1437

# AISTITIEDON INTERMODAALINEN RAKENTUMINEN: KUULO- JA NÄKÖÄRSYKKEIDEN YHDISTÄMINEN ESITIETOISELLA TASOLLA

Markus Nyrhinen
Pro gradu -tutkielma
Kevät 1999
Psykologian laitos
Jyväskylän yliopisto

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
Psykologian laitos

Nyrhinen, Markus: Aistitiedon intermodaalinen rakentuminen: kuulo- ja näköärsykkeiden yhdistäminen esitietoisella tasolla

Pro gradu -tutkielma, 23 sivua
Psykologia
Helmikuu 1999

---

## Tiivistelmä

Tässä tutkimuksessa selvitettiin aistitiedon integroitumista näkö- ja kuuloaistin välillä. Tutkimuksen lähtökohtana oli Ann Treismanin piirreintegraatioteoria (feature integration theory), jonka mukaan aivot prosessoivat ensin näköärsykkeiden osat eli primitiivit. Osista kootaan sitten havaintoja esineistä ja kuvista. Tässä tutkimuksessa teoria laajennettiin koskemaan myös aistipiirien välistä tiedonkäsittelyä.

Tutkimuksessa käytettiin tietokoneohjattuja koetilanteita, joissa näkö- ja kuuloärsykkeet esitettiin koehenkilölle yhtä aikaa. Näkötehtävässä koehenkilö etsi maaliärsykettä taustaärsykkeiden joukosta (visuaalinen haku); kuulotehtävässä hän ilmoitti, oliko ääniärsyke matala vai korkea. Molemmat tehtävät olivat reaktioaikatehtäviä. Koehenkilön piti suorittaa joko pelkkä näkö-/kuulotehtävä tai molemmat yhtä aikaa.

Tutkimuksessa oli kaksi koetta. Kokeet olivat kuuloärsykkeiden suhteen identtiset, mutta visuaalista hakua tutkittiin kahdella eri menetelmällä. Ensimmäisessä kokeessa vaihdeltiin näköärsykkeen maalikuvion paikkatodennäköisyyttä (kuinka monessa paikassa maaliärsyke voi olla), jolloin taustaärsykkeiden lukumäärä pysyi vakiona. Toisessa kokeessa taas vaihdeltiin taustaärsykkeiden lukumäärää eli käytettiin perinteistä visuaalisen haun menetelmää. Ensimmäisessä kokeessa mitattiin näkö-, kuulo- ja näkö+kuulotehtävän reaktioaikojen riippuvuutta näkötehtävän maaliärsykkeen paikkatodennäköisyydestä. Toisessa kokeessa mitattiin näiden kolmen tehtävän reaktioaikojen riippuvuutta taustaärsykkeiden lukumäärästä.

Tutkimuksen päätulos oli se, että näkö+kuulotehtävän reaktioajat eivät riippuneet maaliärsykkeen paikkatodennäköisyydestä tai taustaärsykkeiden lukumäärästä. Visuaalinen haku tapahtui siis rinnakkaisesti, vaikka siihen yhdistettiin kuuloärsykkeen prosessointi. Näkö- ja kuulotiedon yhdistäminen tapahtui esitietoisesti eli preattentiivisesti. Tämä on laajennus Treismanin teoriaan, joka keskittyi vain yhden aistipiirin sisällä tapahtuvaan tiedon integroitumiseen.

Avainsanat: Rinnakkainen/sarjallinen haku, informaation integraatio, visuaalinen haku

**Abstract**

The aim of this study was to investigate the integration of sensory information between vision and audition. The study is based to Ann Treisman's feature integration theory, which says that our brain process the primitive features of visual stimuli before the actual perception of objects. In this study, the theory was broadened to apply also information processing between senses.

The visual and auditory stimuli were simultaneously presented to the subject in computer-controlled experiments. In the visual task, the subject searched for a target pattern among background (distractor) patterns. In the auditory task, subject told whether the sound stimulus was low or high. Reaction time was measured in both of the tasks. Subjects had to perform either one task or both tasks at the same time.

There were two experiments in the study. Experiments were identical in respect to auditory stimuli, but visual search was studied with two different methods. In the first experiment, the location uncertainty of the target pattern and in the second, the number of the backround pattern was varied. The reaction times for correct target discrimination were measured in both experiments.

The main result of the study was that the reaction times in the visual+hearing task were independent of the location uncertainty or the number of the background pattern. So the visual search occurred in parallel though the processing of the auditory stimulus was combined to it. It's thus suggested, that the visual and auditory information are integrated preattentively.

Key words: parallel/serial search, integration of information, visual search

# SISÄLTÖ

**1. JOHDANTO** ... 1

1.1. Tietoista vai tiedostamatonta? ... 1

1.2. Treismanin piirreintegraatioteoria ... 2

1.3. Piirreintegraation hermostollinen perusta ... 3

1.4. Visuaalinen haku ... 4

1.5. Intermodaalinen havaitseminen/tunnistaminen ... 4

1.6. Tutkimusongelma ... 5

**2. KOE 1: PAIKKATODENNÄKÖISYYS VAIHTELEE** ... 8

2.1. Menetelmät ... 8

2.1.1. Koehenkilöt ... 8

2.1.2. Laitteet ja ärsykkeet ... 8

2.1.3. Kokeen kulku ... 9

2.2. Tulokset ... 12

2.3. Tulosten tarkastelua ... 14

**3. KOE 2: ELEMENTTIEN LUKUMÄÄRÄ VAIHTELEE** ... 15

3.1. Menetelmät ... 15

3.1.1. Koehenkilöt ... 15

3.1.2. Laitteet ja ärsykkeet ... 15

3.1.3. Kokeen kulku ... 16

3.2. Tulokset ja niiden tarkastelua ... 17

**4. POHDINTAA** ... 20

4.1. Rinnakkaista, sarjallista vai jotain muuta? ... 20

4.2. Yhteenveto ... 21

**LÄHTEET** ... 22

# 1. JOHDANTO

Tarkkaavaisuus hallitsee ihmisen elämää joka hetki. Tällä hetkellä tarkkaavaisuutesi on keskittynyt tämän tekstin lukemiseen. Jos uppoudut lukemaasi todella intensiivisesti, onnistut ehkä sulkemaan kaiken muun ympärilläsi olevan tietoisuudestasi. Ainakin melkein, sillä esimerkiksi ovikellon soiminen voi saada tarkkaavaisuutesi vaihtamaan hetkeksi kohdettaan. Tällöin ympärilläsi tapahtui jotain poikkeavaa, todennäköisesti jotain oleellista. Miksi juuri tämä poikkeava tapahtuma sitten havaittiin, vaikka muuten oli mahdollista olla valikoiva ympäristön ärsykkeiden suhteen? Mikä määrää sen, mitä tietoisesti havaitaan ja mitä ei?

## 1.1. Tietoista vai tiedostamatonta?

Tarkkaavaisuutemme ja tiedonkäsittelymme jaetaan kahteen osaan: preattentiiviseen eli esitietoiseen ja attentiiviseen eli tietoiseen (Bergen & Julesz, 1983; Neisser, 1967; Treisman & Gelade, 1980; Weichselgartner & Sperling, 1987). Näistä esitietoinen on se, joka vastaa edellä esitettyihin kysymyksiin. Käsittelemme esitietoisesti jatkuvasti kaikkea ympärillämme tapahtuvaa. Esitietoinen tiedonkäsittelymme voi "päättää", mikä on kunkin tilanteen kannalta olennaista ja tärkeää, keskittäen tietoisen tarkkaavaisuutemme sitten siihen. Esitietoista tiedonkäsittelyä tapahtuu siis koko ajan, automaattisesti ja ilman tietoista ponnistusta.

Tarkkaavaisuus taas edellyttää rajoitettujen, tietoisten prosessointiresurssien käyttöä (Bergen & Julesz, 1983; Neisser, 1967; Treisman & Gelade, 1980; Weichselgartner & Sperling, 1987). Emme voi esimerkiksi kuunnella musiikkia ja lukea intensiivisesti yhtä aikaa. Esitietoisella tasolla tällaista prosessointikapasiteetin rajoitusta ei ole, joten nopea ja automaattinen tiedonkäsittely yhdessä aistipiirissä tai useamman aistipiirin välillä on mahdollista.

Rajoitetusta kapasiteetista huolimatta tietoistakin tiedonkäsittelyä pystytään jakamaan hyvin monipuolisesti. Tutkimuksissa on osoitettu, että tähän jakamiseen vaikuttaa

huomattavasti esim. harjoittelu (esim. Allport, Antonis & Reynolds, 1972). Tästä jakamisesta ja yleensäkin tietoisen tiedonkäsittelyn resursseista on olemassa kaksi yleisteoriaa (yhteenvetona esim. Eysenck, 1990). Ensimmäisen mukaan meillä on olemassa yleiset tarkkaavaisuuden resurssit, joista eri aistit tilanteen mukaan vievät osansa. Yksi aistipiiri pystyy siis työskentelemään tehokkaimmin, jos kaikki resurssit saadaan sen käyttöön. Kilpailevassa versiossa taas jokaiselle aistikanavalle on olemassa omat erilliset ja toisistaan riippumattomat resurssit. Näin ollen yksittäinen aistipiiri ei pysty sen parempaan suoritukseen, toimii se sitten yksin tai jonkin muun aistipiirin kanssa yhdessä.

## 1.2. Treismanin piirreintegraatioteoria

Näköaistin tutkimuksiin perustuvassa piirreintegraatioteoriassaan Ann Treisman (Treisman & Gelade, 1980) esittää, että havaitsemme ympäristöstämme ensin esitietoisesti (preattentive) näköärsykkeiden osat ja kokoamme näistä sitten, tietoisesti, suunnatun tarkkaavaisuuden (focal attention) avulla kokonaisuuksia. Näistä ärsykkeiden osista käytetään nimitystä primitiivit eli alkeispiirteet. Primitiivien avulla havaitsemme eroja ja samankaltaisuuksia jo esitietoisella tasolla. Huomaamme esimerkiksi punaisen ympyrän vihreällä pohjalla ilman minkäänlaista tietoista ponnistusta. Punainen ns. pomppaa esiin vihreästä taustasta. Puhutaankin pop-out -ilmiöstä. Sen sijaan jos katselisimme punaista ympyrää vain hieman erisävyisellä punaisella taustalla, ei ympyrän löytäminen olisi niin helppoa ja se vaatisikin jo tietoista tarkkaavaisuutta.

Värin lisäksi muita primitiivejä Treismanin mukaan ovat esimerkiksi kirkkaus, liike ja ääriviivojen kallistuskulma. Nämä primitiivit ovat Treismanin teorian mukaan esitietoisessa tiedonkäsittelyssä perseptuaalisesti riippumattomia toisistaan (Treisman & Gelade, 1980). Vasta attentiivisella tiedonkäsittelyn tasolla primitiivit yhdistetään ja muodostetaan tietoinen havainto objektista. Koska primitiivit ovat riippumattomia toisistaan esitietoisella tasolla, näköjärjestelmämme muodostaa joskus vääriä primitiivien kombinaatioita eli yhdistelmiä. Esimerkkinä tutkimus, jossa koehenkilöille näytettiin kuvaa punaisesta X-kirjaimesta, sinisestä S-kirjaimesta ja vihreästä T-kirjaimesta hyvin

lyhyen ajan, niin että tietoinen näkötiedonkäsittely ei ehtinyt yhdistää alkeispiirteitä. Koehenkilöt kertoivat usein nähneensä esimerkiksi punaisen S-kirjaimen tai vihreän X-kirjaimen. Primitiivien, värin ja muodon, yhdistäminen ei ollut siis onnistunut (Treisman & Gelade, 1980).

## 1.3. Piirreintegraation hermostollinen perusta

Treismanin teoria eri alkeispiirteiden integroitumisesta kokonaisiksi havainnoiksi on saanut tuekseen myös neurotieteiden tutkimustuloksia. On todettu, että aivosolut primaarilla näköaivokuorella ovat erikoistuneet käsittelemään erilaisia alkeispiirteitä: esim. ääriviivan erilaiset kallistuskulmat aiheuttavat aktivaatiota eri soluissa (yhteenvetona ks. esim. Hubel, 1982). Lisäksi huomion suuntaamisen on huomattu vaikuttavan tiettyyn piirteeseen reagoivan solun aktivaatiotasoon. Jos huomio - suunnattu tarkkaavaisuus - on kiinnitetty tiettyyn piirteeseen, sen aiheuttama aktivaatio vastaavassa aivosolussa on suurempi kuin silloin, kun huomiota ei ole kohdistettu piirteeseen (Maunsell, 1995). Jonkinlaista karsintaa olennaisen ja epäolennaisen välillä tapahtuu jo siis primaarilla näköaivokuorella.

Alkeispiirteiden yhdistely paikallistuu määrätyille aivokuoren alueille: PET-aivokuvantamismenetelmällä on todettu, että piirteiden yhdistäminen saa aikaan aktivaatiota tietyllä päälaenlohkon alueella (Corbetta, Shulman, Miezin & Petersen, 1995). Tämä alue on sama, jonka on todettu huolehtivan myös tarkkaavaisuuden suuntaamisesta. Kyseisen alueen vaurion seurauksena piirteiden yhdistäminen vaikeutuu. Eräässä tutkimuksessa todettiin, että potilaalle, jolla oli vaurio juuri tällä päälaenlohkon alueella, piirteiden toisiinsa yhdistäminen oli miltei mahdotonta (Friedman-Hill, Robertson & Treisman, 1995). Esim. kahden yhtä aikaa esitetyn viivan pituuksien vertailu oli vaikeaa. Vertailu onnistui huomattavasti paremmin, jos viivat esitettiin peräkkäin. Kahden eri piirteen yhdistäminen oli käytännössä mahdotonta: vääriä yhdistelmiä, kombinaatioita, syntyi 13%:ssa näyttökerroista, vaikka näyttöaika oli kymmenen sekuntia ja ärsykkeet olivat yksinkertaisia kirjain-väri -yhdistelmiä (Friedman-Hill ym., 1995).

Neurotieteellinen näyttö piirreintegraatioteorialle on siis varsin vahva. Tämä lisää entisestään teorian validiteettia ja uskottavuutta.

## 1.4. Visuaalinen haku

Esitietoiseen ja tietoiseen tiedonkäsittelyyn liittyvät kiinteästi käsitteet parallellinen eli rinnakkainen ja seriaalinen eli sarjallinen haku (Bergen & Julesz, 1983; Nakayama & Silverman, 1986; Treisman & Gelade, 1980). Nämä kuvaavat erilaisia tapoja hakea kohdekuviota taustakuvioiden joukosta: esimerkiksi yksittäistä ympyrää viidenkymmenen neliön joukosta. Rinnakkaisessa haussa haun nopeuteen ei vaikuta kohteen ympärillä olevien muiden ärsykkeiden lukumäärä. O-kirjain esimerkiksi löytyy helposti I-kirjainten joukosta, on I-kirjaimia sitten kolme tai kolmekymmentä. Kaikki ärsykkeet pystytään käsittelemään yhtaikaa ja kohde löytyy ilman tietoista, kaikkien ärsykkeiden läpikäymistä. Rinnakkainen haku onnistuu silloin, jos ärsykkeet eroavat primitiiviensä suhteen riittävästi toisistaan (Treisman & Gelade, 1980; Treisman & Gormican, 1988).

Kun ärsykkeet ovat monimutkaisempia primitiivien yhdistelmiä tai kun ärsykkeiden primitiivit ovat hyvin samanlaisia, haku muuttuu sarjalliseksi ja tietoiseksi. Sarjallinen haku on sitä hitaampaa, mitä enemmän muita ärsykkeitä on kohdeärsykkeen ympärillä. R-kirjain löytyy vielä nopeasti P- ja Q-kirjainten joukosta, kun P- ja Q-kirjaimia on kaksi tai kolme, mutta jos P- ja Q-kirjainten määrä on 30, niin haku ei ole enää niin nopeaa (Treisman & Gelade, 1980).

Rinnakkainen haku on siis esitietoisen tiedonkäsittelyn hakumenetelmä, kun taas sarjallinen haku on puolestaan tietoista.

## 1.5. Intermodaalinen havaitseminen/tunnistaminen

Pystymme käsittelemään monen aistikanavan informaatiota samanaikaisesti niin esitietoisesti kuin tietoisestikin. On asioita, joiden havaitseminen vain yhden aistikanavan kautta olisi jopa mahdotonta. Aistien välinen, intermodaalinen, havaitseminen kasvat-

taakin havaitsemisen mahdollisuuksia suuresti. Hyvänä arkipäivän esimerkkinä voisi olla vaikka se, että puheesta on helpompi saada selvää, jos näkee puhujan huulet.

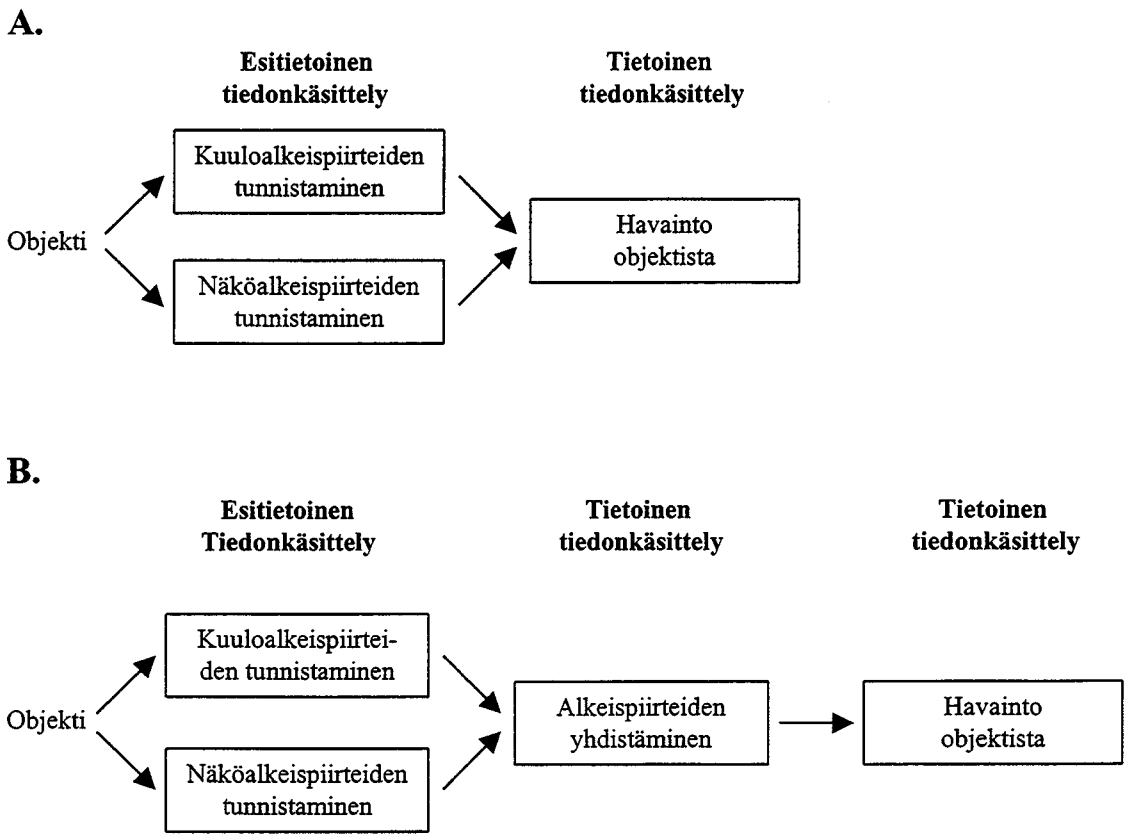
Yleisesti ottaen oletamme, että eri ärsykkeillä on sama lähde, jos ärsykkeet esiintyvät ajallisesti yhtä aikaa ja paikantuvat suurin piirtein samaan kohtaan meitä ympäröivässä tilassa (yhteenvetona ks. esim. Calvert, Brammer & Iversen, 1998). Parhaita esimerkkejä tästä lienee vatsastapuhuminen, jossa henkilö puhuu huuliaan liikuttamatta. Kun hänellä usein on mukanaan nukke, joka taas näyttää liikuttavan huuliaan, paikallistamme puheen nukkeen. Tässä esimerkissä näköaistilla on parempi avaruudellinen erottelukyky verrattuna kuuloon ja näin näkö määrää puheen paikan. Tämä sääntö avaruudellisen erottelukyvyn määräävyydestä pitää paikkansa myös muiden aistipiirien välillä (Calvert ym., 1998).

Kuten edellä mainittiin, on henkilön puheesta helpompi saada selvää, jos näkee hänen huulensa. Kun kuuntelemme ja katselemme puhuvaa henkilöä, vastaanotamme hänen puhettaan niin korvillamme kuin silmillämmekin. Onkin todettu, että jos kuultu ja nähty puhe eivät vastaa toisiaan, saatetaan aistia jotain näiden kahden väliltä. Tästä ns. McGurk -efektistä (McGurk & MacDonald, 1976) on hyvänä esimerkkinä koetilanne, jossa kuultuna tavuna oli "ba" ja nähtynä "ga". Koehenkilöt kertoivat usein tietokoneen ruudulla puhuneen henkilön sanoneen loppujen lopuksi "da", joka on fonologisesti "ba":n ja "ga":n väliltä. Muodostamme siis havaintomaailmamme sekä yksittäisten aistien että aistipiirien yhteistoiminnan (intermodaalisen integraation) avulla (Calvert ym., 1998; Driver & Spence, 1998).

## 1.6. Tutkimusongelma

Miten sitten eri aistipiirien välittämä informaatio integroituu kokonaisuuksiksi? Tässä tutkimuksessa oli tarkoituksena selvittää intermodaalista informaation integraatiota. Tutkimuksessa laajennettiin Treismanin piirreintegraatioteoriaa (Treisman & Gelade, 1980) koskemaan myös kuuloaistia. Tutkittiin, miten näköaistin (ääriviivan kallistuskulma) ja kuuloaistin (äänen korkeus) primitiivit yhdistetään kokonaiseksi havainnoksi (tiettyyn kallistuskulmaan liittyy tietty ääni). Kuvassa 1 on esitetty kaksi vaihtoehtoa,

millä tavoin tämä intermodaalinen primitiivien yhdistäminen voi tapahtua. Ensimmäisessä vaihtoehdossa (A) näkö- ja kuuloprimitiivit yhdistetään automaattisesti ilman tietoista ja sarjallista prosessointia. Toisessa vaihtoehdossa (B) eri aistipiireistä tulevien primitiivien yhdistäminen edellyttää tietoista prosessointia.




KUVA 1. Vaihtoehtoiset mallit alkeispiirteiden yhdistämisestä eri aistipiirien välillä.

Kumpi malleista paremmin kuvaa sitä, miten eri aistipiirien primitiivit yhdistetään? Tätä tutkittiin seuraavan koeasetelman avulla.

Tutkimuksessa käytettiin kolmea tehtävää. Näkötehtävässä koehenkilöiden piti vastata siihen, oliko vino viiva pystysuorien viivojen joukossa vinossa vasemmalle vai oikealle. Kuulotehtävässä kysyttiin äänen korkeutta: oliko ääni korkea vai matala. Näkö+kuulotehtävässä nämä kaksi primitiiviä, ääriviivan kallistuskulma ja äänen korkeus, yhdistettiin: koehenkilöiden piti vastata siihen, kumpaan suuntaan kohdeviiva oli vinos-

sa ja oliko ääni korkea vai matala. Näistä yksi yhdistelmä oli vastattaessa "oikea" ja loput taas "vääriä".

Tutkimuksessa oltiin kiinnostuneita eri tehtävien prosessointimuodoista: oliko prosessointi rinnakkaista vai sarjallista. Sekä näkö- että kuulotehtävän prosessoinnin oletettiin olevan rinnakkaista, mikä todettiinkin tutkimuksessa paikkansapitäväksi. Näin ollen näkö+kuulotehtävän tulokset ratkaisevat sen, kumman mallin mukaan alkeispiirteiden yhdistäminen eri aistipiirien välillä tapahtuu: jos prosessointi tässä intermodaalisessa tehtävässä on rinnakkaista, näkö- ja kuuloprimitiivien yhdistäminen tapahtuu esitietoisesti (kuva 1A); jos taas prosessointi on sarjallista, intermodaalinen primitiivien integraatio edellyttää attentiivista eli tietoista prosessointia (kuva 1B).

# 2. KOE 1: PAIKKATODENNÄKÖISYYS VAIHTELEE

## 2.1. Menetelmät

### 2.1.1. Koehenkilöt

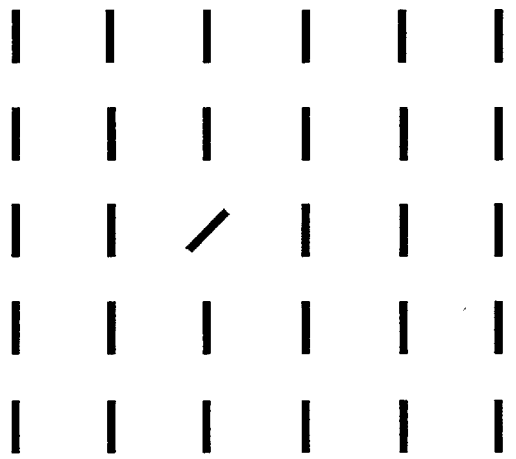
Kokeeseen osallistui kuusi koehenkilöä (kolme naista ja kolme miestä), jotka olivat 21–24-vuotiaita yliopisto-opiskelijoita. Heillä kaikilla oli normaali tai silmälaseilla korjattu näkö sekä normaali kuulo. Kukaan koehenkilöistä ei ollut tietoinen kokeen tarkoituksesta.

### 2.1.2. Laitteet ja ärsykkeet

Koe suoritettiin normaalissa toimistohuoneessa, josta oli valaistusominaisuuksien vakioimiseksi peitetty ikkunat. Kokeessa käytettiin WINGS Maxima P II 233 MHz -tietokonetta, jonka tekniset tiedot olivat seuraavat: Abit LX6 -emolevy, 64 Mb SDRAM-keskusmuistia, Seagate 3.2 Gb Ultra -kovalevy, Matrox MGA-G100 8 Mb AGP PowerDesk -näytönohjain, Yamaha OPL3-Sax -äänikortti, Samsung SCR-3230 -CD-rom-asema ja ViewSonic E771 17" -näyttö. Näytön resoluutio kokeessa oli 800x600 pixeliä ja virkistystaajuus 85 Hz. Näytön katseluetäisyys oli noin 60 cm.

Koe suoritettiin Cognitive Workshop 1.6.0.1 -ohjelmalla. Kokeessa käytetyt ärsykekuvat oli tehty Micrografx Designer 4.0 -ohjelmalla. Jokainen kuva koostui 29:stä pystysuorasta viivasta (taustakuviot) ja yhdestä vinosta viivasta (maalikuvio), joka oli 45°:n kulmassa taustakuvioihin nähden (kuva 2). Viivat olivat valkoisia ja ruudun taustaväri oli musta. Sekä pystysuorien viivojen että vinon viivan koko oli 0.2° x 2.5°. Viivat oli järjestetty 6 x 5 ruudukon muotoon, jonka koko oli 23.4° x 20.8°. Viivojen pystysuuntainen välimatka toisistaan oli 2.1° ja vaakasuuntainen 4.2°. Maalikuvion eli vinon viivan paikka ärsykekuvassa oli koetilanteesta riippuen yhdessä, kahdessatoista tai kolmessakymmenessä kohdassa 6 x 5 ruudukkoa. Jos vinon viivan mahdollisia paikkoja

oli yksi, niin se oli aina samassa paikassa kuin kuvassa 2. Kun mahdollisia maalikuvion paikkoja oli kaksitoista, se oli neljän vaakasuoraan keskimmäisen ja kolmen pystysuoraan keskimmäisen viivan muodostamassa suorakulmiossa (koko 14.4° x 11.61°). Kun mahdollisia maalikuvion paikkoja oli kolmekymmentä, vino viiva saattoi olla kaikissa 6 x 5 ruudukon paikoissa.



KUVA 2. Esimerkki kokeissa käytetyistä ärsykekuvista.

Kokeessa käytetyt äänet olivat puhtaita "piip" -ääniä. Ne olivat 16-bittisiä ja niiden näytteenottotaajuus oli 44100 Hz. Matala ääni oli taajuudeltaan 200 Hz ja korkea ääni 1000 Hz.

### 2.1.3. Kokeen kulku

Kokeen jokainen näyttökerta koostui kuvaärsykkeestä ja sen kanssa yhtä aikaa esitetystä ääniärsykkeestä. Koehenkilön piti näyttösarjasta riippuen reagoida joko kuvaan, ääneen tai molempiin. Myös kuulotehtävässä hänen oli katsottava tietokoneen näyttöä, vaikka näköinformaatiota ei tehtävässä tarvittukaan. Näkötehtävässä henkilön piti painaa z-

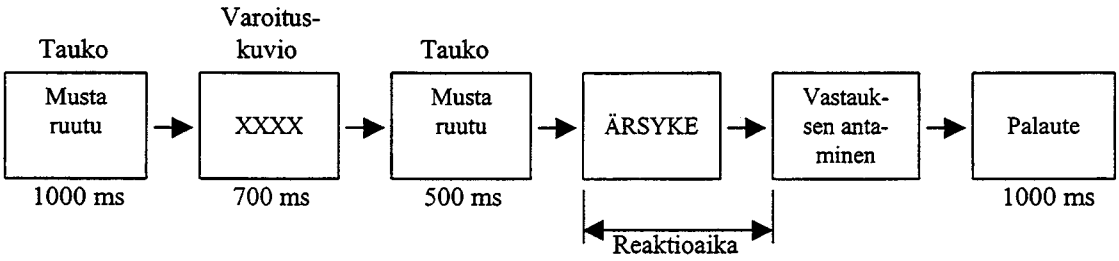
näppäintä tietokoneen näppäimistöltä, jos viiva oli vasemmalle vinossa ja m-näppäintä, jos viiva oli oikealle vinossa. Kuulotehtävässä z-näppäintä piti painaa, jos ääni oli korkea ja m-näppäintä, jos ääni oli matala. Näkö+kuulotehtävässä puolestaan painettiin z-näppäintä, jos viiva oli vasemmalle vinossa ja ääni oli korkea, muulloin painettiin m-näppäintä. Kaikissa kolmessa tehtävässä kummatkin vastausvaihtoehdot olivat yhtä todennäköisiä.

Jokainen mahdollinen vinon viivan paikka ja äänen korkeus -yhdistelmä oli edustettuna yhdessä näyttösarjassa. Koska eri näyttösarjoissa yhdistelmien määrä vaihteli ja z-vastauksia piti olla jokaisessa näyttösarjassa yhtä monta kuin m-vastauksia, näyttökertojen määrä näyttösarjoissa ei ollut sama (taulukko 1).

TAULUKKO 1. Näyttökertojen määrä eri näyttösarjoissa.

| | **Vinon viivan mahdollisten paikkojen lukumäärä** | | |
|---|---|---|---|
| **Mihin reagoidaan?** | **1** | **12** | **30** |
| Kuvaan | 60 | 96 | 120 |
| Ääneen | 60 | 96 | 120 |
| Kuvaan+ääneen | 60 | 72 | 180 |

Näyttökerrat koostuivat varoituskuviosta, itse ärsykkeestä, vastauksesta, palautteesta ja näiden välissä olleista tauoista (kuva 3). Reaktioajan minimiksi oli asetettu 100 ms. Ärsykekuvio oli näkyvissä ja ääniärsyke kuului, kunnes koehenkilö antoi vastauksensa. Reaktioajat mitattiin vain oikeille vastauksille.




KUVA 3. Näyttökerran kulku ja sen eri osien kestot

Koe koostui yhdeksästä näyttösarjasta: näkö-, kuulo- ja näkö+kuulotehtävässä kussakin oli kolme näyttösarjaa. Ne esitettiin koehenkilöille systemaattisesti eri järjestyksessä, jotta mahdollinen väsymysvaikutus saataisiin minimoitua (taulukko 2). Ennen jokaista näyttösarjaa koehenkilöille kerrottiin maalikuvio ja sen mahdolliset paikat kyseisessä sarjassa, jonka jälkeen koehenkilöt saivat harjoitella sarjaa oman tuntemuksensa mukaan. Heille painotettiin, ettei tarkoitus ollut mitata oppimista. Harjoittelunäyttökertoja tuli noin 20–25 jokaista näyttösarjaa kohti. Koehenkilöiden käskettiin vastata mahdollisimman nopeasti, mutta virheitä välttäen.

Kokeen kuuden ensimmäisen näyttösarjan jälkeen pidettiin noin tunnin tauko. Taukoja pidettiin myös koehenkilöiden omien tuntemusten mukaan näyttösarjojen välillä.

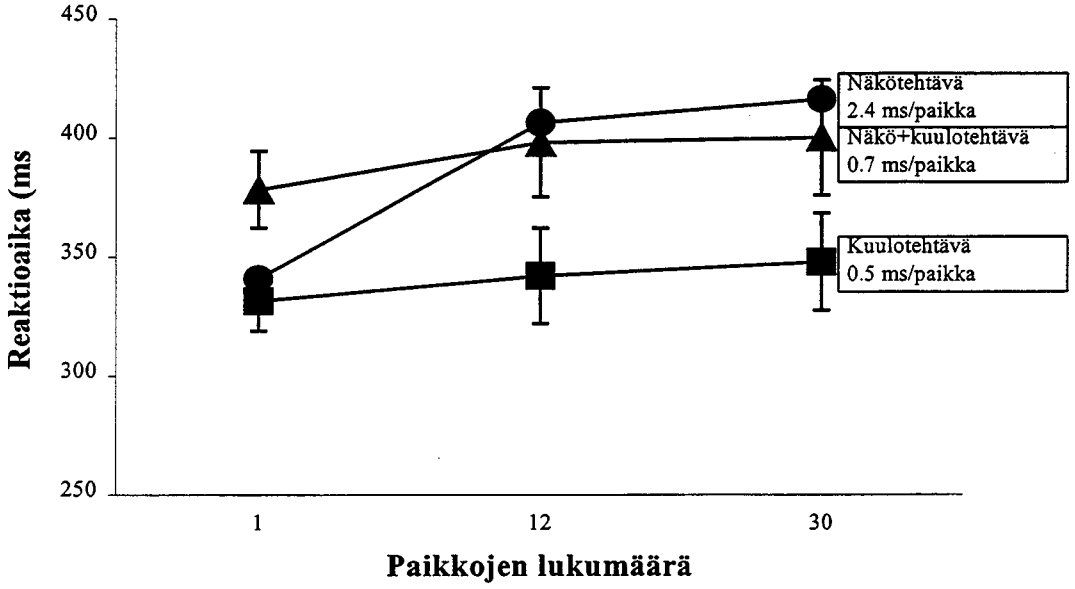
TAULUKKO 2. Kokeen näyttösarjojen järjestys eri koehenkilöillä. Numero kertoo vinon viivan esiintymispaikkojen lukumäärän ja kirjain tehtävän (n=näkötehtävä, k=kuulotehtävä ja n+k=näkö+kuulotehtävä)

| **HLÖ** | **Näyttösarjojen järjestys** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 1n | 12n | 30n | 1k | 12k | 30k | 1n+k | 12n+k | 30n+k |
| **2** | 12n | 30n | 1n | 12k | 30k | 1k | 12n+k | 30n+k | 1n+k |
| **3** | 30n | 1n | 12n | 30k | 1k | 12k | 30n+k | 1n+k | 12n+k |
| **4** | 1k | 12k | 30k | 1n | 12n | 30n | 1n+k | 12n+k | 30n+k |
| **5** | 12k | 30k | 1k | 12n | 30n | 1n | 12n+k | 30n+k | 1n+k |
| **6** | 30k | 1k | 12k | 30n | 1n | 12n | 30n+k | 1n+k | 12n+k |

Ohjelma laski kullekin koehenkilölle hakuaikojen keskiarvon ja virheprosentin jokaisessa näyttösarjassa. Näistä keskiarvoista laskettiin näyttösarjakohtaiset keskiarvot yli koehenkilöiden. Kussakin kolmessa hakutehtävässä analysoitiin, kasvoivatko reaktioajat vinon viivan mahdollisten paikkojen lukumäärän kasvaessa vai eivät. Eli oliko prosessointi rinnakkaista vai sarjallista?

## 2.2. Tulokset

Reaktioajat kussakin kolmessa tehtävässä (näkö, kuulo ja näkö+kuulo) maaliärsykkeen paikkojen lukumäärän funktiona on esitetty kuvassa 4.



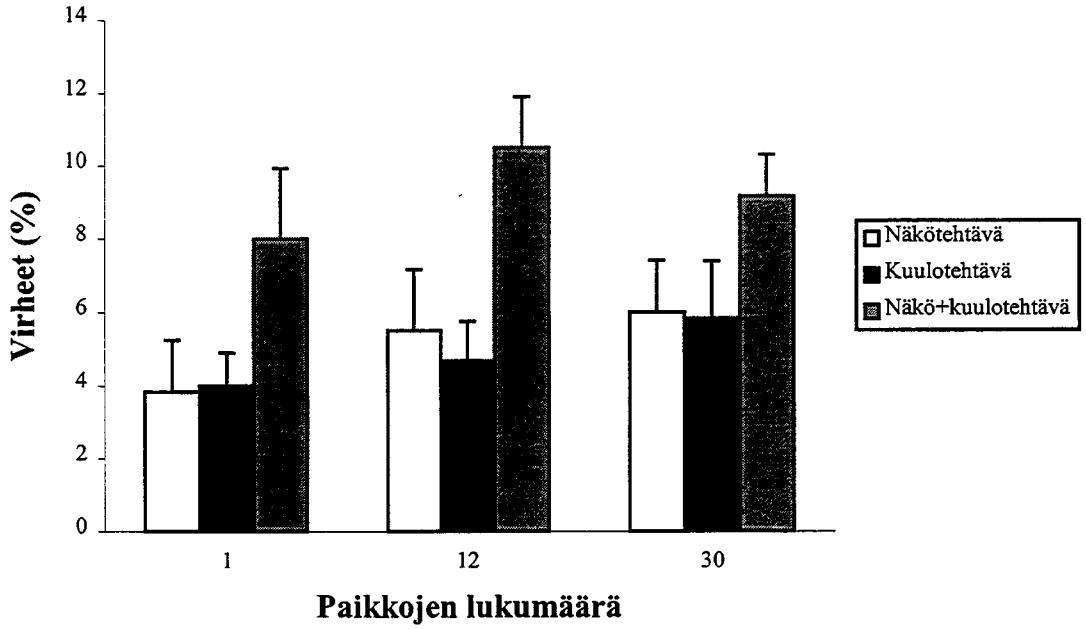

KUVA 4. Kuuden koehenkilön reaktioaikojen keskiarvot eri tehtävissä, keskiarvojen keskivirheet ja reaktioaikoihin sovitettujen regressiosuorien kulmakertoimet. Näkötehtävän keskiarvojen keskivirheet on jätetty selvyyden vuoksi pois, mutta ne olivat samaa suuruusluokkaa kuin kahdessa muussakin tehtävässä.

Reaktioajat eivät näytä kasvavan missään kolmesta tehtävästä maaliärsykkeen paikkojen lukumäärän kasvaessa, koska reaktioaikoihin sovitettujen regressiosuorien kulmakertoimet ovat niin pieniä, etteivät ne poikkea tilastollisesti merkitsevästi ($p>0.01$) nollasta (taulukko 3). Tiedon käsittely tapahtui siis kaikissa tehtävissä rinnakkaisesti.

TAULUKKO 3. Reaktioaikoihin sovitettujen regressiosuorien kulmakertoimet, vakiotermit ja selitysasteet. Kulmakertoimen nollasta poikkeavuutta on testattu t-testillä.

| Tehtävä | Kulmaker-roin | Vakio | t | p | $R^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| **näkö** | 2.4 | 353 | 2.27 | 0.04 | 0.24 |
| **kuulo** | 0.5 | 333 | 0.64 | 0.53 | 0.03 |
| **näkö+kuulo** | 0.7 | 382 | 0.69 | 0.50 | 0.03 |

Virheprosenttien keskiarvot eri tehtävissä ovat kuvassa 5. Näkö+kuulotehtävässä koehenkilöt tekivät hieman enemmän virheitä kuin kahdessa muussa tehtävässä. Tämän tutkimuksen kannalta tärkeää on kuitenkin se, ettei virheiden määrä näytä kasvavan maaliärsykkeen paikkojen lukumäärän kasvaessa. Toisin sanoen reaktioajoissa ei ollut mitään trade-off -ilmiötä, jossa koehenkilöt olisivat nopeuttaneet reaktioaikoja lisäämällä virheiden määrää.




KUVA 5. Eri tehtävien keskimääräiset virheprosentit ja niiden keskivirheet.

## 2.3. Tulosten tarkastelua

Reaktioajat pysyivät samoina näkö+kuulotehtävässä riippumatta maaliärsykkeen (vinon viivan) mahdollisten paikkojen lukumäärästä, joten tehtävän vaatimaa tiedonkäsittelyä voidaan pitää rinnakkaisena. Tämä tulos viittaa siihen, että emme tarvitse suunnattua tarkkaavaisuutta alkeispiirteiden yhdistämiseen silloin, kun alkeispiirteet ovat eri aistipiireistä.

Kaiken kaikkiaan reaktioajat eri tehtävissä olivat hyvin lähellä toisiaan. Kuulotehtävässä reagoitiin ärsykkeisiin ehkä hieman nopeammin kuin näkötehtävässä. Näkö+kuulotehtävän reaktioaikojen nopeutta selittänee osaltaan virheprosentin suuruus. Vastaustaktiikka lienee hieman muuttunut, kun siirryttiin vaikeampaan tehtävään. Jos näkö+kuulotehtävän virheprosentit olisivat pysyneet samalla tasolla muiden tehtävien kanssa, se olisi todennäköisesti osoittautunut reaktioaikojen suhteen vaikeimmaksi tehtäväksi.

Kokeessa ei käytetty perinteistä visuaalisen haun tutkimuksissa käytettyä menetelmää, jossa elementtien lukumäärää vaihdellaan, vaan vaihdeltiin maalikuvion mahdollisten esiintymispaikkojen lukumäärää. Vaikuttiko tämä osaltaan tuloksiin niin, että haku oli rinnakkaista? Palmerin (1994) ja Saarisen (1997) tutkimukset osoittavat, että maalikuvion paikkatodennäköisyyttä vaihtelemalla saadaan samanlaisia tuloksia näkötiedon prosessoinnin rinnakkaisuudesta/sarjallisuudesta kuin perinteisemmälläkin menetelmällä. Käytettyä menetelmää voi osaltaan pitää parempanakin kuin perinteistä menetelmää, sillä tässä menetelmässä kuvioiden etäisyys toisistaan pysyy vakiona, kun taas perinteisemmässä etäisyys riippuu taustaärsykkeiden määrästä.

Mittausmenetelmän mahdollista vaikutusta haun rinnakkaisuuteen/sarjallisuuteen tutkittiin kontrollikokeessa, jossa käytettiin perinteistä menetelmää eli mittauksissa vaihdeltiin taustaärsykkeiden lukumäärää.

# 3. KOE 2: ELEMENTTIEN LUKUMÄÄRÄ VAIHTELEE

## 3.1. Menetelmät

### 3.1.1. Koehenkilöt

Kontrollikokeeseen osallistui kuusi koehenkilöä (kolme naista ja kolme miestä), jotka olivat 22–25-vuotiaita. Heistä neljä oli osallistunut tutkimuksen ensimmäiseen kokeeseen. Kaikilla koehenkilöillä oli normaali tai silmälaseilla korjattu näkö sekä normaali kuulo. Kukaan koehenkilöistä ei ollut tietoinen kokeen tarkoituksesta.

### 3.1.2. Laitteet ja ärsykkeet

Kokeessa käytettiin samoja laitteita ja ohjelmia kuin ensimmäisessäkin kokeessa ja se suoritettiin samanlaisissa olosuhteissa. Olennaisin ero kokeiden välillä oli näköärsykkeessä. Kontrollikokeessa viivojen määrä 6 x 5 ruudukossa vaihteli. Ruudukossa oli näyttösarjasta riippuen joko kaksi, kaksitoista tai kolmekymmentä viivaa, joista yksi oli 45°:n kulmassa muihin viivoihin nähden. Koeohjelma satunnaisti viivojen paikat 6 x 5 ruudukossa siten, että jokainen 30:stä paikasta oli yhtä todennäköinen. Ruudukossa olevien tyhjien paikkojen lukumäärä vaihteli viivojen lukumäärän mukaan. Kun viivoja oli kaksi, jäi ruudukkoon 28 tyhjää paikkaa ja kun viivoja oli kolmekymmentä, ei tyhjiä paikkoja ollut ollenkaan. Näin tämä viimeksimainittu näyttösarja oli itse asiassa aivan samanlainen kuin ensimmäisen kokeen näyttösarja, jossa maaliärsyke saattoi olla missä tahansa ruudukon kolmestakymmenestä paikasta.

Äänet kontrollikokeessa olivat samat kuin alkuperäisessäkin kokeessa, eli ne olivat 16-bittisiä ja niiden näytteenottotaajuus oli 44100 Hz. Matala ääni oli taajuudeltaan 200 Hz ja korkea ääni 1000 Hz.

### 3.1.3. Kokeen kulku

Kontrollikoe suoritettiin samalla tavalla kuin alkuperäinenkin koe. Kokeen jokainen näyttökerta koostui kuvaärsykkeestä ja sen kanssa yhtä aikaa esitetystä ääniärsykkeestä. Koehenkilön piti näyttösarjasta riippuen reagoida joko kuvaan, ääneen tai molempiin. Tehtävästä riippumatta hänen oli koko ajan katsottava tietokoneen näyttöä. Näkötehtävässä henkilön piti painaa z-näppäintä tietokoneen näppäimistöltä, jos viiva oli vasemmalle vinossa ja m-näppäintä, jos viiva oli oikealle vinossa. Kuulotehtävässä z-näppäintä piti painaa, jos ääni oli korkea ja m-näppäintä, jos ääni oli matala. Näkö+kuulotehtävässä puolestaan painettiin z-näppäintä, jos viiva oli vasemmalle vinossa ja ääni oli korkea, muulloin painettiin m-näppäintä. Näyttökertojen määrä näyttösarjoissa pystyttiin tällä kertaa vakioimaan viivojen paikkojen satunnaistamisen vuoksi. Näyttökertojen määrä näyttösarjoissa oli 60. Z- ja m-vastauksia oli jokaisessa näyttösarjassa yhtä paljon.

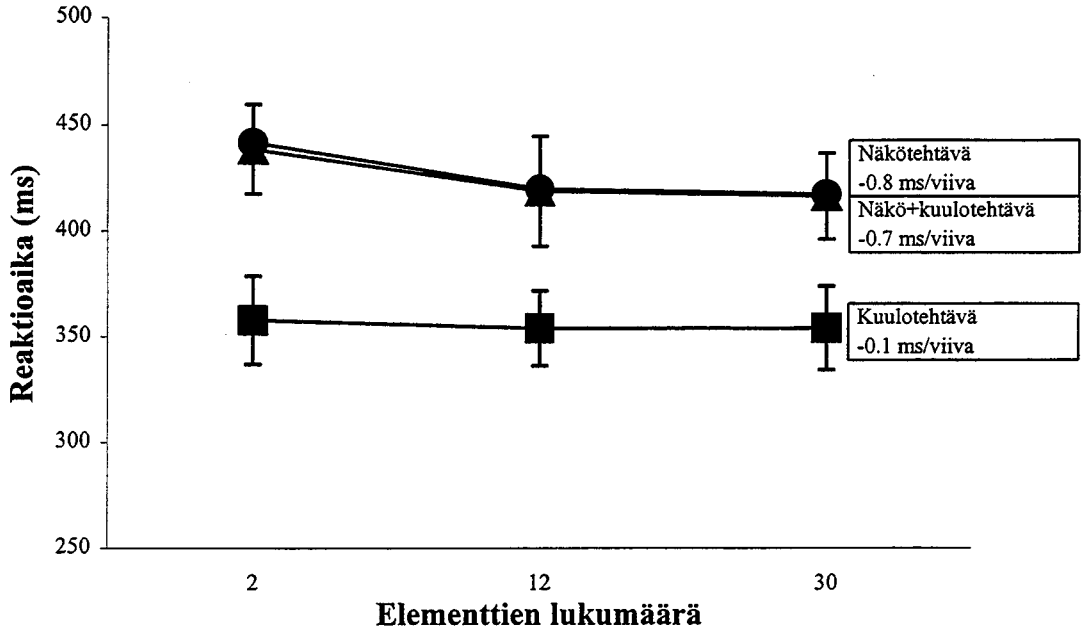
Näyttökerrat koostuivat varoituskuviosta, itse ärsykkeestä, vastauksesta, palautteesta ja näiden välissä olleista tauoista (kuva 3). Reaktioajan minimiksi oli asetettu 100 ms. Ärsykekuvio oli näkyvissä ja ääniärsyke kuului, kunnes koehenkilö antoi vastauksensa. Reaktioajat mitattiin vain oikeille vastauksille.

Koe koostui yhdeksästä näyttösarjasta: näkö-, kuulo- ja näkö+kuulotehtävässä kussakin oli kolme näyttösarjaa. Ne esitettiin koehenkilöille systemaattisesti eri järjestyksessä, jotta mahdollinen väsymysvaikutus saataisiin minimoitua (taulukko 2). Ennen jokaista näyttösarjaa koehenkilöille kerrottiin maalikuvio, jonka jälkeen koehenkilöt saivat harjoitella sarjaa oman tuntemuksensa mukaan. Heille painotettiin, ettei tarkoitus ollut mitata oppimista. Harjoittelunäyttökertoja tuli noin 20–25 jokaista näyttösarjaa kohti. Koehenkilöiden käskettiin vastata mahdollisimman nopeasti, mutta virheitä välttäen. Taukoja kokeessa pidettiin koehenkilöiden omien tuntemusten mukaan näyttösarjojen välillä.

Ohjelma laski kullekin koehenkilölle hakuaikojen keskiarvon ja virheprosentin jokaisessa näyttösarjassa. Näistä keskiarvoista laskettiin näyttösarjakohtaiset keskiarvot yli koehenkilöiden. Kussakin kolmessa hakutehtävässä analysoitiin, kasvoivatko reaktioajat taustaärsykkeiden lukumäärän kasvaessa vai eivät. Eli oliko prosessointi rinnakkaista vai sarjallista?

## 3.2. Tulokset ja niiden tarkastelua

Toisen kokeen tehtävien (näkö, kuulo ja näkö+kuulo) reaktioajat viivojen lukumäärän funktiona näkyvät kuvassa 6.



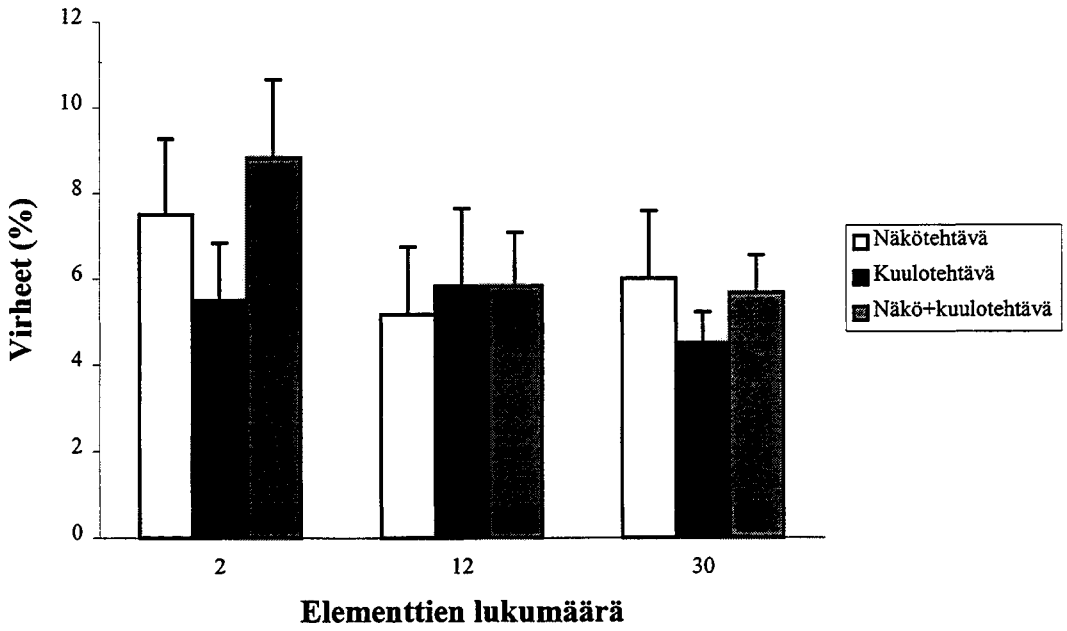

KUVA 6. Kontrollikokeen kuuden koehenkilön keskiarvot eri tehtävissä, keskiarvojen keskivirheet ja reaktioaikoihin sovitettujen regressiosuorien kulmakertoimet. Näkötehtävän keskiarvojen keskivirheet on jätetty selvyyden vuoksi pois, mutta ne olivat samaa suuruusluokkaa kuin kahdessa muussakin tehtävässä.

Reaktioajat eivät näytä kasvavan missään kolmesta tehtävästä viivojen lukumäärän kasvaessa, koska reaktioaikoihin sovitettujen regressiosuorien kulmakertoimet eivät poikkea tilastollisesti merkitsevästi ($p>0.05$) nollasta (taulukko 4). Tiedonkäsittely oli siis kaikissa tehtävissä rinnakkaista.

TAULUKKO 4. Kontrollikokeen reaktioaikoihin sovitettujen regressiosuorien kulmakertoimet, vakiotermit ja selitysasteet. Kulmakertoimen nollasta poikkeavuutta on testattu t-testillä.

| Tehtävä | Kulmakerroin | Vakio | t | p | $R^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| **näkö** | -0.8 | 438 | -0.86 | 0.40 | 0.04 |
| **kuulo** | -0.11 | 357 | -0.12 | 0.91 | 0.001 |
| **näkö+kuulo** | -0.71 | 435 | -0.65 | 0.53 | 0.03 |

Virheprosenttien keskiarvot eri tehtävissä ovat kuvassa 7. Koehenkilöt näyttivät tehneen virheitä saman määrän tehtävästä riippumatta. Tämänkään kokeen tulokset eivät osoita mitään trade-off -ilmiötä, jossa reaktioaikoja olisi nopeutettu virheiden määrää lisäämällä.




KUVA 7. Kontrollikokeen eri tehtävien keskimääräiset virheprosentit ja niiden keskivirheet.

Kontrollikokeessa reaktioajat pysyivät näkö+kuulotehtävässä samoina riippumatta taustaärsykkeiden määrästä, joten tehtävän vaatimaa tiedonkäsittelyä voidaan pitää rinnakkaisena. Tämä vastaa täysin ensimmäisessä kokeessa saatuja tuloksia eli mittausmenetelmällä ei ollut merkitystä.

# 4. POHDINTAA

## 4.1. Rinnakkaista, sarjallista vai jotain muuta?

Tutkimuksessa selvitettiin, oliko prosessointi eri aistipiirien välillä rinnakkaista vai sarjallista. Viime aikoina rinnakkaisen vs. sarjallisen informaation prosessoinnin kvalitatiivinen dikotomia on asetettu kuitenkin kyseenalaiseksi. Esim. Townsendin (1990) mukaan ns. sarjallinen prosessointi voi todellisuudessa olla rinnakkaista: rinnakkaisen prosessoinnin resurssit yhtä ärsykettä kohti vähenevät ärsykkeiden määrän kasvaessa, mikä saa reaktioajat pitenemään ja prosessoinnin näyttämään sarjalliselta. Myös Wolfe, Cave & Franzel (1989) totesivat tutkimuksissaan, ettei tällaista kvalitatiivista jakoa rinnakkaiseen ja sarjalliseen hakuun voida pitää merkityksellisenä. Heidän (Wolfe ym., 1989) ohjatun haun (guided search) teorian mukaan rinnakkainen haku jakaa ärsykkeitä yksittäisten piirteiden mukaan erilaisiin ryhmiin. Rinnakkainen haku erottelee esim. isot ärsykkeet pienistä, valkoiset mustista ja vaakasuorat pystysuorista. Kun sitten etsitään jotain näiden tiettyä yhdistelmää, rinnakkainen haku "ehdottaa" sarjalliselle haulle suurimman todennäköisyyden omaavaa ärsykettä. Jos tämä ei ole sopiva, rinnakkainen haku ehdottaa seuraavaksi todennäköisintä jne. Kun ärsykkeet eroavat vain yhden piirteen suhteen toisistaan ja maaliärsykkeitä on yksi, jää rinnakkaisen haun jälkeen jäljelle vain tuo maaliärsyke. Näin ollen sarjallisella haulla on helppo tehtävä todeta esim. kumpaan suuntaan maaliärsyke oli vinossa. Haun nopeuteen vaikuttaa siis se, miten paljon sarjalliselle haulle jää töitä sen etsiessä todennäköisistä ärsykkeistä sitä oikeaa eli miten paljon rinnakkainen haku pystyy sarjallista ohjaamaan. Tämän mukaan hakumuodot muodostavatkin jatkumon: kulmakerroin taustaärsykkeiden määrän ja hakunopeuden välisessä funktiossa voi saada mitä arvoja tahansa (Wolfe ym., 1989).

Tässä tutkimuksessa haku kaikissa tehtävissä oli selvästi rinnakkaista, joten rinnakkainen-sarjallinen -dikotomian olemassaolon pohtiminen ei suoranaisesti ole välttämätöntä. Wolfen ym. (1989) teorian soveltaminen tähän tutkimukseen tuntuu kuitenkin mielenkiintoiselta vaihtoehdolta.

Teorian mukaan tässä tutkimuksessa ohjaavia signaaleja olisivat ääni ja maaliärsykeviivan kallistuskulma. Ensin ääni jakaisi ärsykkeen kahteen ryhmään ja sitten kallistuskulma omaan kahteen ryhmäänsä. Näiden automaattisten jakoprosessien jälkeen sarjallinen haku sitten etsisi todennäköisimmän yhdistelmän oikeaksi vastaukseksi kyseiseen tehtävään. Yksittäiset piirteet erosivat näkö+kuulotehtävässä niin paljon toisistaan, että rinnakkainen haku pystyi antamaan hyvät toimintaohjeet ja sarjallisella haulla oli helppo tehtävä valita oikea vastaus jokaiseen näyttökertaan. Näin haku oli melkein täydellisesti rinnakkaista (kulmakerroin $\approx 0$). Wolfen ym. (1989) ohjatun haun teoria näyttäisi siis sopivan hyvin selittämään piirteiden integroitumista hakuprosessissa myös kahden aistipiirin välillä.

## 4.2. Yhteenveto

Hakuajat intermodaalisessa prosessoinnissa pysyivät samoina riippumatta siitä, kuinka monessa paikassa maalikuvio saattoi olla tai kuinka monta taustaärsykettä kuvassa oli. Prosessointi näkö- ja kuuloaistin välillä oli siis rinnakkaista eli havaintoärsykkeiden primitiivien intermodaalinen integraatio näyttää tapahtuvan esitietoisesti (kuva 1A). Tämä tulos on laajennus piirreintegraatioteoriaan, joka aikaisemmin on rajoittunut selittämään informaation prosessointia vain näköaistissa.

# LÄHTEET

Allport, D. A., Antonis, B., & Reynolds, P. (1972). On the division of attention: A disproof of the single channel hypothesis. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 24, 225-235.

Bergen, J. R., & Julesz, B. (1983). Parallel versus serial processing in rapid pattern discrimination. Nature, 303, 696-698.

Calvert, G. A., Brammer, M. J., & Iversen, S. D. (1998). Crossmodal identification. Trends in Cognitive Sciences, 2, 247-253.

Corbetta, M., Shulman, G. L., Miezin, F. M., & Petersen, S. E. (1995). Superior parietal cortex activation shifts and visual feature conjunction. Science, 270, 802-805.

Driver, J., & Spence, C. (1998). Attention and the crossmodal construction of space. Trends in Cognitive Sciences, 2, 254-262.

Eysenck, M. W. (1990). Cognitive psychology: A student's handbook. Hove: Erlbaum.

Friedman-Hill, S. R., Robertson, L. C., & Treisman, A. (1995). Parietal contributions to visual feature binding: Evidence from a patient with bilateral lesions. Science, 269, 853-855.

Hubel, D. H. (1982). Exploration of the primary visual cortex, 1955-78. Nature, 299, 515-524.

Maunsell, J. H. R. (1995). The brain's visual world: Representation of visual targets in cerebral cortex. Science, 270, 764-769.

McGurk, H., & MacDonald, J. (1976). Hearing lips and seeing voices. Nature, 264, 746-748.

Nakayama, K., & Silverman, G. H. (1986). Serial and parallel processing of visual feature conjunctions. Nature, 320, 264-265.

Neisser, U. (1967). Cognitive psychology. New York: Meredith publishing company.

Palmer, J. (1994). Set-size effect in visual search: the effect of attention is independent of the stimulus for simple tasks. Vision Research, 34, 1703-1721.

Saarinen, J. (1997). The speed of visual search in the absence of sensory effects. Perception, 26, 85-91.

Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. Cognitive Psychology, 12, 97-136.

Treisman, A. M., & Gormican, S. (1988). Feature analysis in early vision: Evidence from search asymmetries. Psychological Review, 95, 15-48.

Townsend, J. T. (1990). Serial vs. parallel processing: Sometimes they look like tweedledum and tweedledee but they can (and should) be distinguished. Psychological Science, 1, 46-54.

Weichselgartner, E., & Sperling, G. (1987). Dynamics of automatic and controlled visual attention. Science, 238, 778-780.

Wolfe, J. M., Cave, K. R., & Franzel, S. L. (1989). Guided search: An alternative to the feature integration model for visual search. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 15, 419-433.