

Jani Saikko

**TYÖMUISTIPROSESSOINTI LISÄTYSSÄ
TODELLISUUDESSA - TARKKAAVUUDEN JA
TYÖMUISTIKAPASITEETIN VAIKUTUS VISUAALISEN
INFORMAATION PROSESSOINTIIN**



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO

INFORMAATIOTEKNOLOGIAN TIEDEKUNTA

2020

TIIVISTELMÄ

Saikko, Jani

Työmuistiprosessointi lisätyssä todellisuudessa – tarkkaavuuden ja työmuistikapasiteetin vaikutus visuaalisen informaation prosessointiin

Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2020, 56 s.

Kognitiotiede, pro gradu -tutkielma.

Ohjaaja: Kujala, Tuomo

Lisätyn todellisuuden lasia käytettäessä graafiset objektit nähdään havaintokentässä reaali maailman näkymän päällä. Täten ohjeita katsottaessa ei tarvitsisi lähtökohtaisesti pyrkiä muistamaan tehtävän suoritusvaiheita samalla tavalla, kuin perinteisesti paperiohjeita katsottaessa. Tutkimuksen lähtökohta oli selvittää, mitkä tekijät vaikuttavat jatkuvasti näkökentässä olevan informaation työmuistiprosessointiin, sekä miten oletettavasti erilainen työmuistiprosessointi vaikuttaa informaation tallentumiseen pitkäkestoiseen muistiin? Tallentuuko lisätyn todellisuuden lasien kautta havaittava informaatio heikommin pitkäkestoiseen muistiin kuin aktiivista visuaalista representaatiota prosessoiva, paperiohjeista katsottava informaatio? Koe suoritettiin within-tutkimuksena, jossa koehenkilö teki samansisältöisen tehtävän, kasaten lego-palikoista muodostuvan rakennelman joko aloittaen paperiohjetehdävästä tai lisätyn todellisuuden lasilla tehdyllä tehtävällä. Tehtäväsuorituksen jälkeen koehenkilö teki kokeeseen liittyvän muistitehtävän, jonka tulos pisteytettiin. Koehenkilöiden työmuistikapasiteetti mitattiin vielä lisäksi standardoidulla visuaalista työmuistikapasiteettia mittaavalla Visual Patterns Testillä. Tutkimuksessa löydettiin korrelaatiota lisätyn todellisuuden lasien avulla tehdyssä tehtävässä menestymisen ja visuaalisen työmuistikapasiteetin välillä. Paperitehtävä koealustana johti parempaan muistikokeen tulokseen kuin lisätyn todellisuuden lasien kautta tehty tehtävä. Lisätyn todellisuuden lasien ollessa koevälineenä ensimmäisen testipäivän koetilanteessa, olivat koehenkilöiden pistemäärät huomattavasti alempia tämän tehtävän muistikokeessa. Paperitehtävän ollessa toisen testipäivän koevälineenä, olivat muutokset huomattavasti suurempia muistitehtävässä suoriutumisessa. Lisätyn todellisuuden lasit saattoivat helpottaa tehtävän suorittamista, mutta vastaavasti heikentää oppimista. Tutkimus antaa lähtökohdan kehittää työmuistiprosessoinnin tutkimista lisätyn todellisuuden teknologian apuvälineitä käytettäessä.

Asiasanat: lisätty todellisuus, työmuisti, muisti, konsolidaatio, tarkkaavuus, mentaaliset representaatiot, attentio, pitkäkestoinen muisti, microsoft hololens

ABSTRACT

Saikko, Jani

Visual Working Memory Processing in Augmented Reality

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2020, 56 p.

Cognitive Science, Master's Thesis

Supervisor: Kujala, Tuomo

Augmented reality technology is being developed in various industries from gaming to medicine. Head-mounted-displays and mobile screens are being used to project augmented visual information on users field-of-view. E-g. In mechanics and engineering and other professions that demand instructional guidance when executing a task this method replaces the present way of learning instructions from a paper sheet or a mobile screen. In this reseach the differences of visual working memory processing when learning a task from a paper sheet instructions or from a head-mounted-display were tested. The need for a concentrated processing of instructional images from a paper sheet using mental representations differs from the way of processing the instruction images from HMD. When the images are constantly present in the field-of-view the need for a centered attention is not required. Information process might affect to the memory consolidation and affect negatively in memory processing. Microsoft Hololens augmented reality glasses were used in this experiment. In the experiment the examinee constructed an abstract build using 21 Duplo Lego bricks in two different forms and colous: blue and green (two shades of green). After the trials a memory task was made. Visual working memory capacity was also tested before the experiment using standardized Visual Pattern Test. Correlation between visual working memory capacity and memory task when Hololens was the platform was found. Also the learning effect between the order of a platform and performing in the task was found. The paper task as a platform gave significantly higher scores in the memory task. Augmented reality glasses as a first platform gave significantly lower scores in the memory test than when the task was learned using the paper sheet. It didn't matter if the Hololens was the second day platform to the results: the learning effect was lower. This implicates that using augmented reality glasses affects the working memory process. This research gives premises in developing the research of working memory processing in using augmented reality technology.

Keywords: augmented reality, working memory, visual working memory, attention, consolidation, memory, mental representations, microsoft hololens

KUVIOT

KUVIO 1 Hololens-tekniikka.....	8
KUVIO 2 Baddeleyn työmuistimalli.....	13
KUVIO 3 Baddeleyn täydennetty työmuistimalli.....	15
KUVIO 4 Baddeleyn työmuistimalli ja aivoalueet.....	16
KUVIO 5 Cowanin työmuistimalli.....	17
KUVIO 6 Visual Patterns Test -kuviot.....	30
KUVIO 7 Kasaustehtävän rakennelmat	31
KUVIO 8 Kasaustehtävän 1 rakennelma.....	32
KUVIO 9 Paperiohjetteen havainnekuva.....	33
KUVIO 10 Testissä käytettävän AR-tehtävän hologrammi-kuvio.....	33
KUVIO 11 AR-tehtävän rakennelma.....	34
KUVIO 12 Hololens-lasit ja niiden käyttö.....	34
KUVIO 13 AR-tehtävän havainnekuva.....	35
KUVIO 14 Muistikokeen keskiarvo ja mediaani.....	37
KUVIO 15 Mittaustulosten hajonta kahden koeasetelman välillä.....	38
KUVIO 16 Koelustan merkitys oppimisvaikutukseen.....	40
KUVIO 17 Mittaustulosten hajontakuviot.....	42

TAULUKOT

TAULUKKO 1 Kokeen tasapainotus.....	36
TAULUKKO 2 Kokonaistuloksen keskiarvo ja keskihajonta.....	38
TAULUKKO 3 Koejärjestyksen keskiarvo ja -hajonta.....	39
TAULUKKO 4 VPT-testin ja mittaustulosten korrelaatio.....	41

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVIOT

TAULUKOT

1	JOHDANTO.....	7
1.1	Lisätty todellisuus (Augmented Reality).....	8
1.2	Tutkimuksen rakenne.....	9
2	VISUAALINEN TYÖMUISTI JA -TARKKAAVUUS.....	11
2.1	Työmuistin tutkimisesta.....	12
2.2	Baddeleyn työmuistiteoria.....	13
2.3	Cowanin työmuistiteoria.....	17
2.4	Visuaalinen prosessointi työmuistissa.....	18
2.5	Mentaaliset representaatiot ja tarkkaavuus.....	19
2.6	Visuaalisen informaation konsolidaatio.....	20
2.7	Tarkkaavuus visuaalisen informaation konsolidaatiossa.....	22
2.8	Konsolidaatio työmuistista pitkäkestoiseen muistiin.....	23
2.9	Visuaalinen tarkkaavuus ja visuaalinen työmuisti.....	24
2.10	Visuaalisen objektin havainnointi näkökentässä.....	25
2.11	Visuaalisen työmuistin kapasiteetti.....	26
3	TUTKIMUSMENETELMÄT.....	28
3.1	Hypoteesit.....	28
3.2	Menetelmä.....	29
3.3	VPT - Visual Patterns Test.....	29
3.4	Muistikokeet.....	31
3.5	Tasapainottaminen.....	32
3.6	Tehtävä 1 - paperiohjeet.....	32
3.7	Tehtävä 2 - AR-ohjeet.....	33
3.8	Koeasetelman validiteetti ja reliabiliteetti.....	35
4	TUTKIMUSTULOKSET.....	37
4.1	Kahden eri mittaustavan vaikutus muistitehtävän suoritukseen.....	38
4.2	Koejärjestyksen vaikutus mittaustulokseen.....	39

4.2.1	Alustan vaikutus muistikokeen pistemäärään.....	39
4.2.2	Alustan ja tehtäväjärjestyksen yhteisvaikutus.....	39
4.3	ANOVA – koealustan järjestys.....	40
4.4	VPT-testin ja mittaustulosten korrelaatio.....	41
5	TULOSTEN TULKINTA JA POHDINTA.....	43
5.1	Teorian soveltaminen tutkimukseeni.....	44
5.2	Jatkotutkimusaiheet.....	45
	LÄHTEET.....	47
	LIITE 1 SUOSTUMUSLOMAKE (SUOMI).....	52
	LIITE 1 SUOSTUMUSLOMAKE (ENGLANTI).....	55

1 JOHDANTO

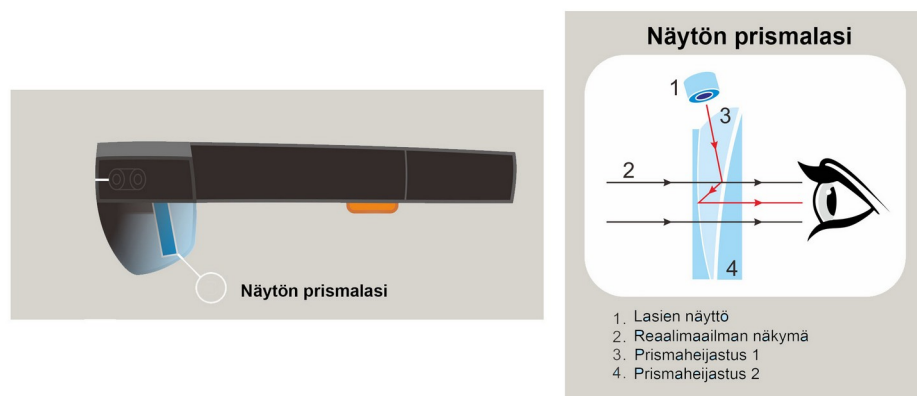
Tutkimuksen tarkoitus oli selvittää, millä tavalla lähtökohtaisesti erilainen työmuistiprosessointi vaikuttaa tiedon tallentumiseen pitkäkestoiseen muistiin. Lisätyn todellisuuden lasia (AR) työnteon apuvälineen käytettäessä, nähdään havaintokentässä reaali maailman näkymän päälle muodostuvia graafisia objekteja. Täten ohjeita katsottaessa ei tarvitse oletetusti pyrkiä muistamaan tehtävän suoritusvaiheita samalla lailla, kuin esimerkiksi perinteisesti paperiohjeita katsottaessa. Jatkuvan informaatio syötön havaitseminen olisi täten erilaista, eikä vaatisi samanlaista työmuistiprosessointia kuin aktiivinen informaation ylläpito työmuistissa. Työmuistiprosessointi on aktiivista, kun henkilö joutuu pitämään edes muutaman sekunnin ajan visuaalista ohjetta aktiivisena työmuistissaan, ennen kuin hän suorittaa motorisen tehtävän ja siirtyy seuraavan ohjeobjektin pariin. Lisäksi jatkuvasti näkökentässä oleva informaatio ei mahdollisesti vaadi myöskään Baddeleyn työmuistiteorian mukaista fonologisen silmukan käyttöä. Vastavuoroisesti jouduttaessa pitämään ohjeobjekteja hetkellisesti työmuistissa aktiivisena, käytetään visuospatiaalisen lehtiön lisäksi myös fonologista silmukkaa sisäisen puheen kautta, toistettaessa ohjeobjektien muotoa ja väriä. Jatkuvasti näkökentässä oleva informaatio ei vaatisi vastaavanlaista prosessointia.

On hyvinkin tärkeää selvittää erilaisen työmuistiprosessoinnin aiheuttamia vaikutuksia informaation konsolidaatioon. AR-lasien aiheuttamat häiriöt työmuistiprosessoinnissa voivat vaikuttaa haitallisesti niiden tarkoitukseen työnteon ja oppimisen apuvälineinä. Nelson Cowanin työmuistiteorian mukaan muistirakenne on yhtenäinen, jonka henkilön tietoinen toiminta tarkkaavuuden kautta aktivoi. Tarkkaavuus ohjaa muistirakennetta, mikä Cowanin teoriassa ei muodostu eri osa-alueista, vaan on yhtenäinen kokonaisuus, joka vaatii tarkkaavuutta aktivoituaan. Täten esimerkiksi informaation jatkuva läsnäolo näkökentässä ei vaatisi tietoista

tarkkaavuutta sen ylläpidoksi työmuistiprosessissa. Vastaavasti henkilön pyrkiessä muistamaan samankaltainen visuaalinen informaatio mielessään, vaatisi se aktiivista keskittymistä visuaaliseen ja kielelliseen representaatioiden prosessointiin. Täten on hyvä tutkia, miten nämä kaksi erilaista informaation prosessointitapaa vaikuttavat informaation tallentumiseen pitkäkestoiseen muistiin. Tutkimukseni perustuu hypoteesiin, jossa informaatio, mikä ei vaadi tarkkaavuutta, tallentuu heikommin pitkäkestoiseen muistiin, eikä täten jätä yhtä voimakasta muistijälkeä kuin informaation aktiivinen, tarkkaavuutta vaativa prosessointi sisäisen mentaalisen representaation kautta. Visuaalisen sisäisen mielikuvan muodostuminen on tärkeää oppimisen, muistin ja päättelykyvyn kannalta. Täten mahdollisten häiriöiden tutkiminen visuaalisen muistijäljen muodostamisessa, antaa mahdollisuuksia poistaa muistamiseen ja oppimiseen liittyviä ongelmia, mitä AR-lasien käyttö saattaisi aiheuttaa.

1.1 Lisätty todellisuus

Tutkimuksessa käytettiin koelustana lisätyn todellisuuden laseja. Lisätty todellisuus (engl. Augmented reality, lyh. AR) tarkoittaa havaintokenttään liitettävien keinokeinoisten visuaalisten elementtien ja reaali maailmaan välistä havaintokokonaisuutta. Lisätyn todellisuuden näyttöteknologia voidaan jakaa kolmeen osaan: kädessä pidettävät näytöt (esimerkiksi älypuhelin), päässä pidettävä näyttö (AR-lasit, HoloLens, HUD) ja projisoitavat hologrammit. Päässä pidettävät näytöt voivat olla optisia tai virtuaalisia. Optiselle näytölle, silmillä olevien lasien pinnalle, projisoituu lisätty visuaalinen elementti reaali maailman näkymän sekaan. Virtuaalisessa näytössä lasit peittävät näkökentän ja laseissa oleva kamera antaa kuvan reaali maailmasta, johon lisättyjä visuaalisia elementtejä yhdistetään. Tässä tutkimuksessa käytettiin Microsoft HoloLens -laseja, jonka optiselle näytölle lisätyt visuaaliset ohjeobjektit ilmestyvät.



KUVIO 1 HoloLens-lasien näyttö. Kuva heijastuu näkökenttään reaali maailman näkymän sekaan. Kuva mukailtu Microsoft HoloLens -esitteestä.

Lisätyn todellisuuden teknologiaa hyödynnetään peliteollisuudessa älypuhelimille ja AR-laseille suunniteltujen sovellusten kautta. Rakennusteollisuus, lääketiede, sotateollisuus, asennustyöt ja koulutus ovat toimialoja, joissa lisätyn todellisuuden teknologiaa jo hyödynnetään. Hyvällä todennäköisyydellä tätä teknologiaa tullaan kehittämään tulevaisuudessa yhä arkisemmaksi apuvälineeksi.

1.2 Tutkimuksen rakenne

Teknisen laitteen näytöltä tai paperiohjeista katsottu informaatio täytyy hetkellisesti pitää aktiivisena työmuistissaan ennen tehtävän motorista suorittamista. Vastaavasti lisätyn todellisuuden laseissa tämä informaatio on jatkuvasti läsnä näkökentässä. Kahden erilaisen visuaalisen informaation prosessointitavan mittaaminen oli operationalisoitava niin, että se vastaisi lasien käyttötarkoitusta, erilaisten ulkoisten ja sisäisten tekijöiden vaikuttaessa itse mittaustilanteeseen.

Tutkimusmenetelmät -luvussa kerrotaan, miten operationalisointi on ratkaistu, ja miten koeasetelma on pyritty rakentamaan. Koska tarkoitus oli mitata ihmisen muistiprosessointia motorista työtehtävää suoritettaessa, oli koe rakennettava niin, että koehenkilö joutuu tehtävää suorittaessa tekemään käsillään jotakin. Kehitin tutkimukseen reaali maailman haasteita vastaavan kokeen, joka täytyi olla loogisesti mittaroitavissa. Valitsin kokeeseeni mittaroitavaksi objektiksi Duplo-palikoista koostuvan abstraktin rakennelman. Rakennelma oli suorakaiteen muotoinen ja koostui 21 eri muotoisesta lego-palikasta. Palikoiden muotoja oli kaksi, neliö ja suorakaide. Värejä oli kaksi, sininen ja vihreä. Lisäksi vihreän värisiä palikoita oli kahta eri sävyä. Värit valikoitiin aiempien, värien merkitykseen muistiprosessissa keskittyneiden tutkimusten perusteella. Kokeen rakenne oli within subjects -mittaus: koehenkilö suoritti kokeen Microsoft Hololens -laseja käyttäen, sekä paperiohjeista katsoessa. Koe suoritettiin eri viikoilla, jolloin pyrittiin häivyttämään aktiivisen muistijäljen vaikutus toisen koepäivän tuloksiin. Koehenkilöiden tehtävässä kasaama kuvio oli saman muotoinen kummassakin koesuorituksessa. Täten koehenkilölle ei ollut apua ensimmäisen kokeen aiheuttamasta muistijäljestä rakennelman kuvioon. Rakennelman muoto oli kuitenkin sama, millä pyrittiin eliminoimaan erilaisen muodon aiheuttama eroavaisuus muistamiseen. Koehenkilö keskittyi täten muodon ja värien järjestykseen rakennelmassa.

Mittaustulosten tilastollisissa analyysissa käytettiin Wilcoxonin epäparametrinen testiä mittaamaan kahden eri suoritustavan eroa muistitehtävässä. Lisäksi toistomittausten varianssianalyysillä (ANOVA) mitattiin koevälineen (alusta) vaikutusta mittaustulokseen, sekä alustan ja tehtäväjärjestyksen yhteisvaikutusta lopputulokseen. Pearsonin korrelaatiotestillä mitattiin korrelaatiota VPT-testin tuloksen ja kokeessa mitatun muistitehtävän tuloksen välillä.

Tulosten tulkinnassa ja pohdinnassa käsittellään tutkimustulosten merkitystä, sekä esitetään jatkotutkimusaiheita tutkimukseni antamiin tuloksiin perustuen. Lisätyn todellisuuden teknologia vaatii arkiseksi käyttölaitteeksi yleistyessään lisää tutkimusta sen vaikutuksista ihmisen kognitiivisiin prosesseihin. Lisätyn todellisuuden teknologian vaikutuksia työmuistiprosessointiin on hyvä tutkia tarkemmin, ja kehittää käyttäjätutkimukseen keskittyviä menetelmiä ihmisen ja teknologian välisen vuorovaikutuksen parantamiseksi.

2 VISUAALINEN TARKKAAVUUS JA TYÖMUISTIPROSESSOINTI

Työmuisti voidaan määritellä rajalliseksi määräksi aktiivisena pidettävää informaatiota, jota henkilö käyttää suorittaessaan kognitiivista tehtävää. Kyky tallentaa riittävä määrä informaatiota hetkellisesti työmuistiin on olennainen tekijä kognitiivisten tehtävien suorittamisessa. Newell & Simonin (1956) tekemässä tutkimuksessa työmuisti-käsite viittasi alun perin tietokoneohjelman rakenteisiin, joita tarvittiin aina kussakin tilanteessa aktiivisena prosessoimaan tehtävän suorittamiseen tarvittavaa informaatiota. Miller (1956) esitti ”magical number seven +/- 2” -teoriassaan, että ihminen voi prosessoida vain kyseisen määrän mielleyksiköitä kerrallaan aktiivisessa muistissaan. Myöhemmissä tutkimuksissa huomattiin, että ihmisen työmuistikapasiteetti voitiin jakaa 3-4 kokonaisuuteen (engl.kirjallisuudessa *chunk*), joka voi sisältää lyhyitä lauseita, idioomia ja listoja yksittäisistä sanoista (Cowan, 2010).

Atkinsonin ja Shiffrinin modaali-mallissa vuonna 1968 on työmuisti-termiä käytetty ensimmäistä kertaa ihmistieteissä. Heidän mukaansa työmuisti on muistisysteemi, jossa prosessoidaan aina kyseisen hetken aktiivisena olevaa informaatiota (Shiffrin & Atkinson, 1969). Craikin ja Lockhartin (1972) näkemys työmuistista on, että mitä tarkemmin prosessoit, sitä paremmin opit. Heidän mukaansa esimerkiksi sanan semanttisuus, onko sana esimerkiksi miellyttävä, jää paremmin mieleen kuin sen abstrakti olemus.

Tutkimus perustuu kognitiotieteessä yleisesti käytettyihin työmuistiteorioihin. Tutkimuksessa keskitytään pääasiassa Alan Baddeleyn ja Nelson Cowanin työmuistiteorioihin. John R. Andersonin pitkäkestoisen muistin teoriaan viitataan siltä osin, kun se liittyy representaatioiden käsittelyyn työ- ja pitkäkestoisessa muistissa. Tämä liittyy tutkimuksessani olevaan tehtävään, jossa koehenkilön on palautettava aiemmin tallentamansa informaatio takaisin työmuistiin prosessoivaksi. Lisäksi käyn läpi uudempia tutkimuksia, jotka ovat tuoneet tukea Baddeleyn ja Cowanin teorioille, sekä myös kyseenalaistaneet niiden antamat työmuistimallit. Työmuistiprosessoinnin rakenteen analysoinnissa nämä kaksi teoriaa ovat

perusta, jolle uudemmat tutkimukset ovat rakentuneet: kyseenalaistaen niitä, tai tuoden tukea niiden paikkaansa pitävyydelle.

Tutkimuksessani yhdeksi tärkeäksi komponentiksi työmuistiprosessoinnin analysoinnissa muodostui tarkkaavuus. Lähtökohtaisesti kahden erilaisen informaation prosessointitavan olennaiseksi tekijäksi muodostui kyky hakea ympäröivästä aistihavaintomaailmasta selektiivisen tarkkaavuuden kautta objekteja, joihin ”tarttua”. Kokeessa tutkittiin informaation prosessointiketjua, jossa havaittujen objektien tuoma informaatio aloittaa ensin konsolidaation aistiärsykkeestä työmuistiprosessointiin, ja siitä eteenpäin konsolidaation pitkäkestoiseen muistiin. Termiä *konsolidaatio*, mikä tarkoittaa informaation tallentumista, käytettiin lähdemateriaalina olevissa tutkimuksissa kuvaamaan informaation tallentumista ensin työmuistin prosessoitavaksi, ja sitten informaation tallentumisessa työmuistista pitkäkestoiseen muistiin. Yhdistän teoriaosuudessa konsolidaatio-termin koskemaan aina käsiteltävissä olevaa informaation prosessointivaihetta. Tarkkaavuus esiintyy englanninkielisessä tutkimuskirjallisuudessa nimellä *attentio*. Tässä tutkimuksessa käytän *attentio*sta suomenkielistä ilmaisua *tarkkaavuus*.

2.1 Työmuistin tutkimisesta

Baddeleyn teoriassa muistirakenne on modulaarinen ja muodostuu erillisistä informaation prosessointiin keskittyvistä osa-alueista. Cowanin teoriassa työmuisti ei muodostu eri osa-alueista, vaan on yhtenäinen kokonaisuus, joka vaatii tarkkaavuutta aktivoituakseen. Cowanin mallin mukaan muistirakenne on yhtenäinen, jonka toiminnan tarkkaavuus aktivoi (Cowan, 2005). Täten esimerkiksi informaation jatkuva läsnäolo näkökentässä ei vaadi sen tietoista tarkkaavuutta. Vastaavasti henkilön pyrkiessä muistamaan samankaltainen visuaalinen informaatio mielessään, vaatii se aktiivista keskittymistä visuaaliseen ja kielelliseen representaatioiden prosessointiin. Täten on hyvä tutkia, miten nämä kaksi erilaista informaation prosessointitapaa vaikuttavat informaation tallentumiseen pitkäkestoiseen muistiin. Tutkimukseni perustuu hypoteesiin, jossa informaatio, mikä ei vaadi keskittynyttä tarkkaavuutta, tallentuu heikommin pitkäkestoiseen muistiin, eikä jätä yhtä voimakasta muistijälkeä kuin informaation aktiivinen, tarkkaavuutta vaativa prosessointi sisäisen mentaalisen representaation kautta.

AR-laseja käytettäessä visuaalinen työmuistiprosessointi on oletettavasti vähäistä, sillä viitaten esimerkiksi Cowanin teoriaan, jossa vaaditaan tarkkaavuutta, käynnistääkseen muistiprosessoinnin, jää se informaation ollessa jatkuvasti näkökentässä mahdollisesti aktiivisen prosessoinnin ulkopuolelle juuri keskittymisen tarpeen puuttuessa. Samoin havaitun kohteen aktiivinen toisto mielessä voimistaa muistiprosessointiin tarvittavien hermosolujen välisiä yhteyksiä, jota kutsutaan *hebbiaaniseksi* oppimiseksi (Sumner ym. 2020). Tutkimuksessani koehenkilö toistaa saman tehtävän neljä kertaa, ja saa näin voimistetun oppimiseffektin.

Visuospatiaalista lehtiötä tarvitaan visuaalisten objektien käsittelyyn ja fonologista silmukkaa käytetään toistaessa objektin väriä sisäisenä puheena. Nämä kaksi osa-aluetta eivät kommunikoi keskenään, vaan näiden toimintaa ohjaa Baddeleyn (2012) työmuistimallissa keskusyksikkö, joka yhdistää saadun tiedon ja siirtää sen pitkäkestoiseen muistiin. AR-laseja käytettäessä Baddeleyn mallin mukainen työmuistiprosessi vaatii pienempää prosessointia aktiivisen visuaalisen objektin muistissa ylläpidon puuttuessa, kuvan ollessa jatkuvasti saatavilla näkökentässä. Paperiohjeista katsottaessa, koehenkilö joutuu käyttämään visuospatiaalista lehtiötä ja fonologista silmukkaa käsitellessään mentaalisisinä representaatioina katsomaansa kuvaa; joka hänen täytyy pitää aktiivisena useamman sekunnin ajan, pyrkien suorittamaan ohjeessa olevan tehtävän mieleensä painetun representaation avulla.

2.2 Baddeleyn työmuistiteoria

Alan Baddeleyn työmuistiteoria muodostuu fonologisesta silmukasta (*Phonological Loop*), visuospatiaalisesta lehtiöstä (*Visuospatial Sketchpad*), episodisesta puskurista (*Episodic Buffer*) ja keskusyksiköstä (*Central Executive*).



KUVIO 2 Baddeleyn työmuistimallin rakenne. Nuolet kuvaavat informaation kulkua eri moduulien välillä.

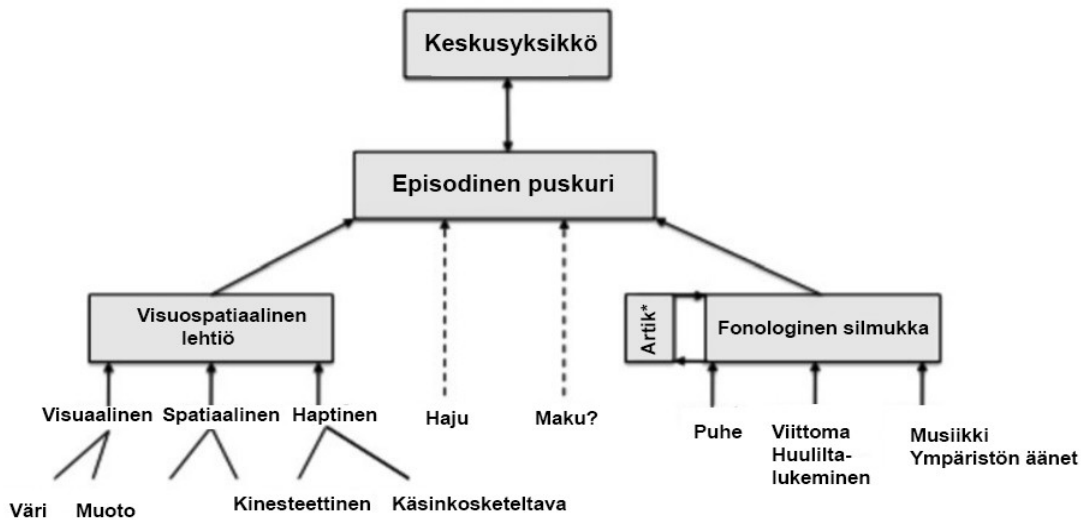
Fonologinen silmukka käsittää sen tarkastelualueen, missä henkilö prosessoi äänellistä informaatiota. Esimerkiksi sisäinen puhe, jossa henkilö toistaa, ajattelemalla tiettyä lauseiden pätkää tai musiikkikappaletta, on fonologisen silmukan alueilla tapahtuvaa sisäistä informaation prosessointia. Ihminen käyttää tätä toimintaa uuden oppimisessa, ongelmanratkaisussa, matemaattisissa tehtävissä ja ohjeiden muistamisessa. Fonologisessa silmukassa on kaksi osaa: fonologinen tallennustila ja artikulaarinen prosessi. Ihminen voi pitää aktiivisena fonologisessa tallennuksessa informaatiota 1,5 – 2 sekunnin ajan. Artikulaarinen prosessi puolestaan pitää tätä informaatiota aktiivisena toistaessaan esimerkiksi tiettyä värisarjaa värien sanoilla halutun aktivaation ajan. Tämä prosessi muuttaa myös luetun materiaalin sisäiseksi puheeksi. (Baddeley, 2010).

Visuospatiaalinen lehtiö varastoi ja käsittelee spatiaalista ja visuaalista informaatiota. Näillä osa-alueilla on rajallinen kapasiteetti ja ne toimivat melko itsenäisesti toisiinsa nähden. Opetellessaan sanoja ihminen käyttää sekä fonologista silmukkaa että visuospatiaalista lehtiötä. Nämä alueet eivät suoranaisesti ole yhteydessä toisiinsa, ja niiden toimintaa hallinnoi episodinen puskurijärjestelmä. Näistä osasista koostuva järjestelmä toimii molempiin suuntiin informaation tallentuessa työmuistiprosessoinnista pitkäkestoiseen muistiin ja informaation palauttamisessa pitkäkestoisesta muistista takaisin työmuistiin. (Eysenck 2010).

Visuospatiaalinen lehtiö määrittää tarkastelualueen, jossa visuaalinen ja spatiaalinen prosessointi tapahtuu. Informaatio aktivoituu tässä alueessa havaintoärsyksen tai kuvan kautta. Tämän toiminnon kautta ihminen voi tallentaa visuaalisia muistijälkiä kohteista ja sijainneista. Visuospatiaalinen prosessointi mahdollistaa ihmisen liikkumisen paikasta toiseen. Esimerkiksi kartasta katsottu siirtyminen kohteesta A paikkaan B aktivoi tällaisen prosessin. Myös palapelit, sokkelon suorittaminen, ja erinäiset pelit vaativat tämän osa-alueen aktivoimista. *Inner Scribe* -osa-alue Baddeleyn teoriassa siirtää värin ja muodon informaation keskusyksikön prosessoitavaksi. *Inner scribe* prosessoi myös spatiaalista- ja liikeinformaatiota, sekä osallistuu kehonliikkeiden suunnitteluun ja toteutukseen. (Baddeley 2012).

Episodinen puskuri on Baddeleyn kehittämän työmuistimallin osan, jonka hän lisäsi myöhemmin tukemaan työmuistimallinsa rakennetta. Episodinen puskuri tukee visuospatiaalisen lehtiön ja fonologisen silmukan toimintaa, ollessa näiden kahden toisistaan riippumattomien aistiyksiköiden työnhajaajana. Puskuri varastoi käsillä olevaa tietoa väliaikaisesti ja yhdistelee uutta ja aiemmin hankittua informaatiota toisiinsa. (Baddeley 2012).

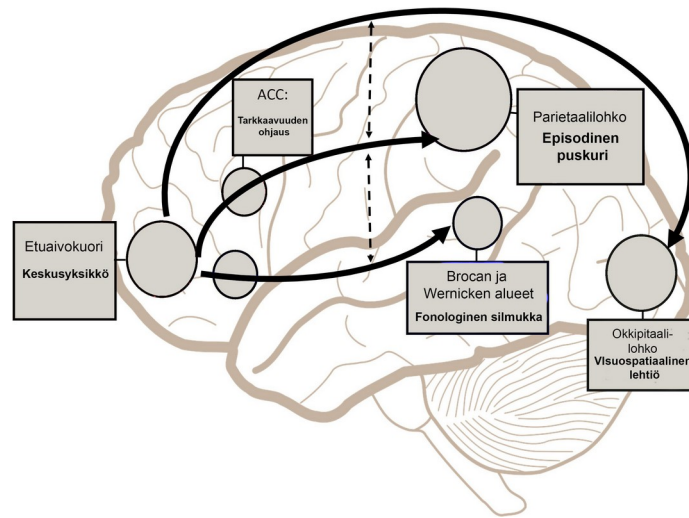
Keskusyksikkö yhdistää fonologisen ja visuaalisen informaation. Näiden kahden, eri aivoalueita käyttävän yksikön, informaatio yhdistyy mallin mukaisesti tässä yksikössä. Episodinen puskuri on lisätty Baddeleyn toimesta hänen alkuperäiseen teoriaansa 25 vuotta sen julkistamisen jälkeen. Episodinen puskuri tässä teoriassa käsittää toiminnot, joissa informaatiota voidaan pitää aktiivisena *chunkeina* työmuistissa, ja näin ollen toimia eri työmuistitoimintojen, kuten fonologisen silmukan ja visuospatiaalisen lehtiön tuottaman informaation yhdistäjänä, sekä siirtäessä tätä informaatiota pitkäkestoiseen muistiin. Episodisen puskurin toimintojen kapasiteetti on Baddeleyn, ja myös Cowanin teoriassaan esittämän (irrallaan episodisen puskurin käsitteestä) näkemyksen mukaan 4 *chunkkia*. Episodisessa puskurissa yhdistyy myös monitahoiset mielikuvat, jotka voivat olla yhdisteitä useista, reaali maailman havaintoja vastaavien elementtien yhdistämisestä toisiinsa, itse reaali maailmassa liittymättä (Baddeley 2012 s.17).



KUVIO 3 Baddeleyn aiempaa mallia täydentävä spekulatiivinen kuvio informaation kulusta aistihavainnosta työmuistiprosessointiin. (* artikulaatio) Mukailtu Baddeleyn esittelemästä mallista (2012)

Kyseisessä kuviossa visuaaliseen aistihavaintoon vaikuttavat useat tekijät. Tutkimuksessani otettiin huomioon esimerkiksi värin ja muodon vaikutus koetehtävän operationalisoinnissa. Ekuhbandnerin, Spitzerin, Lichtenfeldin ja Pekrunin (2015) tekemän tutkimuksen mukaan eri värit tallentuvat eri tavalla pitkäkestoiseen muistiin. He havaitsivat, että esimerkiksi keltainen ja punainen tallentuvat vahvemmin pitkäkestoiseen muistiin kuin sininen ja vihreä. Kokeen pyrkiessä mallintamaan tosielämän tilannetta, jossa henkilö käyttää käsitän kasatessaan tehtävän mukaista rakennelmaa, on otettu huomioon kosketuksen vaikutus, koehenkilön asettaessa kokeen mukaisia objekteja paikoilleen.

Baddeleyn teoriassa työmuisti käyttää myös pitkäkestoisen muistin aivoalueiden toimintaa prosessoidessaan informaatiota. Hän mainitsee yhtäläisyytenä Cowanin malliin mm. fonologisen silmukan toiminnassa sekä kielellisen ja leksikaalisen representaation prosessoinnissa pitkäkestoisen muistin alueella (Baddeley 2012 s. 19). Ericssonin ja Kintchin (1995) mallissa työmuisti käyttää pitkäkestoisessa muistissa olevia rakenteita vahvistamaan saadun aistiärsyksen tuomaa informaatiota työmuistiprosessoinnissa. Baddeleyn mallissa työmuisti on käyttöliittymä, joka yhdistää kognitiivisen ja toiminnallisen informaatioprosessoinnin erinäisissä modaliteeteissa ja prosessoinnin vaiheissa. Neurotieteelliset tutkimukset ovat tuoneet tukea Baddeleyn työmuistiteorialle esittämällä Baddeleyn mallin mukaisilla alueilla aktivaatiota esimerkiksi visuaalisen työmuistin prosessointiin keskittyvillä alueilla. Baddeley (2012, s.20) itse pitää neurotieteellistä tutkimusta tärkeänä lisänä työmuistin tutkimisessa, mutta ei näe anatomisella, neuronitason informaation tutkimisella teoreettista sovelluspohjaa pääasiallisesti ihmisen toiminnan tietyssä kohteissa, tietyssä tilanteessa, aiheuttaman työmuistiprosessoinnin aktivaatioissa



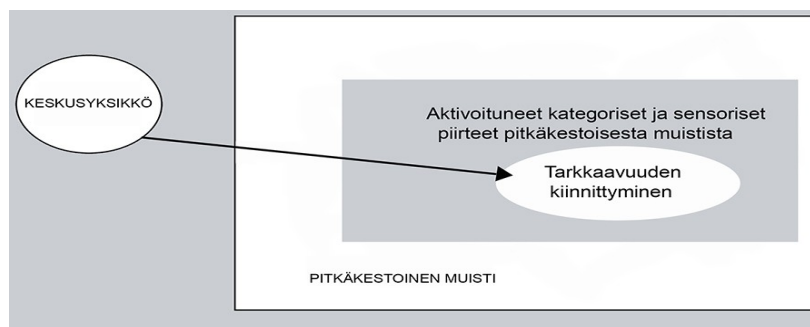
KUVIO 4 Baddeleyn työmuistiteoriaa tukeva kartta aivoalueista, jotka osallistuvat teoriansa mukaiseen työmuistiprosessointiin. Kuvio on havainnollistava visualisointi Baddeleyn työmuistimallin mukaisesta prosessoinnista. Aivot osallistuvat kuitenkin työmuistiprosessointiin kokonaisuutena, eikä niitä voida uudempien tutkimusten perusteella jakaa näin selkeästi eri moduuleihin (D.Esposito, Postle 2015) (ACC=Anterior Cingural Cortex, suom. anteriorinen pihtisilmukka) Kuvio mukailee Chai ym. (2018) luomaa mallia

Neurotieteellisissä tutkimuksissa on osoitettu, että visuaalinen ja fonologinen prosessointi tapahtuu pääasiallisesti eri aivoalueilla, ja näin puolestaan tukevat Baddeleyn teorian rakennetta (Smith, Shields, Allendorfer & Ashburn. 1998). Tämä on loogisesti helppo hyväksyä, sillä fonologisen silmukan prosessoinnin aikana kielten muodostamiseen ja -käsittämiseen keskittyvät aivoalueet, kuten Brocan ja Wernicken alueet aktivoituvat (D'Esposito & Postle, 2015). Vastaavasti visuospatiaalisen lehtiön toiminnassa okkipitaalialueilla näköaivokuoressa tapahtuu aktivaatiota. Samoin aivotutkimuksissa on havaittu aktiivisuuden kasvua kielellisen ja visuaalisen prosessoinnin aivoalueilla työmuistitehtävää suoritettaessa, jossa saatu aistihavainto pyritään pitämään aktiivisena prosessoinnissa halutun ajan (Postle, 2006). Visuospatiaalinen lehtiö ja fonologinen silmukka ovat Baddeleyn mallissa osa-alueita, jotka käsittelevät visuaalisen- ja äänellisen aistihavainnon tuomaa informaatiota, kun sitä pidetään aktiivisena muistissa. Nämä osa-alueet toimivat omina tuotantoyksikköinä, jonne tulevan informaation jatko-prosessoinnista vastaa keskusyksikkö, joka siirtää informaation eteenpäin pitkäkestoiseen muistiin. Tutkimuksissa on osoitettu, että vauriot aivoalueilla, jotka vastaavat keskusyksikön prosessoinnista, eivät kuitenkaan vaikuta visuaalisen ja fonologisen informaation prosessointiin keskittyvien aivoalueiden toimintaan. Esimerkiksi visuaalisen informaation väri, muoto ja sijainti vaativat eri aivoalueiden prosessointia. Tämä eri alueilla tapahtuva prosessointi on sidottava yhteen kokonaisen käsityksen saavuttamiseksi. Baddeley (2000) kehitti työmuistimalliinsa elementin *episodinen puskuri*, joka yhdistää saapuvan

aisti-informaation keskusyksikön prosessoitavaksi. Useissa tutkimuksissa kuitenkin pystyttiin osoittamaan, että havaittavien aistiärsykkeiden sitominen (engl. binding) tapahtuisi työmuistin visuospatiaalisella alueella, eikä Baddeleyn mallissa olevan episodisen puskurin alueella (Karlsen, Allen, Baddeley & Hitch, 2010). Tarkkaavuus on osoittautunut tekijäksi visuaalisen ja spatiaalisen informaation yhdistämisessä jo visuospatiaalisessa työmuistiprosessissa, eikä vasta informaation siirtyessä siitä eteenpäin komponentteihin *episodinen puskuri* ja *keskusyksikkö*.

2.3 Cowanin työmuistiteoria

Nelson Cowanin (2005) muistiteorian mukaan työmuistia ja pitkäkestoista muistia ei voida irrottaa toisistaan erillisiksi yksiköiksi, vaan työmuisti on osa kokonaista muistijärjestelmää. Cowanin teorian mukaan aktiivisesti käsiteltävissä olevaa informaatiota voidaan prosessoida työmuistissa vain 3-4 yksikköä kerrallaan. Nämä yksiköt voidaan jakaa haarautuviksi kokonaisuuksiksi (engl. chunk). Yksityiskohtaisempi tieto voidaan pakata ikään kuin omiin kansioihinsa, joita voidaan Cowanin teorian mukaisesti pitää aktiivisena muistissa ja palauttaa sen sisältämää yksityiskohtaisempaa tietoa tarpeen mukaisesti aktiivisen prosessointiin. Esimerkiksi ostoslistassa porkkana, lanttu ja punajuuri voidaan "pakata" kansioon "juurekset" ja maito, jogurtti, juusto kansioon "maitotuotteet". Tietyn ruokalajin resepti muistamisen avulla voidaan palauttaa mieleen sen sisältämien ainesosien määrä. Näin ollen Millerin 7+-2 mallin mukaisesti työmuistin kapasiteettia voidaan kasvattaa tällä *chunk-periaatteella*. Yksittäisinä asioina esimerkin mukaiset tuotteet olisivat määrällisesti vaikeampi muistaa.



KUVIO 5 Cowanin työmuistimalli

Cowanin mallissa saapuva aistiärsyke on tietoisesta tarkkaavuudesta kautta valikoituvaa informaatiota, jota työmuisti prosessoi. Tässä mallissa saapuva informaatio aktivoi kyseisen aistitoiminnon alaisen aivoalueen, eikä työmuistia voi sinällään lokeroita Baddeleyn mallin kaltaisiin osa-alueisiin. Keskusyksikkö on rakenne, joka vastaa tietoisesta käsiteltävissä olevan informaation prosessoinnista: tarkkaavuudesta, päätöksenteosta ja

asiakokonaisuuksien aktiivisena pidosta (Cowan, 2005). Baddeleyn mallissa eri aivoalueilla tapahtuva aktivaatio on jaettu erillisiin moduuleihin, kun taas Cowan käsittelee muistiprosessointia enemmän kokonaisvaltaisena toimintona. Tämän mallin mukaan otetaan huomioon eri aivoalueiden yhteisvaikutus niiden keskittyessä esimerkiksi visuaalisen informaation prosessointiin. Informaation siirto on samanlainen kummassakin mallissa, mutta Cowanin näkemyksen mukaan visuaalinen ja fonologinen prosessointi tapahtuu ikään kuin yhtenäisessä muistiprosessointiin aktivoituvissa aivotoinnoissa (Cowan, 2005).

2.4 Visuaalinen prosessointi työmuistissa

Fonologiseen prosessointiin ja artikulatoriseen kontrollointiin keskittyvissä aivoalueissa tapahtuu lisääntyntä aktiivisuutta työmuistiprosessoinnissa. (Smith ym. 1998) Lisäksi tutkimuksissa on havaittu havaintoon ja toimintaan keskittyvien aivoalueiden aktiivisuudessa, kun työmuistiprosessoinnissa on aktiivisena saadun näköinformaation ylläpito tai varautuminen saatavaan informaation

Baddeleyn työmuistimalli on antanut perusrakenteen työmuistiprosessoinnille, mutta työmuistiprosessointiin keskittyvät osa-alueet jakautuvat jatkotutkimusten mukaan paljon laajemmalti aivojen alueilla (Postle 2006). Postle ja Cowan mm. ehdottavat, että työmuistiprosessit eivät sijoitu tietylle aivoalueelle, vaan ympäristöstä saadut ärsykkeet aktivoivat kunkin aistialueen toiminnot kutakin käyttötarvetta ajatellen. Esimerkiksi visuaaliset representaatiot aktivoituvat tietoisesta tarpeesta pitää haluttu visuaalinen informaatio aktiivisena tarpeen mukaisen ajan (Postle 2006).

Työmuistiprosessoinnista johtuva muistijälki muodostuu mahdollisesti usean, kohteena olevan asian muistamiseen keskittyvän prosessin sivutuotteena (Craik & Lockhart 1972). Muistettavan asian mielekkyys vaikuttaa muistijäljen muodostumiseen ja sen aktivoimiseen pitkäkestoisesta muistista. Havaittava artefakti aktivoi muistettavan asian, ja sen ollessa mielekäs, muistista aktiiviseen prosessointiin palauttaminen onnistuu paremmin (Clark, 2016). Muistijäljen aktivoiminen aktiiviseen prosessointiin ei riipu ainoastaan muistijäljen enkoodautumisesta pitkäkestoiseen muistiin, vaan muistettavan asian ja muistitilanteen välisestä interaktiosta (Blalock, 2015). Visuaalisen ärsykkeen aktiivinen pito työmuistissa herättää tähän prosessointiin tarvittavien aivoalueiden toiminnan. Visuospatiaalisen lehtiön ja fonologisen silmukan toimintaan keskittyvien aivoalueiden prosessointi on aktiivista henkilön pitäessä aktiivisena aistimaansa ärsykettä suorittaessaan tehtävää, joka vaatii ärsykkeiden pitämistä aktiivisena työmuistissa. Vastaavasti voidaan spekuloida, aiheuttaako visuaalisen ärsykkeen jatkuva läsnäolo näkökentässä oletetusti vähemmän aktiivisuutta näiden aivoalueiden toiminnassa, visuaalisen representaation ja fonologisen toiston ollessa vähemmän tietoisesti aktiivisen prosessoinnin käytössä? Konteksti, jossa

muistijälki on muodostunut, vaikuttaa muistijäljen palauttamiseen aktiiviseksi, jos samanlainen tilanne tai ympäristö voidaan luoda palautushetkelle (Smith 1979). Itse muistitehtävän mielekkyys on saattanut vaikuttaa henkilön kykyyn muistaa opeteltu tehtävä.

2.5 Mentaaliset representaatiot ja tarkkaavuus

Mentaalisella representaatiolla tarkoitetaan esimerkiksi visuaalista sisäistä mielikuvaa, jonka voimme muodostaa halutusta kohteesta. Visuaalinen representaatio syntyy, kun aistihavainnon kautta saatu ärsyke on aktiivisena, mutta itse ärsykettä ei enää havaita näkökentässä. Havaitun kohteen ominaisuudet muodostavat aktiivisen ylläpidon kautta subjektiivisen kokemuksen havaitusta kohteesta (Kosslyn, 2005). Pystymme muodostamaan mielessämme objektin *auto*, ja käsittelemään vaikkapa objekteja, jotka muodostavat olohuoneemme sisustuksen ja rakentamaan mielessämme kartan tutusta reitistä, jonka aiomme vaikkapa pyöräillä. Visuaalinen aistihavainto muodostaa aina aktivaation visuaaliseen aistihavaintoon keskittyvillä aivoalueilla. Suljettuaan silmänsä esimerkiksi objekti *kirja* säilyy hetken lyhytkestoisessa muistissa ja pysyy työmuistiprosessoinnin kautta aktiivisena henkilön tietoisena tarkkaavuuden kautta. Objektin havaitsemisen yhteydessä koettu objektin merkittävyys voidaan katsoa yhtenä seikkana sille, kuinka objekti konsolidoituu pitkäkestoiseen muistiin. Objektin uudelleen havaitseminen saattaa palauttaa henkilölle aktiiviseksi hetken, jolloin ensimmäisen kerran havaitsi kyseisen objektin (Anderson, 2007). Täten on olennaista tutkia, miten erilainen visuaalisten objektien erilaiset prosessointitavat tai -voimakkuudet vaikuttavat representaatioiden konsolidoitumiseen pitkäkestoiseen muistiin.

Tutkimukset ovat osoittaneet, että työmuistissa aktiivisena olevat objektit laukaisevat top-down-prosessin pitkäkestoisessa muistista, jotka implementoivat tehtävän kannalta relevanttien ärsykkeiden valintaa (Bundesen ym., 2005) Tämä reaktioketju mahdollistaa tarkkaavuuden keskittämisen haluttuun kohteeseen ilman, että voimakas ulkoinen ärsyke, kuten kirkas valo, nopeasti liikkuva kohde tms. veisi bottom-up-prosessin kautta huomion jo ”*valmiiksi lukitusta*” kohteesta. Täten työmuistissa aktiivisena oleva objekti hallitsisi tarkkaavuuden vaikutusta uusien tulevien kohteiden valintaan, ja valinta olisi osin sisältä päin tuleva prosessi, jonka kautta ulkoisia ärsykeitä voidaan kontrolloida.

Informaation prosessointikulussa toisto vaikuttaa representaatioiden merkitykseen työmuistissa ja pitkäkestoisessa muistissa. Toistettaessa samansisältöistä harjoitusta kerta toisensa jälkeen, työmuistissa olevat representaatiot vaikuttavat prosessointiketjuun aktiivisesti. Tällöin suoritus paranee alussa merkittävästi, mutta toistomäärän lisääntyessä sen tuoma etu tasaantuu. Tutkimuksissa on todistettu, että representaatioiden prosessointi siirtyy muutaman ensimmäisen toistokerran jälkeen työmuistista pitkäkestoisen

muistin kontrolloitavaksi, jolloin representaatiot antavat ainoastaan tarvittavan signaalin työmuistiin jo konsolidoituneesta informaatiosta, ja täten pitävät yllä siellä jo olevaa toimintoa kasvattamatta kyseessä olevan tehtävän suorituskapasiteettia (Anderson, 2007). Aikaisemmissa tutkimuksissa, kuten Woodmanin ja Luckin (2010), on lisäksi todettu, että visuaalisen työmuistin representaatioilla on vain vähän vaikutusta itse suoriutumiseen kokeessa, jossa työmuistiprosessointiin käytettävää aikaa manipuloitiin suhteessa etsittävän kohteen kokoon. Tässä kokeessa koehenkilö toisti samaa testiohjelmaa toisen perään (Woodman & Luck, 2010). Näissä kokeissa päädyttiin johtopäätökseen, jossa työmuistissa olevat representaatiot itsessään eivät olisi osallistuneet muistiprosessointiin aktiivisesti (Woodman, Vogel & Luck, 2001). Tämä johtui Carlislen, Aritan, Pardon ja Woodmanin (2011) tekemän tutkimuksen mukaan siitä, että toistojen jälkeen pitkäkestoinen muisti alkoi hallita tarkkaavuutta informaation prosessoinnissa. Pitkäkestoinen muistin representaatiot syrjäyttivät visuaalisen työmuistin representaatiot tarkkaavuuden ohjaamisessa, koehenkilön kokemuksen kertyessä saman kohde-objektin etsinnässä havaintokentästä. Carlislen ym. (2011) mukaan olennaista on tutkia, missä vaiheessa pitkäkestoinen muisti alkaa kontrolloida työmuistissa tapahtuvaa representaatioiden prosessointia. Heidän mukaansa visuaalinen työmuisti ohjaa tarkkaavuutta ja käsittelee representaatioita aktiivisesti, tai pääasiallisesti, vain 1-2 saman sisältöisen testin toistokerran ajan. Tästä eteenpäin informaatio on konsolidoitunut pitkäkestoiseen muistiin, ja jo opittujen visuaalisten objektien representaatiot ovat pitkäkestoinen muistin kontrolloitavissa. Voiko tarkkaavuudella täten olla vaikutusta siihen, miten jatkuvasti läsnä oleva ohjeinformaatio prosessoituu AR-lasien näytöltä ensin työmuistin, ja sitten pitkäkestoinen muistin kontrolloitavaksi?

2.6 Visuaalisen informaation konsolidaatio

Visuaalisen työmuistin konsolidaatiolla tarkoitetaan prosessia, jossa sensorinen aistihavainto siirtyy työmuistin prosessoitavaksi, ja muodostaa täten representaation. Vogelien esittämän mallin mukaan informaation määrä, joka voidaan enkoodata työmuistiin, on konsolidaatioon käytetyn ajan funktio (Vogel, Woodman & Luck., 2006). Informaation määrän ja konsolidaation käytetyn ajan funktio. Tämä tarkoittaa, että visuaalisen työmuistin konsolidaatioon vaadittua aikaa voidaan tutkia manipuloimalla konsolidaatioprosessiin käytettävää aikaa. Inhimillisissä objekteissa, kuten kasvoissa, tuttuus on vaikuttanut työmuistissa prosessoitavan informaation määrää kasvattavasti. Myös abstrakteissa kuvioissa on havaittua samanlainen efekti, jossa esimerkiksi tuttuja monikulmioita on voitu prosessoida useampi määrä työmuistissa (Blalock, 2015). Täten työmuistiprosessoitu informaatio jättää aina jonkunlaisen jäljen pitkäkestoiseen muistiin, ja tutun objektin uudelleen havainnointi käynnistää palautusprosessin. Kaikkea prosessoitua informaatiota ei kuitenkaan pystytä aina joka tilanteessa palauttamaan. Tähän

voi vaikuttaa tarkkaavuuden merkitys itse konsolidaatiotilanteessa ja havaitun kohteen mielekkyyden kokeminen. Apperseptiolla tarkoitetaan prosessia, jossa uusi aistihavaintojen kautta saatava informaatio yhdistyy jo olemassa olevaan mentaaliseen sisältöön, luoden uuden merkityksellisen mentaalisen representaation (Silvennoinen, Rousi, Jokinen & Perälä, 2015). Apperseptioprosessi aiemmin koetun ja uudelleen havaitun, merkityksellisenä koetun informaation välillä, voisi spekulatiivisesti vaikuttaa palauttamisprosessiin heikentävästi tai vahvistavasti.

Tarkkaavuus erottaa havaintokentässä valitun kuvion sitä ympäröivästä taustasta. Visuaalinen selektio valitsee kohteen ja sen lokaation havaintokentässä. Mielekkyys havaittavasta kohteesta vaikuttaa kohteen antaman informaation vahvempaan prosessointiin työmuistissa. Heikentäviä vaikutuksia on tosiasioden vastainen olettaus, johon uutta informaatiota yrittää törmäyttää. Kehon ulkopuolelta saatu visuaalinen ärsyke muodostaa aistihavainnon, representaation, joka tietoisien tarkkaavuuden avustuksella muuttuu visuaalisen työmuistin prosessoitavaksi. Aistihavainto itsessään on altis häiriöille, ja täten vaaditaan tietoista tarkkaavuutta, jotta haluttu visuaalinen ärsyke saadaan pysymään aktiivisena työmuistin prosessoinnissa. Visuaalisen työmuistiprosessoinnin alaisena olevan informaation tallennusprosessia kutsutaan visuaalisen työmuistin konsolidaatioksi. (Luck & Ford, 1998).

Gaon, Dingin, Yangin, Liangin ja Chuin (2013) mukaan informaation konsolidaation tutkimuksessa käytetään kahta erilaista tarkastelukohtaa, termeillä *All-or-none* ja *coarse-to-fine*, informaation konsolidaatioprosessin kuvaamiseen. *Coarse-to-fine* -määritelmällä tarkoitetaan, että aistihavainto jalostuu "karkeasta" silmän tuottamasta informaatiosta "hienoksi" informaatioksi, joka prosessoituu visuaalisessa työmuistissa. *All-or-none* -määritelmän mukaan informaatio, joko siirtyy kokonaisuudessaan työmuistiin, tai sitten ei ollenkaan, jolloin mitään "jalostumista" ei siirrosta tapahdu (Gao ym. 2013). Visuaalinen työmuisti on systeemi, joka pitää aktiivisena yllä informaatiota ja siirtää sitä edelleen muihin monimutkaisiin kognitiivisiin prosesseihin. Työmuistin kyky pitää yllä, henkilön suljettua silmänsä, aktiivisena havaittua visuaalista kuvaa, tekee siitä toiminnon suoran sensorisen aistiärsyksen havaitsemisen ja korkeamman tason tiedonkäsittelyprosessien välillä. Täten on tärkeää tutkia, miten visuaalisen työmuistiprosessoinnin eroavaisuus aktiivisen mentaalisen representaation ylläpidon ja neutraalin, visuaalista ärsykettä vastaanottavan, havaintoprosessin välillä eroaa toisistaan.

Tarkkaavuudella on suuri merkitys informaation konsolidaatiossa työmuistista pitkäkestoiseen muistiin. Tutkimuksissa on kyetty osoittamaan, että henkilöillä, joilla on heikko visuaalisen työmuistin kapasiteetti, on vaikeuksia hallita tarkkaavuutta niin, että työmuistissa oleva informaatio konsolidoituisi muistijäljeksi (Ye ym. 2019). Erityisesti kyvyssä erotella häiriötekijät itse muistettavasta asiasta erosivat heikon- ja vahvan visuaalisen työmuistin omaavilla ihmisillä. Vahvan työmuistin omaavilla kyky pitää aktiivisena tarkkaavuuden alla olevaa informaatiota oli hyvä, kun taas

vastaavasti heikomman työmuistin omaavilla huono (Vogel ym., 2006).

Muutamissa tutkimuksissa (Jiang, Olson & Chung, 2000; Olson & Marshuetz, 2005; Treisman & Zhang, 2006) on havaittu, että aistiärsyksen sijainti enkoodautuu työmuistiin joka tapauksessa, vaikka itse kohteen spatiaalinen merkitys olisi tehtävän kannalta vähäinen. Vastaavasti värit voidaan erottaa omaksi, tarkkaavuuden kautta aktivoituvaksi tekijäksi, joihin työmuisti osallistuu myös fonologisen prosessoinnin kautta. Sisäinen puheen kautta voidaan tukea visuaalista aistihavaintoa toistamalla havaitun kohteen värejä, tehtävän vaatiessa niiden muistamista (Henry, Messer, Luger-Klein & Crane, 2012). Voidaan olettaa tähän tutkimustulokseen nojaten, että AR-lasien kautta olemassa oleva jatkuva visuaalinen informaatio näkökentässä, ei vaadi aktiivista sisäistä puhetta kohteen sisältämien elementtien ominaisuuksien muistamisessa.

2.7 Tarkkaavuus visuaalisen informaation konsolidaatiossa

Tutkimuksessa (Ye ym. 2019) selvisi, että tarkkaavuudella on suuri merkitys informaation konsolidaation visuaalisesta työmuistista. Visuaalisen työmuistiprosessin tutkimisessa tarkkaavuus voidaan jakaa ulkoiseen ja sisäiseen tarkkaavuuteen. Vahva visuaalinen työmuistiprosessointi korreloi henkilön kykyyn, ulkoisen valikoivan tarkkaavuuden kautta, suodattaa pois epäolennaista, itse tarkkaavuuden ohella olevaa, häiritsevää informaatiota. Sisäisen tarkkaavuuden käsite määrittelee jo olemassa olevan informaation ja uuden informaation välistä prosessointia (Ye ym., 2019).

Sensorisen aistihavaintoinformaation lisääntyessä työmuistin kyky prosessoida heikkenee. Kuitenkin selektiivisen tarkkaavuuden kautta, jolloin informaatiotulvasta voidaan valita tarkkaavuuden alainen kohde, voidaan tätä häiritsevää informaatiota karsia pois (Soto, Hodsoll, Rothstein & Humphreys, 2008). Visuaalinen työmuisti ikään kuin valikoi tarkkaavuuden ohjaamisen kautta tehtävän mukaisen kohteen, johon "tarrautuu".

Ye ym. (2019) havaitsivat varhaisen konsolidaation vaihetta mittaavassa tutkimuksessaan, että informaation enkoodaus, eli tallentaminen, parani, mitä enemmän aikaa konsolidaatioon koetehtävässä oli. Kyseisessä kokeessa näyttöpäätteellä näkyvissä olevan kuvion aikamääre oli sadoissa millisekunneissa, eikä se vastaa suoranaisesti oman kokeen ajan käyttöä. Omassa tutkimuksessani pyrittiin luomaan mahdollisimman pitkälle ns. oikeaa työtilannetta vastaava koeasetelma, jossa työtehtävää suoritetaan käsin, ja jonka ohjetta on pidettävä aktiivisena visuaalisessa työmuistissa. Täten voidaan olettaa, että jatkuva informaation läsnäolo näkökentässä saattaa tehdä siitä riippuvaisen muulle, jatkuvasti aistihavaintona saatavalle visuaaliselle informaatiolle, mikä ei merkityksettömyytensä takia siirry työmuistin prosessoitavaksi. Voidaanko olettaa, että tämä tarpeettomuus tietoiseen kohteen tarkkaavuuteen, vaikuttaa kyseisen ohjeinformaation konsolidaation työmuistiprosessoinnissa? Aistihavaintoinformaatio ei siirry epävakasta

tilastaan kohti vakaampaan työmuistiprosessointia ilman aktiivista prosessointia. Itse kohde kuitenkin havaitaan selektiivisen tarkkaavuuden kautta ainakin kerran, vaikka siihen ei keskity jatkuvaa tietoista tarkkaavuutta (Ye ym, 2019). Tarkkaavuudella on siis tärkeä merkitys jatkuvasti saatavilla olevan informaation selektiiviseen valikoimiseen, jotta merkityksellinen informaatio tehtävän suorittamisen kannalta voidaan siirtää bottom-up-prosessin kautta kohti hienovaraisempia kognitiivisia toimintoja.

2.8 Konsolidaatio työmuistista pitkäkestoiseen muistiin

Työmuistin ja pitkäkestoisen muistin välistä suhdetta on tutkittu paljon, vaihtelevina näkemyksinä, eikä yhtä yhtenäistä mallia tähän vielä ole löydetty (Xie & Zhang, 2017). Modaalimaisen mallin, kuten Baddeleyn työmuistiteoria, mukaan työmuisti ja pitkäkestoisen muisti ovat erillisiä yksikköjä, kun taas vastakkaisen näkemyksen mukaan työmuisti on tarkkaavuuden aktivoimaa pitkäkestoisen muistin toimintaa. Visuaalisen työmuistin konsolidaatio on nähty viime aikaisissa tutkimuksissa kaksivaiheisena prosessina. Ensimmäisessä vaiheessa havaitusta visuaalisesta informaatiosta muodostuu heikohkolla tarkkuudella oleva muistijälki useista havaittavissa olevista visuaalisista ärsykkeistä. Tässä vaiheessa henkilö voi havaita niin monta visuaalista objektiä kuin kokee olevan mahdollista; mitä enemmän objekteja on muistettavana, sitä enemmän aikaa niiden enkoodaus vaatii. Kuitenkin tämä ensimmäinen vaihe on pääasiallisesti ärsykepohjainen prosessi (Ye ym., 2020). Toisessa vaiheessa henkilö voi keskittyä allokoimaan esimerkiksi tehtävän kannalta olennaisia objekteja. Tässä vaiheessa objektit ovat tietoisien tarkkaavuuden kautta kohdistettuja havaintoja. Tämä uudelleen allokointi muuttaa satunnaiset aistihavainnot tietoisien kognitiivisen työmuistiprosessin alaiseksi (Williams, 2020). Omassa tutkimuksessani kiinnitin huomiota siihen mahdollisuuteen, että jatkuvasti näkökentässä oleva informaatio ei ilman tietoista tarkkaavuutta aiheuta, vastaavanlaisesti kuin kaksivaiheisessa konsolidaatiomallissa kuvataan, informaation konsolidaatioprosessia työmuistissa samalla tavalla kuin aktiivinen visuaalisen informaation prosessointi mentaalisenä representaationa.

Craikin ja Lockhartin (Baddeley 1978) mukaan muisti on useiden havaintoon ja sen ymmärtämiseen osallistuvien toimintojen sivutuote; esimerkikkinä ortografinen, fonologinen tai semanttinen käsiteltävissä olevan informaation prosessointi. Morris, Branford ja Franks (1977) kehittivät teorian "*transfer appropriate processing*". Tässä teoriassa tiedon palauttaminen pitkäkestoisesta muistista aktiiviseksi on yhteydessä siihen, ovatko olosuhteet tiedon muistamiseen samankaltaiset, kuin missä kyseinen tieto on enkoodautunut, eli opittu. Olosuhteilla tarkoitetaan, onko tieto tallentunut esimerkiksi semanttisesti tai fonologisesti. Jos koehenkilö oli pyrkinyt muistamaan sanoja niiden semanttiselta merkitykseltään, pystyi hän

palauttamaan niitä mieleensä kysyttäessä opeteltujen sanojen semanttisuudesta. Vastaavasti fonologinen vastaavuus löytyi sanoissa, jotka opettelutilanteessa oli kysytty riimin omaisesti: sointuuko sana *voita* sanan *soita* kanssa? Monissa muissa tutkimuksessa on lisäksi havaittu oppimistilanteen mentaalinen, emotionaalinen tilanne, sekä oppimistilanteen lokaation merkitys informaation palauttamiseen muistamistilanteessa. Kuitenkaan oppimistilanteen merkitys ei auta tilanteissa, joissa on uudelleen tunnistettava asioita, samalla tavalla kuin pyrittäessä muistamaan niiden merkityksiä, sijaintia jne.

Deklaratiivinen muisti tallentaa tiedot ja tapahtumat, proseduraalinen muisti toiminnot ja prosessit (Roy & Park, 2016). Tutkimuksessani koehenkilö käytti molempia muistirakenteita hänen pyrkiessään muistamaan objektien kokoa ja värejä, sekä hänelle tallentui niiden kasaustehtävässä motorisia muistijälkiä käsien suorittaessa tehtävää. Haptinen muodon aistiminen, sekä värin ja muodon havaitseminen ovat Baddeleyn teorian mukaisesti visuospatiaalisen lehtiön prosessoitavissa olevaa informaatiota (Baddeley, 2012).

2.9 Visuaalinen tarkkaavuus ja visuaalinen työmuisti

Hollingworth ja Maxcey (2012) puolestaan kyseenalaistivat tutkimuksessaan visuaalisen tarkkaavuuden ja visuaalisen työmuistin yhtenäisen toiminnan. He perustelivat tätä mm. ”oikean elämän visuaalisten tehtävien vaatimuksilla”: valittaessa korista omenoita isoin, täytyy yhden potentiaalisen objektin löydyttyä pitää sitä aktiivisena mielessään, vaikka samalla tarkkaavuus hakeutuu vertaamaan valitun objektin kokoa muihin ympärillä oleviin objekteihin. Täten he kokivat, että tarkkaavuus ja visuaalinen työmuisti eivät voi olla yhtenäinen mekanismi, vaan kaksi erillistä toimintoa. He tutkivat tätä kokeella, jossa testattiin, tarvitaanko visuaalista tarkkaavuutta valikoivaan kohteen ylläpitoon työmuistissa. He eivät löytäneet kokeessa visuaalisen työmuistin riippuvuutta tarkkaavuudesta, vaan kohde pystyttiin pitämään aktiivisena työmuistissa tarkkaavuuden vaihdellessa testissä vaihtelevien kohteiden mukaan.

Tämä tulos on ristiriidassa aiempien tutkimustulosten kanssa, jossa kohteen pysymiseen aktiivisena visuaalisessa työmuistissa, vaaditaan kohteeseen kiinnittyvää tarkkaavuutta. Näin Hollingworth & Maxcey (2012) kyseenalaistavat esimerkiksi Cowanin muistiteorian, jossa tarkkaavuus aktivoi työmuistiprosessin. Jatkovaa tarkkaavuuden ylläpitoa havaittuun kohteeseen ei siis vaadita työmuistin toiminnan ylläpitoon. Heidän mukaan ei siis voida osoittaa, että tarkkaavuudella ei olisi vaikutusta havaitun objektin priorisointiin työmuistiprosessin alkamiseen, mutta heidän tutkimuksensa mukaan jatkuvaa tarkkaavuutta ei vaadita visuaalisen informaation työmuistiprosessin toimimiseen. He pyrkivät tässä tutkimuksessaan erottamaan tarkkaavuuden ja työmuistin välisen yhtäläisyyden, ja saivat tuloksia, jotka tukivat ajatusta, että työmuisti ja tarkkaavuus eivät ole yksi ja sama komponentti, vaan erilliset

mekanismit, jotka vaikuttavat toistensa kanssa. Vaikka he kyseenalaistivat aiemmat tutkimukset tarkkaavuuden ja työmuistin yhtäläisyydestä, he kuitenkin totesivat näiden yhteisvaikutuksen olevan olennaisesti riippuvaisia toisistaan visuaalisen työmuistin kokonaisprosessin kannalta. Kohdetta pystyi pitämään aktiivisena työmuistissa ilman juuri kyseisen kohteen jatkuvaa tarkkaavuuden alla oloa. Tarkkaavuus saattoi vaihdella eri kohteiden välillä, eikä se tuonut merkittävää eroa muistituloksissa koetilanteessa (Hollingworth & Maxcey, 2012).

Heidän tutkimustuloksensa ei mielestäni sulje pois sitä mahdollisuutta, että visuaalisen tarkkaavuuden kautta voidaan priorisoida kohteita visuaalisessa työmuistissa. Tutkimustulos indikoi, että priorisointia voi tapahtua ilman jatkuvaa tarkkaavuutta, oletuksella, että on olemassa vaihtoehtoisia ja tasavertaisia keinoja pitää valikoivaa kohteiden ylläpitoa aktiivisena työmuistissa. Lopputuloksena Hollingworth ja Maxcey (2012) päätyivät päätelmään, että visuaalisen työmuistin priorisointi ja visuaalinen tarkkaavuus voidaan erottaa toisistaan, jolloin useita objekteja voidaan yhtäjaksoisesti valita aktiiviseksi visuaalisessa työmuistissa ja visuaalisessa havainnossa. Informaatio enkoodautuu pitkäkestoiseen muistiin pääasiallisesti abstraktina luonnoksena havaitusta kohteesta.

Tässä pyrittiin ehkä enemmänkin tekemään selkeä terminologinen erottelu jatkotutkimuksia varten tarkkaavuuden ja työmuistin välisestä luonteesta. Tarkkaavuutta vaaditaan mielestäni kohteen havaitsemiseen ja sen merkitykselliseen kohdistamiseen, jotta työmuistiprosessointi kohteen suhteen voi alkaa. Vaikka tarkkaavuus tämän jälkeen vaihtelee eri kohteisiin, ja alkuperäinen kaapattu informaatio on työmuistiprosessoinnissa aktiivisena pidossa, ei se sulje pois tarkkaavuuden ja työmuistin välistä yhteyttä. Ajatus, että työmuistiprosessointi toimisi ainoastaan jatkuvan tarkkaavuuden kautta kohteeseen, antaa tukea näiden kahden prosessin erolle, mutta ei mielestäni myöskään sulje pois niiden riippuvuutta toisistaan.

2.10 Visuaalisen objektin havainnointi näkökentässä

Visuaalisessa työmuistissa voidaan pitää kerrallaan aktiivisena 3-4 objektia (O'Donnell & Clement, 2018). Luck ja Vogel (1997) esittivät visuaalisen työmuistin kapasiteetin tutkimuksessaan, että aktiivisena on mahdollista pitää vain neljää eri väriä. Kyseisessä tutkimuksessa havaittiin, että visuaalisen työmuistin kapasiteettia voidaan kasvattaa objektien ollessa semanttisesti ja funktionaalisesti toisiaan lähellä. Wang, Theeuwes ja Olivers (2018) havaitsivat tutkimuksessaan visuaalisen työmuistiprosessoinnin tarkkaavuuden häiriöistä, että tarkkaavuuden aktiivinen ylläpito ei häivyttä visuaalista objektia työmuistista, mutta väliaikainen häiriö tähän tarkkaavuuteen kadottaa aktiivisena olleen objektin työmuistiprosessoinnista.

Visuaalinen muistiprosessi voidaan jakaa muutamien tutkimusten mukaan jopa kolmeen vaiheeseen. Ensimmäinen, ikoninen muisti on kestoltaan puolen sekunnin mittainen. Seuraavaksi vaiheeksi on ehdotettu lyhytkestoista visuaalista muistia, jonka kesto Vandenbroucken, Sligten ja Lammen (2011) tutkimuksen mukaan olisi n. neljän sekunnin mittainen. Nämä kaksi visuaalisen muistiprosessin vaihetta voivat taltioida laajan kapasiteetin visuaalista informaatiota. Muistiprosessin kolmas vaihe on visuaalinen työmuisti, joka on kestoltaan sekunneista minuutteihin, mutta pystyy taltioimaan vain rajallisen määrän informaatiota (Luck & Vogel 1997).

Kyky käyttää fonologista silmukkaa mahdollistaa tiedon siirtymisen pitkäkestoiseen muistiin, ja on täten tärkeä osa-alue opeteltaessa uusia asioita. Samalla häiriöt fonologisen silmukan prosesseissa häiritsevät henkilön kykyä oppia uusia asioita (Baddeley, 2012). Pitkäkestoisen muistin ja fonologisen silmukan välillä on yhteys, joka mahdollistaa informaation siirtymiseen näiden kahden alueen välillä. Sama toimintamalli koskee myös visuospatiaalista lehtiötä ja pitkäkestoista muistia. Sisäinen puhe toimii yhteydessä visuaalisen objektin ylläpitoon muistissa. Katsoessaan kolmea erimuotoista ja -väristä objektia, voidaan olettaa, että sisäisen puheen kautta henkilö hokee värien järjestystä: vihreä, sininen, vaalean vihreä. Samalla hän pyrkii pitämään visuospatiaalisessa lehtiössä aktiivisena representaatiota näkemistään objekteista ja niiden väreistä.

2.11 Visuaalisen työmuistin kapasiteetti

Visuaalinen työmuisti on systeemi, joka pitää aktiivisesti yllä visuaalista informaatiota ja siirtää sitä tarpeen mukaisesti kehittyneempien kognitiivisten prosessien käyttöön. Visuaalinen työmuisti toimii eräänlaisena puskurina, joka työstää jatkuvasti aistihavaintojen kautta saamiamme ärsykeitä. Visuaalisen työmuistin alueelle tapahtuu esimerkiksi visuaalisen representaatioiden aktiivinen ylläpito, itse havaitun aistiärsyksen poistuttua näkökentästä. Näin tapahtuu esimerkiksi katsoessamme kuvaa, ja kuvan kadottua pyrkiessämme pitämään visuaalisen mielikuvana yllä tätä äsken näkemäämme.

Visuaalisen työmuistin kapasiteetti vaihtelee eri ikävaiheiden mukaisesti normaalisti terveillä ihmisillä. Ikääntyessä työmuistin kapasiteetti heikkenee. Tarkkaavuudella on suuri merkitys visuaalisen aistiärsyketulvan prosessoinnilla merkityksellisiä kohteita havaittaessa. Tarkkaavuuden kapasiteetti määrittää, miten vahvasti henkilö pystyy keskittymään käsittelyllä olevaan informaatioon ja estämään kohteen ylläpitoa häiritseviä ärsykeitä. (Vogel, McCollough & Machizava. 2005). Henkilöt, joilla on vahva työmuistikapasiteetti, pystyvät paremmin keskittämään tarkkaavuutta käsiteltävissä, ja tallennettavissa, eli konsolidoitavissa, olevaan asiaan. Vastaavasti heikomman työmuistikapasiteetin omaavilla henkilöillä on tutkimuksissa esiintynyt vaikeuksia keskittää tarkkaavuuttaan konsolidaation alaisiin asioihin. Ye ym. (2018) havaitsivat myös kaksivaiheisen

konsolidaatioprosessin tutkimuksessaan, että vahva työmuistikapasiteetti mahdollisti koetilanteessa esiintyvien häiriötekijöiden suodattamista pois itse keskittymistä vaativan kohteen prosessoinnista. Tämä eroavaisuus visuaalisen työmuistin kapasiteetissa on nähty Cowanin ja Moreyn (2006) tutkimuksessa esimerkkinä työmuistin riippuvuudesta tarkkaavuudesta eräänlaisena sinne tulevan informaation suodattimena (Ye ym, 2018).

Kapasiteettirajojen erot eri henkilöiden välillä muodostuvat Cowanin mukaan tarkkaavuuden keskittämisen kautta. Henkilöt, joiden työmuistikapasiteetti on heikompi, keskittyvät tehtävässä epäolennaisten seikkojen tallentamiseen itse pääkohteiden sijaan (Vogel ym, 2005). Työmuistikapasiteetin erot eivät pelkästään selity tarkkaavuuden kautta, vaan myös informaation tallennuskapasiteetin kautta. Henkilöt, joilla on heikompi kyky tallentaa informaatiota, mutta pärjäävät tarkkaavuutta mittaavassa testissä yhtä hyvin kuin laajemman tallennuskapasiteetin omaavat, saavat kokeessa heikompia lopputuloksia (Cowan ym., 2006). Työmuistikapasiteetin rajautumisesta 3-5 yksikköön, voi esimerkiksi Cowanin mukaan olla etunsa. Pieni määrä aktiivisena pidettäviä yksiköitä mahdollistaa assosiaation näiden yksiköiden (chunk) välillä, ilman että niiden sisältämä informaatio sekoittuu toisiinsa (Cowan ym., 2006). Täten yksi mahdollinen teoria työmuistikapasiteetin rajallisuudesta selittyisi muun aivotoiminnan prosessien tarpeen lisääntymisellä, mikä täten vaatisi puolestaan muutoksia aivojen kokonaisuudessa. Kyky suodattaa tehtävän kannalta epäolennainen materiaali, keskittyneen tarkkaavuuden kautta, vähentää työmuistille aiheutuvaa informaatiokuormaa, sekä vähentää työmuistiprosessoinnissa aktiivisina olevien yksiköiden välistä "kilpailua" muistissa pysymisestään (Edin ym., 2009).

3 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tutkimukseni keskittyi siihen, miten jatkuva visuaalisen objektin havainnointi näkökentässä, yhdistettynä motoriseen suoritukseen, eroaa objektien aktiivisesta prosessoinnista representaatioina visuaalisessa työmuistissa ennen motorista suoritusta. Tutkimuskysymyksiä:

- Vaikuttavatko AR-lasit informaation konsolidaatioon pitkäkestoiseen muistiin, ja täten uuden tiedon oppimiseen, heikentävästi?
- Onko aktiivinen mentaalinen representaatio parempi tapa tallentaa informaatiota pitkäkestoiseen muistiin?
- Heikentääkö AR-lasien kautta saatu informaatio oppimissuoritusta?
- Voidaanko AR-laseja käyttää oppimisvälineenä ilman, että henkilölle ei jäisi oppimistilanteesta riittävää muistijälkeä?

3.1 Hypoteesit

Tutkimus pohjautuu seuraaville hypoteeseille, jotka perustuvat luvussa 2 esiteltyyn teoreettiseen viitekehukseen.

H1 Informaation aktiivinen työmuistiprosessointi tallentaa tiedon voimakkaammin pitkäkestoiseen muistiin.

H2 Informaation aktiivinen työmuistiprosessointi ei tallenna tietoa voimakkaammin pitkäkestoiseen muistiin.

H0 Kahdella eri prosessointitavalla ei ole merkitsevää eroa.

Standardoidun visuaalisen työmuistin kapasiteettia mittaavan Visual Patterns Testin (VPT) avulla mitattiin koehenkilöiden lähtötaso ennen koetta. Yhteys VPT-testin ja muistikokeen välillä antaisi tukea työmuistin roolille muistijäljen syntymisessä valitussa tehtävässä. Kokeessa menestyminen ja VPT-testin tulosten välinen korrelaatio kertoisi työmuistikapasiteetin merkityksestä muistitehtävää suoritettaessa.

3.2 Menetelmä

Koehenkilöt haettiin sähköpostihauulla, jolloin heille esiteltiin kokeen aihe ja kokeeseen varattavan ajan kesto. Ilmoittautuneille lähetettiin ennakkotietolomake täytettäväksi, sekä suostumuslomake ennalta luettavaksi. Suostumuslomake allekirjoitettiin ensimmäiseksi ennen kokeen aloitusta. Muille, kuin suomen kieltä osaaville koehenkilöille, lähetettiin englanninkielinen ennakkotieto- ja suostumuslomake. Ennakkotietolomakkeessa kysymykset oli esitetty sekä suomen että englannin kielellä.

Koeasetelmani oli mobiili, eli liikuteltavissa koepaikasta toiseen. Jyväskylän yliopiston Agorassa 15 koehenkilöä osallistui kokeeseen kahdessa eri huonetilassa. Koehenkilö suoritti toisen koepäivän tehtävät aina samassa huonetilassa kuin ensimmäisen koepäivän tehtävät. Näin voitiin eliminoida ympäristön vaikutus koesuoritukseen. Lisäksi viisi koehenkilöä suoritti kokeen erillisessä huonetilassa, johon oli luotu aikaisempia koetilanteita vastaavat olosuhteet. Koepaikalla oli aina kaksi pöytää, joiden välimatkan pystyi tehdä n. 3 metrin etäisyydelle toisistaan.

Koehenkilön saapuessa kokeeseen hänet ohjattiin pöydän ääreen, jossa hän allekirjoitti suostumuslomakkeen. Koehenkilölle annettiin mahdollisuus lukea sähköpostitse ennakkoon lähetetty suostumuslomake vielä rauhassa uudelleen koepaikalla. Koe esiteltiin suomeksi, ja englanniksi muun kuin suomenkielisen koehenkilön ollessa kyseessä. Koetilanne taltioitiin videolle.

3.3 VPT – Visual Patterns Test

Koehenkilö suoritti ensimmäisenä tehtävänä Visual Patterns Testin (VPT), mikä mittasi koehenkilön visuaalista työmuistikapasiteettia. Tällä standartoidulla testillä selvitettiin jokaisen koehenkilön lähtötilanne visuaalisen työmuistikapasiteetin suhteen. VPT-testiä on käytetty kognitiotieteellisissä tutkimuksissa yleisesti visuaalisen työmuistikapasiteetin mittaamiseen (Della Sala, Gray, Baddeley, Allamano & Wilson, 1999). VPT-testi oli siirretty paperiversiosta, kuvioiden kooltaan identtisesti, iPadin näytölle. Koehenkilö täytti testiin kuuluvaan paperilomakkeeseen vastauksensa. VPT-testi muodostuu ruudukoista, joiden määrä kasvaa testin edetessä Koehenkilön on

pyrittävä värittämään vastauslomakkeessa oleviin tyhjiin ruutuihin ruudukossa näkemänsä mustat ruudut. Kokeen ohjaaja vaihtoi kosketusnäyttöä pyyhkäisemällä seuraavan kuvion, joka kolmen sekunnin jälkeen automaattisesti katosi. Tämän jälkeen koehenkilö väritti lyijykynällä paperiseen vastauslomakkeeseen muistamansa ruudukossa olevien mustien ruutujen paikat.



KUVIO 6 Visual Patterns Testin testikuvioita. Vasemmalla on yksi testikuvio ensimmäisestä kolmen kuvion sarjasta. Oikealla on yksi testikuvio seitsemännestä kolmen kuvion sarjasta

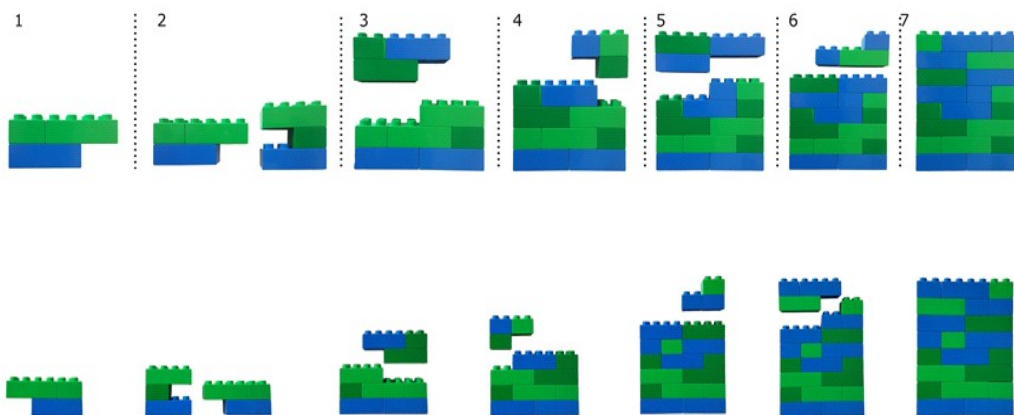
Kokeen kulku kerrottiin koehenkilölle noudattaen VPT-testin antamia ohjeita. Ensimmäiseksi koehenkilö täytti vastauslomakkeessa kysytyt tiedot: nimi, ikä, sukupuoli ja koulutus. Tämän jälkeen koehenkilölle kerrottiin, minkälainen testi on kyseessä. Hänelle näytettiin testiin kuuluva esimerkkikortti, jossa ruudukosta oli mustattu ruutuja ja pyydettiin mustaamaan vastauslomakkeessa oleva esimerkkiruudukko. Koehenkilö osasi näin varautua heti ensimmäisen tehtävän alkaessa värittämään ruudukon itse parhaaksi katsomallaan tavalla. Tämän jälkeen koehenkilölle kerrottiin, että hän tulee näkemään vastaavanlaisia kuvioita iPadin näytöllä. Kokeen pitäjä vaihtaa kuvion pyyhkäisemällä sormella kosketusnäyttöä, jonka jälkeen kuvio on lyhyen aikaa näkyvissä. Kuvion poistuttua koehenkilö sai värittää vastauksensa vastauslomakkeeseen. Koehenkilölle kerrottiin, että kysymykset alkavat helposta kuvioista, ja vaikeutuvat loppua kohti. Koehenkilöltä varmistettiin, että hän oli ymmärtänyt, mitä hänen oli tehtävä, ja kysyttiin, onko hän valmis aloittamaan kokeen? VPT-testi muodostui kolmen kuvion sarjoissa olevista kysymyksistä, joista vastattiin aina yhteen kuvioon kerrallaan. Kokeen ohjaaja peitti paperilla muut kuin katsottavissa olevan kuvion. Jokainen kolmen kuvion sarja oli pisteiden 1-15 arvoinen. Pistemäärä 1 oli helpoin kuviosarja ja 15 vaikein kuviosarja. Koe keskeytyi, kun koehenkilö epäonnistui muistamaan yhtään kolmesta kuvioista. Yksikin oikein muistettu kuvio kolmen kuvion sarjasta mahdollisti testin jatkumisen. Kun koehenkilö ei muistanut yhtäkään kolmesta kuvioista oikein, koe lopetettiin. Koehenkilölle ei kerrottu lopettamisen syytä

3.4 Muistikokeet

Kehitin spatial span -testien kautta reaali maailman haasteita vastaavan kokeen, joka täytyi olla loogisesti mittaroitavissa. Lisätyn todellisuuden laseja tullaan käyttämään tulevaisuudessa työtehtävän suorittamisen apuvälineenä, sekä opetuksessa työkaluna. Kummassakin käyttötarkoituksessa ihminen joutuu opettelemaan käsiteltävän asian lasien näytölle heijastuvan informaation kautta.. Kyseessä on erilainen muistia käyttävä prosessi, kun visuaalisen informaation syöttö on jatkuvaa näkökentässä suhteessa siihen, että katsottu informaatio täytyy hetkellisesti pitää aktiivisena työmuistissaan ennen tehtävän motorista suorittamista. Näin toimittaisiin, jos tehtävä opeteltaisiin katsomalla ohje paperilta, tai teknisen laitteen näytöltä

Kokeen rakenne oli within subjects -mittaus. Koehenkilö suoritti kokeen Microsoft Hololens -laseja käyttäen, sekä paperiohjeista katsoessa. Koe suoritettiin eri viikoilla, jolloin pyrittiin häivyttämään aktiivisen muistijäljen vaikutus toisen koepäivän tuloksiin. Koehenkilöiden tehtävässä kasaama kuvio oli saman muotoinen kuin kummassakin koesuorituksessa. Täten koehenkilölle ei ollut apua ensimmäisen kokeen aiheuttamasta muistijäljestä rakennelman kuvioon. Rakennelman muoto oli kuitenkin sama, millä pyrittiin eliminoimaan erilaisen muodon aiheuttama eroavaisuus muistamiseen. Koehenkilö keskittyi täten muodon ja värien järjestykseen rakennelmassa.

Koska tarkoitukseni oli mitata ihmisen muistiprosessointia motorista työtehtävää suoritettaessa, oli koe rakennettava niin, että koehenkilö joutuu tehtävää suorittaessa tekemään käsillään jotakin. Valitsin kokeeseeni mittaroitavaksi objektiksi Duplo-palikoista koostuvan abstraktin rakennelman. Rakennelma oli suorakaiteen muotoinen ja koostui 21 eri muotoisesta lego-palikasta. Palikoiden muotoja oli kaksi, neliö ja suorakaide. Värejä oli kaksi, sininen ja vihreä. Lisäksi vihreän värisiä palikoita oli kahta eri sävyä.



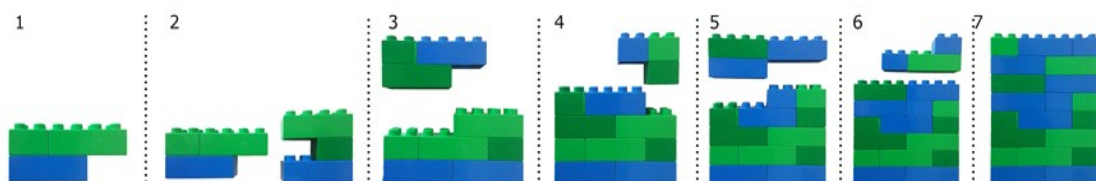
KUVIO 7 Koehenkilö rakensi AR-tehtävässä toisen kuvion, paperiohjetehävässä toisen.

3.5 Tasapainottaminen

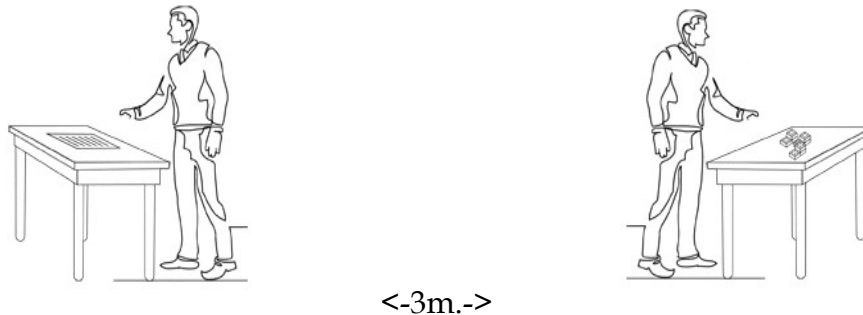
Koehenkilö teki kokeen Hololens-AR-laseilla, sekä paperiohjeiden kautta. Koska kyseessä oli within-asetelma, jossa sama koehenkilö tekee samanlaisen kokeen kahdella eri tavalla, oli kokeessa pyrittävä minimoimaan oppimisvaikutus. Kokeeseen muodostettiin kaksi erilaista kuviota, jotka tasapainotettiin Hololens-laitteen ja paperiohjeiden välillä. Tasapainottamisella pyrittiin poistamaan koejärjestyksen aiheuttamaa kohinaa mittaustulokseen. Koehenkilö aloitti kokeen joko Hololens-laitteella suorittaen ensin tehtävän 1 tai 2. Tai koehenkilö aloitti kokeen paperiohjeilla suorittaen ensin tehtävän 1 tai 2. Toisena koepäivänä koehenkilö suoritti aina päinvastaisen tehtävän kuin ensimmäisenä koepäivänä.

3.6 Tehtävä 1 - Paperiohjeet

Koehenkilö kasasi testissä 21 palasta koostuvan abstraktin rakennelman. Tehtävät esitettiin paperilla kuvina. Koehenkilö sai ohjeet seitsemässä osassa. Kussakin osassa koehenkilö käsitteli kolmea objektia (lego-palikkaa), jotka oli liitettävä toisiinsa ohjeen mukaisessa järjestyksessä. Ensimmäisen ohjeen jälkeen aiemmin yhteenliitetyt objektit täydentyivät aina uudella kolmella objektilla. Koehenkilö kasasi ohjeet neljä kertaa. Kun koehenkilö oli saanut kuvion kasattua, rakennelma purettiin kokeen valvojan toimesta osiin ja varmistettiin, että paperiohjeet olivat oikeassa järjestyksessä. Tämän jälkeen koehenkilölle ilmoitettiin kasaussvaiheen järjestysnumero: esimerkiksi "2. kasauskerta, olkaa hyvä, voitte aloittaa". Kun koehenkilö oli kasannut kuvion neljä kertaa, häntä pyydettiin ottamaan kuvio käteensä ja katsomaan sitä tasan 30 sekunnin ajan. Tämän jälkeen kuvio asetettiin niin, että koehenkilö ei sitä enää nähnyt. Koehenkilölle ilmoitettiin, että hänen olisi palattava takaisin tunnin kuluttua. Koehenkilön palatessa takaisin hänen oli kasattava tuntia aiemmin kasaamansa rakennelma uudestaan ulkomuistista. Lego-palikat olivat pöydällä irrallisina paperiarkin alle peitettynä. Kun poistin arkin, koehenkilö sai aloittaa kasaamisen. Hänelle ilmoitettiin, että aikaa voi käyttää rakennelman kasaamiseen, niin paljon kuin katsoo tarpeelliseksi. Koehenkilön saatua kuvio kasattua, se valokuvattiin.



Kuvio 8 Samaa kuviota käytettiin paperiohjeista- että Hololensin kautta tehdyssä kokeessa.

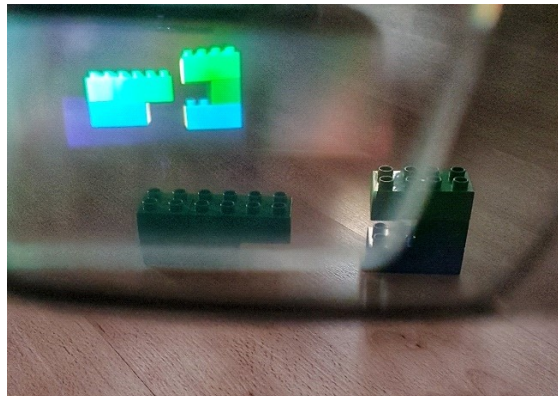


KUVIO 9 Paperiohjeiden kautta tehtävä koe. Vasemmassa kuvassa koehenkilö katsoo ohjeen paperilta ja siirtyy n. 3 metrin päähän toisen pöydän ääreen suorittamaan ohjeen mukaista tehtävää (oikean puoleinen kuva)

Paperiohjetehävässä koehenkilö joutui muodostamaan visuaalisia representaatiota ja pitämään niitä aktiivisena jonkin aikaa työmuistissaan ennen motorisen tehtävän suorittamista. Ohjeen ja kasauspöydän etäisyys on n. 3 metriä. Tehtävän tarkoitus on tutkia, kuinka aktiivinen visuaalinen ja artikulaarinen työmuistiprosessointi vaikuttaa tiedon varastoitumiseen (konsolidaatio) pitkäkestoiseen muistiin. Kasattavat lego-palikat sijaitsivat erillisellä pöydällä valkoisen paperiarkin alle peitettynä. Koehenkilö näki täten kasattavana olevat palikat ensimmäistä kertaa, kun koe alkoi. Esittelin koehenkilölle kasauspöydällä olevat palikat, ja johdatin koehenkilön n. 3 metrin päässä olevan pöydän ääreen, jossa kasaamiseen vaadittavat paperiohjeet olivat.

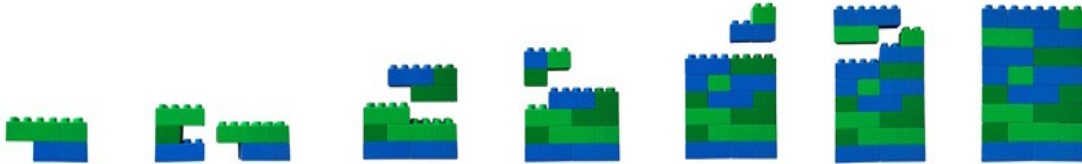
3.7 Tehtävä 2 - AR

AR-kokeessa käytettiin Microsoft Hololens-laseja. Hololens-laseja ohjattiin käden- ja sormenliikkeillä havaintokentässä. Ohjeobjektit näkyivät reaali maailman havaintokentässä.



KUVIO 10 Hologrammi-objektit ja reaali maailman objektit samassa näkymässä.

Koehenkilö kasasi testissä 21 palasta koostuvan abstraktin rakennelman. Koehenkilö sai ohjeet seitsemässä osassa AR-lasien näytölle. Kukin osa sisälsi kolme visuaalista objektia, jotka oli liitettävä toisiinsa ohjeen mukaisessa järjestyksessä. Tehtävä 2 sisälsi yhtä monta palaa kuin tehtävä 1. Kasattava kuvio oli erilainen kuin tehtävässä 1.



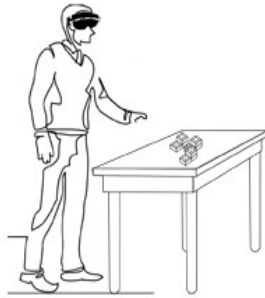
KUVIO 11 Kokeessa käytetty Lego-palikoista muodostuva kuvio nro. 2. Samaa kuviota käytettiin Hololensin että paperiohjeiden kautta tehdyssä kokeessa

Kasattavat lego-palikat olivat peitettynä paperiarkin alla. Kun koe alkoi, arkki poistettiin ja koehenkilölle kerrottiin, että hän suorittaa tehtävän kyseisten palikoiden kanssa. Tämän jälkeen koehenkilölle esiteltiin Hololens-lasi. Kokeessa kuvioita vaihdettiin napsauttamalla peukalo- ja etusormea terävästi yhteen. Koehenkilön kanssa käytiin läpi testin tekemiseen tarvittavat toiminnot, kuten *air-tapping* ja *blooming*, joilla ohjattiin harjoitusohjelman käynnistäminen ja ohjeiden vaihtaminen. Lisäksi lasit säädettiin mahdollisimman mukavasti päähän istuviksi, sekä varmistettiin, että koehenkilö näkee koko hologrammialueen ilman, että lasit fyysisesti peittävät näkökenttää.



KUVIO 12 Hololens-lasien näkymää ohjattiin kämmenen- ja sormenliikkeillä. Alemmassa kuvassa toiminto *täppääminen* (*air-tapping*).

Hololens-laseihin oli koodattu alla olevan esimerkin mukaisesti kasaushjeet, joita koehenkilö vaihtoi sormilla palikan yläpuolella olevaa nuolta *täppäämällä*. Kuvion ollessa valmis, koehenkilö *täppäsi* tyhjän harmaan ruudun, jonka aikana kuvio purettiin valvojan toimesta osiin. Tämän jälkeen koehenkilö aloitti uuden kasauskierroksen.



KUVIO 13 Tehtävä suoritettiin katsomalla ohjeita reaaliaikaisesti AR- lasien kautta.

Testi 2 mittasi AR-lasien suoraan näkökenttään, reaali maailman objektien päälle, heijastuvan ohjeen vaikutusta ihmisen kykyyn prosessoida informaatiota, ja mitata miten tällä työmuistiprosessointitavalla informaatio tallentuu pitkäkestoiseen muistiin.

Kuten paperiohjeista katsotun tehtävän lopuksi, koehenkilön kasattua kuvion neljä kertaa, häntä pyydettiin ottamaan kuvio käteensä ja katsomaan sitä 30 sekunnin ajan. Tämän jälkeen kuvio asetettiin niin, että koehenkilö ei sitä enää nähnyt. Koehenkilölle ilmoitettiin, että hänen olisi palattava takaisin tunnin kuluttua. Koehenkilön palatessa takaisin hänen oli kasattava aiemmin opettelemansa rakennelma uudestaan ulkomuistista. Lego-palikat olivat pöydällä irrallisina paperiarkin alle peitettynä. Kun poistin arkin, koehenkilö sai aloittaa kasaamisen. Hänelle ilmoitettiin, että voi käyttää halutessaan niin paljon aikaa, kun katsoo tarpeelliseksi. Koehenkilön saatua kuvion kasattua, kuvio valokuvattiin.

3.8 Koasetelman validiteetti ja reliabiliteetti

Koehenkilön suorittama kasaustehtävä noudatti rakenteellisesti Visual Patterns Testin rakennetta. Kasattavissa oleva kuvio muodostui kahdesta eri muotoisesta ja -värisestä kuviosta: 4:3-muotoisesta palikasta, sekä 2:4-muotoisesta palikasta. Palikat olivat väriltään sinisiä ja vihreitä. Vihreitä palikoita oli kahta eri sävyä: tumman vihreä ja vaalean vihreä. Palikoiden kasaaminen noudatti VPT-testin loogista etenemisrakennetta helposta vaikeaan, eroten siinä, että tehtävän eri vaiheissa kasattiin jokaisella kerralla ainoastaan kolme palikkaa. Niiden määrä ei lisääntynyt vastaavalla tavalla kuin VPT-testissä muistettavien ruutujen määrä. Kasaustehtävää suoritettaessa koehenkilö hahmotti vaiheittain kolme palikkaa käsittävien kasaussvaiheiden kautta kokonaiskuvion muodostumisen. Ensimmäiset kolme vaihetta olivat visuaalisesti selkeämpiä hahmottaa, minkä todistaa muistikokeessa saadut oikeat tulokset kuviorakennelmien kasauksessa ensimmäisestä vaiheesta eteenpäin. Kasattu kuvio kokonaisuudessaan muistutti rakenteeltaan VPT-testin vaativimpia kuvioita.

Koetilanne oli valvottu, ja kokeen kulku noudatti jokaisessa mittaustilanteessa samaa järjestystä. Koetila oli neutraali, eikä huoneessa ollut erityisiä häiritseviä tekijöitä, kuten ääni tai valaistus. Koska AR-laseja tullaan käyttämään myös työtehtävän suorittamisen apuvälineenä, katsoin olennaiseksi suunnitella koeasetelmaan kyseisen käsillä suoritettavan motorisen tehtävän.

Koe suoritettiin within-tutkimuksena, jolloin koehenkilö suoritti kaksi tehtävää toisistaan poikkeavilla suoritustavoilla. VPT-testin antamia tuloksia verrattiin koehenkilön varsinaisessa testissä saamiin tuloksiin. Testin tarkoitus oli määrittää koehenkilön visuaalisen työmuistikapasiteetin rajat, jotta hänen saamiaan tuloksiaan pätehtävässä voitiin luotettavimmin analysoida. Mittasin korrelaation koehenkilön VPT-testin ja muistikokeen tulosten kesken.

TAULUKKO 1 Koeasetelma tasapainotettiin koealustan ja tehtävän kesken

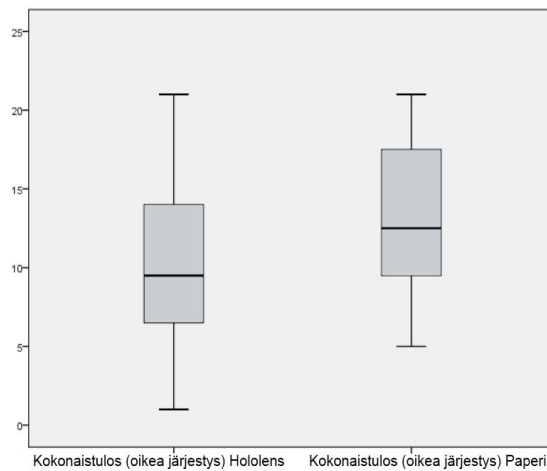
Koehenkilö (Kh)	Laite	Tehtävä	Laite	Tehtävä
Kh1	Hololens	T1	Paperi	T2
Kh2	Paperi	T2	Hololens	T1
Kh3	Hololens	T2	Paperi	T1
Kh4	Paperi	T1	Hololens	T2
...				
Kh20	Paperi	T1	Hololens	T2

Mittaus oli tasapainotettu koejärjestyksen (LAITE) ja ohjeen (TEHTÄVÄ) kesken. Koehenkilö aloitti kokeen joko Hololens-laseilla tai paperiohjeilla, ja suorittaen tehtävän (T) ohjeen 1 tai 2 mukaan (T1 / T2). Mittausasetelma oli tasapainotettu neljän koehenkilöryppään mukaan. Tasapainotuksen kautta koeasetelmasta poistettiin oppimiseffektin vaikutus koskien kasattavaa kuviota. Lisäksi voitiin minimoida koealustan järjestyksen vaikutus mittaustulokseen. Koehenkilö aloitti kokeen joko Hololens-laseilla tai paperiohjeiden avulla. Kokeessa oli kaksi erilaista valmiin kuvion muodostamaa ohjetta. Kuvion ulkomitat ja muoto olivat samat molemmissa tehtävissä. Palikoiden järjestys oli näissä kahdessa kuviossa eri. Muistitehtävän pisteytys muodostui palikoiden oikeasta asemasta kasattavassa kuviossa. Koehenkilö pyrki muistitehtävässä rakentamaan vastaavan kuvion, minkä oli harjoitellut 1 tuntia aikaisemmin Hololens-ohjeiden tai paperiohjeiden avulla. Palikoiden muoto ja väri oli oltava oikein. Väärästä järjestyksestä tai väristä ei tullut pisteitä, eikä pistemäärää alennettu virheistä. Koehenkilö suoritti ensin joko tehtävän 1 tai 2. Kokeen välissä oli n. viikon tauko.

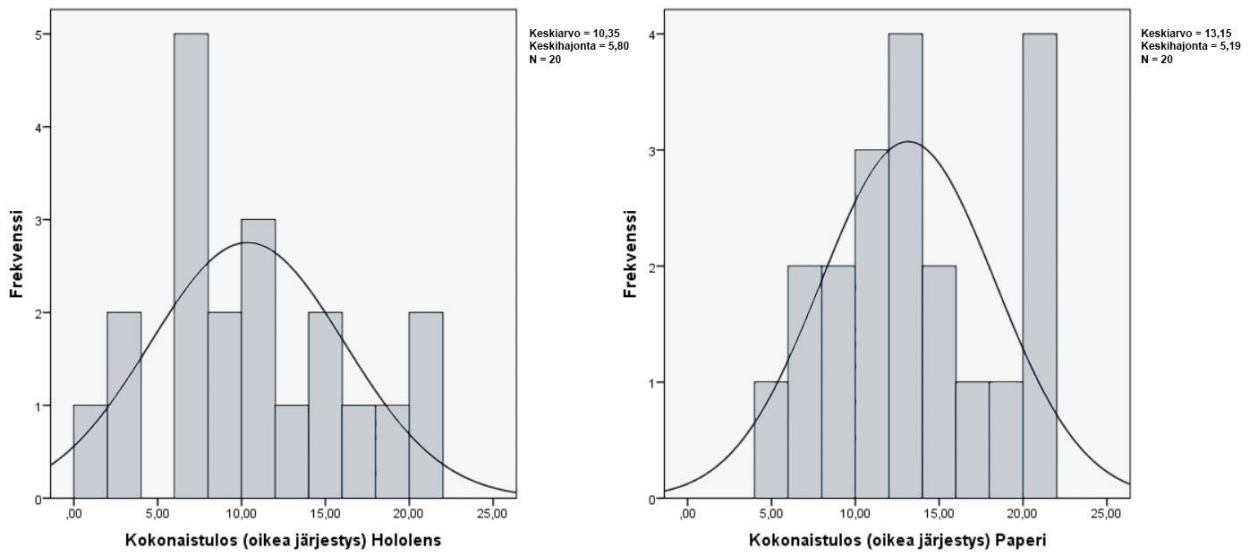
4 TUTKIMUSTULOKSET

Koehenkilöiden ($N = 17$) iän keskiarvo oli 27 vuotta. Kolme koehenkilöä ei halunnut kertoa ikäänsä. Nuorin osallistuja oli 14 ja vanhin 56-vuotias. Koehenkilöistä ($N=20$) 13 oli miehiä ja 7 naisia. Koehenkilöistä ainoastaan yksi oli kokeillut Hololensia aiemmin.

Hololensilla tehdyt tehtävät aiheuttivat koehenkilöiden tuloksissa suurinta hajontaa. Outlierit olivat suuremmat Hololensilla tehdyssä kokeessa kuin paperiohjeiden kautta suoritettussa kokeessa. Lisäksi muistitehtävän tulosten pistemäärän mediaani on suurempi paperiohjeiden avulla tehdyssä tehtävässä kuin Hololensilla tehdyssä tehtävässä. Muistitehtävän oikeiden tulosten mediaani Hololens-tehtävässä, $md = 9.5$ $n = 20$. Muistitehtävän oikeiden tulosten mediaani paperitehtävässä, $md = 12,5$ $n = 20$.



KUVIO 14 Muistikokeen kokonaistulosten mediaanit Hololens- ja paperitehtävässä



KUVIO 15 Mittaustulosten hajonta kahden koeasetelman välillä.

TAULUKKO 2 Mittauksen kokonaistulosten keskiarvo ja keskihajonta

Tilastot					
	N	Keskiarvo	Keskihajonta	Min.	Max.
Hololens	20	10,35	5,8	1	21
Paperi	20	13,15	5,19	5	21

Histogrammin kautta voi nähdä koetulosten hajonnaisuuden kahden eri koeasetelman välillä. Hololensilla tehty koe antoi heikompiä tuloksia minimi- ja maksimipistemäärissä. Histogrammi näyttää myös, että mittaustulokset (eivät ole) normaalisti jakautuneita. Koetulosten ollessa ei-normaalistijakaantuneita käytettiin kahden mittaustuloksen väliseen arviointiin epäparametristä Wilcoxonin testiä.

4.1 Kahden eri suoritustavan vaikutus muistitehtävän tulokseen

Koehenkilön muistikokeessa saamia tuloksia analysoitiin epäparametrisella Wilcoxonin (2-related samples) -testillä. Tällä testillä pyrittiin löytämään kahden eri oppimistavan aiheuttama eroavaisuus koehenkilön muistijäljessä. Muistikokeen tarkoitus oli löytää ero kahden erilaisen työmuistiprosessointitavan ja informaation tallentumisen pitkäkestoiseen muistiin välillä. Nähtyään samat visuaaliset objektit kuin harjoitteluvaiheessa, koehenkilö joutui palauttamaan aiemmin oppimansa järjestyksen uudelleen aktiiviseksi työmuistiprosessointiin. Wilcoxonin testin mukaan ei voida osoittaa, että kahden eri mittaustuloksen välinen ero olisi tilastollisesti

merkitsevä, $Z = -1.572$ $p = .12$. Mittaustulos on analysoitu koko kuvion palikoiden oikeiden järjestysten välisen tuloksen välillä. Täten ei voida olettaa, että kahdella erilaisella tehtävänsuoritusavalla olisi ollut merkitsevää vaikutusta muistitehtävän suorittamiseen. Kuitenkin mediaani kertoo, että Hololens-tehtävän yhteydessä olleessa muistikokeessa koehenkilöiden tulosten $md = 9.5$, kun vastaavasti paperitehtävän yhteydessä olleessa muistikokeessa $md = 12.5$. Tämä ero ei kuitenkaan ole tilastollisesti merkitsevä kyseisellä otoskoolla.

4.2 Koejärjestyksen vaikutus mittaustulokseen

Toistomittausten varianssianalyysillä (ANOVA) mitattiin koevälineen vaikutusta mittaustulokseen. Kokeessa pyrittiin selvittämään, millä tavalla teknologinen apuväline, joka vaikuttaa näkökentän kautta ihmisen tapaan käsitellä informaatiota, vaikuttaa ihmisen kykyyn prosessoida informaatiota työmuistissaan.

TAULUKKO 3 Koejärjestyksen keskiarvo ja keskihajonta

Tilastot				
	Koejärjestys	Keskiarvo	Keskihajonta	N
Kokonaistulos Hololens	Hololens ensin	7,00	3,46	10
	Paperi ensin	13,70	5,83	10
	Yhteensä	10,35	5,80	20
Kokonaistulos Paperiohjeet	Hololens ensin	14,60	4,74	10
	Paperi ensin	11,70	5,46	10
	Yhteensä	13,15	5,19	20

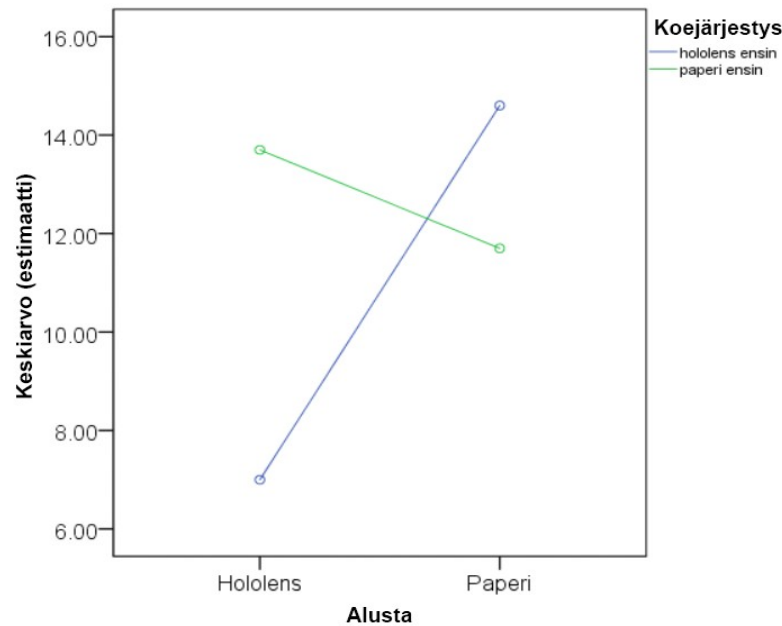
4.2.1 Alustan vaikutus muistikokeen pistemäärään

ANOVA-testin tulos kertoo, että käytetyllä alustalla on ollut vaikutus muistikokeen pistemäärään., $F(1,18)=5.362$, $p = .033$, $\eta^2_p = .230$. Käytetty alusta selittää 23% mittaustulosten vaihtelusta. P-arvon ollessa $p = .033$ voidaan katsoa alustan vaikutuksen olevan tilastollisesti merkitsevä järjestyksen ollessa kontrolloitu.

4.2.2 Alustan ja tehtäväjärjestyksen yhteisvaikutus oppimistulokseen

Tämä tulos kertoo alustan ja tehtäväjärjestyksen välisen yhteisvaikutuksen oppimistulokseen; onko Hololens ensin vai paperitehtävä ensin. $F(1,18)=15,757$, $p = .001$, $\eta^2_p = .467$. Osittaisesta etan neliöstä voi nähdä, että

käytetty alusta ja sen järjestys kokeessa (onko kyseessä ensimmäinen vai toinen koeväline) selittää 46% mittaustuloksesta, kun kontrolloituna muuttujana. Alustan ja koejärjestyksen p -arvo on $p = .001$, joka on $<.05$ ja täten tilastollisesti merkitsevä.



KUVIO 16 Alustan merkitys oppimisvaikutukseen.

Plot-taulukosta näkee, että keskilinjan vasemmalla puolella olevat pisteet kertovat *koejärjestyksen 1* (Hololens ensimmäisen koepäivän mittausväline ja paperitehtävä toisen koepäivän mittausväline) muistitehtävän tulosten pistemäärän eron. Vastaavasti taulukon keskilinjan oikealla puolella olevat pisteet kertovat *koejärjestyksen 2* (Paperitehtävä ensimmäisen koepäivän mittausväline ja Hololens toisen koepäivän mittausväline) muistitehtävän tulosten pistemäärän eron. Taulukosta voidaan nähdä, että Hololensin ollessa ensimmäisen koepäivän testiväline, sai koehenkilö merkitsevästi heikompia tuloksia kuin paperitehtävän ollessa ensimmäisen koepäivän mittausväline. Vastaavasti oppimisvaikutus on ollut suurempi toisen mittauspäivän kokeessa, kun paperitehtävä oli toisen mittauspäivän koeväline. Oppimisvaikutus oli heikompi paperitehtävän ollessa ensimmäisen koepäivän mittausvälineenä ja Hololensin toisen koepäivän mittausvälineenä.

4.3 ANOVA - koealustan järjestys

ANOVA:n between subjects -testin mukaan koealustan järjestyksellä ei ollut merkitsevää vaikutusta yksinään, $F=1.046$, $p = .320$, $\eta^2 = .055$ ($p > .05$) Tämä

kertoo, että pelkkä järjestys ei yksinään ollut merkitsevä, vaan se, oliko Hololens koevälineenä ensimmäisenä vai toisena testipäivänä. Kyseessä on siis kahden eri oppimistavan yhteisvaikutuksen merkitsevyys siihen, missä määrin oppimisvaikutus vaikuttaa koehenkilön toisen koepäivän tuloksiin eri alustoilla tehdyssä kokeessa. Hololens koevälineenä ensimmäisen testipäivän kokeessa antoi huomattavasti alempia pistemääriä muistikokeessa, ja paperitehtävän ollessa toisen testipäivän koevälineenä olivat muutokset huomattavasti suurempia muistikokeessa.

4.4 VPT-testin ja mittaustulosten korrelaatio

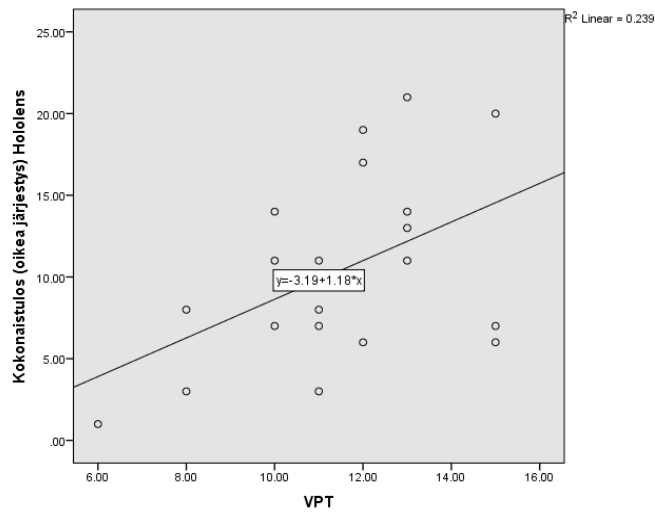
Ensimmäisenä koepäivä mitattiin koehenkilön visuaalisen työmuistin kapasiteettia VPT (Visual Patterns Test) -testillä. Standartoidun testin avulla saatiin testattua koehenkilöiden visuaalisen työmuistikapasiteetin lähtötaso. Tämän lähtötason mittaaminen on olennainen tekijä koehenkilöiden tulosten analysoinnissa. Koehenkilöiden kognitiivisen lähtötason avulla voidaan määrittää tarkemmin yksilöiden saamat erot varsinaisessa testissä. Tutkimuksessa käytettiin Pearsonin korrelaatiotestiä, kun mittaustuloksia ei voitu tulkita normaalisti jakautuneiksi.

TAULUKKO 4 VPT-testin ja Hololens- ja paperitehtävien muistikokeen mittaustulosten korrelaatiot.

		VPT	Kokonaistulos Hololens	Kokonaistulos Paperi
VPT	Pearsonin korrelaatio	1	,489*	,32
	<i>p</i> -arvo		,03	,18
Kokonaistulos Hololens	Pearsonin korrelaatio	,489*	1	,14
	<i>p</i> -arvo	,03		,55
Kokonaistulos Paperi	Pearsonin korrelaatio	,32	,14	1
	<i>p</i> -arvo	,18	,55	

*. Merkitsevä korrelaatio 0.05 taso (2-tailed).

VPT-tehtävän tulos korreloi Hololensilla tehdyn tehtävän tulosten kanssa, $p = .489$, $<.05$. VPT-tehtävän tulos ei vastaavasti korreloi tilastollisesti merkitsevästi paperiohjeiden kautta tehdyn tehtävän tulosten kanssa, $p = .32$, $>.05$. Vaikka paperitehtävän ja VPT_n tulos ei tällä otoskoolla ole merkitsevä, niin korrelaatio Hololens-tehtävän ja VPT:n välillä oli kuitenkin voimakas. Hajontakuvion kautta voidaan tarkastella mittaustulosten hajontaa VPT-testin tulosten ja Hololensilla tehdyn testin tulosten välillä.



KUVIO 17 Hajontakuviota esittää mittaustulosten hajonnan VPT-testin ja Hololensilla tehdyn testin välillä

Korkeammat testitulokset VPT:ssä mahdollistivat korkeammat tulokset Hololens-tehtävässä, *muistitestin tulos* $y = 3.19 + 1.18 * x$ *VPT-testin tulos*. VPT-tehtävä korreloi Hololensilla tehtyjen mittaustulosten kanssa: mitä korkeampi pistemäärä VPT:ssä, sitä paremmin koehenkilö suoriutui Hololens-tehtävästä. Vastaavaa korrelaatiota ei ollut paperitehtävän ja VPT-testin välillä.

5 TULOSTEN TULKINTA JA POHDINTA

Kahdessa erilaisessa visuaalisen työmuistin prosessointia ja konsolidaatiota mittaavassa testissä ei havaittu merkittävää eroa koehenkilön kyvyssä muistaa opeteltu tehtävä, riippumatta siitä, tekikö hän tehtävän AR-laseilla tai opetteliko tehtävän paperiohjeiden kautta. Tutkimuksen pää-hypoteesin mukaan jatkuvasti näkökentässä oleva informaatio tallentuisi heikommin pitkäkestoiseen muistiin, kuin informaation aktiivinen prosessointi representaatioina työmuistissa. Tätä ei voitu tilastollisesti merkitsevästi todistaa. Esimerkiksi AR-laseilla tehdyn testin muistikokeessa tulosten mediaani oli alhaisempi kuin paperitehtävän muistikokeessa. Tilastollisesti tämä ero ei kuitenkaan ollut merkitsevä. Mielenkiintoista oli kuitenkin, että tämä tulos antoi tukea työmuistikapasiteetin ja tarkkaavuuden merkitykselle työmuistiprosessissa. (Ye ym., 2019) tutkimuksessa heikomman työmuistikapasiteetin omaavilla ihmisillä oli vaikeuksia pitää yllä tarkkaavuutta. Vahvan työmuistin omaavilla kyky pitää aktiivisena tarkkaavuuden alla olevaa informaatiota oli hyvä, kun taas vastaavasti heikomman työmuistin omaavilla huono (Vogel ym. 2005). Tutkimuksessani paremmin visuaalisen työmuistin kapasiteettia mitanneessa VPT-testissä menestyneet koehenkilöt, saivat korkeampia tuloksia AR-laseilla tehdyssä tehtävässä. Voidaan spekuloida, pystyivätkö he sivuuttamaan uuden teknisen laitteen tuoman lisäprosessointitarpeen tehtävää tehdessä paremmin kuin heikomman tuloksen saaneet? Vastaavaa korrelaatiota VPT-testin ja paperiohjeista tehdyn tehtävän välillä ei ollut.

Merkittävä ero löytyi siinä, missä järjestyksessä koehenkilö kokeen teki. AR-lasien ollessa ensimmäisen koepäivän testiväline, sai koehenkilö merkittävästi heikompia tuloksia muistitehtävässä. Vastaavaa korrelaatiota ei ollut paperitehtävän ollessa ensimmäisen koepäivän testiväline. Täten voidaan spekuloida, että teknisellä apuvälineellä on ollut suoritukseen vaikutus. Paperiohjeista tehtävää tehdessä koehenkilö on voinut keskittää

tarkkaavuutensa representaation aktiiviseen ylläpitoon työmuistissa. Koetilanteen ollessa uusi, koehenkilön alkaessa suorittaa tehtävää ensimmäisen kerran, on tutumman oloinen menetelmä aiheuttanut vähemmän häiriötä työmuistiprosessointiin kuin aloitettaessa koetta teknisen AR-lasin kanssa. Lasien käyttö oli verraten yksinkertainen oppia, ja kokeessa vaadittavat toiminnot vaativat kaksi kädellä tehtävää liikettä. Teknologinen apuväline on kuitenkin mahdollisesti häirinyt tarkkaavuutta, ja täten aiheuttanut vaikeuksia tarkkaavuuden keskittymisessä itse kasattavaan kohdeobjektiin.

Oppimisvaikutuksessa havaittiin merkitsevää eroa. Jokainen koehenkilö sai AR-laseilla tehdyssä kokeessa heikommat pisteet kuin paperitehtävissä. Oppimisvaikutus oli suurempi paperitehtävän ollessa järjestyksessään toinen mittaussväline. Vastaavasti AR-lasien ollessa järjestyksessään toinen mittaussväline, oli oppimisvaikutus pienempi. Varianssianalyysin kautta voitiin todeta, että alustan vaikutus oli tilastollisesti merkitsevä, kun järjestysvaikutus oli kontrolloitu. Paperitehtävän kautta tehdyn tehtävän muistikokeen tulokset olivat paremmat, kun järjestysvaikutus oli kontrolloitu. Täten AR-lasit vaikuttivat muistitehtävässä suoriutumiseen tulosta heikentävästi, olivatpa ne ensimmäistä kertaa itse kasaustehtävän kanssa koehenkilölle esitettäviä tai oliko koehenkilö jo oppinut kasaustehtävän välineet, AR-lasien ollessa ainoa uusi tekijä kokeessa. Tehtävä, joka katsottiin paperilta oli tuttu, arjessa opittu tapa opetella asioita. Täten itse oppimistapa ei vaatinut ylimääräistä prosessointia itse ohjetta opeteltaessa. AR-laseja käytettäessä jouduttiin opettelemaan uuden teknisen laitteen käyttö, ennen ohjeen opettelua. Koehenkilö toisti kokeen neljä kertaa, ja kahden toistokerran jälkeen käytettävyyttä parani.

5.1 Teorian soveltaminen tutkimukseeni

Muidenkin kuin Cowanin tekemien tutkimusten mukaan ihmisen työmuistikapasiteetin raja on 3-5 yksikköä. Kapasiteettirajojen erot eri henkilöiden välillä muodostuvat Cowanin mukaan tarkkaavuuden keskittämisen kautta. Henkilöt, joiden työmuistikapasiteetti on heikompi, keskittyvät tehtävässä epäolennaisten seikkojen tallentamiseen itse pääkohteiden sijaan (Vogel ym. 2005) Työmuistikapasiteetin erot eivät pelkästään selity tarkkaavuuden kautta, vaan myös informaation tallennuskapasiteetin kautta. Henkilöt, joilla on heikompi kyky tallentaa informaatiota, mutta pärjäävät tarkkaavuutta mittaavassa testissä yhtä hyvin kuin laajemman tallennuskapasiteetin omaavat, saavat kokeessa heikompiä lopputuloksia (Cowan ym., 2006).

Kokeessani koehenkilö käsitteli aina kerrallaan kolmeä erimuotoista ja -väristä objektia. Tällä pyrittiin pysymään visuaalisen työmuistikapasiteetin rajojen sisäpuolella, mutta samalla haastamaan koehenkilöä tehtävää suoritettaessa. Omassa tutkimuksessani palikoiden välille ei pyritty muodostamaan semanttista yhteyttä. Ohjeissa objektien etäisyys oli lähellä

toisiaan, saman kaltaisesti kuin ajankohtaisesti hieman oman tutkimukseni jälkeen tehdyssä (O'Donnell ym. 2018) tutkimuksessa.

Käytin tutkimuksessani VPT-testiä mittaamaan visuaalisen työmuistin toimintaa käyttämällä kuvioita, joiden lausumisessa ääneen sisäisessä puheessa ei ole tehtävän suorituksen kannalta merkitystä. Samankaltaisella testillä esimerkiksi Alan Baddeley testasi visuaalisen lyhytkestoisen muistin osaluuetta työmuistitutkimuksissaan. Baddeleyn kokeessa käytettiin 5x5 kokoisia matriiseja, joiden ruudukoista n. puolet olivat mustattuja. Näiden kuvioiden paikat pyrittiin muistamaan 0.3 – 9 sekunnin näytön jälkeen. Tarkkuus alkoi kärsiä muistettavien solujen lisääntyessä matriisissa ja visuaalisen työmuistin kapasiteetti muodostui rajalliseksi (Baddeley, 2012).

Kokeeni ei keskittynyt mittaamaan motoristen suoritteiden vaikutusta työmuistiprosessointiin. Käsillä tehtävä työ oli osa tehtävää, ja sama motorinen toiminta oli kummassakin tehtävässä: AR-laseilla, sekä paperiohjeista tehdyllä. Motoristen suoritteiden vaikutus koettiin mittaustuloksen eroista poistettavaksi tekijäksi, sen ollessa samankaltaisena mukana kummassakin tehtävässä.

Tuttuus vaikuttaa havaitun informaation konsolidaatioon visuaalisessa työmuistissa (Xie & Zhang, 2017). Aiemmin havaitut kohteet, jotka ovat henkilölle tunnistettavia aiemmista havainnoista, vaikuttaa näiden kohteiden uudelleen havainnoinnin kautta parempaan muistijälkeen. Tuttuja kohteita on lukumäärältään helpompi pitää aktiivisena työmuistissa kuin ensimmäistä kertaa havaitessa. Voidaan olettaa, että aktiivisen, ohje-objektiin keskittyneen tarkkaavuuden puute tekemässäni tutkimuksessa, on voinut vaikuttaa koehenkilöiden suorittamiin tehtäviin tulosta heikentävästi. Tällöin Hololensin kautta aistittava informaatio mahdollisesti sekoittuu jatkuvasti näkökenttään saamaamme visuaaliseen informaatioon, ja saattaa häiritä selektiivistä prosessia ohjeobjektin informaation havaitsemisessa.

Koehenkilö sai käyttää aikaa tarvitsemansa ajan objektien mieleen painamiseen paperiohjeista, ja Hololensin kautta hänellä oli mahdollisuus saada visuaalista aistihavaintoa jatkuvasti näkökentässään ohjeiden muodossa. Täten visuaalinen muistiprosessi oli aktiivinen koko ajan näköaistihavaintona Hololensin kautta tehdyssä tehtävässä. Vastaavasti paperiohjeista katsottaessa visuaalinen ohje oli pidettävä aktiivisena varsinaisessa visuaalisessa työmuistissa useamman sekunnin ajan. Koehenkilön oli siis pidettävä aktiivisena kolmea visuaalista objektiä kerrallaan kokeen edetessä vastaavina askeleina eteenpäin.

5.2 Jatkotutkimusaiheet

Tiedon tallentumista pitkäkestoiseen muistiin, ja sieltä palautettavan tiedon tutkimiseen, olisi hyvä kehittää vielä kohti yksityiskohtaisempia mittausten menetelmiä. Mahdollisesti aikaa manipuloidulla voitaisiin löytää muistiprosessointia tarkemmin kuvaava menetelmä. Mielestäni koemenetelmien kehittäminen kohti kohteissa tapahtuvaa mittausta toisi

käytännön tilanteita tukevan lisän myös muistitutkimukselle, jossa motorinen ja haptinen informaatio, sekä ympäristöstä tulevan kohinan vaikutus, voitaisiin ottaa paremmin huomioon. Mielenkiintoista olisi myös tutkia, miten jatkuva visuaalisen informaation havainnointi vaikuttaa työmuistin fonologiseen prosessointiin? Ennako-oletuksen mukaan lisätyn todellisuuden lasia käytettäessä ei olisi tarvetta toistaa tietoisesti sisäisenä puheena, esimerkiksi kokeessani olleiden ohje-objektien väriä (sininen, vihreä, vaalean vihreä), samalla tavalla kuin mentaalisenä representaationa kuvioita prosessoitaessa.

Jatkotutkimuksen kannalta olisi hyvä keskittyä siihen, miten käyttäjä keskittää tarkkaavuuttaan AR-laseilla olevaan informaatioon. Koetaanko reaali maailman havaintokentän sekaan ilmestyvillä keinotekoisilla objekteilla olevan opittua aistimistapaa hämmentävä vaikutus? Muistihäiriöisten ihmisten apuvälineenä AR-lasit toisivat apua arjen tehtävissä suoriutumiseen. Mielestäni olisi tärkeä tutkia, miten käytettävyyttä olisi suunniteltava muistihäiriöisten ihmisten toimintaa tukemaan. Visuaalisen tarkkaavuuden ja työmuistikapasiteetin tutkiminen reaali maailman, ja keinotekoisien visuaalisten artefaktin, välillä olisi tärkeä askel kohti AR-lasien parempaa yhteentoimivuutta työnteon välineenä.

LÄHTEET

- Allen, R. J., Baddeley, A. D. & Hitch, G. J. (2017). Executive and Perceptual Distraction in Visual Working Memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 43(9), pp. 1677-1693. doi:10.1037/xhp0000413
- Anderson, J. R. & Lebiere, C. (2003). The Newell Test for a theory of cognition. *Behavioral and Brain Sciences*, 26(5), pp. 587-601. doi:10.1017/S0140525X0300013X
- Anderson, J. R. (2007). How can the human mind occur in the physical universe?
- Baddeley, A. D. (1978). The Trouble with Levels: A Reexamination of Craik and Lockhart's Framework for Memory Research. *Psychological Review*, 85(3), p. 139.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), pp. 417-423. doi:10.1016/S1364-6613(00)01538-2
- Baddeley, A. (2012). Working Memory: Theories, Models, and Controversies. *Annual Review of Psychology*, 63(1), pp. 1-29. doi:10.1146/annurev-psych-120710-100422
- Baddeley, A., Jarrold, C. & Vargha-Khadem, F. Working Memory and the Hippocampus.
- Bahle, B., Beck, V. M. & Hollingworth, A. (2018). The Architecture of Interaction Between Visual Working Memory and Visual Attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 44(7), pp. 992-1011. doi:10.1037/xhp0000509
- Borst, G., Ganis, G., Thompson, W. & Kosslyn, S. (2012). Representations in mental imagery and working memory: Evidence from different types of visual masks. *Memory & Cognition*, 40(2), pp. 204-217. doi:10.3758/s13421-011-0143-7
- Blalock, L. D. (2013). Mask similarity impacts short-term consolidation in visual working memory. *Psychonomic bulletin & review*, 20(6), p. 1290. doi:10.3758/s13423-013-0461-9
- Blalock, L. D. (2015). Stimulus familiarity improves consolidation of visual working memory representations. *Attention, perception & psychophysics*, 77(4), p. 1143. doi:10.3758/s13414-014-0823-z
- Carlisle, N. B., Arita, J. T., Pardo, D. & Woodman, G. F. (2011). Attentional templates in visual working memory. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 31(25), p. 9315. doi:10.1523/JNEUROSCI.1097-11.2011

- Chai, W. J., Hamid, A. I. A., Hamid, A. I. A., Abdullah, J. M. & Abdullah, J. M. (2018). Working Memory From the Psychological and Neurosciences Perspectives: A Review. *Frontiers in psychology*, 9, . doi:10.3389/fpsyg.2018.00401
- Clark, A. (2016). Surfing uncertainty: Prediction, action, and the embodied mind.
- Craik, F. I. & Lockhart, R. S. (1972). Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 11(6), pp. 671-684. doi:10.1016/S0022-5371(72)80001-X
- Cowan, N. (2005). Working memory capacity.
- Cowan, N. & Morey, C. C. (2006). Visual working memory depends on attentional filtering. *Trends in cognitive sciences*, 10(4), pp. 139-141. doi:10.1016/j.tics.2006.02.001
- Cowan, N., Fristoe, N. M., Elliott, E. M., Brunner, R. P. & Sauls, J. S. (2006). Scope of attention, control of attention, and intelligence in children and adults. *Memory & cognition*, 34(8), p. 1754. doi:10.3758/BF03195936
- Cowan, N. (2010). The Magical Mystery Four: How Is Working Memory Capacity Limited, and Why? *Current Directions in Psychological Science*, 19(1), pp. 51-57. doi:10.1177/0963721409359277
- Della Sala, S., Gray, C., Baddeley, A., Allamano, N. & Wilson, L. (1999). Pattern span: A tool for unwelding visuo-spatial memory. *Neuropsychologia*, 37(10), pp. 1189-1199. doi:10.1016/S0028-3932(98)00159-6
- D'Esposito, M. & Postle, B. R. (2015). The Cognitive Neuroscience of Working Memory. *Annual Review of Psychology*, 66(1), pp. 115-142. doi:10.1146/annurev-psych-010814-015031
- Edin, F., Klingberg, T., Johansson, P., Mcnab, F., Tegnér, J. & Compte, A. (2009). Mechanism for top-down control of working memory capacity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(16), p. 6802. doi:10.1073/pnas.0901894106
- Ekubandner, C., Espitzer, B., Elichtenfeld, S. & Epekrun, R. (2015). Differential Binding of Colors to Objects in Memory: Red and Yellow Stick Better Than Blue and Green. *Frontiers in psychology*, 6, . doi:10.3389/fpsyg.2015.00231
- Ericsson, K. A. & Kintsch, W. (1995). Long-Term Working Memory. *Psychological Review*, 102(2), pp. 211-245. doi:10.1037/0033-295X.102.2.211
- Eysenck, M. W. & Keane, M. T. (2010). *Cognitive psychology: A student's handbook* (6th ed.). Hove: Psychology Press.
- Fukuda, K. & Woodman, G. F. (2017). Visual working memory buffers information retrieved from visual long-term memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(20), p. 5306. doi:10.1073/pnas.1617874114

- Gao, Z., Ding, X., Yang, T., Liang, J. & Shui, R. (2013). Coarse-to-Fine Construction for High-Resolution Representation in Visual Working Memory. (Research Article). *PLoS ONE*, 8(2), p. e57913. doi:10.1371/journal.pone.0057913
- Griffin, I. C. & Nobre, A. C. (2003). Orienting Attention to Locations in Internal Representations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(8), pp. 1176-1194. doi:10.1162/089892903322598139
- Henry, L. A., Messer, D., Luger-Klein, S. & Crane, L. (2012). Phonological, visual, and semantic coding strategies and children's short-term picture memory span. *Quarterly journal of experimental psychology* (2006), 65(10), pp. 2033-2053. doi:10.1080/17470218.2012.672997
- Hollingworth, A. & Maxcey-Richard, A. M. (2013). Selective Maintenance in Visual Working Memory Does Not Require Sustained Visual Attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 39(4), pp. 1047-1058. doi:10.1037/a0030238
- Jiang, Y., Olson, I. R. & Chun, M. M. (2000). Organization of Visual Short-Term Memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 26(3), pp. 683-702. doi:10.1037/0278-7393.26.3.683
- Karlsen, P. J., Allen, R. J., Baddeley, A. D. & Hitch, G. J. (2010). Binding across space and time in visual working memory. (Author abstract) (Report). *Memory & Cognition*, 38(3), p. 292. doi:10.3758/MC.38.3.292
- Katzin, N., Katzin, D., Rosén, A., Henik, A. & Salti, M. (2020). Putting the world in mind: The case of mental representation of quantity. *Cognition*, 195, . doi:10.1016/j.cognition.2019.104088
- Kosslyn, S. M. (2005). Mental images and the Brain. *Cognitive neuropsychology*, 22(3-4), pp. 333-347. doi:10.1080/02643290442000130
- Liu, K. & Jiang, Y. (2005). Visual working memory for briefly presented scenes. *Journal of vision*, 5(7), p. 650. doi:10.1167/5.7.5
- Luck, S. J. & Ford, M. A. (1998). On the Role of Selective Attention in Visual Perception. *PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE UNITED STATES OF AMERICA*, 95(3), pp. 825-830. doi:10.1073/pnas.95.3.825
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2), pp. 81-97. doi:10.1037/h0043158
- Morris, C. D., Bransford, J. D. & Franks, J. J. (1977). Levels of processing versus transfer appropriate processing. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 16(5), pp. 519-533. doi:10.1016/S0022-5371(77)80016-9
- Ninio, J. & Mizraji, E. (1999). Processing of shapes, colours, and letters in short-term visual memory. *Perception*, 28, p. 6.
- O'donnell, R. E., Clement, A. & Brockmole, J. R. (2018). Semantic and Functional Relationships Among Objects Increase the Capacity of Visual Working Memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 44(7), pp. 1151-1158. doi:10.1037/xlm0000508

- Olson, I. & Marshuetz, C. (2005). Remembering "what" brings along "where" in visual working memory. *Perception and Psychophysics*, 67(2), .
- Postle, B. (2006). Working memory as an emergent property of the mind and brain. *Neuroscience*, 139(1), pp. 23-38.
doi:10.1016/j.neuroscience.2005.06.005
- Ranganath, C. & D'Esposito, M. (2005). Directing the mind's eye: Prefrontal, inferior and medial temporal mechanisms for visual working memory. *Current opinion in neurobiology*, 15(2), pp. 175-182.
doi:10.1016/j.conb.2005.03.017
- Rhodes, S. & Cowan, N. (2018). Attention in working memory: Attention is needed but it yearns to be free. *ANNALS OF THE NEW YORK ACADEMY OF SCIENCES*, 1424(1), pp. 52-63.
doi:10.1111/nyas.13652
- Ricker, T. J. & Hardman, K. O. (2017). The Nature of Short-Term Consolidation in Visual Working Memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 146(11), pp. 1551-1573. doi:10.1037/xge0000346
- Roy, S. & Park, N. (2016). Effects of dividing attention on memory for declarative and procedural aspects of tool use. *Memory & Cognition*, 44(5), pp. 727-739. doi:10.3758/s13421-016-0600-4
- Shiffrin, R. M. & Atkinson, R. C. (1969). Storage and retrieval processes in long-term memory. *Psychological Review*, 76(2), pp. 179-193.
doi:10.1037/h0027277
- Silvennoinen, J., Rousi, R., Jokinen, J. & Perälä, P. (2015). Apperception as a multisensory process in material experience.
- Smith, S. M. (1979). Remembering in and out of context. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 5(5), pp. 460-471. doi:10.1037/0278-7393.5.5.460
- Smith, J. D., Shields, W. E., Allendoerfer, K. R. & Washburn, D. A. (1998). Memory Monitoring by Animals and Humans. *Journal of Experimental Psychology: General*, 127(3), pp. 227-250.
doi:10.1037/0096-3445.127.3.227
- Soto, D., Hodsoll, J., Rotshtein, P. & Humphreys, G. W. (2008). Automatic guidance of attention from working memory. *Trends in cognitive sciences*, 12(9), pp. 342-348. doi:10.1016/j.tics.2008.05.007
- Sumner, R. L., Spriggs, M. J., Muthukumaraswamy, S. D. & Kirk, I. J. (2020). The role of Hebbian learning in human perception: A methodological and theoretical review of the human Visual Long-Term Potentiation paradigm. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 115, pp. 220-237.
doi:10.1016/j.neubiorev.2020.03.013
- Sun, H., Zimmer, H. D. & Fu, X. (2011). The influence of expertise and of physical complexity on visual short-term memory consolidation. *Quarterly journal of experimental psychology* (2006), 64(4), pp. 707-729. doi:10.1080/17470218.2010.511238
- Treisman, A. & Zhang, W. (2006). Location and binding in visual working memory. *Memory & Cognition*, 34(8), pp. 1704-1719.

- Vandenbroucke, A. R., Sligte, I. G. & Lamme, V. A. (2011). Manipulations of attention dissociate fragile visual short-term memory from visual working memory. *Neuropsychologia*, 49(6), pp. 1559-1568. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2010.12.044
- Vogel, E. K., Mccollough, A. W. & Machizawa, M. G. (2005). Neural measures reveal individual differences in controlling access to working memory. *Nature*, 438(7067), p. 500. doi:10.1038/nature04171
- Vogel, E. K., Woodman, G. F. & Luck, S. J. (2006). The Time Course of Consolidation in Visual Working Memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32(6), pp. 1436-1451. doi:10.1037/0096-1523.32.6.1436
- Wang, B., Theeuwes, J. & Olivers, C. N. L. (2018). When Shorter Delays Lead to Worse Memories: Task Disruption Makes Visual Working Memory Temporarily Vulnerable to Test Interference. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 44(5), pp. 722-733. doi:10.1037/xlm0000468
- Williams, R. S., Pratt, J. & Ferber, S. (2020). Directed avoidance and its effect on visual working memory. *COGNITION*, 201, . doi:10.1016/j.cognition.2020.104277
- Woodman, G. F., Vogel, E. K. & Luck, S. J. (2001). Visual Search Remains Efficient when Visual Working Memory is Full. *PSYCHOLOGICAL SCIENCE*, 12(3), pp. 219-224. doi:10.1111/1467-9280.00339
- Woodman, G. F. & Luck, S. J. (2003). Serial Deployment of Attention During Visual Search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29(1), pp. 121-138. doi:10.1037/0096-1523.29.1.121
- Xie, W. & Zhang, W. (2017). Familiarity Speeds Up Visual Short-Term Memory Consolidation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 43(6), pp. 1207-1221. doi:10.1037/xhp0000355
- Ye, C., Xu, Q., Liu, Q., Cong, F., Saariluoma, P., Ristaniemi, T. & Astikainen, P. (2018). The impact of visual working memory capacity on the filtering efficiency of emotional face distractors. *Biological psychology*, 138, pp. 63-72. doi:10.1016/j.biopsycho.2018.08.009
- Ye, C., Sun, H., Xu, Q., Liang, T., Zhang, Y. & Liu, Q. (2019). Working memory capacity affects trade-off between quality and quantity only when stimulus exposure duration is sufficient: Evidence for the two-phase model. *Scientific reports*, 9(1), pp. 1-14. doi:10.1038/s41598-019-44998-3

LIITE 1 SUOSTUMUSLOMAKE (SUOMI)

Tutkimuksen nimi:

Augmented Reality – Lisätty todellisuus

Tutkijoiden yhteystiedot

Vastuullinen tutkija (ohjaaja tai tutkimusryhmän senioritutkija/johtaja):

Jani Saikko
kognitiotieteen maisteriohjelma, Jyväskylän yliopisto
+358 50 xxx xxxx
janisaikko@gmail.com

Tutkimuksen taustatiedot

Tutkimus suoritetaan käyttäjäpsykologian laboratoriossa Agorassa, Mattilanniemi 2.
Tutkimus on osa pro gradu -tutkimustani.
Tutkimus tehdään 18.4.-21.4.2017 ja 24.-27.4. 2017

Tutkimuksen tarkoitus, tavoite ja merkitys

Tutkimuksessa keskitytään lisätyn todellisuuden teknologiaan. Tutkimus antaa tietoa ihmisen ja lisätyn todellisuuden teknologian välisestä vuorovaikutuksesta.

Tutkimusaineiston käyttötarkoitus ja käsittely

Aineistoa käytetään:

- tutkimuskäyttö

Menettelyt, joiden kohteeksi tutkittavat joutuvat

Tutkittava käyttää kokeessa Microsoft Hololens -laseja. Koetilanne tallennetaan videolle.

Tutkimuksen hyödyt ja haitat tutkittaville

- Tutkittavat saavat Pro gradu -tutkimukseni valmistuttua tietoa ihmisen ja lisätyn todellisuuden teknologian välisestä vuorovaikutuksesta

Mitä riskejä tutkimuksessa on ja millaisia ovat siitä mahdollisesti aiheutuvat haitat?

- Tutkimuksessa käytettävät menetelmät ovat turvallisia
- Tutkittavalla on oikeus keskeyttää tutkimus heti, kun hänestä siltä tuntuu.
- Lasit voivat mahdollisesti aiheuttaa lieviä pahoinvointioireita. Näitä oireita voivat olla esimerkiksi pahoinvointi, tasapainoastin häiriintyminen, uneliaisuus, päänsärky ja yleinen epämukavuuden tunne.

Miten ja mihin tutkimustuloksia aiotaan käyttää

Tutkimustuloksia käytetään pro gradu -tutkimukseeni. Tutkimustulokset julkaistaan anonymisti.

Tutkittavien oikeudet

Osallistuminen tutkimukseen on täysin vapaaehtoista. Tutkittavilla on tutkimuksen aikana oikeus kieltäytyä tutkimuksesta ja keskeyttää tutkimukseen osallistuminen missä vaiheessa tahansa ilman, että siitä aiheutuu heille mitään seuraamuksia. Tutkimuksen järjestelyt ja tulosten raportointi ovat luottamuksellisia. Tutkimuksesta saatavat tutkittavien henkilökohtaiset tiedot tulevat ainoastaan tutkittavan ja tutkijan käyttöön ja tulokset julkaistaan tutkimusraporteissa siten, ettei yksittäistä tutkittavaa voi tunnistaa. Tutkittavilla on oikeus saada lisätietoa tutkimuksesta tutkijalta missä vaiheessa tahansa.

Vakuutukset

Jyväskylän yliopiston henkilökunta ja toiminta on vakuutettu. Vakuutus sisältää potilasvakuutuksen, toiminnanvastuuvakuutuksen ja vapaaehtoisen tapaturmavakuutuksen.

Tutkimuksissa tutkittavat (koehenkilöt) on vakuutettu tutkimuksen ajan ulkoisen syyn aiheuttamien tapaturmien, vahinkojen ja vammojen varalta. Tapaturmavakuutus on voimassa mittauksissa ja niihin välittömästi liittyvillä matkoilla. Tapaturman lisäksi korvataan vakuutetun erityisen ja yksittäisen voimanponnistuksen ja liikkeen välittömästi aiheuttama lihaksen tai janteen venähdysvamma, johon on annettu lääkärinhoitoa 14 vuorokauden kuluessa vammautumisesta. Korvausta maksetaan enintään kuuden viikon ajan venähdysvamman syntymisestä. Voimanponnistuksen ja liikkeen aiheuttaman venähdysvamman hoitokuluina ei korvata magneettitutkimusta eikä leikkaustoimenpiteitä.

Tapaturmien ja sairastapausten välittömään ensiapuun mittauksissa on varauduttu

tutkimusyksikössä. Laboratoriossa on ensiapuvälineet ja varusteet, joiden käyttöön henkilökunta on perehtynyt. Tutkittavalla olisi hyvä olla oma henkilökohtainen tapaturma/sairaus- ja henkivakuutus, koska tutkimusprojekteja varten vakuutusyhtiöt eivät myönnä täysin kattavaa vakuutusturvaa esim. sairauskohtauksien varalta.

Tutkittavan suostumus tutkimukseen osallistumisesta

Olen perehtynyt tämän tutkimuksen tarkoitukseen ja sisältöön, kerättävän tutkimusaineiston käyttöön, tutkittaville aiheutuviin mahdollisiin haittoihin sekä tutkittavien oikeuksiin ja vakuutusturvaan.

Suostun osallistumaan tutkimukseen annettujen ohjeiden mukaisesti. Voin halutessani peruuttaa tai keskeyttää osallistumiseni tai kieltäytyä tutkimukseen osallistumisesta missä vaiheessa tahansa. Tutkimustuloksiani ja kerättyä aineistoa saa käyttää ja hyödyntää sellaisessa muodossa, jossa yksittäistä tutkittavaa ei voi tunnistaa.

Päiväys

Tutkittavan allekirjoitus

Päiväys

Tutkijan allekirjoitus

LIITE 2 SUOSTUMUSLOMAKE (ENGLANTI)

Name of the Research:

Augmented Reality

Contact:

Principal Investigator:

Jani Saikko
 Cognitive Science Master's Program, University of Jyväskylä
 +358 50 xxx xxx
 janisaikko@gmail.com

Background information:

The research is conducted in the User Psychology laboratory in Agora, Mattilanniemi 2. In Helsinki the research is conducted in a room suitable for testing.

The Research is part of my Master's Thesis.

The Research is conducted 18.4.-21.4.2017 ja 24.-27.4. 2017 (Jyväskylä) and 20.11. – 27.11.2017 (Helsinki)

Purpose and the Goal of the Research:

The Research focuses on Augmented Reality Technology. The Research gives information about interaction between human and augmented reality technology.

Use of Research Material:

Material will be used:

- Research

Procedure:

The Subject uses Microsoft Hololens glasses in the experiment. The Experiment is recorded on video.

Pros and Cons

- All Subjects attending to the research will receive research knowledge based on interaction between human and augmented reality technology.

Risks attending to the study?

- All procedures applied in the experiment are safe.
- The Subject has a right stop the experiment when ever she feels like it.

- AR glasses might produce minor discomfort. These symptoms might include e.g. nausea, headache, eye strain or general discomfort.

How the test results are being used

The results are being used only in my Master's Thesis Study. If the results are being used in any other purposes the subject will be informed.

Rights

Taking part of the test is fully voluntary. The subject has the right to deny for the test and has the right to stop the test whenever she feels like it without any consequences. The arrangements and reports of the research are confidential. The information of the tests are anonymous and are being used confidentially without any possibility of identification of the subject. The subject has the right to have additional information from the researcher any time during the research.

Approval for taking part of the research

I do understand the meaning and purpose of the research and how the research material is being collected and used. I am also wear of the cons that are included in this research. I do know my rights in taking part of the research.

For the information given I will take part of the research. If I want I can cancel or deny my participation in the research any time. The results of the study can only be used in a way where identification is impossible.

Date

Signature (examinee)

Date

Signature (researcher)