

Baddeleyn työmuistimalli - yhä ajankohtainen?

Työmuistin varastomallin arviointia uusimman muistintutkimuksen valossa

1. Baddeleyn työmuistimallin syntytausta	2
2. Baddeleyn työmuistimalli.....	3
2.1 Fonologinen kehä	4
2.2 VSSP – visuaalis-spatiaalinen varasto	4
2.3 Keskusyksikkö	5
2.4 Episodinen puskuri	6
3. Baddeleyn työmuistimallin arviointia	7
3.1 Fonologisen kehän perusteluna käytetyt efektit	7
3.2 Tarkkaavaisuus fonologisen kehän ilmiöiden selittäjänä	9
3.3 Visuaaliset ja avaruudelliset muistitoiminnot: muut selittävät muistimallit..	11
3.4 Eksperttien muisti	13
4. Pohdintaa	14
Lähteet:	17

Baddeleyn työmuistimalli - yhä ajankohtainen?

Työmuistin varastomallin arviointia uusimman muistintutkimuksen valossa

Esseen tavoitteena on arvioida Alan Baddeleyn työmuistimallia, jota hän on kehitellyt vuodesta 1974 lähtien. Esseen aluksi esitellään mallin syntytausta sellaisena, kuin Baddeley itse sen kuvaa, minkä jälkeen esitellään lyhyesti itse malli ja siihen tehdyt muutokset. Esseen arviointiosassa keskitytään aluksi esittelemään työmuistimallin fonologisen kehän perusteluna käytettyjen efektien muita selitysmalleja, sitten perehdytään tarkkaavaisuuden merkitykseen työmuistin ohjaustoiminnoissa sekä tärkeimpiin kilpaileviin toiminnallisiin työmuistimalleihin. Esseen lopuksi arvioidaan Baddeleyn työmuistimallin ansioita muistintutkimukselle ja esitetään hypoteesi siitä, että koko työmuisti-käsitettä ei tarvita, vaan säilömuisti- ja tarkkaavaisuusprosessit riittävät selittämään kaikki muistitoiminnot.

1. Baddeleyn työmuistimallin syntytausta

Alan Baddeley alkoi kehitellä ensimmäistä varsinaista työmuistimallia yhdessä G.J. Hitchin kanssa vuonna 1974 (Baddeley ja Hitch, 1974). Myöhemmin hän on esitellyt sitä useissa kirjoissa (mm. 1986 ja 1990) ja artikkeleissa. Merkittävimmän muutoksen malliinsa hän teki vuoden 2000 artikkelissa lisäämällä malliin episodisen puskurin. Ennen itse mallin esittelyä perehdytään lyhyesti mallin syntyvaiheisiin sellaisina, kuin Baddeley itse esittelee ne kirjassaan (1990).

Muistitoimintojen koostumista useammasta eri osa-alueesta esittivät ensi kerran Atkinson ja Shiffrin (1968). Heidän modal model -mallinsa mukaan muistin toiminta koostuu erilaisista sensorisista rekistereistä (visuaalinen, auditorinen ja haptinen), jotka ovat puskureita ja joiden kesto on vähemmän kuin muutama sata millisekuntia. Sensorisissa rekistereissä olevaa tietoa käydään läpi (skannataan) ja niitä vastaavat assosiaatiot haetaan säilömuistista ja näin syntynyt informaatio syötetään lyhytkestoiseen varastoon (LKV). Tutkijat erottavat kaksi erilaista LKV:tä: a-v-l (auditoris-verbaalis-lingvistinen) ja visuaalinen. Niistä tieto kopioidaan pitkäkestoiseen varastoon (PKV), joka myös on jakautunut eri osiin, esimerkiksi a-v-l, visuaalinen ja temporaalinen PKV.

Baddeleyn (1990: 44-48) mielestä Atkinsonin ja Shiffrinin malli selitti hyvin muun muassa seuraavat muistitestien tulokset:

- Vapaassa palautuksessa (ts. palautettaessa ärsykeitä muistista missä järjestyksessä tahansa) ilmoitulleen erillisten pitkä- ja lyhytkestoisten muistivarastojen olemassaolon. Vapaassa palautuksessa ensimmäiset ja viimeiset ärsykkeet muistetaan parhaiten (nk. ensiö- ja viimeisyysvaikutus), mitä Atkinson ja Shiffrin (1968) selittävät sillä, että viimeiset ärsykkeet palautetaan LKV:stä (sen toistopuskurista) ja ensimmäiset PKV:stä.
- LKV:n rajoitetun varastokapasiteetin sekä sen kyvyn nopeaan tiedon vastaanottoon ja palautukseen, samoin kuin vastaavasti PKV:n massiivisen varaston ja sen rajoitukset vastaanotto- ja palautusnopeudessa;

- Sen, että LKV näytti perustuvan akustiseen tai fonologiseen koodaukseen, kun taas PKV vaikutti pohjautuvan pikemminkin semanttiseen koodaukseen;
- Neuropsykologiset potilastapaukset, joiden mukaan PKV ja LKV voivat vaurioitua erikseen ja ovat siten erillisiä.

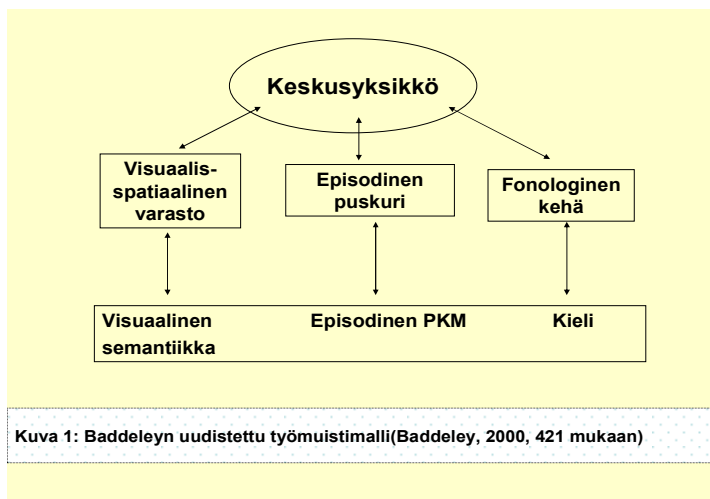
Baddeley (1990: 44-48) oli havainnut Modal model -mallissa seuraavia puutteita:

- Mallin mukaan potilailla, joiden lyhytkestoinen muisti on vaurioitunut, pitäisi olla vaikeuksia myös pitkäkestoisessa muistamisessa, koska PKV ei voi toimia ilman LKV:tä. Näin ei kuitenkaan tutkimusten mukaan ollut asianlaista.
- Muistettavan yksikön ylläpitämisen LKV:ssä pitäisi taata myös sen siirtyminen PKV:hen, mitä tutkimukset eivät vahvistaneet.
- Malli ei pystynyt selittämään kaikkia viimeisyysvaikutuksen tuloksia. Tutkimuksissa oli todettu, että ärsykeluetteloita vapaasti palautettaessa samanaikainen muistin kuormittaminen toisella tehtävällä (kilpaileva kuormitus) hävitti lyhytkestoinen viimeisyysvaikutuksen. Lisäksi Baddeley oli havainnut kollegojensa kanssa tekemisään tutkimuksissa pitkäkestoisen viimeisyysvaikutuksen, eli että ihminen muistaa myös useiden päivien tai viikkojen jälkeen viimeisimmät tapahtumat parhaiten.

Baddeley oli tehnyt useita kokeita, joissa hän oli pyytänyt koehenkilöitään tekemään kahta erilaista tehtävää yhtäaikaan, esimerkiksi päättelytehtävän aikana toistamaan 8 numeron sarjaa ääneen. Tällaisiin koetuloksiin nojautuen Baddeley saattoi todeta, että myöskään lyhytkestoinen varasto ei voi olla yksi yhtenäinen yksikkö, koska numeroiden toistaminen kyllä heikensi ja hidasti päättelyä, mutta ei ehkäissyt sitä kokonaan. Näin hän päätyi esittämään työmuistille uutta monivarastomallia.

2. Baddeleyn työmuistimalli

Baddeley (1986) määritteli työmuistin järjestelmäksi, joka väliaikaisesti varastoi ja käsittelee informaatiota kognitiivisten tehtävien aikana. Hänen mukaansa työmuisti on yleinen järjestelmä, joka voidaan jakaa alakomponentteihin. Niitä ovat fonologinen kehä (alun perin artikulatorinen kehä), visuaalis-spatiaalinen varasto (VSSP) sekä näitä ohjaava keskusyksikkö (ks. Kuva 1). Baddeley ei antanut keskusyksikölle varasto-ominaisuuksia: vain fonologisella kehällä ja VSSP:llä oli kyky säilyttää tietoa väliaikaisesti.



2.1 Fonologinen kehä

Fonologinen kehä koostuu kahdesta osasta, fonologisesta varastosta ja fonologisesta silmukasta. Näistä edellinen säilyttää puheperustaista informaatiota väliaikaisesti ja jälkimmäinen kontrolloi sisäisen puheen avulla puheen artikulaatiota. (Baddeley, 1990: 52)

Baddeley (1990: 53-55) päätteli fonologisen kehän olemassaolon ja rakenteen kokeidensa perusteella kolmen ilmiön seurauksena:

- fonologinen samankaltaisuusvaikutus (*phonological similarity effect*), mikä tarkoittaa, että fonologisesti samankaltaisia yksiköitä (b, v, d) muistetaan heikommin kuin erilaisia (k, f, m). Samankaltaisten foneemien erottelun vaikeudesta voidaan päätellä, että on olemassa jonkinlainen fonologinen varasto, jossa foneemien samankaltaisuus voi aiheuttaa häiriötä eli interferenssiä.
- merkityksettömän puheen vaikutus (*effect of irrelevant unattended speech*), ts. sellaisen puheen vaikutus, johon ei kiinnitetä huomiota. Edes visuaalisesti esitettyjä ärsykeitä ei muisteta, jos korviin esitetään samanaikaisesti puhetta, olipa tällainen puhe sitten merkityksellistä tai merkityksetöntä. Pelkkä valkoinen kohina (*white noise*) ei kuitenkaan aiheuta efektiä. Myös tämän ilmiön perusteella voidaan päätellä jonkinlaisen foneemitason varaston olemassaolo, jossa kaksi signaalivirtaa häiritsevät toisiaan.
- sananpituusvaikutus (*word length effect*) eli pitkien sanojen heikompi muististapa-lautus lyhyisiin verrattuna. Tämän ilmiön perusteella Baddeley päätteli, että lyhytkestoinen muistijälki säilyy fonologisessa varastossa noin 2 sekuntia, jollei sitä ylläpidetä hokemalla tai toistamalla (*rote rehearsal*). Samaa toistoprosessia käytetään myös tiedon syöttämisessä fonologiseen varastoon esimerkiksi silloin, kun esineitä nimetään ääneen tai äänettömästi.
- artikulatorisen häirinnän vaikutus (*articulatory suppression effect*) eli se, että numerosarjan tai jopa merkityksettömän tavun (vaikkapa ”the”) toistaminen muistitehtävän aikana häiritsee muistiaineksen toistoa fonologisessa silmukassa tai visuaalisesti esitetyn aineksen kääntämisestä fonologiseen muotoon.

Nämä vaikutukset ovat osittain riippuvaisia toisistaan. Esimerkiksi merkityksettömän puheen vaikutus katoaa samanaikaisen artikulatorisen toisiotehtävän vaikutuksesta. Baddeley tarjoaa tähän selitykseksi sitä, että puhesignaalilla on automaattinen ja suora pääsy fonologiseen varastoon, mikä tapahtuu fonologisella (foneemien) tasolla.

2.2 VSSP – visuaalis-spatiaalinen varasto

VSSP, visuaalis-spatiaalinen varasto (*visuo-spatial scratchpad* tai *scratchpad*) on nimensä mukaisesti visuaalisen ja avaruudellisen tiedon käsittelyjärjestelmä, jossa mielikuvia ylläpidetään ja käsitellään väliaikaisesti (Baddeley, 1986, s. 126). Visuaalisten kuvioden tutkimustulosten perusteella Baddeley (1986) päätyi esittämään kahta erilaista visuaalis-spatiaalista muistiprosessia. Niistä toinen pystyy muistamaan kuvion tarkan sijainnin, mutta on lyhytaikainen, kun toinen taas sopii paremmin itse kuvion, ei niinkään sen sijainnin, mieleenpainamiseen. Mitä monimutkaisemmasta kuviosta on kyse, sitä nopeammin kuvio kuitenkin unohdetaan. Avaruudelliset samanaikaiset tehtävät heikentävät muistiprosessia vain silloin, kun käytetään jonkinlaista avaruudellista mieleen-

painamisstrategiaa (esimerkiksi muistettavien asioiden sijoittelua tutun kadun varrelle tai tuttuun huoneeseen).

Baddeleyn mukaan (1990) visuaalis-spatiaaliseen varastoon voidaan syöttää tietoa joko suoraan (visuaalisesta) havainnosta tai välillisesti luomalla näkömielikuvia. Kokeissa on havaittu, että kuvat tai väriläikät, joihin ei kiinnitetä huomiota, häiritsevät enemmän helposti kuviteltavien sanojen mieleenpainamista kuin abstraktien sanojen koodausta, esitettiinpä ne auditorisesti tai visuaalisesti. Tästä päätellen näyttäisi siltä, että visuaalisilla ärsykkeillä on pakollinen pääsy muistijärjestelmään, aivan kuten puheella on pakollinen pääsy fonologiseen kehään.

2.3 Keskusyksikkö

Baddeleyn (1996) toteaa, että keskusyksikkö on koko mallin monimutkaisin ja vähiten ymmärretty komponentti. Se on tarkkaavaisuusproessori (*attentional processor*), joka toimii alayksiköiden ja pitkäkestoisen muistin rajapintana. Keskusyksiköllä on tärkeä tehtävä jaetun tarkkaavaisuuden ja valikoivan tarkkaavaisuuden tilanteissa, satunnaislukujen generoinnissa ja pitkäkestoisen muistin aktivoinnissa. Logien (1996) mukaan keskusyksikkö liittyy myös päätöksentekoon, jolloin ärsykkeen ominaisuudet haetaan säilömuistista (pitkäkestoisesta muistista) ja siten tulkittu informaatio on saatavilla työmuistissa ja prosessoidaan siellä.

Keskusyksikön malliksi Baddeley (1986) valitsi Normanin ja Shallicen vuonna 1986 julkaiseman kaksiosaisen mallin, jonka mukaan ihmisen arkielämän rutiinitoimintoja kontrolloivat hyvin opitut skeemat, joissa aikaisemmat kokemukset liitetään ympäristöstä saatuihin vihjeisiin. Uudessa tai oudossa tilanteessa käynnistyy SAS-järjestelmä (*supervisory attentional system*) ja olemassa oleva skeema ohitetaan. Tällainen malli sopii esimerkiksi virheellisten toimintojen (*slips of action*) selitykseksi. Sopimaton skeema alkaa toimia vaikkapa silloin, kun ajat töihin, kun piti ajaa kauppaan. Tällöin reitin alku on sama mutta tutumpi työmatkaskema johtaa pienenkin ärsykkeen seurauksena toimintaan, jos tarkkaavaisuus on suuntautuneena jonkin muun asian pohdintaan. Myöhemmin Shallice ja Burgess ovat Baddeleyn mukaan (1996) kehittäneet malliaan yhteistoimintamalliksi, jossa hyvin opitut rutiinitoiminnot ovat skeemoihin pohjautuvia, kun taas uudet toiminnot ovat SAS:in ohjaamia. Automaatio perustuu harjoitukseen: mitä enemmän jotain toimintoa harjoitetaan, sitä vähemmän SAS osallistuu toiminnan ohjaukseen.

Baddeleyn mukaan (1996) esimerkiksi satunnaislukujen tai -kirjainten generoinnissa esiintyvät ilmiöt voidaan selittää keskusyksikön toiminnalla. Kokeissa on havaittu, että koehenkilöt alkavat tuottaa satunnaisten lukujen sijaan ennestään tuttuja lukusarjoja, kun heitä samalla pyydetään ratkaisemaan ongelmia tai luettelemaan johonkin tiettyyn luokkaan kuuluvia asioita. Koehenkilöt ovat ilmiöstä tietoisia, mutta eivät pysty estämään sitä, jos päätehtävä on riittävän kuormittava. Ilmiön selitykseksi Baddeley ehdottaa, että kun SAS ohjaa kuormittavaa toisiotehtävää, satunnais-

lukujen generointi siirtyy yhä enemmän automaattisten skeemojen varaan, minkä seurauksena satunnaisuus alkaa kadota.

Erilaisten luetunymmärtämiskokeiden perusteella Baddeley päättelee (1990) myös, että sujuvan lukemisen taustalla on nimenomaan keskusyksikkö, jonka tarkkaavaisuuskapasiteetti vaikuttaa yksilöllisiin eroihin luetun ymmärtämisessä. Kokeiden mukaan hyvät lukijat pystyvät tulkitsemaan oikein ristiriitaista tietoa silloinkin, kun esitetyn ristiriidan ja sen tulkintavihjeen välissä olisi useampi lause. Koska tällaisia yksilöllisiä eroja ei voi selittää fonologisen kehän tai VSSP:n avulla, erojen täytyy johtua keskusyksikön tarkkaavaisuuskapasiteetista. Baddeleyn mukaan (1986, 1990) fonologinen kehä ja sen muistikapasiteetti ovat tärkeitä lukemaan oppimisessa, mutta luetunymmärtämistä selittää paremmin keskusyksikön toiminta.

2.4 Episodinen puskuri

Syynä alkuperäisen työmuistimallin kehitystarpeeseen oli ennen kaikkea kysymys siitä, miten alajärjestelmistä tuleva tieto yhdistetään keskenään ja liitetään säilömuistiin. Tärkeimmiksi ongelmiksi, joita malli ei pystynyt kunnolla selittämään, olivat nousseet seuraavat seikat (Baddeley, 2000; Baddeley ja Wilson, 2002; Baddeley, 2003):

1. Proosamuotoisen tekstin muistaminen. Jos sanat muodostavat mielekkään lauseen tai tarinan, koehenkilöt pystyvät muistamaan keskimäärin jopa 15,4 (*kh* 2,60) mieltämisyksikköä (mm. Jefferies ym. 2004, koe 3). Baddeleyn muistimallissa oli työmuistin kapasiteetiksi määritelty Millerin vuonna 1956 esittämä 7 ± 2 toisistaan riippumattonta mieltämisyksikköä. Nyt heräsi kysymys, millainen ilmiö Millerin mainitsema ryhmittely (*chunking*) oikeastaan on ja miten se vaikuttaa muistikapasiteettiin.
2. Visuaalisen ja kielellisen koodin yhdistäminen ja sen liittäminen moniulotteiseen säilömuistin representaatioon. Kokeissa oli todettu muun muassa, että visuaalisesti esitettyjen ärsykkeiden mieleenpainaminen onnistuu artikulatorisesta häirinnästä huolimatta ja että VSSP sopii kyllä hyvin selittämään yksinkertaisten visuaalisten mallien mieleenpainamisen, mutta ei pysty selittämään niiden muistamista silloin, kun ne pyydetään palauttamaan järjestyksessä (*serial recall*). Ilmiön selittämiseen tarvittiin väliaikainen varasto, joka pystyy varastoimaan monimutkaista informaatiota:
 - Jos tehtävän hoitaisi fonologinen kehä, silloin esim. potilas PV, jonka lyhytkestoisesta muistin kapasiteetti oli vain yksi sana, ei voisi selviytyä jopa 5 sanan pituisten lauseiden muistamisesta. Myöskään säilömuistin hyödyntäminen ei näyttänyt selittävän ilmiötä.
 - Keskusyksikkö ei liioin sopinut varastoksi, koska sen on ajateltu olevan pelkästään tarkkaavaisuutta suuntaava yksikkö, jolla ei ole omaa muistivarastoa (Baddeley & Logie, 1999).
3. Niin kutsutut kompleksit työmuistijänteet ja näiden mittareiden suuri selitysvoimaisuus luetunymmärtämisessä ja muissa komplekseissa kognitiivisissa toiminnoissa. Baddeley viittaa mittarin kehittäjiin Danemaniin ja Carpenteriin, mutta sittemmin mittareita on kehitetty useita (yhteenvedo ja arviointi, Conway ym., 2005). Tällaisia komplekseja työmuistitehtäviä voivat olla esimerkiksi lukemisjänne, laskemisjänne ja numeroiden luettelujänne (*reading span, operation span, counting span*), jotka koostuvat kahdesta erilaisesta mutta samanaikaisesta tehtävästä. Koehenkilön tulee esimerkiksi lukea ääneen lause ja tarkistaa sen mielekkyys sekä painaa muistiinsa lau-

seen perässä oleva irrallinen sana tai kirjain. Usean tällaisen prosessointia ja säilyttämistä vaativan vaiheen jälkeen koehenkilöä pyydetään palauttamaan muististaan kaikki esitetyt irralliset sanat tai kirjaimet oikeassa järjestyksessä sekä vastaamaan lauseita koskeviin kysymyksiin. Oikein palautettujen sanojen tai kirjainten määrä on kyseinen kompleksi työmuistijänne (*complex working memory span*).

4. Tietoinen prosessointi (*conscious awareness*), jossa Baddeleyn ja Andraden (2000) koesarjan tulosten mukaan säilömuistilla ja keskusyksiköllä näytti olevan jokin erityinen tehtävä.

Mallinsa selitysvoiman lisäämiseksi Baddeley (2000) päätyi lisäämään malliinsa episodisen puskurin. Se on väliaikainen varastoiva järjestelmä, jolla on rajallinen kapasiteetti ja joka kykenee integroimaan eri lähteistä peräisin olevaa informaatiota. Senkin toimintaa ohjaa keskusyksikkö, joka pystyy noutamaan tietoa puskurivarastosta tietoisien kokemuksen muodossa, heijastamaan tätä tietoa ja tarvittaessa ohjailemaan ja muokkaamaan sitä, koska sillä on pääsy tiedon lähteeseen, olipa se sitten kotoisin havaintojärjestelmistä, muista työmuistin osista tai säilömuistista. Uudistetun mallin mukaan (Baddeley ja Wilson, 2002) keskusyksikön tehtävänä on suunnata tarkkaavaisuutta sekä ylläpitää ja muokata muistiedustuksia episodisen puskurin avulla.

Mallissa puhutaan puskurista, koska se toimii useiden järjestelmien rajapintana, joilla kullakin on erilainen koodausjärjestelmä (eri aistikanavat). Itse puskuri käyttää oletettavasti moniulotteista yleistä koodia. Puskurin rajallinen kapasiteetti johtuu tarpeesta turvata pääsy hyvin moniin erilaisiin koodeihin samanaikaisesti.

Puskuri on episodinen siinä mielessä, että se sisältää tilan ja mahdollisesti myös ajan mukaan integroitua informaatiota ja yhdistelee eri kanavilta tulevaa tietoa yhtenäiseksi koodiksi. Puskuri on tilapäinen varasto, joka on erällä hyvin amneesilla potilailla säilynyt, vaikka varsinainen pitkäkestoinen episodinen muisti on pahasti vahingoittunut. Episodinen puskuri noutaa tietoa episodisesta säilömuistista ja syöttää tietoa sinne.

3. Baddeleyn työmuistimallin arviointia

Vuosien varrella Baddeleyn työmuistimalli on aiheuttanut muistintutkijoiden keskuudessa monenlaista kritiikkiä. Myös useita kilpailevia työmuistimalleja on esitetty (esimerkiksi Miyake ja Shah, 1999). Tässä esseessä ei ole mahdollisuutta esitellä edes kaikkia toiminnallisia muistimalleja, saati sitten laskennallisia, eikä liioin niitä lukuisia tutkimustuloksia, joista osa tukee ja osa kumoaa Baddeleyn esittämiä perusteluita. Niinpä esiin nostetaan vain muutama kaikkein oleellisimmat malli ja perustelu.

3.1 Fonologisen kehän perusteluna käytetyt efektit

Samankaltaisuusvaikutus

Fonologinen samankaltaisuusvaikutus on havaittu sekä visuaalisesti että auditorisesti esitetyille ärsykkeille. Kiinnostavaa kuitenkin on, että jos sisäinen puhe estetään artikulatorinen häiriötehtä-

vällä, samankaltaisuusvaikutus katoaa, kun ärsykkeet esitetään visuaalisesti, mutta säilyy, jos ne esitetään auditorisesti. Baddeley (1984) on selittänyt tämän sillä, että jos sisäinen artikulointi esitetään visuaalisesti esitettyjen sanojen lukemisen aikana, koehenkilö käyttää pelkästään visuaalista koodausta eikä käännä sanoja mielessään sisäisen puheen fonologiseksi koodiksi. Tällöin visuaalinen koodi ei myöskään pääse sekoittumaan artikulatorisen häirinnän kanssa ja samankaltaisuusvaikutus katoaa.

Tehan ym. (2001) ovat selittäneet tämän ilmiön toisin. He havaitsivat samankaltaisuusvaikutuksen ja sananpituusvaikutuksen sekä yksinkertaisen muistijänteen että kompleksin muistijänteen kokeissa (vrt. jakso 2.4, kohta 3), mikä heidän käsittääkseen selittyy sillä, että tehtävissä käytetään yhteisiä prosesseja tai säilytysmekanismeja. Logie (1996) puolestaan on selittänyt ilmiötä viitaten Longonin ym. kokeisiin (1993), joissa auditorisesti esitettyjen sanojen foneeminen samankaltaisuusvaikutus säilyi myös artikulatorisen häirinnän aikana jopa yli 10 sekunnin viipeen ajan. Logien mukaan informaatio on voinut kyllä kadota fonologisesta varastosta, mutta säilömuistin fonologiset jäljet saattavat säilyä kauemmin, jolloin koehenkilö voi hyödyntää niitä.

Koska samankaltaisuusvaikutus on havaittavissa myös muissa kuin fonologisen kehän kokeissa (Tehan ym.) ja koska se voi säilyä joissakin tilanteissa myös artikulatorisen häirinnän aikana (Logie, 1996), ilmiön todistusvoima kehän olemassaolon puolesta jää vähäiseksi.

Sananpituusvaikutus

Baddeleyn työmuistimallin toimivuutta heikentää kuitenkin ehkä eniten sen perusteluna käytetty sananpituusvaikutus. Mallin oletusten mukaan pitkien sanojen toistaminen sisäisen puheen avulla vie enemmän aikaa kuin lyhyiden, joten fonologiseen silmukkaan mahtuu vähemmän pitkiä sanoja kuin lyhyitä.

Myöhemmät tutkimukset ovat kuitenkin löytäneet tälle ilmiölle myös useita muita selityksiä. Cowanin ym. (1992) mukaan osa vaikutuksesta johtuu siitä, että pitkien sanojen ääntäminen tai kirjoittaminen niiden tuottovaiheessa kestää kauemmin kuin lyhyiden: jos palautusvaiheessa palauteetaan ensin pitkiä sanoja, se vaikuttaa muistikapasiteettiin. Lisäksi ilmiö on havaittavissa vain, kun sanoja palautetaan muistista esittämisjärjestyksessä (*serial recall*). Palautettaessa ärsykeitä takaperin koko ilmiö katoaa.

Joskus pitkien sanojen monista tavuista saattaa muistamisessa olla jopa etua. Nairnen 1990 esittämän piirremallin mukaan (ks. Brown ja Hulme, 1995, s. 614 alaviite) pitkillä sanoilla voisi olla enemmän piirteitä, jotka edistävät muistamista. Tai sitten pitkien sanojen jo osin unohtuneita tavuja pystytään palautusvaiheessa täydentämään paremmin kuin lyhyiden sanojen, ihan vain siitä syystä, että niitä on enemmän (esim. Schweikert, 1993). Myös monia muita säilömuistin vaikutusmekanismeja pitkien ja lyhyiden sanojen muistamisessa lienee olemassa (vrt. Thorn ym., 2005).

Kun kyseessä on sanojen tunnistaminen tai niiden palautus mieleen vihjeen avulla, sananpituusvaikutus muuttuu itse asiassa päinvastaiseksi: pitkät sanat muistetaan paremmin kuin lyhyet (Tehan ja Tolan, 2007).

Artikulatorinen häirintä ja hokemalla toistaminen

Baddeley (1986) on selittänyt artikulatorisen häirinnän vaikutuksen siten, että sekä visuaalisesti että auditiivisesti esitettyä aineistoa toistetaan äänettömästi fonologisen kehän silmukassa, jolloin muu artikulointi, kuten the-tavun toistaminen estää toiston ja muistijälki katoaa. Frankish (1996) on kuitenkin esittänyt, että tämä osa muistamista tapahtumaa onkin vielä sensorisessa muistissa, jota nimitetään kaikumuistiksi. Näin ollen erillistä fonologista varastoa ei tarvita tämän ilmiön selittämiseen.

Toiston merkitys muististrategiana on muutenkin selvästi ylikorostunut Baddeleyn mallissa, mikä näyttäisi olevan Atkinsin ja Shiffrinin mallin (1968) perua. Tämän on itse asiassa myös Baddeley itse myöntänyt (esim. Baddeley ja Logie, 1999, 33; Baddeley, 2000, 420). Sen mukaan toistolla näyttäisi olevan merkitystä vain uuden sanaston oppimisessa, sillä siihen artikulatorinen häirintä näyttää kokeiden mukaan vaikuttavan. Sen sijaan tuttujen sanojen mieleenpainamisessa toiston tehokkuus lienee varsin vähäistä, koska silloin käytetään pikemminkin semanttista koodausta kuin fonologista (Papagno ym. 1991). Kuva toiston merkityksestä on tarkentunut sittemmin muutenkin. Cowan ym. (1992) ovat esittäneet, että toistoa käytettäisiin vain ärsykkeiden esittämisen aikana luettelon läpikäymiseen. Tehan ja Tolan (2007) taas päätyvät siihen, että sanoja vapaasti palautettaessa toistamalla pidetään mielessä pikemminkin järjestysinformaatiota kuin itse sanoja.

Oulasvirta (2006) onkin todennut, että koehenkilöt eivät käytä toistoa muististrategiana, vaikka heillä olisi siihen mahdollisuus ja heitä siihen kehoitettaisiin. Hokemalla toistaminen on Oulasvirran yhteenvedon mukaan hyvä menetelmä vain tietyissä koeolosuhteissa, joissa olosuhteet toistuvat samanlaisina koko ajan. Sen sijaan monimutkaisemmassa prosessoinnissa, kuten tehtävien keskeytymistilanteissa, muististahakuun tarvitaan tehokkaampia strategioita.

3.2 Tarkkaavaisuus fonologisen kehän ilmiöiden selittäjänä

Fonologisen kehän perusteluna käytetyt vaikutukset voidaan siis valtaosiltaan selittää myös muuten kuin itse kehän olemassaolon avulla. Lienee jopa mahdollista, että fonologista kehää ei tarvita lainkaan lyhytkestoisten muisti-ilmiöiden selittämisessä. Esimerkiksi Shah ja Miyake (1996) toteavat, että fonologisen kehän merkitys on rajoitettu komplekseissa työmuistitehtävissä, kuten luetunymmärtämisessä.

Myös tyystin toisenlaisia toiminnallisia ja laskennallisia työmuistimalleja on kehitetty. Jotkut malleista ovat nk. aktivaatiomalleja, joista tunnetuin lienee Cowanin sisäkkäisten prosessien malli (*embedded processes model*, 1999, 2001). Mallin mukaan muisti jakaantuu tarkkaavaisuuden kes-

kiöön, aktivoituneeseen muistiin ja säilömuistiin. Mikä tahansa ärsyke aktivoi jonkin osan säilömuistia, mutta yhtäaikaan tarkkaavaisuuden keskiössä voidaan säilyttää vain 4 ± 1 toisistaan riippumattonta mieltämysyksikköä. Tällöin myös muut aktivoituneet yksiköt säilyttävät aktivaationsa noin 20-30 s.

Engle (1996), joka perustaa ajattelunsa Cowanin aktivaatiomalliin, on työtovereineen tutkinut sitä, miten säilömuistin aines aktivoituu, ja miten jo aktivoitunut aines pystytään palauttamaan mieleen ja tarpeeton aines ehkäisemään. Hänen mukaansa yksilöllisiä eroja ei ole havaittavissa säilömuistin aktivoitumisessa, vaan ainoastaan silloin, kun tuotetaan vastausta jo aktivoituneesta lyhytkestoisesta muistista. Tällöin ilmeisesti ne, joiden työmuistikapasiteetti on alhainen, käyttävät automaattisia prosesseja, jotka eivät vaadi kognitiivista ponnistelua. Sen sijaan ne, joilla on suuri muistikapasiteetti, käyttävät ponnistelua vaativaa kontrolloitua prosessia. Tällöin erot tulevat esiin työmuistin tarkkaavaisuusprosesseissa. Henkilö, jolla on suuri työmuistikapasiteetti, voi pitää ristiriitaisissa tilanteissa useita merkityksiä tai yksiköitä saatavilla ja pystyy silti ehkäisemään tarpeettomien vaihtoehtojen valitsemisen, jos tehtävä niin vaatii.

Unsworth ja Engle (2007) ovatkin esittäneet mallia, jonka mukaan ensiömuisti (primaarimuisti) on toisiomuistin (sekundäärimuistin = säilömuistin) aktivoitunut osa eikä mitään ajallisia tai kapasiteettiin liittyviä työmuistin rajoitteita ole olemassakaan. Sen sijaan yksilölliset erot työmuistikapasiteetissa (vrt. kompleksi työmuistijänne, jakso 2.4, kohta 3) johtuvat kahdesta seikasta:

- kyvystä ylläpitää tietoyksiköitä ensiömuistissa erillään toisistaan
- kyvystä hakea tietoa toisiomuistista aikaan ja tilanteeseen liittyvien vihjeiden avulla.

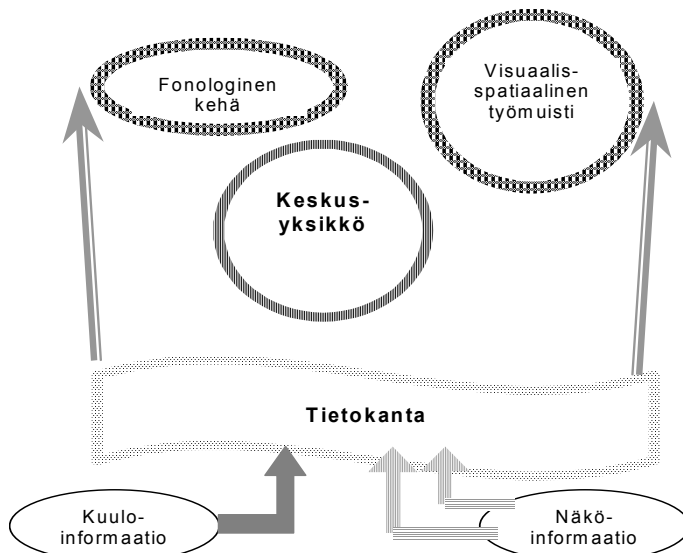
Tilannevihjeet ovat heikkomuistisemmilla henkilöillä hälyisempiä ja siten johtavat helpommin virheisiin. Myös tarkkaavaisuuden herpaantuminen aiheuttaa automaattisten vastausprosessien käynnistymisen ja virheiden määrän kasvua. Sen sijaan, jos kyse on ennestään hyvin opitusta aineistosta, muistikapasiteetin erot yksilöiden väliltä katoavat.

Cowanin ja Englen mallit pystyvät selittämään hyvin myös sananpituus- ja samankaltaisuusvaikutukset, ehkä jopa paremmin kuin Baddeleyn työmuistimalli. Samankaltaiset ärsykkeet, jotka palautetaan välittömästi, voivat sekaantua keskenään, jos ne ovat yhtäaikaan tarkkaavaisuuden keskiössä (tai ensiömuistissa) ja jos koehenkilö käyttää automaattisia (fonologisia) prosesseja, kuten toistoa. Sen sijaan, jos ne palautetaan suoraan säilömuistin aktivoituneesta osasta (tai toisiomuistista), ne voidaan pitää paremmin erillään, jos niihin on kohdistettu riittävästi tarkkaavaisuutta koodausvaiheessa, jolloin tilannevihjeet auttavat niiden palautusta. Kanen ja Englen (2000) mukaan parempi muistiset koehenkilöt pystyvät ehkäisemään aikaisemmin aktivoituneita ärsykeitä jo mieleenpainamisvaiheessa, kun heikompi muistiset tekevät sen vasta palautusvaiheessa, jos silloinkaan.

3.3 Visuaaliset ja avaruudelliset muistitoiminnot: muut selittävät muistimallit

Uudistettu Baddeleyn ja Logien VSSP-malli

Visuaalis-spatiaalisen muistimallin merkittävin kehittäjä on ollut Logie (1995, 126-131; 1996), vrt. Kuva 2. Baddeleyn ja Logien mukaan (1999, ks. myös Logie, 1995, 115) VSSP jakaantuu vielä erillisiin väliaikaisvarastoihin visuaalisen (*visual cache*) ja avaruudellisen (*inner scribe*) aineiston käsittelyä varten. Näköhavainnon syöte molempiin varastoihin tulee säilömuistista. Logie kannattaa myös Cowanin aktivaatiomallia, mutta toisin kuin Cowan, Logie ei katso, että pitkäkestoisten muistijälkien aktivaatio olisi yhtä kuin työmuisti. Hänen mukaansa kyse on sen sijaan toisaalta eri esineiden visuaalisen muodon, toisaalta dynaamisia toimintaympäristöjä (*dynamic scenes*) koskevan avaruudellisen informaation pitkäaikaisrepresentaatioista, jotka aktivoiduttuaan tulevat VSSP:n visuaaliseen ja spatiaaliseen osaan. Se, kumpaan osaan informaatio päätyy, riippuu aktivoituneen informaation luonteesta. Työmuistin ja säilömuistin aktivaatio voi toimia molempiin suuntiin.



Kuva 2. Logien (1996, 56) työmuisti työtilana -kaavio.

Järjestelmän visuaalisessa varastossa oleva tieto säilyy jonkin aikaa ja uusi tuleva aines voi häiritä sen muistamista. Avaruudellista varastoa käytetään liikkeiden suunnitteluun, jolloin se hyödyntää visuaalisessa varastossa olevaa näkö tietoa. Tarvittaessa avaruudellista varastoa voidaan käyttää myös visuaalisessa varastossa olevan informaation toistamiseen ja mallintamiseen mielikuvissa.

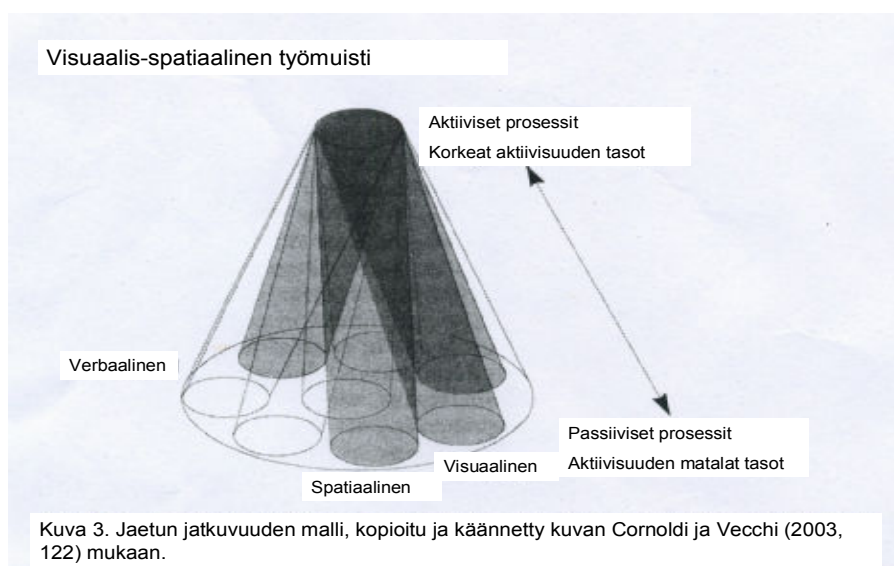
Oman mallinsa etuna Logie (1995) pitää toistuvuutta (redundanssia), jonka avulla lyhytkestoisessa muistissa oleva informaatio pystyy vastustamaan erilaisten häiriöiden (interferenssin) ja säilytyksen aiheuttamaa muistijäljen katoamista. Hänen mielestään visuaalinen ja spatiaalinen osa ovat nimenomaan varastoja eivätkä prosesseja. Logie (1996) pitää selitysmallinsa etuna myös sitä, että tässä mallissa koehenkilö voi hyödyntää fonologisen kehän (toiston) lisäksi myös muita mallin osia, kuten keskusyksikköä tai VSSP:tä, jolloin semanttinen tai visuaalinen informaatio voi tuottaa paremmat muistamistulokset kuin äänetön toisto tai fonologinen koodaus.

Tällainen työmuistimalli selittää myös esimerkiksi fonologisen samankaltaisuusvaikutusilmiöt eri tavoin kuin muut (Logie, 1995). Artikulatorisen toisiotehtävän irrelevantti aines on jatkuvan ho-
kemisen ansiosta voimakkaammin aktivoitunut kuin kerran tai kahdesti luettu visuaalinen ärsyke-
sana, jolloin se häiritsee ärsykesanan koodautumista fonologiseen varastoon. Tällöin turvaututaan
ehkä visuaaliseen tai semanttiseen koodaukseen ja foneeminen samankaltaisuusvaikutus katoaa.
Jos sanat esitetään auditorisesti, ne on pakko koodata fonologisesti artikulatorisesta häirinnästä
huolimatta ja samankaltaisuusvaikutus tulee esiin.

Visuaalis-spatiaalinen työmuisti ja jaetun jatkuvuuden malli

Sittemmin muut tutkijat ovat ruvenneet käyttämään nimitystä visuaalis-spatiaalinen työmuisti (*visuo-spatial working memory, VSWM*). Se on määritelty muistin osaksi, jonka tehtävänä on painaa
mieleen ja prosessoida visuaalista ja avaruudellista ainesta, joka on tuotettu joko aistihavainnosta
tai säilömuistista. Järjestelmä on erillinen kielellisestä järjestelmästä eikä riipu tarkkaavaisuus-
resursseista. Järjestelmä pystyy järjestelemään monimutkaisia toimintoja, kuten mielikuvia, ja yl-
läpitämään visuaalista ja avaruudellista informaatiota, jota tarvitaan jokapäiväisissä askareissa
(esim. analysoimaan esineiden asentoa, väriä ja muotoa). (Vecchi ym., 2001)

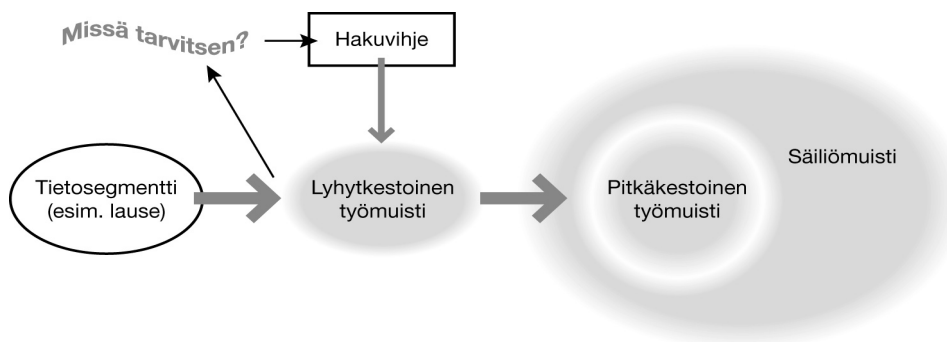
Muista malleista yksi ehkä kaikkein kiinnostavimmista on nk. jaetun jatkuvuuden malli (*distributed “continuum” model*), jota ovat kehittäneet Cornoldi ja Vecchi (esim. 2003) Mallissa yhdiste-
tään kielelliset, visuaaliset ja avaruudelliset työmuistiprosessit, jotka vaihtelevat prosessoitavan
informaation ja aktiivisen informaation mukaan, ks. kuva 3. Perifeerisellä passiivisella tasolla eri-
laiset informaatiot prosessoidaan itsenäisesti (eri aistikanavilla) ja prosessointi on autonomista ja
enemmän kunkin aistikanavan piirteistä riippuvaista. Sen sijaan keskeisen tason aktiiviset prosessit
käyttävät yleisiä tekniikoita ja yhdistävät eri aisteja ja kanavia.



3.4 Eksperttien muisti

Kaikkein suurimmat vaikeutensa Baddeleyn työmuistimalli on kohdannut eksperttien poikkeuksellisten muistitoimintojen selittämisessä. Etenkin fonologisen kehän 2 sekunnin aika- ja 5-9 yksikön kapasiteettirajoitusten vuoksi eksperttien vaativat ja monimutkaiset muistitoiminnot olisivat mallin mukaan käytännössä mahdottomia. Episodisen puskurin lisäämisen tarkoituksena lienee ollut korjata myös mallin tätä puutetta, mutta koska senkin kapasiteetti on rajoitettu, ei malli edelleenkään pysty selittämään eksperttien erikoisia muistitoimintoja erityisen hyvin. Mihin saattaisi olla syynä se, että Baddeleyn mallin perustana ovat olleet kokeet, joissa aikaisemman kokemuksen ja monitahoisen tietämyksen vaikutukset on nimenomaan pyritty poistamaan mahdollisimman täydellisesti (nk. *basic capacity approach*, Ericsson ja Delaney, 1999). Sen sijaan eksperttien kognitiivisissa toiminnoissa, niin kuin taitavassa toiminnassa yleensä (*expert performance approach*), juuri aikaisempi kokemus ja tietämys muodostavat pohjan muistin tehokkaalle toiminnalle.

Niinpä yksi ensimmäisistä Baddeleyn työmuistimallin todellista haastajista lieneekin Ericssonin ja Kintschin pitkäkestoisen työmuistin malli (*long-term working memory, LT-WM*, 1995), ks. kuva 4. Ericssonin ja Delaney mukaan (1999) universaalia työmuistin kapasiteettirajaa ei ole olemassakaan. Heidän mukaansa asiantuntijoiden¹ koodausstrategiat kehittyvät harjoittelun myötä ja muisti-representatioita kehitetään koko ajan tietoisesti tehtävien vaatimusten mukaan ja tulevia tarpeita ennakkoiden. Mallin mukaan (*ibid*, 1995) asiantuntijoiden lyhytkestoisen työmuisti (joka vastaa Baddeleyn työmuistia) laajentuu säilömuistin puolelle.



Kuva 4. Pitkäkestoisen työmuistin malli, piirretty Ericsson ja Kintsch (1995) mukaan.

Näin asiantuntijat pystyvät tehokkaasti valikoimaan tarvitsemaansa tietoa säilömuistista tehtävän vaatimusten mukaisesti sekä assosioimaan sitä ajallisiin vihjeisiin tai erityisiin integroituihin hakurakenteisiin, jotka tallennetaan lyhytkestoiseen työmuistiin. Tällaisten hakuvihjeiden tai hakura-

¹ Suomen asiantuntijuus- tai asiantuntija-sanaa on käytetty tässä viittaamaan mihin tahansa alueeseen, jolla me itse kukin voimme olla asiantuntijoita, esimerkkinä vaikkapa sujuva lukeminen. Sen sijaan ekspertti-käsite on varattu kaikkein taitavimmille eri ammattialojen edustajille, kuten muusikot, tutkijat, taiteilijat, sakinpelaajat, taksinkuljettajat jne. Eksperttiyys kuvaa siis monimutkaisia ja monipuolisia muisti- ja kognitiivisia taitoja, joihin vain ammattilaiset pystyvät ja hekin vasta vähintään 10 vuoden aktiivisen harjoittelun jälkeen (Ericsson ym., 1993).

kenteiden avulla muistettava aines palautetaan tarvittaessa mieleen. Tällä tavalla ekspertin asiantuntijuusalueeseen liittyvät taidot, tietämys ja tehtäväkohtaiset prosessit muodostavat kiinteästi yhteensidotun koodausstrategian, eikä muistin, tietämyksen tai prosessien erottaminen toisistaan ole enää mielekästä (Ericsson ja Delaney, 1999). Ekspertti käyttää yleisiä koodausmenetelmiä, kuten toistoa tai muistitekniikoita vain joutuessaan työskentelemään oman asiantuntijuusalueensa ulkopuolella tai opetellessaan uutta taitoa tai ammattialuetta. Silloin hänen muistisuorituksensa eivät juuri poikkea aloittelijoiden vastaavista..

Vaikka pitkäkestoinen työmuistimalli pystyy Baddeleyn mallia paremmin selittämään myös eksperttien muistitoimintoja, lienee kuitenkin paikallaan huomauttaa, että myös tässä mallissa on yksi puute: miten hakuvihje tai hakurakenne voi säilyä lyhytkestoisessa työmuistissa viikkojen tai jopa kuukausien ajan? Pystymme esimerkiksi palauttamaan mieleemme jonkin kerran oppimamme vieraskielisen sanan merkityksen, vaikka emme olisi kuulleet sanaa useisiin vuosiin. Lieneekin niin, että myös hakuvihje tallennetaan säilömuistiin, kuten Oulasvirta (2006) on esittänyt.

4. Pohdintaa

Baddeleyn monivarastomalli on siis kohdannut vuosien varrella monia vaikeuksia yrittäessään selittää työmuistitoimintoja. Mallin osista fonologisen kehän perusteluiksi mainitut seikat, kuten fonologinen samankaltaisuus- ja sananpituusvaikutus sekä merkityksettömän puheen ja artikulatorisen häirinnän vaikutukset, voidaan selittää myös monilla muilla tavoilla, kuten edellä on käynyt ilmi.

Myös mallin toinen osa, VSSP, on saanut kritiikkiä osakseen. Esimerkiksi Miyaken ja Shah'n (1999) mukaan malli ei pystynyt selittämään heidän tekemiään lukuisten visuaalista ja avaruudellista hahmotusta vaatineiden kokeiden tuloksia, joten he ovat päätyneet ehdottamaan erillisiä ”poo-leja” eri toiminnoille (avaruudellinen ajattelu, kielen prosessointi, numeroiden prosessointi). Cornoldin ja Vecchin jaetun jatkuvuuden malli (2003) puolestaan korvaa Baddeleyn mallin molemmat alajärjestelmät, sekä fonologisen kehän että VSSP:n.

Monivarastomallin suurimmaksi ongelmaksi lienee kuitenkin muodostunut se, että keskusyksikölle ei ajateltu varasto-ominaisuutta eivätkä alajärjestelmien säilytysajan ja kapasiteetin rajoitukset antaneet mahdollisuutta esimerkiksi asiantuntijoiden ja eksperttien muistitoimintojen selittämiseen. Myöhemmin malliin lisätty episodinen puskuri ei kuitenkaan ole mikään hyvä ratkaisu. Ensinnäkin puskurin käsite on sinänsä vielä hyvin epämääräinen, eikä sen olemassaoloa ole todistettu kokeellisesti, kuten mallin muiden osien olemassaolo alun perin todistettiin. Lisäksi puskurin lisääminen rikkoo sitä Occamin partaveitsen periaatetta, että jos jokin asia voidaan selittää yksinkertaisemmin, niin se on silloin tieteellisesti todennäköisin selitys. Ja työmuisti kokonaisuudessaan on selitettävissä myös paljon yksinkertaisemmilla malleilla, esimerkiksi Englen kaksiosainen muistimalli (Unsworth ja Engle, 2007) tai Ericssonin ja Kintschin pitkäkestoisen työmuistin malli (1995), jotka

sellaisenaan, ilman mitään lisäyksiä, pystyvät selittämään myös asiantuntijoiden työmuistitoimintoja.

Nykytutkimuksen valossa voidaan kuitenkin esittää myös hypoteesi, että muistitoimintojen jakamista työmuistiin ja säilömuistiin (tai ensiö- ja toisiomuistiin) ei edes tarvita. Hypoteesin lähtökohdiana voidaan pitää Baddeleyn työmuistin määritelmää: kyse on informaatiota väliaikaisesti SÄILYTTÄVISTÄ (= YLLÄPITÄVISTÄ) ja KÄSITTELEVISTÄ prosesseista. Hypoteesin toisen lähtökohdan muodostaa hermoston ja aivojen toiminnan luonne: kyse on hermosolujen aktivaatiosta, johon kohdistuu joko tukiaktiiviteettia tai inhibitiota (Virsu, 1991, 48; Peng, 2005; 193).

Tarkastellaan aluksi väliaikaisia käsittelyprosesseja. Cowanin (2001) mukaan mikä tahansa ärsyke aktivoi *jonkin* osan säilömuistia mutta vain osa ärsykkeistä on tarkkaavaisuuden kohteena. Tämä liittyy edelleen Englen kaksiosaiseen malliin (Unsworth ja Engle, 2007, ks. jakso 3.2), jonka mukaan yksilölliset erot muistitoiminnoissa johtuvat kyvystä hakea tietoa säilömuistista sekä kyvystä ylläpitää tietoa tarkkaavaisuuden kohteena ja suojata sitä häiriöiltä inhiboimalla muita ärsykeitä. Tarkkaavaisuutta voidaan hermoston tasolla selittää seuraavasti (Virsu 1991, 237): tarkkaavaisuus fasilitoi eli helpottaa soluaktiiviteettia joko lisäämällä tukiaktiiviteettia haluttuun kohteeseen tai inhiboimalla aktivaatiota muualla kuin tarkkaavaisuuden kohteessa. Tällainen fasilitaatio summautuu muun tukiaktiiviteetin, esimerkiksi tunnealueiden tuottaman, aktiiviteetin kanssa. Hypoteettisesti voidaan siis olettaa, että kulloisenkin tehtävän kannalta tarpeellinen tieto tulee valituksi tarkkaavaisuusprosessien avulla ärsykkeen aktivoiman hermoverkon osista, lisäämällä tukiaktiiviteettia haluttuun kohteeseen ja inhiboimalla tarpeettomien ärsykkeiden vaikutusta. Näin tarkkaavaisuus-toiminnot yksinään pystyvät selittämään muistin KÄSITTELYprosesseja, kuten valikointia, jota Ericsson ja Delaney (1999) pitävät oleellisena asiantuntijoiden taitojen kannalta.

Edelleen voidaan olettaa, että ylläpitotoiminnot ovat ääritapauksessa vain tarkkaavaisuuden tiukkaa suuntaamista yhteen kohteeseen. Jos tarkkaavaisuus ei koskaan kääntyisi yhdestä kohteesta toiseen, kyseinen kohde luultavasti säilyisi muistissa rajattoman ajan. Tätä seikkaa ei liene kokeellisesti tutkittu, mutta yhtenä esimerkkinä tällaisesta tiukasta tarkkaavaisuuden suuntaamisesta voidaan mainita meditaatio tai syvä rentoustita. Tällöin pyritään keskittymään vain yhteen asiaan, esimerkiksi hengitykseen, ja muut ärsykkeet suljetaan pois eli inhiboidaan. Lopputuloksena tietoiset toiminnot (niiden mukana muistitoiminnot) saattavat vaimentua kokonaan. Näin ollen tarkkaavaisuus inhibition avulla selittää myös YLLÄPITOProsesseja.

Koska tarkkaavaisuus ohjaa sekä säilömuistin käsittely- että ylläpitoprosesseja, ei työmuistia käsitteenä tarvita lainkaan. Tarvitaan vain tarkkaavaisuutta ohjaavia prosesseja ja ehkä säilömuistiprosesseja. Tätä hypoteesia voidaan verrata Crowderin esittämään vastaavaan pohdintaan lyhytkestoisien muistin olemassaolosta (1993). Hänen mukaansa on erotettava toisistaan ne tilanteet, jotka vaativat lyhytkestoisia muistiprosesseja, ja ne tilanteet, jotka vaativat erityistä muistin lyhytkes-

toista alajärjestelmää. Crowderin mukaan ihminen tarvitsee muistia vain siinä mielessä, että informaatiota joudutaan säilyttämään lyhyitä ajanjaksoja, mutta ei tästä tehtävästä huolehtivaa erityistä järjestelmää. Analogisesti myöskään työmuistitoimintojen selittämiseen ei tarvita työmuistijärjestelmää tai -käsitettä, koska tarkkaavaisuustoiminnot yksinään pystyvät selittämään työmuistiprosessit. Mutta jotta tällainen hypoteesi voitaisiin todistaa oikeaksi, tarkkaavaisuus- ja säilömuistiprosesseilla pitäisi pystyä selittämään kaikki tähänastisissa muistikokeissa saavutetut tulokset, ja hypoteesia pitäisi sen lisäksi pystyä testaamaan empiirisillä kokeilla tai laskennallisilla malleilla. Ja näiden teemojen syvällisempään pohdintaan ei ole mahdollisuutta, se jääköön tulevien kirjoitusten varaan.

Sen sijaan paneudutaan hetkeksi vielä yhteen aktivaatiomallien (esim. Cowan, 2001) saamaan vastaavitteeseen. Baddeleyn ja Logien mielestä (1999) aktivaatiomallit eivät selitä uusien asioiden oppimista, vaan sen selittämiseksi tarvitaan episodista puskuria. Käsittääkseni kuitenkin myös upouusi ärsyke, kuten vaikkapa uusi sana tai käsite, aktivoi jonkin osan säilömuistin hermoverkkoa, tosin sitä pienemmän osan, mitä oudommasta sanasta tai käsitteestä on kyse (mukaan lukien epäsanat tai epätavut). Sanan ääntö- ja/tai kirjoitusasu aktivoi automaattisesti foneettisen ja/tai grafeemisen osan verkkoa. Ja jos aikaa on riittävästi (esimerkiksi jos kokeen ärsykkeiden esitysväli on 1 s tai enemmän), käsitteen merkityksen hakeminen aktivoi hermoverkon semanttisen osan, koska ihminen pyrkii ymmärtämään, mistä on kyse. Ehkä vieraan kielen uusien sanojen oppiminen aikuisiässä onkin juuri tästä syystä niin työlästä, että sekä sanan ääntöasun että sen merkityksen mieleenpainaminen vaatii tietoista elaborointia (syväprosessointia), jotta riittävän suuri osa hermoverkkoa aktivoituisi ja saisi riittävästi tukiaktiiviteettia muilta aivoalueilta assosiaatioiden kautta. Tällaisen suuren alueen aktivaatio on tarpeen, jotta uusi käsite seuraavalla kohtaamiskerralla ei inhihoituisi tutumpien aktivaatioiden vuoksi, joita ärsykkeen herättämät, samankaltaiset fonologiset, grafeemiset ja semanttiset sanat tai käsitteet aiheuttavat (nk. kielen kärjellä -ilmiö, *tip of tongue*, Brown, 2000).

Lopuksi voitaneen kuitenkin todeta, että Baddeleyn työmuistimallista on ollut muistintutkimukselle erittäin paljon hyötyä. Rakenteellinen malli jakoi työmuistiprosessit pienempiin osiin, ja koska pieniä yksiköitä tai toimintoja on aina helpompi tutkia kuin suuria kokonaisuuksia, lienee muistintutkimuksen voimakas lisääntyminen viimeisten vuosikymmenien aikana ainakin osittain juuri Baddeleyn mallin ja sen tuottaman selkeyden ansiota. Tämän lisäksi kielellisten sekä visuaalisten ja spatiaalisten muistitoimintojen erottaminen toisistaan perustui jo mallin kehittelyn aikoihin vankkaan kokeelliseen näyttöön, ja on luultavaa ja jopa mielekäästä, että niitä myös jatkossa tutkitaan ainakin osittain erillisinä. Ja vaikka fonologisen kehän toiminnot voidaan selittää myös muilla tavoin, on sen soveltava tutkimus antanut uutta kliinistä tietoa esimerkiksi elinikäisen työmuistin kehityksestä (Service ym., 1993), lukihäiriöistä (Salmelin ym., 1996) ja Downin syndroomasta

(Numminen ym., 2001). Edellisten lisäksi keskussyksikölle osoitetut tarkkaavaisuustoiminnot (Baddeley ja Logie, 1999) antanevat hyvän perustan myös tarkkaavaisuus- ja säilömuistitoimintojen tulevalle tutkimukselle.

Lähteet:

- Atkinson R.C., Shiffrin R.M., 1968: Human memory: A proposed system and its control processes. Teoksessa K.W.Spence (toim.), *The psychology of learning and motivation: advances in research and theory*, vol. 2, 89-195, New York: Academic Press.
- Baddeley A.D., 1986: Working memory, Oxford: Clarendon Press.
- Baddeley A.D., 1990: Human Memory. Theory and Practise, Revised Edition (1997), Hove ja New York: Psychology Press.
- Baddeley A.D., 1996: The concept of working memory. Teoksessa Gathercole S. (toim.) *Models of Short-term Memory*, 1-27, Hove: Psychology Press, Erlbaum.
- Baddeley A., 2000: The episodic buffer: a new component of working memory, *Trends in Cognitive Sciences*, 4:11, 417-423.
- Baddeley A., 2003: Working memory and language: an overview, *Journal of Communication Disorders*, 26, 189-208.
- Baddeley A.D., Hitch G.J., 1974: Working Memory. Teoksessa G. Bower (toim.), *Recent advances in learning and motivation*, Vol. VIII, 47-90, New York: Academic Press.
- Baddeley A.D., Logie R.H., 1999: The Multiple-Component Model, Teoksessa Miyake A., Shah P. (toim.), *Models of Working Memory. Mechanisms of Active Maintenance and Executive Control*, 28-61, Cambridge: University Press.
- Baddeley A.D., Wilson B.A., 2002: Prose recall and amnesia: implications for the structure of working memory, *Neuropsychologia*, 40, 1737-1743.
- Brown S.R., 2000: Tip-of-the-Tongue Phenomena: An Introductory Phenomenological Analysis, *Consciousness and Cognition*, 9, 4, Dec: 516-537
- Conway A.R.A., Kane M.J., Bunting M.F., Hambrick D.Z., Wilhelm O., Engle R.W., 2005: Working memory span tasks: A methodological review and user's guide, *Psychonomic Bulletin & Review*, 12:5, 763-786.
- Cornoldi C., Vecchi T., 2003: Visuo-spatial Working Memory and individual differences, Hove: Psychology Press, 120-125.
- Cowan N., Day L, Saults J.S., Keller T.A., Johnson T., Flores L., 1992: The role of verbal output time in the effect of word length on immediate memory, *Journal of Memory and Language*, 31, 1-17.
- Cowan N., 1999: An Embedded-Processes Model of Working Memory, Teoksessa A.Miyake ja P.Shah (toim.), *Models of Working Memory. Mechanisms of Active Maintenance and Executive Control*, Cambridge: University Press, 62-101.
- Cowan N., 2001: The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity, *Behavioral and brain sciences*, 24 (1), 87-114.
- Crowder R.C., 1993: Short-term memory: Where do we stand?, *Memory & Cognition*, 21:2, 142-145.

- Davelaar E.J., Goshen-Gottstein Y., Ashkenazi A., Haarmann H.J., Usher M., 2005: Demise of Short-Term Memory Revisited: Empirical and computational Investigations of Recency Effects, *Psychological Review*, 112:1, 3-42.
- Engle R.W., 1996: Working Memory and Retrieval: an Inhibition-Resource Approach, Teoksessa Richardson J.T.E. (toim.), *Working Memory and Human Cognition*, 89-119, New York: Oxford University Press.
- Ericsson K.A., Krampe R.Th., Tesch-Römer C., 1993: The Role of Deliberate Practice in the Acquisition of Expert Performance, *Psychological Review*, 100:3 363-406
- Ericsson K. A., Kintsch, W., 1995: Long-term working memory, *Psychological Review*, 102:2, 211-245.
- Ericsson K.A., Delaney P.F., 1999: Long-term Working Memory As an Alternative to Capacity Models of Working Memory in Everyday Skilled Performance, Teoksessa A.Miyake, P.Shah (toim.), *Models of Working Memory. Mechanisms of Active Maintenance and Executive Control*, 257-297, Cambridge: University Press.
- Jefferies E., Matthew A.L.R., Baddeley A.D., 2004: Automatic and controlled processing in sentence recall: The role of long-term and working memory, *Journal of Memory and Language*, 51, 623-643.
- Logie R.H., 1995: Visuo-Spatial Working Memory, Hove: Lawrence Erlbaum Ass.
- Logie R.H., 1996: The Seven Ages of Working Memory. Teoksessa Richardson J.T.E (toim.), *Working Memory and Human Cognition*, 31-65, New York, Oxford: Oxford University Press.
- Longoni A.M., Richardson J.T.E., Aiello A., 1993: Articulatory rehearsal and phonological storage in working memory. *Memory and Cognition*, 31, 11-22
- Miller G.A., 1956: The Magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information, *Psychological Review*, 63:2, 81-97.
- Miyake A., Shah P., 1999: Models of Working Memory. Mechanisms of Active Maintenance and Executive Control, Cambridge: University Press.
- Numminen H., Service E., Ahonen T., Ruoppila I., 2001: Working memory and everyday cognition in adults with Down's syndrome, *Journal of Intellectual Disability Research*, 45:2, 157-168
- Oulasvirta, A., 2006: Studies of working memory in interrupted human-computer interaction, University of Helsinki, Department of Psychology, Research Reports n. 38.
- Papagno C., Valentine T., Baddeley A.D., 1991: Phonological short-term memory and foreign-language vocabulary learning, *Journal of Memory & Language*, 30, 331-347.
- Peng, F.C.C., 2005: *Language in the Brain*, London: Continuum.
- Salmelin R., Service E., Kiesilä P., Uutela K., 1996: Impaired visual word processing in dyslexia revealed with magnetoencephalography, *Annals of Neurology*, 40:2, 157-162.
- Shah P., Miyake A., 1996: The Separability of Working Memory Resources for Spatial Thinking and Language Processing: An Individual Differences Approach, *Journal of Experimental Psychology: General*, 125:1, 4-27.
- Schweickert R., 1993: A multinomial processing tree model for degradation and reintegration in immediate recall, *Memory & Cognition*, 21:2, 168-175.
- Service E., Craik F.I.M., 1993: Differences between young and older Adults in learning a foreign vocabulary, *Journal of Memory and Language*, 32: 5), 608-623.
- Tehan G., Tolan G.A., 2007: Word length effects in long-term memory, *Journal of Memory and Language*, 56:1, 35-48.
- Thorn A.S.C., Gathercole S.E., Frankish, C.R., 2005: Reintegration and the benefits of long-term knowledge in verbal short-term memory: An evaluation of Schweickert's (1993) multinomial processing tree model, *Cognitive Psychology*, 50:2, 133-158.
- Unsworth N., Engle R.W., 2007: The Nature of Individual Differences in Working Memory Capacity: Active Maintenance in Primary Memory and Controlled Search From Secondary Memory, *Psychological Review*, 114:1, 104-132.
- Vecchi T., Phillips L.H., Cornoldi C., 2001: Individual differences in visuo-spatial working memory, Teoksessa M. Denis ym. (toim.) *Imagery, Language and Visuo-Spatial Thinking*, Hove: Psychology Press, 29-48.
- Virsu V., 1991: Aivojen muotoutuvuus ja kuntoutuminen, Kuntoutussäätiö tutkimuksia 26, Helsinki: yliopistopaino.