aspect of the working memory system is linked with the right hemisphere of the brain (areas 6, 19, 40 and 47) (Baddeley, 2000).

Our understanding of the structure and function of the central executive component of working memory remained rather hazy until just over a decade ago. At this point a decision was made to begin to specify some of the functions that were thought to be carried out by this part of the memory system, to develop methods for studying these functions, and to establish the limits of the capacity of the central executive (Baddeley, 1996). Drawing on the model of attentional control developed by Norman and Shallice (1986), four possible central executive processes were proposed: the ability to divide attention, to

Figure 1. The current version of the working memory model (adapted from Baddeley, 2000)



focus attention, to switch attention, and to relate the contents of working memory to long-term memory (see Repovs & Baddeley, 2006, for a recent review). Debate exists as to whether the central executive has storage capacity. Evidence from experimental and neuropsychological research suggests that the central executive is fractionable, with the possibility of impairments and spared functioning in the four areas outlined above (e.g. Baddeley, Baddeley, Bucks & Wilcock, 2001). Central executive functioning has been associated with the frontal lobes of the brain (Baddeley, 2000) and it is no coincidence, therefore, that some patients with damage to this area of the brain have been referred to as having 'dysexecutive syndrome', and to manifest with a range of problems linked to attention.

In 2000, Baddeley proposed an addition to the tripartite working memory model, referred to as the episodic buffer. The current version of the model is shown in Figure 1. As data was beginning to come to light that could not be handled well by the three-component model, a decision was made to include the episodic buffer and to transfer one of the processes associated with the central executive – relating the contents of working memory to long-term memory – to

eeseen on epätodennäköistä. Mutta koska keskusyksikön toiminnalla puskurissa on ratkaiseva rooli, frontaalialueet voivat olla tärkeitä.

Kuinka työmuistia voidaan mitata?

Perinteisesti työmuistia on mitattu käyttäen erilaisia tehtäviä, joissa tietoa esitetään ja palautetaan mieleen välittömästi. Muistikapasiteetti-tehtävissä esitetään erityyppistä informaatiota, jotta voidaan erottaa työmuistijärjestelmän toiminnan eri muotoja (ks. Pickering 2006a). Fonologisen silmukan komponenttia tutkittaessa esimerkiksi numeromuistitehtävä (digit span) on vakiintunut mittaamenetelmä. Tehtävässä tutkittava kuulee (tai lukee) numerosarjan ja palauttaa sarjan mieleen: oikean yksikön, oikeassa järjestyksessä. Kun sarjojen yksiköiden määrää lisätään tasaisesti, voidaan osoittaa tutkittavan henkilön työmuistin kapasiteetti (niiden yksiköiden määrä, jotka hän pystyy palauttamaan mieleen oikein). Fonologisen silmukan suoritus voidaan mitata myös käyttämällä sanoja, merkityksettömiä sanoja sekä muita fonologisia yksiköitä.

Kuten aiemmin todettiin, visuospatiaalisen lehtiön mittaaminen on osoittautunut vaikeaksi, vaikka kuvion tunnistamiskapasiteetin (visual pattern span) (kuinka monta ristikon sisällä olevaa numeroitua neliötä voidaan palauttaa mieleen) ja Corsi block -kapasiteetin (sarjan pituuden osoittaminen 9 kuution sijainnin avulla) arviointi onnistuu yllä kuvatulla testillä.

Keskusyksikköön liittyy useita eri prosesseja ja siksi onkin kehitetty useita erilaisia tehtäviä, joilla voidaan mitata tätä työmuistin aluetta. Tarkkaavaisuuden kohdentamisen kykyä on arvioitu tehtävillä, kuten random number generation (annetaan niin satunnaisia numerosarjoja kuin mahdollista), kun taas kykyä jakaa tarkkaavaisuutta on arvioitu vertaamalla suoritusosaa tietyssä tehtävässä siihen, että kyseistä tehtävää suoritetaan samanaikaisesti toisen tehtävän kanssa kaksoistehtävätilanteessa.

Huomion siirtämistä (attention switching) tarvitaan, kun vaihdetaan yhdestä tehtäväkokonaisuudesta (attentional set) (esim. yhteenlasku) toiseen (esim. vähennyslasku). Lisäksi useiden tehtävien avulla voidaan arvioida osallistujien joustavuutta tehtävävaihdos-

sa silloin kun he toimivat aikapaineessa. Viimeisenä mainittakoon työmuistisiltehtävät (vs. lyhytkestoisen muistin tehtävät, kuten numerosarjatehtävä), joita on käytetty arvioimaan sitä työmuistin toimintaa, jossa yhdistyy informaation varastoiminen ja samanaikainen informaation prosessointi. Toisin kuin numeromuistitehtävässä, jossa palautetaan mieleen yksiköitä, osallistujia pyydetään muistamaan sarja (esim. numerosarja) ja suorittamaan jonkinlaista prosessointia (esim. matemaattista laskutehtävää). Tällaiset tehtävät tukeutuvat hyvin todennäköisesti useisiin keskusyksikön toimintoihin sekä alajärjestelmien varastointikapasiteettiin.

Vuonna 2001 Sue Gathercole ja kirjoittaja kehittivät standardoidun WMTB-C -testistön (Working Memory Test Battery for Children), jonka avulla voidaan arvioida 4–15-vuotiaiden lasten työmuistikykyä. Se perustuu yllä kuvattuun kolmiosaiseen malliin ja sisältää 10 osakoetta, jotka on suunniteltu mittaamaan työmuistijärjestelmän kolmen osa-alueen suorituskykyä. WMTB-C -tutkimukset ovat tähän saakka tuottaneet tärkeää tietoa työmuistin kehityksestä, sen roolista opintosuorituksissa ja siitä, millaisia työmuistin ongelmia liittyy oppimisvaikeuksiin. Seuraavassa kappaleessa tarkastellaan näitä seikkoja laajemmin.

Millainen rooli työmuistilla on elämässä ja oppimisessa?

Kun tarkastellaan työmuistin toimintaa, vaikuttaa selvältä, että näin merkittävällä ihmisen tiedonkäsittelyn osa-alueella on hyvin tärkeä rooli päivittäisessä elämässämme ja erityisesti oppimisessa. Esi-merkit kognitiivisen, kehitys- ja neurotieteellisen tutkimuksen alalta auttavat muodostamaan kuvan siitä, mikä on työmuistin merkitys koulutuksen eri alueilla, ja antaa viitteitä siitä mitä työmuistiongelmista saattaa seurata. Lisäksi tutkimalla lasten, aikuisten ja vanhusien työmuistia, saadaan käsitys siitä, miten tämä kognitiivinen toiminto muuttuu iän myötä.

Pienet lapset suoriutuvat työmuistitesteistä heikosti, mutta suoritus näyttää paranevan läpi lapsuuden (Gathercole, Pickering, Ambridge & Wearing 2004). Mikä sitten aiheuttaa suorituksen parantumisen? Fonologisen silmukan kohdalla nähdään tärkeä muutos noin seitsemän vuoden iässä siinä, kuinka lapset lähestyvät työmuistitehtäviä. Äänetön kertaaminen (muistettavan listan äänetön toistaminen ennen

this new component. The episodic buffer was suggested to be capable of storing information in a multi-dimensional code. Controlled by the central executive, it is thought to provide a temporary interface between the two slave systems and long-term memory therefore allowing the binding of information from a number of sources into coherent episodes. Baddeley (2000) has suggested that the episodic buffer is unlikely to be associated with one specific area of the brain, although given the crucial role of the central executive in its operation, frontal areas may well be important.

How can we measure working memory?

Working memory is traditionally measured using a series of tasks in which information is presented and then immediately recalled. Often referred to as 'span' tasks, different types of information can be presented to tap different aspects of the functioning of the working memory system (see Pickering, 2006a, for a review). For example, a very well-established measure of the phonological loop component is the digit span task, in which a participant hears (or reads) a sequence of numbers and then recalls the sequence: correct items in the correct order. By steadily increasing the number of items in the sequence, a person's digit span (the number of items that they can recall correctly) can be established. Phonological loop performance can also be measured using words, nonsense words and other phonological items.

As indicated earlier, measuring the visuo-spatial sketchpad has proved more difficult, although a measure of visual pattern span (based on the number of filled squares in a grid that can be recalled) and a Corsi blocks span (indicating the length of a sequence tapped out across a series of 9 blocks attached to a board) can be achieved using the tests described above.

Given the range of different processes associated with the central executive, a number of different tasks have been developed to measure this component of working memory. The capacity to focus attention has been measured using tasks such as random number generation (giving a series of numbers that is as random as possible), whereas the capacity to divide attention has been

measured by comparing performance in a single-task and a dual-task situation. Attention switching is required when we have to move from one attentional 'set' (e.g. carrying out addition) to another (e.g. carrying out subtraction), and a number of tasks have measured the flexibility with which participants can change set, often under time pressure. Finally, a range of tasks known as 'complex span' tasks (as opposed to 'simple span' tasks, such as digit span) have been used to measure the aspect of working memory functioning that combines storage of information with simultaneous processing of information. Rather than just recalling a sequence of items, as in the case of digit span, participants are required to store a sequence (e.g. a sequence of numbers) and carry out some form of processing (e.g. arithmetic). Tasks such as this are likely to draw on a range of central executive processes, as well as the storage capacity of the slave systems.

In 2001, Sue Gathercole and myself developed a standardised test of working memory performance for children aged between 4 and 15 years: the Working Memory Test Battery for Children (WMTB-C). Based on the tripartite model described above, the battery includes 10 subtests designed to measure performance across the three components of the working memory system. Studies using the WMTB-C have so far provided important information about the development of working memory, its role in educational performance, and the extent to which problems with working memory are found in individuals with learning problems. These issues are explored in more detail below.

What role does working memory play in life and learning?

Having described the characteristics of working memory, it seems clear that such a powerful aspect of human cognition is likely to play an important role in many aspects of our daily life, and in particular, in learning. Evidence from cognitive, developmental and neuroscientific research is helping us to build up a picture of how working memory might contribute to educational performance in a range of domains, and what the implications of deficits in the working memory system might be. In addition, by studying working memory in children, adults, and older adults, an account

mieleen palauttamista) on strategia, jonka käyttämisellä on suuri merkitys siihen, kuinka paljon tietoa voidaan palauttaa mieleen. Ennen seitsemättä ikävuotta lapset käsittelevät muistilistoja melko passiivisesti tai käyttävät alkeellista kertailutapaa, mutta eivät pysty toistamaan yksiköitä kumulatiivisesti. Käytettäessä fonologisen silmukan artikulatorista kertailuprosessia pitämään muistijäljet aktiivisina, mieleen palautuksen taso paranee huomattavasti. Samoin fonologisen uudelleen koodauksen käyttö (ja sitä seuraava äänetön toistaminen) voi parantaa visuaalisesti esitetyn tiedon – kuten kirjoitettujen sanojen ja kuvien – muistamista. Vähemmän kuitenkin tiedetään mahdollisista suorituksen parantumiseen vaikuttavista tekijöistä tehtävissä kuten Corsi block- ja Visual pattern span. Iän karttuessa suorituksen parantumiseen voivat myötävaikuttaa useat tekijät, mukaan lukien yleisen tarkkaavaisuuskyvyn ja strategisen kyvyn lisääntyminen (ks. Pickeringin katsaus 2001b). Keskusyksikön kehittymistä lapsuuden aikana ei ymmärretä vielä hyvin, vaikkakin tiedetään, että aivojen otsalohkot kehittyvät hitaasti ja tarvitsevat melkein 20 vuotta saavuttaakseen kypsyyden (esim. Yakovlev & Lecours 1967). Ikääntymisen tuomat muutokset keskusyksikön toiminnassa voivat hyvinkin olla riippuvaisia siihen liittyvästä aivojen rakenteiden kypsymisestä sekä lisääntyvästä strategisesta toiminnasta, joka on yleistä muille kognitiivisille tehtäville.

Ikäskaaan toisessa päässä, ikääntyneiden aikuisten tutkimus on pyrkinyt erottamaan onko työmuistin suorituksessa osa-alueita, jotka heikentyvät ikääntymisen myötä. Aineisto tukee käsitystä, että kaikki työmuistin toiminnan osa-alueet eivät heikkene iän myötä. Treitz, Heyder ja Daum (2007) huomasivat, että kyky jakaa tarkkaavaisuutta ja estää ei-haluttu ärsyke oli huonointa yli 60-vuotiailla verrattuna alle 60-vuotiaisiin. Tosin arvioitaessa muistia, kielellisiä taitoja ja päättelykykyä, ei eroja löydetty lainkaan. Muu tutkimus (van Gerven et al. 2007) tukee näkemystä, että yleisen prosessointinopeuden hidastumisen lisäksi inhibitorinen kontrolli eli kyky jättää huomioimatta epäolennaisia tekijöitä on tärkeä kognitiiviseen vanhenemiseen liittyvä tekijä. 65 ikävuoden jälkeen aivojen muutoksen osalta on huomattu selkeää volyymin vähenemistä otsalohkoissa ja hippokampuksessa, sekä hermosoluihin liittyvää kutustumista, dentiittisen ja synaptisen tiheyden vähenemistä ja muutoksia välittäjäainejärjestelmissä (Treitz et al. 2007). Niinpä, kuten pienillä lapsilla, myös ikääntyvillä aikuisilla neurolo-

giset muutokset voivat vaikuttaa työmuistitehtävistä suoriutumiseen, ja erityisesti niihin tehtäviin, jotka ovat yhteydessä keskusyksikön toimintaan.

Kuinka työmuistin suorituskyvyn kehitysmuutokset liittyvät oppimiseen ja mikä merkitys työmuistilla on eri alojen oppimissaavutuksissa? Tutkimustulokset puhuvat enenevässä määrin sen puolesta, että työmuistilla on merkitystä oppimiselle, ja lisäksi eri aspektit työmuistin toiminnassa saattavat olla tärkeitä koulutuksen eri aloilla ja oppimisen eri vaiheissa. Kirja *Working Memory and Education* (Pickering 2006b) yhdistää tutkimukset työmuistista ja kasvatuksesta ja osoittaa fonologisen silmukan, visuaalisen lehtiön ja keskusyksikön tärkeyden omaksuttaessa taitoja, kuten lukeminen, luetun ymmärtäminen ja matematiikka. Laaja tutkimusaineisto viittaa siihen, että juuri fonologisella silmukalla on ratkaiseva merkitys kielien oppimiseen (esim. Baddeley, Gathercole & Papagno 1998). Muut tutkimukset viittaavat visuospatiaalisen lehtiön merkitykseen matematiikan oppimisen varhaisessa vaiheessa, mutta antavat tilaa myös fonologiselle silmukalle ja keskusyksikölle matemaattisen taidon myöhäisemmässä kehityksessä (ks. esim. Bull & Espy 2006). Episodisen puskurin rooli oppimisessa on edelleen määrittämättä, mutta koska sen uskotaan toimivan linkkinä työmuistin ja pitkäkestoisen muistin välillä, on sen vaikutus todennäköisesti huomattava. Lapsen ikä, mitä taitoa opetellaan ja jopa käytettävä opetusmetodi voivat vaikuttaa siihen, mitä eri työmuistin osia tarvitaan. Kun on tutkittu kuuroja sekä henkilöitä, joilla on tarkkaavaisuushäiriötä, lukihäiriö tai koordinaatiokyvyn kehityksellisiä häiriöitä, tutkimukset ovat antaneet tietoa siitä, millä työmuistin toiminnan osa-alueilla on mahdollisesti häiriöitä (ja yhtä merkityksellisesti, millä osa-alueilla ei ole mitään häiriöitä) (ks. Pickering 2006b). Tämä tieto on tarpeellista useista syistä. Oppimisvaikeuksista kärsivän henkilön kognitiivisen profiilin selkeä ymmärrys (ts. vahvuudet ja heikkoudet) voi tarjota erittäin käyttökelpoisen pohjan kuntoutusmenetelmien kehittämiselle sekä antaa lisää tietoa joistakin kehityksen häiriöistä. Käyttämällä WMTB-C -koetta on saatu tutkimusaineistoa, joka viittaa siihen, että oppilaat jotka saavat huonoja tuloksia oppimisen tasoa mittaavissa National Curriculum attainment -kokeissa sekä erityisoppilaat ja oppilaat, joilla on kehityshäiriöitä – kuten lukihäiriö – suoriutuvat heikosti joillakin työmuistin alueilla (Gathercole, Brown & Pickering 2003;

of how this cognitive function changes with age is also beginning to develop.

Very young children perform poorly on tests of working memory, but performance tends to increase across childhood (Gathercole, Pickering, Ambridge & Wearing, 2004). What causes this increase in performance? In the case of the phonological loop, an important change in the way that children approach working memory tasks begins at about 7 years of age. Subvocal rehearsal (the covert repetition of a memory sequence prior to recall) is a strategy that makes a significant difference to the amount of information that can be recalled. Before the age of 7 years, children tend to deal with memory lists in a rather passive way, or they may use a rudimentary form of rehearsal, but fail to repeat the items cumulatively. By utilising the articulatory rehearsal component of the phonological loop to keep memory sequences refreshed, accuracy of recall increases significantly. Similarly, the use of phonological recoding (and subsequent subvocal rehearsal) can increase recall for visually presented information, such as words or pictures. Less is known about possible causes of increases in performance on tasks such as the Corsi blocks and Visual pattern span task, however. A number of factors may contribute to better performance with increasing age, including a general increase in attention and strategic ability (see Pickering, 2001b, for a review). Development of the central executive across childhood is not well understood at this point, although it is known that the frontal lobes of the brain are slow to develop, taking almost two decades to reach maturity (e.g. Yakovlev & Lecours, 1967). Age-related changes in performance on central executive tasks may well depend on maturation of the brain structures involved, as well as increases in strategic behaviour common to other cognitive tasks.

At the other end of the age spectrum, research with older adults has sought to identify which, if any, aspects of working memory performance show a decline in later life. Evidence suggests that not all aspects of working memory functioning are negatively affected by aging. Treitz, Heyder and Daum (2007) found that dividing attention and inhibiting unwanted stimuli were worse in participants over the age of 60 compared to adults below this age. However, there was no difference in performance on tasks

that measured memory, verbal fluency and reasoning. Other research (van Gerven et al., 2007) supports the view that inhibitory control is an important factor in cognitive aging, in addition to a reduction in general processing speed. In terms of brain changes, significant loss of volume in the frontal lobes and hippocampus has been noted, and neuronal shrinkage, loss of dendritic and synaptic density and alterations in neurotransmitter systems have all been suggested to occur after the age of 65 years (Treitz et al., 2007). Thus, as for young children, changes at the neurological level may have an effect on performance of working memory tasks; especially those linked the function of the central executive.

How do developmental changes in working memory performance link to the process of learning, and what role does working memory play in our achievements in a range of educational domains? Evidence is now building to suggest that working memory does play a role in learning, and moreover, different aspects of working memory functioning may be important for different domains of education and at different stages of learning. In 'Working Memory and Education' (Pickering, 2006b) research linking working memory and education is brought together, illustrating the importance of the phonological loop, visual sketchpad and central executive in the acquisition of skills such as reading, reading comprehension and arithmetic. A large body of evidence suggests that the phonological loop, in particular, is crucial in language learning (e.g. Baddeley, Gathercole & Papagno, 1998). Other research implicates the visuo-spatial sketchpad in early arithmetic acquisition, but gives a role to the phonological loop and central executive in later aspects of arithmetic development (see e.g. Bull & Espy, 2006). The role of the episodic buffer in learning still remains to be established, however given that this part of the memory system is thought to link working memory and long-term memory, its contribution is likely to be significant. The type of skill being acquired, the age of the child, and even the teaching methods used may have a bearing on the extent to which each of the different components of working memory are called upon at any time.

In addition, research with individuals with attention disorders, dyslexia and developmental disorders of coordination, and

Gathercole, Pickering, Knight & Stegmann 2004; Pickering & Gathercole 2004). Aikuisilla saadut tutkimustulokset viittaavat siihen, että myöhemässä elämänvaiheessa koulutuksella saattaa olla suojeleva vaikutus kognitiiviseen toimintaan (Alley, Suthers & Crimmins 2007), tosin tästä tiedetään vielä vähän. Kasvava tietämys koskien aivojen muotoutuvuutta läpi elämänkaaren auttaa varmasti muodostamaan kuvan siitä, kuinka koulutus ja kognitiiviset toiminnot, kuten työmuisti, ovat vuorovaikutuksessa ja kuinka ne vaikuttavat toisiinsa.

Pitäisikö meidän pyrkiä parantamaan työmuistiamme?

Viimeinen keskustelunarvoinen seikka on, missä määrin työmuisti on muokattavissa. Tutkimusaineisto näyttää osoittavan, että ainakin jotkut oppimisaktiiviteetit ovat riippuvaisia työmuistista eli kyvystä varastoida tietoa lyhyeksi ajaksi; kyvystä varastoida ja prosessoida tietoa samanaikaisesti; sekä kyvystä keskittää, jakaa ja siirtää tarkkaavaisuutta ja yhdistää tietoa työmuistista ja pitkäkestoisesta muistista yhtenäisiksi tapahtumiksi. Jos nämä tutkimustulokset pitävät paikkansa ja jos työmuistin yksilöllinen vaihtelu on yhteydessä oppimismenestykseen eri aloilla, tulisiko meidän pyrkiä parantamaan työmuistiamme? On olemassa ainakin kolme tapaa, joiden avulla voimme yrittää parantaa työmuistisuoritusta. Ensimmäinen liittyy yksilöä ympäröivään muuttuvaan ympäristöön oppimisen aikana. Toisin sanoen, jos lapsella on heikko työmuisti, luokassa tehtävät aktiiviteetit voidaan suunnitella minimoimaan työmuistin kuormitusta, esimerkiksi tarjoamalla tietoa siten, että lapsen ei tarvitse ylläpitää sitä työmuistissa vaan työmuistista vapautuu tilaa muulle kognitiiviselle prosessoinnille (ks. Gathercole, Lamont & Alloway 2006). Toinen tapa liittyy metakognitiivisten taitojen kehittämiseen, kuten esimerkiksi tietoisuuteen muistin rajoituksista ja ymmärrykseen strategioista, joilla autetaan mieleen palauttamista. Kolmas tapa liittyy muistin harjoittamiseen. Jos työmuistia voidaan kehittää, toistuva muistitehtäväharjoitus voi johtaa parempaan suoritukseen. Tämä on kuitenkin vielä kiistanalainen väite, mutta muutamissa tutkimuksissa harjoittelun on osoitettu parantavan työmuistisuoritusta (esim. Klingberg, Forssberg & Westerberg 2002; Olesen, Westerberg & Klingberg 2004). Viimeaikaiset omat laboratoriotutkimuksemme osoittavat, että lasten työmuistia voidaan

parantaa harjoittelemalla ja ainakin yhdessä tutkimuksessa se johti myös parempiin suorituksiin matematiikassa.

Työmuistin avulla ei voida selittää kaikkia ihmisen toiminnan kannalta keskeisiä oppimisen ja elämän kysymyksiä. Työmuisti tarjoaa kuitenkin hyvin lupaavan viitekehyksen useille erittäin tärkeille kysymyksille. Jatkotutkimusten myötä selkiytyy kuva siitä, miten työmuisti muuttuu iän myötä läpi elämän ja mikä on työmuistin merkitys erikäisten oppimisessa.

members of the Deaf community shows how aspects of working memory functioning may be impaired in such populations (and equally importantly, other aspects of working memory performance entirely unimpaired) (see Pickering, 2006b). This information is useful for a number of reasons. A good understanding of the cognitive profile (i.e. strengths and weaknesses) of an individual with learning difficulties can provide an extremely useful basis for developing remedial efforts, as well as contributing to our knowledge about particular developmental disorders. Using the WMTB-C, evidence has been obtained to suggest that children who do not score well on National Curriculum attainment tests, children with Special Educational Needs, and children with specific developmental disorders, such as dyslexia, perform poorly in some or all areas of working memory (Gathercole, Brown & Pickering, 2003; Gathercole, Pickering, Knight & Stegmann, 2004; Pickering & Gathercole, 2004). Evidence from research with older adults indicates a possible protective effect of education on cognitive functioning in later life (Alley, Suthers & Crimmins, 2007), although our understanding of this is still at an early stage. Certainly our increasing knowledge concerning brain plasticity throughout the lifespan will help to build a picture of how education and cognitive functions such as working memory interact to influence one another.

Should we try to improve our working memory?

One final point worth discussing here is the extent to which working memory is modifiable. If, as evidence seems to suggest, at least some of our educational activities are dependent upon the ability to store information for short periods of time, to store and process information simultaneously, to focus, divide and switch attention and to combine information from working and long-term memory into coherent episodes – and – if individual variations in working memory are linked to success in learning in a range of domains, should we try to improve our working memory?

There are at least three ways that we can try to improve working memory performance. The first involves changing the environment around an individual during learning. That is, if a child has

poor working memory, a classroom activity can be designed to minimise the load on working memory by, for example, providing information that would have normally been stored by the child, in order to free up cognitive space for processing (see Gathercole, Lamont & Alloway, 2006). A second approach involves developing metacognitive skills, such as awareness of memory limitations and knowledge of strategies to aid recall. A third approach involves ‘memory training’. If working memory is modifiable, repeated practice of a memory task might lead to improved performance. This approach is still rather controversial, but a small number of studies have found improvements in working memory performance following practice (e.g. Klingberg, Forsberg & Westerberg, 2002; Olesen, Westerberg & Klingberg, 2004). Very recent work in our laboratories suggests that children’s working memory performance can be improved with training, and in at least one study, this improvement also led to improved performance in arithmetic.

Working memory cannot explain all aspects of functioning in life and learning. However, it provides a very promising framework for asking some very important questions. Over time it should become clearer how working memory changes across the lifespan and how it interacts with learning.

4. LÄHDELUETTELO - BIBLIOGRAPHY

Alley, D., Suthers, K. & Crimmins, E. (2007). Education and cognitive decline in older Americans. *Research in Aging*, 29, 73–94.

Atkinson, R.C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In K. W. Spence (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*, 2, (89–195). New York: Academic Press.

Baddeley, A.D. (1986). *Working Memory*. Oxford: Oxford University Press.

Baddeley, A.D. (1996). Exploring the central executive. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49A, 5–28.

Baddeley, A.D. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 417–423.

Baddeley, A.D. (2003). Working memory and language: an overview. *Journal of Communication Disorders*, 36, 189–208.

Baddeley, A.D., Baddeley, H. A., Bucks, R. S., & Wilcock, G. K. (2001). Attentional control in Alzheimer's disease. *Brain*, 124, 1492–1508.

Baddeley, A.D., Gathercole, S. E., & Papagno, C. (1998). The phonological loop as a language learning device, *Psychological Review*, 105, 158–173.

Baddeley, A.D., & Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G. A. Bower (Ed.), *Recent Advances in Learning and Motivation*, 8, 47–89. New York: Academic Press.

Berch D. B., Foley E. J., Hill R. J., & Ryan P. M. (1999). Extracting parity and magnitude from Arabic numerals: Developmental changes in number processing and mental representation, *Journal of Experimental Child Psychology*, 74 (4), 286–308.

Bramald, R. (2000) Introducing the empty number line: the Dutch approach to teaching number skills. *Education 3–13* (28), 5–12.

Bull, R. & Espy, K.A. (2006). Working memory, executive functioning and children's mathematics. In S.J. Pickering (Ed.), *Working memory and Education*, 94–116. Academic Press.

Coffield, F., Moseley, D., Hall, E., & Ecclestone, K. (2004) *Learning styles and pedagogy in post-16 learning: A systematic and critical review*, (Report No. 041543). London: Learning and Skills Research Centre.

Dehaene, S., Spelke, E., Pinel, P., Stanescu, R., & Tsivkin, S. (1999) Sources of mathematical thinking: behavioral and brain-imaging evidence, *Science*, 284, 970–974.

Delazer, M., Domahs, F., Bartha, L., Brenneis, C., Lochy, A., Trieb, T., & Benke, T. (2003) Learning complex arithmetic – an fMRI study, *Cognitive Brain Research*, 18, 76–88.

Della Sala, S. Gray, C., Baddeley, A., & Wilson, L. (1997). *Visual Patterns Test*. London: Harcourt Assessment.

Della Sala, S., Gray, C., Baddeley, A., Allamano, N., & Wilson, L. (1999). Pattern Span: A Tool For Unwinding Visuo-Spatial Memory. *Neuropsychologia*, 37, 1189–1199.

- Fletcher, P.C., Stephenson C.M.E., Carpenter T.A, Donovan T., Bullmore E.T. (2003) Regional brain activations predicting subsequent memory success: An event-related fMRI study of the influence of encoding tasks, *Cortex*, 39 (4–5), 1009–1026.
- Gathercole, S.E., Brown, L., & Pickering, S.J. (2003). Working memory assessments at school entry as longitudinal predictors of National Curriculum attainment levels. *Educational and Child Psychology*, 20, 109–122.
- Gathercole, S.E., Pickering, S.J., Knight, C., & Stegmann, Z. (2004). Working memory skills & educational attainment: Evidence from National Curriculum assessments at 7 & 14 years. *Applied Psychology*, 18, 1–16.
- Gathercole, S.E, Lamont, E., & Alloway, T.P. (2006). Working memory in the classroom. In S.J. Pickering (Ed.), *Working memory and education*, 220–238. Academic Press.
- Geake, J. G. (2004). *Cognitive neuroscience and education: two-way traffic or one-way street?* *Westminster Studies in Education*, 27(1), 87–98.
- Goswami, U. (2006) Neuroscience and Education: From Research to Practice? *Nature Reviews Neuroscience* 7(5), 406–413.
- Hitch, G.J., Halliday, M.S., Schaafstal, A.M., & Heffernan, T.M. (1991). Speech, “inner speech”, and the development of short-term memory: Effects of picture-labeling on recall. *Journal of Experimental Child Psychology*, 51, 220–234.
- Hitch, G. J., Halliday, S., Schaafstal, A. M., & Schraagen, J. M. C. (1988). Visual working memory in young children. *Memory and Cognition*, 16, 120–132.
- Howard-Jones, P.A., Blakemore, S.J., Samuel, E., Summers, I.R., & Claxton, G. (2005) Semantic divergence and creative story generation: an fMRI investigation, *Cognitive Brain Research*, 25, 240–250.
- Howard-Jones, P.A. (2007) Neuroscience and education: Issues and opportunities, TLRP commentary, London: TLRP. www.tlrp.org/pub/commentaries.html
- Howard-Jones, P.A., Winfield, M., & Crimmins, G. (2007) Co-constructing an understanding of creativity in drama education that draws on neuropsychological concepts, *Proceedings of the British Educational Research Association Annual Conference 2007*, Institute of Education, London.
- Klingberg, T., Forssberg, H., & Westerberg, H. (2002). Training of working memory in children with ADHD. *Journal of Clinical & Experimental Neuropsychology*, 24, 781–791.
- Kosslyn SM (2005) Mental images and the brain, *Cognitive Neuropsychology*, 22 (3–4), 333–347.
- Kratzig, G.P., & Arbutnot, K.D. (2006) Perceptual learning style and learning proficiency: A test of the hypothesis, *Journal of Educational Psychology*, 98(1), 238–246.
- Milner, B. (1971). Interhemispheric differences in the localization of psychological processes in man. *British Medical Bulletin*, 27, 272–277.
- Morton, J., & Frith, U. (1995). Causal Modelling: A Structural Approach to Developmental Psychopathology, in Cicchetti, D. and Choen, D.J. (Eds.) *Manual of Developmental Psychopathology: 1*, New York: Wiley.
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behaviour. In R. J. Davidson & G. E. Schwartz & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and self-regulation. Advances in research and theory*, 4 (1–18), New York: Plenum Press.
- Olesen, P. J., Westerberg, H., & Klingberg, T. (2004). Increased prefrontal and parietal activity after training of working memory. *Nature Neuroscience*, 7, 75–79.

- Pickering, S.J. (2001a). Cognitive approaches to the fractionation of visuo-spatial working memory. *Cortex*, 37, 457–473.
- Pickering, S.J. (2001b). The development of visuo-spatial working memory. *Memory*, 9, 423–432.
- Pickering, S.J. (2006). Assessment of working memory in children. In S.J. Pickering (ed.), *Working memory and Education*. Academic Press. 242–270.
- Pickering, S.J. (2006). (Ed.) *Working Memory and Education*. Academic Press.
- Pickering, S.J. (2006). Working memory in dyslexia. In T.P. Alloway & S.E. Gathercole (Eds.), *Working Memory and neurodevelopmental condition*. Hove: Psychology Press.
- Pickering, S., & Gathercole, S. (2001). *Working Memory Battery for Children*. London: Harcourt Assessment.
- Pickering, S.J., & Gathercole, S.E. (2004). Distinctive working memory profiles in children with varying special needs. *Educational Psychology*, 24, 393–408.
- Pickering, S. J., & Howard-Jones, P.A. (2007). Educators' views of the role of Neuroscience in Education: A study of UK and International perspectives, *Mind, Brain and Education*, 1(3).
- Repovs, G., & Baddeley, A. (2006). The multi-component model of working memory: Explorations in experimental cognitive psychology. *Neuroscience*, 139, 5–12.
- Sifft, J.M., & Khalsa, G.C.K. (1991) Effect of educational kinesiology upon simple response-times and choice response-times, *Perceptual and Motor Skills*, 73 (3), 1011–1015.
- Smith, A. (1996) *Accelerated Learning in the Classroom*. Bodmin: Network Educational Press Ltd.
- Treitz, F.H., Heyder, K., & Daum, I. (2007). Differential course of executive control changes during normal aging. *Aging, Neuropsychology and Cognition*, 14, 370–393.
- van Gerven, P.W.M., van Boxtel, M.P.J, Mijer, W.A., Willems, D., & Jolles, J. (2007). On the relative role of inhibition in age-related working memory decline. *Aging, Neuropsychology and Cognition*, 14, 95–107.
- Yakovlev, P.I., & Lecours, A.R. (1967). In Minkowski A (Ed). *Regional Development of the Brain in Early Life*, 3–70. Blackwell Scientific Publications: Boston.

5. LISÄLUKEMISTA – RESOURCES

Julkaisuja – Publications

Centre for Educational Research and Innovation: Understanding the Brain: The Birth of a Learning Science. OECD, 2007. Saatavilla osoitteessa – Available online at www.sourceoecd.org/education/9789264029125

Howard-Jones, P. (2007): Neuroscience and education: Issues and opportunities, TLRP commentary, London: TLRP. Saatavilla osoitteessa – Available online at: www.tlrp.org/pub/commentaries.html

Jolles, J., de Groot, R., van Benthem, J., Dekkers, H., de Glopper, C., Uijlings, H., & Wolff-Albers, A.: Brain Lessons. A contribution to the international debate on Brain, Learning & Education, based on the results of an invitational conference organised by the Netherlands Organisation for Scientific Research (NWO). Neuropsych Publishers, 2006. Saatavilla osoitteessa – Available online at www.hersenenleren.nl/2006Jolles_BrainLessons.pdf

Brain, Mind & Education. The Official Journal of the International Brain, Mind, and Education Society. Saatavilla osoitteessa – Available online at www.blackwell-synergy.com/loi/mbe

Verkkolähetyksiä – Webcasts:

Konferenssiesitelmät – Keynote presentations, CICERO Learning Symposium on Learning and the Brain, 30.4.2007

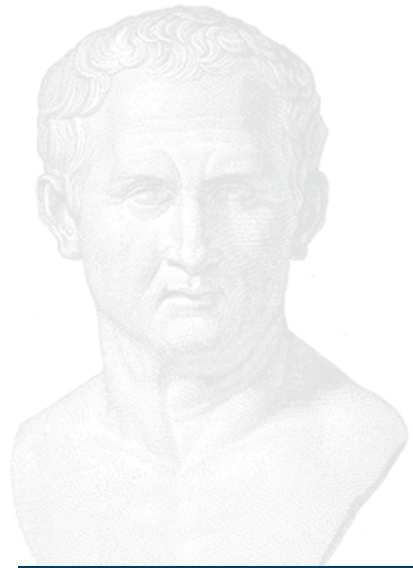
Konferenssiesitelmät – Keynote presentations, CICERO Learning conference on Lifelong Learning and the Brain, 20–21.11.2007

Nettilähetysten tallenteet ovat katsottavissa osoitteessa – Webcasts available online at www.cicero.fi/materials.html

MUISTIINPANOT – NOTES

Aivo-perustainen oppiminen
Oppimisen medikalisoituminen
Neuropalaute
Aivokuvantaminen
Biologia ja oppiminen
Monitieteinen tutkimus
Kognitiivinen neurotiede
Yhteiskuntatieteet
Sressi ja oppiminen
Muisti ja aivot
Työmuisti
Luovuus
Innovaatio
Aivojen kehitys
Hyvinvointi

Social science
Stress and learning
Memory and the brain
Working memory
Creativity
Innovation
Well-being
Experience and brain
Brain development
Sensitive periods
Educational practice and policy
Numeracy and the brain
Physical, emotional
and social health
Literacy, and the brain



CICERO Learning
PL 9 (Siltavuorenpenger 20 R)
00014 Helsingin yliopisto

cicero@cicero.fi
Puh/Tel. +358 (0)9 191 20642
Faksi/Fax +358 (0)9 191 20616
www.cicero.fi

CICERO Papers 2

THE
FINNISH
INSTITUTE



OPETUSMINISTERIÖ
Undervisningsministeriet
MINISTRY OF EDUCATION
Ministère de l'Éducation



Työsuojelurahasto
Arbetskyddsfonden
The Finnish Work Environment Fund



HELSINGIN YLIOPISTO
HELSINGFORS UNIVERSITET
UNIVERSITY OF HELSINKI