

Tartu Ülikool
sotsiaalteaduste valdkond
psühholoogia instituut

Jaan Meos

CROWDINGU MÕJU VISUAALSETE STIIMULITE VÄRVIMUUTUSTE
TAJUMISELE
Uurimistöo

Juhendaja: Endel Põder, Ph.D.

Jooksev pealkiri: Värvimuutuste tajumine crowdingu tingimustes

Tartu 2021

Crowdingu mõju visuaalsete stiimulite värvimuutuste tajumisele

Kokkuvõte

Crowding, ehk lähedal asuvate kontuuride kahjustav mõju visuaalsele eristusvõimele, on peamiselt perifeerses nägemisväljas esinev nähtus. Uurimistöö eesmärgiks oli uurida crowdingu efekti mõju visuaalsete stiimulite värvimuutuste tajumisele. Selleks hindasid 4 katseisikut arvutitarkvara vahendusel 1600 stiimulpaari sarnasusi, kui kuvatavad stiimulid erinesid elementide hulga, fiksatsioonipunktist esitamise kauguse ning muudetavate elementide arvu poolest. Leiti, et crowdingu efekt mõjutab osaelementide värvimuutuste tajumist negatiivselt. Mõju oli kõige märgatavam keskmise keerukusega ülesannete puhul. Lihtsate ülesannete korral märkimisväärne mõju puudus. Töö lõpus arutatakse tulemuste potentsiaalsete tõlgenduste ja tulevaste uurimisvõimaluste üle.

Märksõnad: perifeerne nägemine, crowding, värvimuutus, muutuse märkamine

The effect of crowding on recognizing changes to the colours of presented visual stimuli**Abstract**

Crowding, or the deleterious influence of nearby contours on visual discrimination, is a phenomenon that occurs in peripheral vision. The aim of this research was to examine the effect of crowding on recognizing changes to the colours of presented visual stimuli. For that purpose, 4 subjects used computer software to assess the similarities of 1600 pairs of stimuli, with variances in the number of elements, distance from the point of fixation and the number of elements being changed. It was found that crowding has a negative effect on recognizing changes to the colours of presented visual stimuli. The observed effect was greatest for moderately difficult tasks. For simple tasks, there was no notable effect. At the end of the paper, there is a discussion on the potential interpretation of the results, as well as possible future research options.

Keywords: peripheral vision, crowding, colour change, recognizing change

Sissejuhatus

Crowdingu puhul on tegemist objekti äratundmise halvenemisega, kui objekti äratundmine tähendab näiteks tooli mõistmist just toolina (ja mitte kõrvitsana) vaatamata stiilile, vaatenurgale või ümbritsevale visuaalsele mürale (Pelli & Tillman, 2008). Crowding, või lähedal asuvate kontuuride kahjustav mõju visuaalsele eristusvõimele, esineb ruumilises nägemises (Levi, 2008) ja on perifeerset nägemist iseloomustav nähtus (Levi, Hariharan, et al., 2002). Crowdingu puhul ei halvene mitte crowditud objekti nägemine vaid selle äratundmine (Levi, 2008; Whitney & Levi, 2011), erinevalt teistest maskimise meetoditest, mis sõltuvad pigem segatava objekti katmisest ja mitte ainult ümbritsemisest segavate objektidega (Chung et al., 2001; Pelli et al., 2004).

Seejuures on crowdingu mõju väga suur just perifeerses nägemisespiirkonnas, kus näiteks üksikuna kergesti ära tuntav tähemärk muutub äratundmatuks olles ümbritsetud teiste tähemärkidega, samas kui tsentraalses (ehk otseses) nägemises esineb crowding ainult siis, kui tähemärkidel on väikesed vahed (Liu & Arditi, 2000; Toet & Levi, 1992), või isegi mitte kunagi (Strasburger et al., 1991).

Kuigi enamik crowdingu uurimisest on toimunud kasutades stiimulitena tähemärke (Strasburger et al., 2011), on crowdingut tähendatud nii tähemärkide ära tundmises (Toet & Levi, 1992), vernier-teravuses ehk objektide omavahelise nihke märkamises (Levi et al., 1985), orientatsiooni eristamises (Andriessen & Bouma, 1976) kui ka nägude tuvastamises (Louie et al., 2007). Crowdingu efekt ei esine ainult statsionaarsetel objektidel, vaid seda on eksperimentaalselt tähendatud ka liikuvate objektide puhul (Bex et al., 2003; Bex & Dakin, 2005).

Üldiselt on crowdingu eksperimentide eesmärgiks “kriitiliste vahekauguste” (objektide vaheline kaugus, millest alates hakkavad lähedal asuvad objektid olukorra täpset ja õiget hindamist raskendama) leidmine ja võrdlemine erinevate tunnuste, tingimuste, ülesannete, silmade, või mõne muu teguri raames (Levi, 2008).

Uuringute käigus on leitud mitmeid tunnuseid, mis crowdingu tugevust mingil määral mõjutavad, nagu elementide kuju ja suurus (Nazir, 1992), orientatsioon (Levi, Klein, et al., 2002), ruumiline sagedus (Chung, 2002; Pöder & Wagemans, 2007), värv (Pöder, 2007) ning crowditava elemendi sarnasus segavate elementidega (Bernard & Chung, 2011). Samuti on tähendatud võimet crowdingu efekti vähendada ja stiimulite äratundmist parandada õppimise

teel, kuid seda ainult juhul kui õpitavad stiimulid vastavad piisavalt täpselt esitatavatele stiimulitele (Huckauf & Nazir, 2007).

Seejuures on uuritud ka crowdingu tingimuste mõju esinevale crowdingu efektile. Näiteks on leitud, et crowditava objekti ümbrusesse segavate objektide lisamine suurendab crowdingu efekti ainult kuni kindla hulgani, peale mida lisatud objektid hakkavad crowdingu efekti uuesti vähendama (Herzog & Manassi, 2015). Samaväärset crowdingu efekti kasvu lõppu on tähendatud segavate elementide keerukuse kasvu korral, kuigi järjest keerukamad segavad elemendid ei põhjusta crowdingu efekti vähenemist, ei suurenda need crowdingu efekti peale kindlat keerukuse taset (Bernard & Chung, 2011). Samuti on tähendatud crowdingu efekti vähenemist, kui segavad objektid kasvavad crowditava objekti suhtes liiga suureks (Bex et al., 2003; Levi & Carney, 2009). Selle järgi võiks eeldada, et võimalikult suure crowdingu efekti saamiseks peab olema crowditav objekt crowditud enda suhtes optimaalse arvu optimaalses suuruses ja piisavalt sarnaste segavate objektidega.

Eelnevale tuginedes on käesoleva töö eesmärgiks uurida crowdingu efekti olemasolu ja mõju visuaalsete stiimulpaaride elementide värvide muutuste tajumisele erineva hulga segatavate ja segavate elementide korral ning fiksatsioonipunktist erinevatel kaugustel ehk kokkuvõtvalt varieeruvates crowdingu tingimustes. Selleks püstitan kolm hüpoteesi:

1. Perifeerses nägemisväljas on visuaalsete stiimulite vaheliste erinevuste tajumine kehvem kui tsentraalses nägemisväljas.
2. Visuaalsete stiimulite vaheliste erinevuste tajumine halveneb segavate objektide hulga kasvuga.
3. Sarnastest elementidest koosnevate visuaalsete stiimulite vaheliste erinevuste tajumine sõltub muudetud elementide arvust.

Meetod

Valim

Valimiks oli mugavusvalim Tartu Ülikooli psühholoogia teaduskonna bakalaureuse astme üliõpilastest ja teistest isikutest.

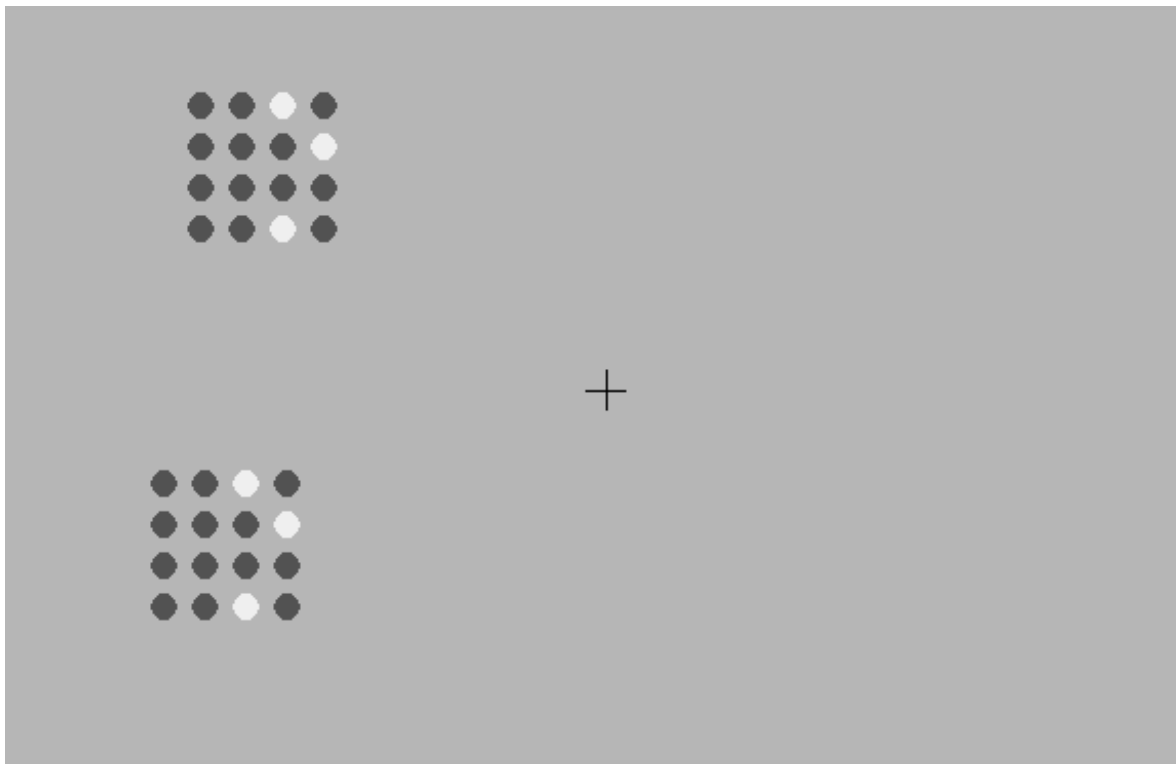
Valimisse otsiti katseisikuid sotsiaalmeedia vahendusel, pakkudes neile võimalust võtta osa 30€ väärtuses kinkekaartide loosimises. Tartu Ülikooli psühholoogia eriala tudengitel oli

võimalus asendada loosis osalemine mõne ainekursuse läbimiseks vajalike “katsepunktidega” vastavuses katses osalemisele kulunud ajaga.

Katses osales 7 normaalse nägemisega katseisikut, kellest 3 loobusid katses osalemisest omal soovil enne selle täispikkuses sooritamist.

Lõpliku valimi moodustasid 4 katseisikut (2 meest, 2 naist) vanuses 20 - 28 (keskmine vanus 22,5).

Mõõtevahend



Joonis 1. Ekraanitõmmis katseprogrammist perifeersesse nägemisvälja ($rad=200$) esitatava stiimulpaari kohta tingimusel $n=4$, kui stiimulite vahel puudus erinevus ($\mu=0$). Illustreerimise eesmärgil on stiimulpaari mõlemad stiimulid esitatud korruga, erinevalt katsetingimustest. Keskul fikatsioonipunkti rist.

Katse läbiviimiseks kasutatav arvutitarkvara (Joonis 1) esitab hiire klahvivajutusel hallile taustale valgetest ja mustadest ringidest koosnevaid stiimuleid erinevalt seadistatava oote- ja esitusajaga. Ringide hulk maatriksikujulistes graafilistes elementides vastab arvuliselt väärtusele n^2 , kus n on vabalt valitud positiivne täisarv. Esitatavate stiimulite kaugus keskpunktis asuvast ristist on muudetav. Poolte esitavate stiimulpaaride puhul ei erine esitatavad graafilised elemendid teineteisest ja poolte puhul erinevad esimene ja teine stiimul

kas 1 (üks ring vastandvärvi) või 2 (kahe ringi värvused omavahel vahetatud) ringi poolest. Nii erinevuse esinemine kui ka erinevuse tüüp on juhuslikult valitud. Peale stiimulpaari esitamist sisestab katseisik klaviatuuri klahvivajutusega oma hinnangu esitatud stiimulite sarnasusele (1 – stiimulid olid ühesugused; 2 – stiimulid erinesid teineteisest). Protsess jätkub tsükliks kuni kindel arv stiimuleid on esitatud ja neile hinnangud antud.

Tulemused salvestatakse jooksvalt kodeeritud andmefaili, jäädvustades muutujad n (maatriksi külgede pikkus), rad (stiimulite kaugus keskpunktist), mu (muutus esimese ja teise stiimuli vahel) ning oi (stiimulpaarile antud hinnangu õigsus).

Katse

Käesoleva uurimistöö raames loodi katseprogrammis 8 erinevat katseplokki, rad väärtustega 20 ja 200 ning n väärtustega 2, 3, 4 ja 5. Mõlema stiimuli esitamist täpselt ühes kohas ($rad=0$) välditi, et järelpilt ehk stiimuli kadumisel nägemisväljas säiliv kujutis ei mõjutaks järgneva stiimuli tajumist ja seega nende sarnasusele või erinevusele antavat hinnangut. Erinevad kaugused olid valitud, et võrrelda taju erinevusi fikatsioonipunkti lähedal ($rad=20$) ja nägemismeele perifeerias ($rad=200$). Fiksatsioonipunkti lähedal esitatud stiimulite keskpunktid asusid 60 cm kauguselt vaatleva katseisiku jaoks umbes $0,5^\circ$ fikatsioonipunkti, nägemismeele perifeeriasse esitatud stiimulid umbes 5° . Stiimuli esitamisele eelnev ooteaeg (peale hiire klahvi vajutamist ja kahe stiimuli esitamise vahel) oli 1s, stiimulite esitusaeg oli 0,1s.

Igas plokis oli 100 stiimulpaari. Iga katseisik läbis kõik plokid 2 korda, alguses lihtsamatest raskemateni ja pärast raskematest lihtsamateni, ehk iga katseisik andis kokku hinnangu 1600 stiimulpaarile.

Iga katseisik osales katses individuaalselt, tehes seda laboritingimustes tehnilikult valgustatud ruumis. Eelnevalt veenduti, et arvutiekraanil puudusid valgusallikate peegeldused. Katseisiku silmade kaugus ekraanist oli 60 cm, ekraani keskpunkt oli seatud silmade kõrgusele ja ekraan suunatud otse katseisiku poole.

Katseisikule seletati katse ülesehitust ja protsessi. Juhendiks oli enne iga hiireklahvi vajutust keskenduda fikatsioonipunktile ehk ekraani keskel asuvale ristile, proovida tähendada esitatavate stiimulite omavahelisi erinevusi ning seejärel anda klaviatuuri abil hinnang nende sarnasusele (1 – sarnased, 2 – erinevad). Katseisikut teavitati ajalimiidi puudumisest ning soovitati läbida terve 1600 stiimulpaariga katse endale sobivas tempos.

Enne katse alustamist pidi katseisik kinnitama ülesande mõistmist ja nägemisanomaaliate puudumist proovikatse käigus - kõige lihtsamate tingimustega (rad = 20, n = 2) pidi katseisik jõudma vähemalt 95% õigete hinnanguteni. Peale kõige lihtsamate tingimuste edukat läbimist oli katseisikul aega umbes 20 keerukama (rad=200, n=4) stiimulpaariga tutvumiseks. Proovikatse jooksul andis arvutitarkvara kohest tagasisidet hinnangu õigsuse kohta (õige / vale), erinevalt päris katsetingimustest.

Peale proovikatse abil katsega tutvumist anti katseisikule võimalus küsida täpsustavaid küsimusi. Samuti korraldati üle soovitus nii plokkide käigus kui ka nende vahel silmi pilgutada ja puhata, et liigne heledale ekraanile keskendumine ei mõjuks nägemismeelele kahjulikult. Seejärel aktiveeriti päris katse ja lasti katseisikul rahulikult ülesandele keskenduda.

Katse edukal läbimisel anti katseisikule võimalus jätta kommentaare oma kogemuse kohta ning soovi korral oma e-maili aadress, et uuringu lõppedes saada üldist informatsiooni uurimistöö tulemuste ja järelduste kohta.

Tulemused

Uurimistöö raames kasutati andmeanalüüsiks statistikatarkvara JASP (versioon 0.14.1).

6408st stiimulpaarist anti õige hinnang nende erinevustele 5024 korda ehk 78,4% juhtudest.

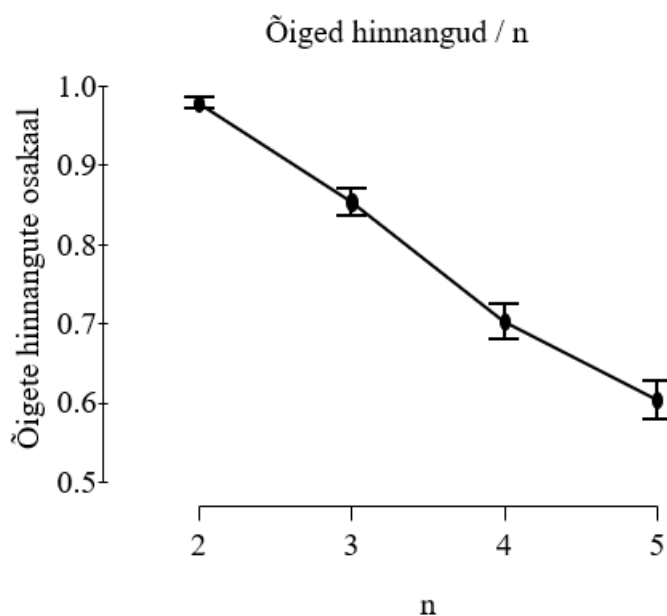
Põhilised tulemused leiti kasutades kordumvõtmiste ANOVA-t (Tabel 1), et hinnata uuringu käigus manipuleeritavate muutujate (n, rad, mu) mõju stiimulpaaride erinevusele antud hinnangute õigsusele (oi). Lisatulemused saadi muutujate kirjeldava statistika kaudu.

Tabel 1. ANOVA tulemused hinnangu õigsuse suhtes

ANOVA - oi							
Muutujad	Ruutude summa	df	Keskmise ruut	F	p	η^2	
n	146.500	3	48.833	355.964	< .001	0.133	
rad	16.324	1	16.324	118.993	< .001	0.015	
mu	28.423	2	14.212	103.593	< .001	0.026	
n * rad	8.970	3	2.990	21.795	< .001	0.008	
n * mu	21.989	6	3.665	26.714	< .001	0.020	
rad * mu	0.505	2	0.253	1.841	0.159	4.581e -4	
n * rad * mu	4.096	6	0.683	4.977	< .001	0.004	
Residuals	875.798	6384	0.137				

Leiti, et perifeersesse nägemisvälja (rad=200) esitatud stiimulpaaride korral anti stiimulite vahelistele erinevustele (või nende puudumisele) õige hinnang harvemini, kui tsentraalsesse nägemisvälja (rad=20) esitatud stiimulite korral - vastavalt 73,4% ja 83,4%. Stiimulite asukoht tsentraalse või perifeerse nägemisvälja suhtes omas väikest ($\eta^2=0.015$) statistiliselt olulist ($p<0.001$) mõju stiimulpaaride erinevustele antavate hinnangute õigsusele.

Esitatavate stiimulite elementide hulgal (n^2) oli suur ($\eta^2=0.133$) statistiliselt oluline ($p<0.001$) mõju stiimulpaaride erinevustele antavate hinnangute õigsusele (Joonis 2). Kõige lihtsama ülesande ja elementide hulga poolest kõige väiksema stiimuli puhul anti õige hinnang 97,8% juhtudest, samas kui kõige raskema ja elementide hulga poolest suurima stiimuli korral tehti seda 60,3% juhtudest.

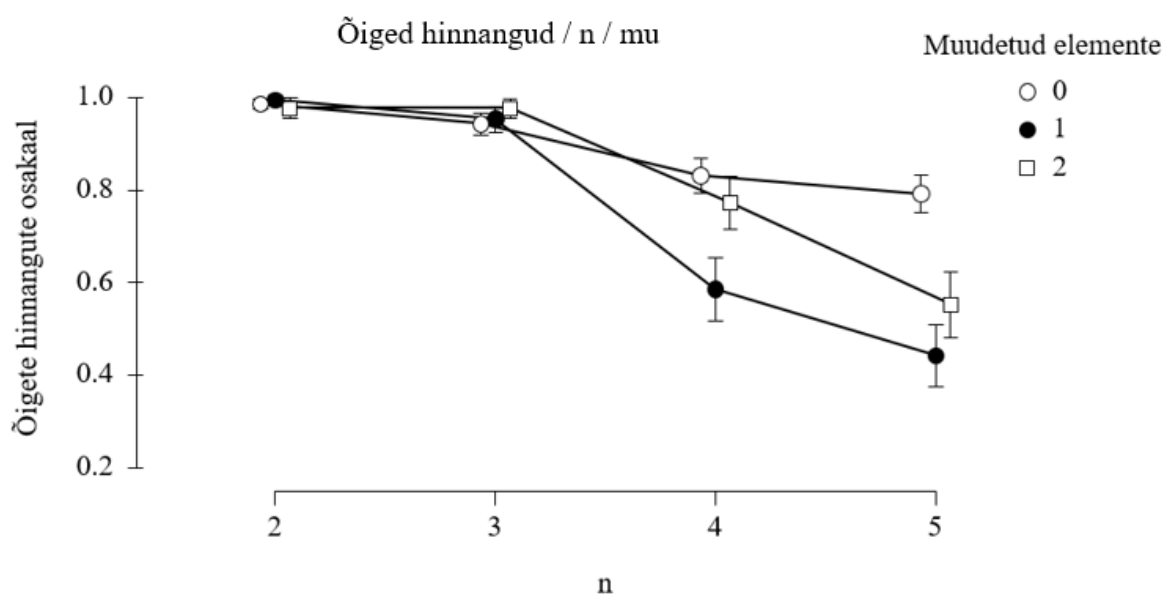


Joonis 2. Õigete hinnangute osakaal stiimulite elementide hulkade lõikes, kus maatriksi kujulise graafilise stiimuli elementide arv on n^2 .

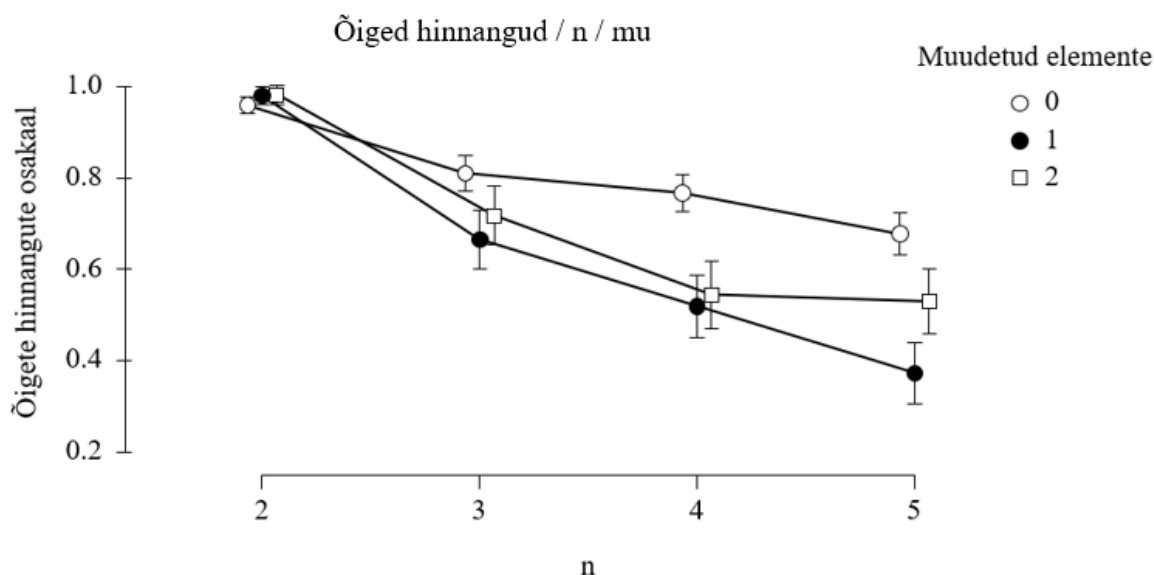
Stiimulpaaride muutuste määral (muutus puudus / muutus 1 element / 2 elementi vahetasid omadused) ehk muudetavate elementide arvul esines väike ($\eta^2=0.026$) statistiliselt oluline ($p<0.001$) mõju stiimulpaaride erinevustele antavate hinnangute õigsusele. Stiimulpaaride puhul, kus muutust ei esinenud, anti õige hinnang 84,6% juhtudest, stiimulpaaride puhul, kus üks element vahetas värvi, anti õige hinnang 69% juhtudest ning stiimulpaaride puhul, kus kaks elementi vahetasid värvi (kuid eri värvi elementide suhe jäi stiimulisiseselt samaks), anti õige hinnang 75,6% juhtudest.

Järgnevatel joonistel (Joonis 3, Joonis 4) on välja toodud vastavalt tsentraalsesse nägemisvälja (rad=20) ja perifeersesse nägemisvälja (rad=200) kujutatud stiimulpaaride erinevustele antud hinnangud nii stiimulite elementide hulga kui ka stiimulites muudetud elementide löikes.

Kõikidel muutujatel (n, rad, mu) oli küll statistiliselt oluline ($p < 0.001$) kuid peaaegu olematu ($\eta^2 = 0.004$) koosmõju.



Joonis 3. Hinnangute õigsus tsentraalsesse nägemisvälja esitatud stiimulpaaridele stiimulite elementide hulga (n^2) ja muudetud elementide löikes.



Joonis 4. Hinnangute õigsus perifeersesse nägemisvälja esitatud stiimulpaaridele stiimulite elementide hulga (n^2) ja muudetud elementide löikes.

Arutelu ja järeldused

Kõik uurimistöös püstitatud hüpoteesid said tehtud katsete ja nende tulemuste analüüsi käigus kinnitust, tõendades seejuures kasutatud meetodi vastavust eelnevale kirjandusele, vaatamata uurimisobjekti (crowdingu) suhtes ebatavalisele stiimulivalikule. Kuigi tavaliselt kasutatakse crowdingu uurimiseks stiimulitena tähemärke (Strasburger et al., 2011) andis ka ringide kasutamine tulemusi, millest saab juba eksisteeriva kirjanduse põhjal järeldada crowdingu mõju olemasolu lisaks üldisele nägemismeele teravuse vähenemisele perifeerses nägemisväljas.

Lähtudes teooriast, et stiimulile elementide lisamisega kasvab crowdingu mõju ainult kindla piirini (Herzog & Manassi, 2015) võib pidada käesoleva uurimistöo tingimustes selleks kõrgeima crowdingu tingimuseks $n=3$ või $n=4$ olukorda (vastavalt 9 või 16 elementi igas stiimulis). Võrreldes tsentraalsesse nägemisvälja (Joonis 3) ja perifeersesse nägemisvälja (Joonis 4) esitatud stiimulpaaridele antud hinnanguid esineb märkimisväärne erinevus just nende elementide arvu korral. Kõige märgatavamad erinevused nägemisväljade vahel on tingimustel $n=3$, $\mu=1$ ning $n=4$, $\mu=2$. Sellest võib järeldada, et crowdingu mõju kasvades halveneb esimesena individuaalsete elementide märkamise võimekus ning elementide arvu kasvuga (ja seega crowdingu mõju suurenemisega) laieneb märkamise võimekuse vähenemine ka mitmele muutunud elemendile. Sellise optimaalse crowdingu tingimuse teoreetiline leidmine ei oma küll käesoleva uurimistöo probleemide raames olulist väärtust peale crowdingu efekti eristamise üldisest perifeerse nägemisvälja vähenenud teravusest, aga võimaldab soovi korral järgnevate katsetega kasutada juba eelnevalt tõendatud raamistikku, muutujaid ja tingimusi.

On oluline täheldada, et uurimistöös kasutatud tingimustel anti ühesuguste stiimulite korral stiimulpaaridele rohkem õigeid hinnanguid kui erinevate stiimulite puhul. Kui seda seletada stiimuli elementide visuaalse sulandumisega üheks ebaselgeks tervikuks, kus üldine värvitoon on tajutav kuid individuaalsete osade omad mitte, kattub see täpselt eelnevates uuringutes pakutud kirjeldusega (Cavanagh, 2001; Pelli et al., 2004).

Samas ei seleta stiimulite elementide visuaalne sulandumine saadud tulemust, et üksiku elemendi muutus on raskemini märgatav kui kahe elemendi muutus. Kuna kahe elemendi värvide vahetumisel jääb terve stiimuli keskmine värv samaks, erinevalt ühe elemendi värvi muutumisel, kui terve stiimuli keskmine värv muutub seetõttu kas heledamaks või tumedamaks, peaks sellise sulandumise tõttu kahe elemendi värvuse vahetumine olema raskem

ja andma kehvemaid tulemusi kui antud uurimistöö käigus. Üheks võimalikuks seletuseks on varasemalt uuritud crowdingu omadus, et crowdingu efekt on kõige suurem, kui segatav objekt (antud uurimistöö mõistes visuaalse stiimuli muudetav element) asub segavate objektide vahel ja kõige väiksem, kui see asub segavate objektide ääres (Felisberti et al., 2005). Sellest lähtuvalt võis mitme muutuse märkamise suurem edukus olla tingitud statistiliselt suuremast tõenäosusest, et vähemalt üks muudetavatest elementidest asub graafilise maatriksi kujulise stiimuli ääres. Teine ja kolmas võimalik seletus ei põhine eelneval kirjandusel, vaid uurimistöö raames katses osalenud isikute kommentaaridel. Mitu katseisikut kommenteerisid peale katse läbimist võimetust märgata tervet stiimulit, kui tegemist oli suurema elementide hulgaga stiimulitega. Sellistel juhtudel tajusid nad selgemalt osastiimulit, mis asus fiksatsioonipunktile lähemal. Üks katseisik kommenteeris oma strateegiat keerukamate stiimulite hindamiseks, kui elementidest tekkivate kujundite meelde jätmist, mida elementide värvide vahetumine siis mingil määral häiris. Mõlemad katseisikute poolt kirjeldatud strateegiad sõltuvad muudetavate elementide arvust – rohkemate muutuste korral on suurem tõenäosus, et vähemalt üks muutus toimub kas selgemalt tajutavas stiimuli osas või sellises punktis, kus see rikub ära tajutud kujundi kujutise. Kuna varem on leitud, et crowdingu efekt vähendab vaatleja poolt märgatavate crowditud objekti omaduste (ääred, servad, värv) hulka (Nandy & Tjan, 2007) ja sellele osaliselt vastanduvalt, et võimalus segavaid objekte või elemente omavahel grupeerida vähendab crowdingu mõju (Livne & Sagi, 2007, 2010), ei ole käesoleva töö raames kummagi strateegia mõju adekvaatselt hinnatav.

Võimalikele järeldustele vaatamata on mõistlik antud uurimistöö käigus saadud andmetesse suhtuda kriitiliselt, võttes arvesse kindlaid puudujääke nii valimi kui meetodika osas. Kuna esialgselt seitsmest katseisikust kolm lõpetasid katse enne selle täielikku sooritamist ja nendest kaks tõid vabatahtlikult põhjusena välja iiveldustunde tekkimise ja silmade väsimise, ei ole välistatud, et kasutatud väike valim koosnes arvutiekraaniga rohkem harjunud inimestest, kellel võib olla ka suurem kogemus kuvatavate objektide jälgimise või ära tundmisega. Suurem ja seega ka mitmekesisem valim oleks võimaldanud sellist teoreetilist mõju tulemustele vähendada. Igal juhul peab arvestama sarnaste katsete tegemisel võimalike negatiivsete mõjudega katseisikutele ja proovima leida lahendusi nende vältimiseks või vähendamiseks. Antud uurimistöö puhul olid katse katkestanud isikud osalemisjärjekorras viimased ja seega puudus nii võimalus kui ka vajadus uut süsteemi või ettevaatusabinõusid otsida.

Metoodika osas mõjub tehtud töö valiidsusele kõige küsitavamalt kasutatud mõõtevahend ja selle mõned märgatud anomaaliad, mis olid tõenäoliselt tingitud aegunud katseprogrammi

ümber töötamisest kasutamiseks kaasaegsemal riistvaral, katsete sooritamise automatiseerimisest ja üldise võimekuse parandamisest. Kuigi kõikide arvutuste kohaselt oleks pidanud nelja katseisiku peale, kes kõik hindavad 1600 stiimulpaari, kogunema 6400 andmerida, oli neid katsete lõpuks 6408. Üleliigsed andmed ei kogunenud ei ühelt katseisikult ega ühelt muutuja tingimusest, vaid olid esialgsel hinnangul jaotunud suvaliselt nende vahel. Enne uuendatud tarkvara kasutamist võimalikel järgnevatel katsetel on kasulik leida lahendus ka ajalistele ebatäpsustele – katse ooteaeg (1s) ja esitusaeg (0,1s) võisid katseprogrammi ja kasutatava riistvara interaktsiooni tagajärjel erineda mõnel määral valitud väärtustest, kuigi ükski katseisik selle märkamist ei tähendanud. Samuti võis esineda ebatäpsusi värvi kuvamisel, kuna katsetes kasutati kalibreerimata ekraani. See tähendab, et kuvatud must ja valge värv võisid mitte vastata reaalsele mustale ja valgele värvile. Seega ei olnud võimalik ilma täiendavate tehniliste vahenditeta (värvi mõõtjata) veenduda, et katse käigus kuvati täpselt neid värve mida sooviti. Kõigele sellele vaatamata ei ole põhjust arvata, et uurimistöö käigus uuendatud katseprogrammi eripärad oleks liigselt saadud tulemusi mõjutanud. Pigem on tegemist soovitusliku tähelepanekuga võimalikele järgnevatele katsetele.

Võimalikes järgnevates uuringutes seisneb ka tehtud uurimistöö suurim väärtus. Kuna saadud tulemuste abil leiti tõenäoliselt kasutatud stiimulite (kindlate elementide kujuga, värvidega ja vahekaugustega) optimaalseid crowdingu tingimusi põhjustav elementide hulk (n^2 , kui $n=3$; $n=4$), on võimalik järgnevate uuringute korral keskenduda juba spetsiifilisemalt antud tingimustele ja nende korral esinevatele nähtustele või eripäradele ilma vajaduseta valdkonda laiemalt ja seega rohkema tööga uuesti läbi töötada. Uute katsete tegemist soosib ka väljatöötatud katseprogramm, mille mõningate probleemide ja eripärade lahendamisel ning sobivale laiemalt kasutatavale riistvarale optimeerimisel on võimalik sooritada sarnaseid katseid märkimisväärse kiirusega (antud uurimistöö puhul kulus katseisikutel 1600 stiimulpaari hindamiseks keskmiselt 3 tundi, arvestades ka vabalt valitud puhkepause) ning katse läbiviija suhtes mugavalt – automatiseeritud katseprogramm tegi ise vajalikud tingimuste muudatused kas juhuslikult valitud ajal või ettekirjutatud arvu stiimulpaaride esitamise järel. Võimalus kasutada uuendatud katseprogrammi kaasaegsemal ja võimekaval riistvaral annab ka potentsiaalse tulevikusuuna nii loogiliselt kui ka mehaaniliselt keerukamate katseteni.

Esmane suund käesolevast tööst edasi liikumiseks seisneb eelpool mainitud võimalikes seletustes, miks 2 elemendi värvide vahetust oli lihtsam märgata, kui 1 elemendi muutuse puhul. Arvestades juba kasutusel olnud katseprogrammi võimalust jäädvustada iga stiimulina esitatava graafilise maatriksi elemendi värvuse, mida antud uurimistöö puhul ei kasutatud,

saaks kindlaks teha, kas muutuse toimumine stiimuli ääres või mõne maatriksis tekkinud tuttava kujutise osas suurendab crowdingu tingimustes muutuse märkamise edukust. Stiimulisestest kujutistest hindamine eeldaks aga suuremat tööd küsimusega, mis loeb tuttava kujutisena ja mis mitte, arvestades analoogse katse puhul eksisteerivat elementide piirarvu 25, mille värvide varieerumisel peaksid ära tuntavad kujundid tekkima.

Kirjanduse loetelu

- Andriessen, J. J., & Bouma, H. (1976). Eccentric vision: Adverse interactions between line segments. *Vision Research*, *16*(1), 71–78. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(76\)90078-X](https://doi.org/10.1016/0042-6989(76)90078-X)
- Bernard, J.-B., & Chung, S. T. L. (2011). The dependence of crowding on flanker complexity and target–flanker similarity. *Journal of Vision*, *11*(8), 1–1. <https://doi.org/10.1167/11.8.1>
- Bex, P. J., & Dakin, S. C. (2005). Spatial interference among moving targets. *Vision Research*, *45*(11), 1385–1398. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2004.12.001>
- Bex, P. J., Dakin, S. C., & Simmers, A. J. (2003). The shape and size of crowding for moving targets. *Vision Research*, *43*(27), 2895–2904. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(03\)00460-7](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(03)00460-7)
- Cavanagh, P. (2001). Seeing the forest but not the trees. *Nature Neuroscience*, *4*(7), 673–674. <https://doi.org/10.1038/89436>
- Chung, S. T. L. (2002). The Effect of Letter Spacing on Reading Speed in Central and Peripheral Vision. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, *43*(4), 1270–1276.
- Chung, S. T., Levi, D. M., & Legge, G. E. (2001). Spatial-frequency and contrast properties of crowding. *Vision Research*, *41*(14), 1833–1850. [https://doi.org/10.1016/s0042-6989\(01\)00071-2](https://doi.org/10.1016/s0042-6989(01)00071-2)
- Felisberti, F. M., Solomon, J. A., & Morgan, M. J. (2005). The Role of Target Saliency in Crowding. *Perception*, *34*(7), 823–833. <https://doi.org/10.1068/p5206>
- Herzog, M. H., & Manassi, M. (2015). Uncorking the bottleneck of crowding: A fresh look at object recognition. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, *1*, 86–93. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2014.10.006>
- Huckauf, A., & Nazir, T. A. (2007). How odgcrnwi becomes crowding: Stimulus-specific learning reduces crowding. *Journal of Vision*, *7*(2), 18–18. <https://doi.org/10.1167/7.2.18>
- Levi, D. M., & Carney, T. (2009). Crowding in Peripheral Vision: Why Bigger Is Better. *Current Biology*, *19*(23), 1988–1993. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.09.056>
- Levi, D. M., Hariharan, S., & Klein, S. A. (2002). Suppressive and facilitatory spatial interactions in peripheral vision: Peripheral crowding is neither size invariant nor simple contrast masking. *Journal of Vision*, *2*(2), 3–3. <https://doi.org/10.1167/2.2.3>
- Levi, D. M., Klein, S. A., & Hariharan, S. (2002). Suppressive and facilitatory spatial interactions in foveal vision: Foveal crowding is simple contrast masking. *Journal of Vision*, *2*(2), 2–2. <https://doi.org/10.1167/2.2.2>

- Levi, D. M., Klein, S. A., & Aitsebaomo, A. P. (1985). Vernier acuity, crowding and cortical magnification. *Vision Research*, 25(7), 963–977. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(85\)90207-X](https://doi.org/10.1016/0042-6989(85)90207-X)
- Levi, D. M. (2008). Crowding—An essential bottleneck for object recognition: A mini-review. *Vision Research*, 48(5), 635–654. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2007.12.009>
- Liu, L., & Arditi, A. (2000). Apparent string shortening concomitant with letter crowding. *Vision Research*, 40(9), 1059–1067. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(99\)00247-3](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(99)00247-3)
- Livne, T., & Sagi, D. (2007). Configuration influence on crowding. *Journal of Vision*, 7(2), 4–4. <https://doi.org/10.1167/7.2.4>
- Livne, T., & Sagi, D. (2010). How do flankers' relations affect crowding? *Journal of Vision*, 10(3), 1–1. <https://doi.org/10.1167/10.3.1>
- Louie, E. G., Bressler, D. W., & Whitney, D. (2007). Holistic crowding: Selective interference between configural representations of faces in crowded scenes. *Journal of Vision*, 7(2), 24–24. <https://doi.org/10.1167/7.2.24>
- Nandy, A. S., & Tjan, B. S. (2007). The nature of letter crowding as revealed by first- and second-order classification images. *Journal of Vision*, 7(2), 5–5. <https://doi.org/10.1167/7.2.5>
- Nazir, T. A. (1992). Effects of lateral masking and spatial precueing on gap-resolution in central and peripheral vision. *Vision Research*, 32(4), 771–777. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(92\)90192-L](https://doi.org/10.1016/0042-6989(92)90192-L)
- Pelli, D. G., Palomares, M., & Majaj, N. J. (2004). Crowding is unlike ordinary masking: Distinguishing feature integration from detection. *Journal of Vision*, 4(12), 12–12. <https://doi.org/10.1167/4.12.12>
- Pelli, D. G., & Tillman, K. A. (2008). The uncrowded window of object recognition. *Nature Neuroscience*, 11(10), 1129–1135. <https://doi.org/10.1038/nn.2187>
- Pöder, E. (2007). Effect of colour pop-out on the recognition of letters in crowding conditions. *Psychological Research*, 71(6), 641–645. <https://doi.org/10.1007/s00426-006-0053-7>
- Pöder, E., & Wagemans, J. (2007). Crowding with conjunctions of simple features. *Journal of Vision*, 7(2), 23–23. <https://doi.org/10.1167/7.2.23>
- Strasburger, H., Harvey, L. O., & Rentschler, I. (1991). Contrast thresholds for identification of numeric characters in direct and eccentric view. *Perception & Psychophysics*, 49(6), 495–508. <https://doi.org/10.3758/BF03212183>
- Strasburger, H., Rentschler, I., & Jüttner, M. (2011). Peripheral vision and pattern recognition: A review. *Journal of Vision*, 11(5), 13–13. <https://doi.org/10.1167/11.5.13>

- Toet, A., & Levi, D. M. (1992). The two-dimensional shape of spatial interaction zones in the parafovea. *Vision Research*, 32(7), 1349–1357. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(92\)90227-A](https://doi.org/10.1016/0042-6989(92)90227-A)
- Whitney, D., & Levi, D. M. (2011). Visual crowding: A fundamental limit on conscious perception and object recognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 15(4), 160–168. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2011.02.005>

Käesolevaga kinnitan, et olen korrektselt viidanud kõigile oma töös kasutatud teiste autorite poolt loodud kirjalikele töödele, lausetele, mõtetele, ideedele või andmetele.

Olen nõus oma töö avaldamisega Tartu Ülikooli digitaalarhiivis DSpace.

Jaan Meos