

Tero Wiik

Näkökentän tietokoneavusteinen kuntouttaminen

Tietotekniikan
pro gradu -tutkielma
10. kesäkuuta 2008

Jyväskylän yliopisto

Tietotekniikan laitos

Jyväskylä

Tekijä: Tero Wiik

Yhteystiedot: tero.wiik@iki.fi

Työn nimi: Näkökentän tietokoneavusteinen kuntouttaminen

Title in English: Computer-aided rehabilitation of visual field

Työ: Tietotekniikan pro gradu -tutkielma

Sivumäärä: 42

Tiivistelmä: Tässä tutkielmassa tarkastellaan näkökenttäpuutosten kuntouttamiseen tarkoitettuja tietokoneohjelmia. Kirjallisuuskatsauksen avulla käyn läpi muutamia ohjelmia ja arvioin niiden vahvuuksia ja heikkouksia. Aiempien ohjelmien kuntoutustulokset osoittautuivat usein varsin heikoiksi ja kiistanalaisiksi. Tekemiäni havaintojen pohjalta suunnittelin uutta kuntoutusohjelmaa, jonka olisi tarkoitus korjata aiempien puutteita ja hyödyntää paremmin tuoreempia tutkimustuloksia sekä uudempaa tekniikkaa.

English abstract: In this thesis one looks at the software aimed at rehabilitating visual field deficits. First I will review a few articles that introduce rehabilitation programs and then assess the strengths and weaknesses of those programs. Very often the results gained by using the software turned out to be rather poor and disputable. On the basis of my observations I made plans for a new program which is supposed to fix the problems of the previous programs. It also utilizes more recent research results and newer technology.

Avainsanat: näkökenttä, kuntouttaminen, moniaistisuus, tietokoneohjelma

Keywords: visual field, rehabilitation, multisensory, computer program

Copyright © 2008 Tero Wiik

All rights reserved.

Esipuhe

Sairastin keväällä 2007 aivoverenkiertohäiriön ja aivohalvauksen seurauksena minulta hävisi osa näöstä näkökenttäni vasemmasta yläneljänneksestä. Yritin ennen sairaalasta kotiutumistani tiedustella neurologiltani, voisiko havaittua näkökenttäpuutosta yrittää harjoittaa jollain tapaa. Olin varsin tyrmistynyt saamastani vastauksesta, joka oli melko selkeä ei. Lääkäri tuli kuitenkin samaisessa yhteydessä puolivahingossa paljastaneeksi, että Yhdysvalloissa on jonkinlainen tietokoneohjelma, jolla näköhäiriötä voidaan kuntouttaa, mutta se ei kuitenkaan ole täällä saatavilla. Hän yritti kuitenkin pitää vielä jonkinlaista toivoa yllä mainitsemalla, että vastaavat häiriöt voivat parantua vielä spontaanistikin kolmen kuukauden sisällä. Äänensävyistä oli kuitenkin tulkittavissa, että moinen on varmasti melko harvinaista.

Olin yrittänyt aloittaa pro gradu -työni kirjoittamisen jo useita vuosia aiemmin. Erinäisistä aiheista huolimatta valmistelu jäi aina jossain vaiheessa kesken. Olisiko ollut niin, että aiheet eivät sittenkään olleet tarpeeksi mielenkiintoisia. Itseä koskettanut aihe eli näkökenttäpuutosten kuntouttaminen kuitenkin herätti N:nen vuoden tietotekniikan opiskelijan mielenkiinnon niin voimakkaasti, että sairausloman ja sen aikana tehdyn nettisurffailun jälkeen pro gradu -tutkielman kolmas ja viimeinen aihe oli selvä. Onnekseni aihealue tuntui sopivan sen lääketieteellisyydestä huolimatta professori Pekka Neittaanmäellekin, joka lupautui ohjaajakseni. Kaikki lähti etenemään todella nopeasti, kun toisella ohjaajallani, professori Heikki Lyytisellä, oli kontakteja näköhäiriötutkimusten erikoisosajiin. Pian olinkin jo Lea Hyvärisen ja hänen kauttaan edelleen Antti Ranisen testattavana Agora Centerin avustamalla matkalla Helsingissä.

Haluan kiittää molempia ohjaajiani heidän antamistaan ohjeista ja tuesta. Pro gradu -tutkielmani ja sitä kautta myös yliopistotutkinnon saavuttaminen olisi varmasti jäänyt jälleen puolitiehen myös ilman avopuolisoni lempeää painostusta. Lisäksi hänen mukanaan tuoma kielentuntemus oli myös suurena apuna. Toivottavasti äitinikään ei tarvitse enää menettää yöuniaan tutkielmani takia. Kiitos myös muille sukulaisille ja kavereille, jotka vielä muutamia vuosia sitten jaksoivat aina silloin tällöin tiedustella, joko olin jo valmistunut.

Sisältö

Esipuhe	i
1 Johdanto	1
2 Näköjärjestelmä	2
2.1 Silmät	2
2.2 Näköradat	4
2.3 Näköaivokuori	5
2.4 Näköhavainnot ja huomio	6
3 Näkökenttäpuutokset	7
3.1 Aivohalvaus	7
3.2 Näkökenttäpuutosten havaitseminen	8
3.3 Näkökenttäpuutosten kuntouttaminen	9
4 Tietokonepohjaiset kuntoutusohjelmat	11
4.1 Erich Kasten et al.	11
4.2 Laura Julkunen et al.	12
4.3 Lea Hyvärinen et al.	13
4.4 Alidz Pambakian et al.	14
4.5 Omakohtaiset kokemukset	15
4.6 Ohjelmien yhteenveto	16
5 Oma konsepti	19
5.1 Taustaidea	20
5.2 Katseen fiksaatio	23
5.3 Moniaistisuus	24
5.4 Esitysgrafikka	25
5.5 Verkkosovellus ja verkkopalvelu	26
6 Yhteenveto	28
7 Lähteet	31

1 Johdanto

Tässä tutkielmassa tarkastellaan näkökenttäpuutosten kuntouttamiseen tarkoitettuja tietokoneohjelmia sekä esitellään niiden pohjalta kehitetty uusi kuntoutusohjelmakonsepti. Kiinnostus aiheeseen syntyi omakohtaisten kokemusten kautta. Minulle selvisi, ettei kunnallisella terveydenhuollolla ollut tarjota minkäänlaista kuntoutusta aivohalvauksen aiheuttaman näköhäiriön korjaamiseksi [1]. Liikuntaa tai puhekykyä rajoittaviin vikoihin ja henkisen hyvinvoinnin ylläpitämiseen on tarjolla erilaisia terapioita, mikä on luonnollisestikin hyvä asia, mutta myös näköhäiriöistä kärsivillä olisi selvä tarve vastaavalle kuntoutukselle [30].

Tutkimusta näköhäiriöiden kuntouttamisesta on tehty jo lähes kolmenkymmenen vuoden ajan ihmisilläkin [75], mutta sitä ovat huomattavasti jarruttaneet vanhakan-
taiset käsitykset aivojen olemattomasta uusiutumiskyvystä [30]. Nykyisten tutkimus-
tulosten [12, 35] valossa uusia aivosoluja syntyy aikuistenkin ihmisten aivoissa, ja ai-
vokuoren tarkasti rajattuna pidetyt alueet voivat jossain määrin reagoida muutoksiin
neuronien uudelleenorganisoinnin kautta lapsuusaajan kehityksen jälkeenkin [6].

Vanhentuneista käsityksistä huolimatta näköhäiriöiden kuntouttamista varten on
kuitenkin kehitetty muutamia tietokonepohjaisia kuntoutusohjelmia, joita tarkaste-
len niistä laadittujen artikkelien avulla (ks. [21, 25, 26, 28, 43, 47]). Arvioin Ranisen
et al. [47] kuntoutusohjelmaa myös omien kokemusteni perusteella. Varsinkin Kaste-
nin et al. [26, 28] ohjelman toimintaperiaatetta ja tuloksia on kritisoitu laajasti, ks.
esim. [18, 46]. Käyn tutkielmassa läpi tähän liittyvää problematiikkaa ja esitän myös
muuta parannusehdotuksia, joilla kuntoutustuloksia voitaisiin mahdollisesti parantaa.

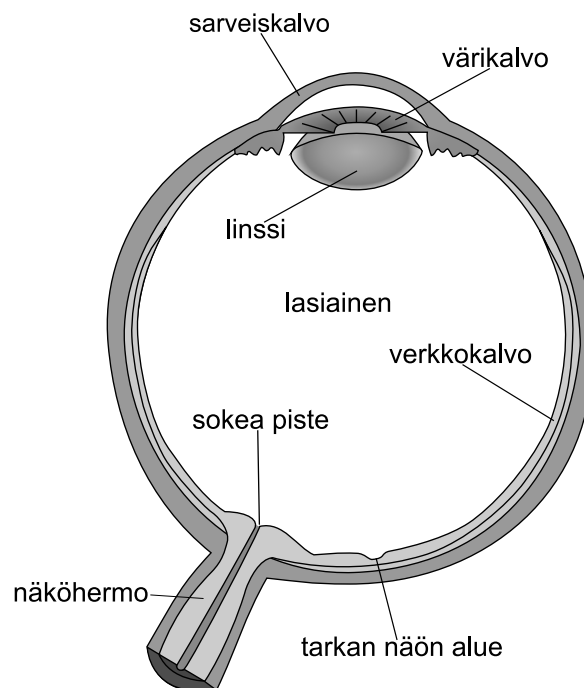
Tutkielmassa käydään aluksi läpi yleisellä tasolla näköjärjestelmän anatomiaa ja
toimintaa (luku 2). Luvussa 3 selvitetään, mitä näkökenttäpuutokset ovat, mistä ne
johtuvat ja minkälaisia kuntoutusmuotoja näkökenttäpuutoksesta kertovan diagnoo-
sin jälkeen on tarjolla. Näkökenttäpuutosten kuntouttamiseen suunniteltujen tietoko-
neohjelmien katsauksen (luku 4) perään esittelen oman konseptin muodossa luvussa 5
näkemystä siitä, miten kyseisiä ohjelmia voisi parantaa entisestään. Yhteenvedossa
käydään läpi saavutetut tulokset ja esille nousseet jatkokehitysideat.

2 Näköjärjestelmä

Useita vuosikymmeniä vallalla olleen käsityksen mukaan näköjärjestelmä analysoi silmän verkkokalvoille heijastuvan näkymän hajottamalla sen perusominaisuuksiin kuten väriin, muotoon, liikkeeseen, syvyyteen ja tekstuuriin. Kunkin yksittäisen ominaisuuden käsittelyyn uskotaan olevan omat, kullekin ominaisuudelle rajatut neuronit ja aivoalueet [30, 51]. Seuraavaksi esittelen näköjärjestelmän osat, jotka vaikuttavat näköaistimuksen muodostumiseen.

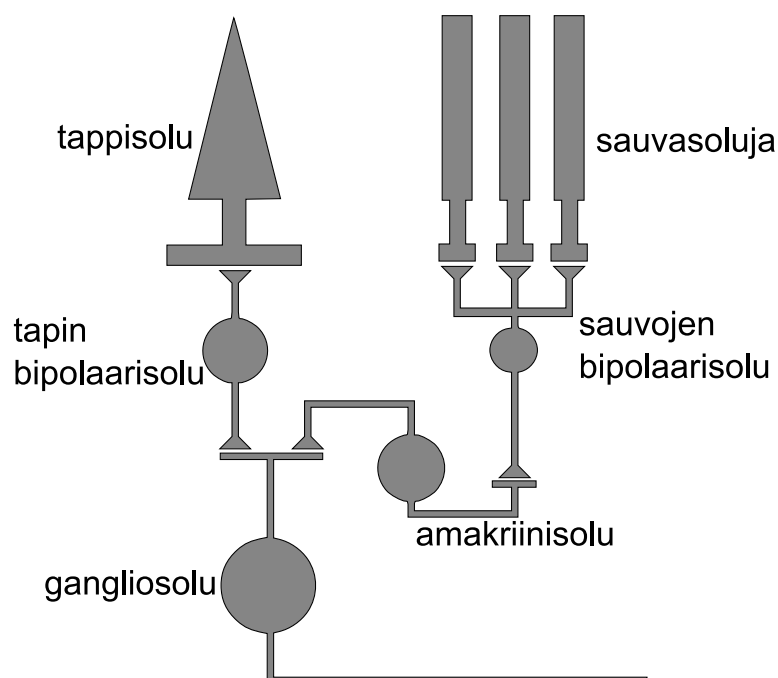
2.1 Silmät

Valo kulkeutuu silmien verkkokalvoille sarveiskalvon, linssin ja lasiaineen läpi. Myös verkkokalvon sisempi hermosoluista koostuva kerros on edellisten tapaan läpinäkyvä. Verkkokalvon uloimmassa kerroksessa sijaitsevat reseptorisolut: sauvat ja tapit [19, 24].



Kuva 2.1: Silmän poikkileikkaus (kuva on koostettu kahdesta eri lähteestä) [58, 60].

Ihmisen silmän verkkokalvo sisältää noin 120 miljoonaa sauvaa ja 7 miljoonaa tappia. Tarkan näön alue, joka käsittää noin asteen verran näkökentästä, koostuu pelkästään tappisoluista. Tappeja on kolmenlaisia, ja ne reagoivat valon eri aallonpituuksiin erotellen näin väri-informaation. Sauvasolut eivät erottele värejä, mutta toimivat heikossakin valossa tuottaen niin sanotun hämäränäön. Reseptorisolujen toiminta perustuu valokvanttien aiheuttamiin muutoksiin näköpigmenttien kolmiulotteisissa rakenteissa. Reseptorien kalvoissa tapahtuvien muutosten laukaisemat ärsykkeet välittyvät edelleen horisontaali-, bipolaari-, amakriini- ja gangliosoluille. Gangliosolujen hermo-tyyt eli aksonit muodostavat näköhermon, joka kulkee silmän takaseinäman läpi edelleen aivoihin [24]. Kohdassa, jossa näköhermo kulkee silmän ulkopinnan läpi, ei ole reseptorisoluja ja siitä käytetäänkin nimeä sokea piste [62].

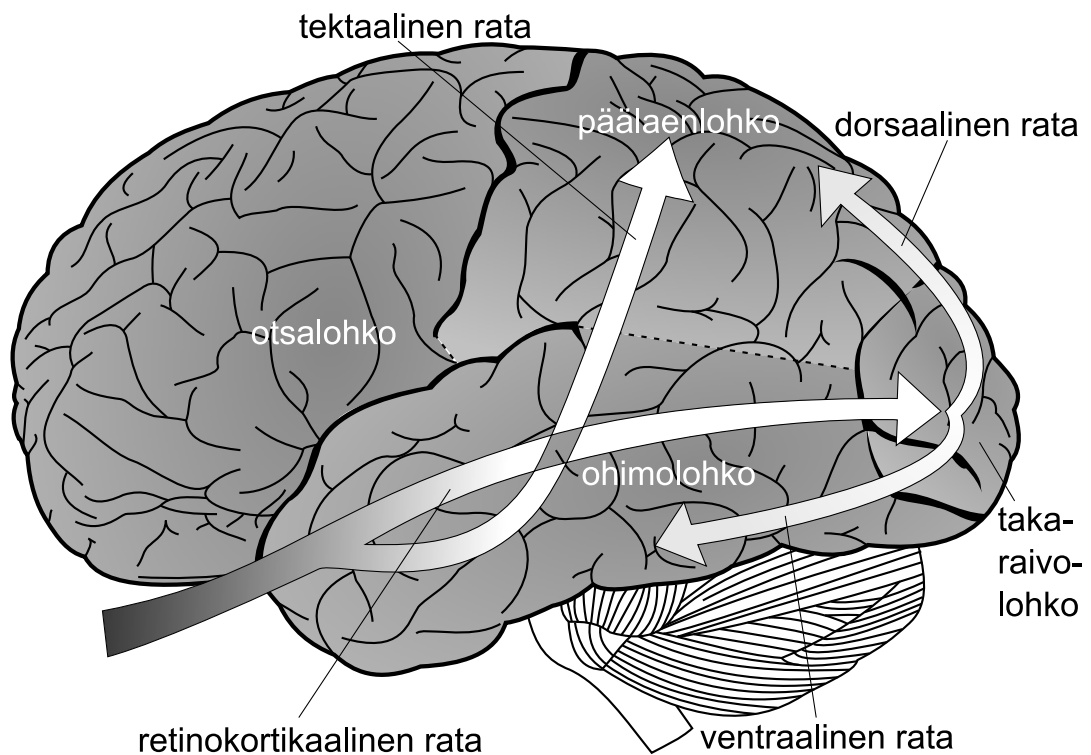


Kuva 2.2: Verkkokalvon hermosolujen kytkennät [51, s. 22, kuva 1B.].

Lisäksi on hyvä pitää mielessä, että silmien nenänpuoleiset hermo-tyyt risteävät optisessa kiasmassa jatkaen aivojen vastakkaisien puoliskoiden ulompiin polvitumakkeisiin. Silmän ohimonpuoleiset aksonit jatkuvat puolestaan samalle aivopuoliskolle. Näin näkökentän vasemmalta puolelta tuleva informaatio päättyy käsiteltäväksi aivojen oikeaan puoliskoon ja oikealta tuleva vasempaan puoliskoon [24].

2.2 Näköradat

Verkkokalvolta tieto kulkeutuu aivojen eri osiin kahta pääreittiä, retinokortikaalista ja tektaalista, pitkin. Retinokortikaalinen rata, joka välittää suuremman osan verkkokalvon signaaleista, kulkee ulomman polvitumakkeen (LGN) kautta primääriselle näköaivokuorelle (V1). Sieltä viestit jakautuvat edelleen selänpuoleista (dorsaalista) rataa pitkin päälaen aivokuorelle ja vatsanpuoleista (ventraalista) rataa pitkin ohimolohkolle. Tektaalinen rata kulkee nelikukkulan kautta päälaen lohkolle ja silmien liikkeitä säättäviin keskuksiin [20, 24].



Kuva 2.3: Aivolohkot ja näköradat (kuva on koostettu useasta eri lähteestä) [20, 23, 59, 63].

Sekä retinokortikaalinen että tektaalinen rata koostuu useammasta kerroksesta. Kerrokset ovat muodostuneet magnosellulaarisista (M) ja parvosellulaarisista (P) soluista. Paksut M-solut välittävät viestiä nopeammin ja vastaavat liikehavainnoista sekä matalista musta-valkokontrasteista. Väreihin ja korkeisiin musta-valkokontrasteihin liittyvä tieto välittyy hitaampia P-soluja pitkin. 80% verkkokalvon hermosäikeistä yhdistyy parvosellulaariseen rataan ja 10% magnosellulaariseen [20, 36]. Viimeisen vuosikymmenen aikana M- ja P-solujen rinnalle on vähitellen hyväksytty myös koniosellulaariset (K) solut, mutta tietämys näistä on vielä varsin vähäistä [16, 55].

2.3 Näköaivokuori

Silmien välittämän kuvan käsittely tapahtuu näköaivokuorella, joka on yksi aivojen massiivisimmista järjestelmistä ja joka sijaitsee pääosin aivojen takaraivolohkossa [69]. Näköaivokuorta on pyritty jaottelemaan aikojen saatossa erilaisiin alueisiin niin biologisten kuin toiminnallistenkin ominaisuuksien perusteella. Schiller [51] mainitsee artikkelissaan Brodmannin 1900-luvun alussa tekemät histologiset tutkimukset, joista periytyvät samaa nimeä kantavat alueet. Brodmann esitti, että alueilla 17, 18 ja 19 on kullakin omat visuaaliset toimintonsa.

Nykyisin vallalla olevan neuronien erikoistumiseen pohjaavan jaottelun mukaisesti näköaivokuori sisältää ainakin seuraavat alueet: V1, V2, V3, V4 ja V5/MT. Monista edellä mainituista alueista löytyy vielä erilaisia erikseen nimettyjä kerroksia. [51, 68]. Primäärinen näköaivokuori V1, joka vastaa Brodmannin aluetta 17, suorittaa näköaistimuksen matalimman tason käsittelyä, joka yleisen konsensuksen mukaan koostuu erilaisista aikaan ja paikkaan liittyvää informaatiota suodattavista toiminnoista [68].

Kuten jo edellisessä luvussa todettiin, signaalit jakautuvat primääriseltä aivokuorelta kahteen eri suuntaan dorsaalisenä ja ventraalisena ratana. Dorsaalisen radan ärsykkeet kulkevat alueiden V2, V3 ja V5 läpi päälaenlohkolle [65], joka on erikoistunut liikkeen sekä itsekeskeisen (egosentrisen) ja ympäröivän (allosentrisen) tilan hahmottamiseen [20]. Ventraalisella radalla informaatio kulkeutuu puolestaan alueiden V2 ja V4 läpi ohimolohkolle [65], jonka korkeammat toiminnot ovat yleensä muistia vaativaa tunnistamista [20]. Esimerkkejä näistä ovat kasvojen ja ilmeiden tunnistaminen, muotojen ja symbolien hahmottaminen, mittasuhteiden arvioiminen sekä värien ja yksityiskohtien tunnistaminen [20] (ks. tarkemmin näköaivokuoren toiminnasta esim. Vanni [55]).

Kannattaa tässä yhteydessä tiedostaa, että monet aivojen alueista ovat retinotopisia eli näkökentän eri osat ovat melko tarkasti kartoitettavissa tiettyihin neuronialueisiin aivoissa [24, 66]. Näkökentän tarkan näön alueen tuottaman informaation käsittelyyn on kuitenkin varattu suhteellisesti enemmän näköaivokuoren hermosoluja kuin esimerkiksi vastaavankokoisen ääreisnäön alueen käsittelylle [24, 64].

2.4 Näköhavainnot ja huomio

Näköjärjestelmän perusanatomian lisäksi lopulliseen näköaistimukseen vaikuttavat myös näköärsykkeiden voimakkuus sekä katsojan tietoiset valinnat. Emme kykene mitenkään käsittelemään kaikkea sitä informaatiota, minkä silmien kautta pystymme havainnoimaan. Niinpä pyrimme keskittymään olennaisimpaan osaan tästä tietotulvas- ta [53].

Edellä mainittu saavutetaan huomion (*attention*) avulla. Lamme [31] määrittelee Egethiä et al. [11], Desimonea et al. [9] ja Driveria et al. [10] lainaten huomion seuraavasti: ”Huomio on valintaprosessi, jossa osa ärsykkeistä käsitellään toisia nopeammin, paremmin tai syvällisemmin niin, että ne omaavat paremmat mahdollisuudet tuottaa käytöksellisiä vastineita, vaikuttaa niihin tai tulla tallennetuksi muistiin”.

Huomion kiinnittyminen voi tapahtua kahdella tapaa. Jotkin visuaaliset ärsykkeet ovat aikaisempien näkökokemusten ja geneettisen perimän muokkaamina helpommin käsiteltävissä kuin toiset (*saliency*) ja voivat herättää huomion (*bottom-up process*) [31, 53]. Luonnollisesti voimme valita huomion kohteen myös tietoisesti (*top-down process*). Treue [53] viittaa artikkelissaan useampiin tutkimuksiin, joiden mukaan huomion on havaittu vaikuttavan näköinformaation käsittelyyn jo uloimmasta polvitumakkeesta lähtien. Huomion vaikutus kuitenkin lisääntyy koko ajan aivojen korkeampaa käsittelyä suorittavia alueita lähestyttäessä [53].

3 Näkökenttäpuutokset

Näköaisti ei kuitenkaan aina toimi moitteettomasti. Tähän voivat olla syynä erilaiset sairaudet, jotka vaikuttavat joko silmien tai aivojen toimintaan. Esimerkiksi näkökenttäpuutokset voivat johtua aivovaurion lisäksi myös silmän tai näköhermon sairauksista [19], mutta kuten jo johdannossa (luku 1) kerroin, omakohtaiset kokemukseni liittyvät aivohalvauksesta johtuvaan näkökenttäpuutokseen. Keskitynkin sen vuoksi tässä ja tulevaisuudessa pääasiassa kyseistä aihepiiriä läheisesti sivuvaaviin asiakokonaisuuksiin.

3.1 Aivohalvaus

Aivohalvaus on aivoissa tapahtuva toimintahäiriö. Se johtuu aivokudoksen vaurioitumisesta, johon on syynä aivoverenkiertohäiriö (AVH). AVH:n voi puolestaan aiheuttaa aivoverisuonitukos tai aivoverenvuoto. Muita mahdollisia toimintahäiriön lähteitä ovat aivovammat, -kasvaimet tai tulehdukset [1].

Pahimmassa tapauksessa aivoinfarktiin johtavat aivoverisuonitukokset syntyvät verisuonten kovettumisen ja ahtautumisen seurauksena. Tukos estää verenkierron, jolloin aivojen hermosolukolle elintärkeä hapensaanti estyy. Tällöin pysyviä vaurioita voi aiheutua hyvinkin lyhyessä ajassa. Aivoverenvuodossa puolestaan veri pääsee vuotamaan verisuonen repeämästä aivoaineen sisään tai lukinkalvon alaiseen tilaan. Jälkimmäisen syynä on usein aivoaltimon pullistuman (aneurysman) repeäminen. Vaikka hyytynyt veri imeytyy vähitellen pois, siitä aiheutuu pysyvä kudosaivovaurio [1].

Maailman terveysjärjestön (WHO) vuonna 2004 julkaiseman katsauksen [70] mukaan 15 miljoonaa ihmistä saa aivohalvauksen vuosittain. Viisi miljoonaa heistä kuolee ja toiselle viidelle miljoonalle jää pysyviä vaurioita. Suomessa aivohalvauksen saa 14 000 henkilöä vuodessa, joista kolmannes on työikäistä väestöä [2, 3].

Pääriskitekijät AVH:lle ovat korkea verenpaine ja tupakointi. Sydänperäiset viat kuten eteisvärinä ja sydäninfarkti kasvattavat myös riskiä huomattavasti [70]. Aivohalvaus- ja dysfasialiiton verkkosivuilla [1] riskitekijöiksi on lisätty vielä suomalaisten kansalliset vaivat eli ylipaino, liiallinen alkoholinkäyttö, diabetes ja korkea kolesteroli.

3.2 Näkökenttäpuutosten havaitseminen

Aivohalvauksen seurauksena saattaa kehittyä monenlaisia neurologisia häiriöitä, joiden vakavuusaste riippuu aivojen kudosaaurion koosta ja sijainnista. Vauriot voivat liittyä esimerkiksi liiketoimintoihin, tuntoon ja korkeampiin henkisiin toimintoihin [3]. Myös näköhäiriöt ovat varsin yleisiä. Esimerkiksi Kerkhoff et al. [29] viittaavat artikkelisaan Zihliin [77] ja toteavat, että molemmissa silmissä havaittavat näkökenttäpuutokset ovat kaikkein yleisin häiriö aivovaurion saaneilla. Yleensä potilas, näköaistin tärkeyden huomioiden, havaitsee kyseisen puutoksen itsekin. Virallisen diagnoosin tekee kuitenkin silmälääkäri ja tutkimuksiin käytetään tätä varten suunniteltuja menetelmiä ja laitteita eli perimetriaa [56].

Nykyisin yleisimmin käytössä olevat perimetriat perustuvat kahteen eri periaatteeseen, kineettiseen ja staattiseen perimetriaan, joita voidaan käyttää myös rinnakkain [45]. Molemmissa tutkimuksissa potilas kiinnittää katseensa tutkimuslaitteen fiksaatiopisteeseen, ja laite tuottaa valopisteitä, joita tutkittavan on tarkoitus havainnoida. Kineettisessä periaatteessa (tunnetaan myös nimellä Goldmanin perimetria) valopistettä liikutellaan eri strategioita käyttäen (esim. näkökentän äärialueilta kohti sen keskustaa). Potilas ilmaisee havaitsemansa ärsykkeet joko testiä valvovalle henkilölle tai suoraan automaattiselle testiohjelmalle. Havaittujen valopisteiden avulla voidaan selvittää näkökentän rajat [56].

Staattinen perimetria (esim. Humphreyn perimetria) sen sijaan perustuu näkökenttään sijoitettujen pisteiden matriisiin, jonka jokaisessa yksittäisessä pisteessä määritellään se valon voimakkuuden taso, jolla potilas havaitsee pisteen. Nimensä mukaisesti tässä tutkimusmenetelmässä valopisteet eivät liiku, vaan testiohjelma rekisteröi kynnyksarvot, joilla tutkittava reagoi kulloiseenkin pisteeseen [56]. Staattista perimetriaa pidetään tarkempana [56], ja sitä käytetäänkin yleensä keskeisen näön (säde 30°) tutkimuksissa [45]. Ääreisnäköä tutkittaessa turvaudutaan yleensä edelleen tehokkaampana pidettyyn Goldman-perimetriaan [45, 72].

Wong et al. [72] muistuttavat omassa artikkelissaan, että perinteiset perimetriamenetelmät eivät välttämättä paljasta näköoireiden koko kirjoa, sillä potilaalla voi olla muita näköhäiriöitä vaikka näkökenttätutkimus ei paljastaisi mitään normaalista poikkeavaa. Mahdollisena parempana tutkimusvälineenä esitellään lyhytaaltainen automatisoitu perimetria (*short wavelength automated perimetry*, SWAP).

3.3 Näkökenttäpuutosten kuntouttaminen

Kerkhoff [30] toteaa vuonna 2000 julkaistussa artikkelissa, että kielen, puheen ja motoristen häiriöiden kuntoutusta on pidetty perinteisesti erittäin tärkeänä. Näköaistin ja silmänliikkeiden häiriöiden mahdollinen vaikutus potilaan kuntoutuksen lopputulokseen on kuitenkin jätetty kokonaan huomiotta, vaikka yleisesti tiedetään, että puutteellinen näkö vaikeuttaa arkielämää huomattavasti. Näköä tarvitaan lukemiseen, liikkumiseen ja etenkin näkömuistin merkitys nykyisessä tietoyhteiskunnassamme on keskeinen. Kerkhoff arvioi pääsyyntä olevan vanhoissa käsityksissä siitä, että hermosolut eivät uusiudu ja että eri toimintoja varten varatut aivoalueet ovat tarkkaan rajatut. Käsittelen näitä kumoavia tutkimustuloksia myöhemmin tässä tutkielmassa.

Samaisessa katsauksessaan Kerkhoff [30] jaottelee kyselyn avulla kokoamansa näönkuntoutusmenetelmien listan kolmeen kategoriaan (ks. taulukko 3.1). Palauttavissa menetelmissä harjoitetaan suoraan vioittunutta toimintoa. Toisessa lähestymistavassa häiriötä pyritään kompensoimaan erinäisillä silmien liikkeisiin liittyvillä menetelmillä ja häiriön tiedostamisella. Kun mukaan otetaan prosteettiset laitteet tai pyritään muokkaamaan ympäristöä potilaalle sopivammaksi, puhutaan korvaavista menetelmistä.

Taulukko 3.1: Kuntoutuskategoriat [30, s. 697, kuva 3.].

Kategoria	Selitys	Esimerkkejä
Palauttaminen (<i>restitution</i>)	Vioittuneen toiminnon suora harjoittaminen	<ul style="list-style-type: none"> • Näkökentän harjoittaminen • Kontrastiherkkyyden harjoittaminen
Kompensointi (<i>compensation</i>)	Häiriön kompensointi säästyneellä toiminnolla	<ul style="list-style-type: none"> • Sakkadien harjoittaminen • Visuaalisten hakustrategioiden harjoittaminen • Silmien liikkeiden harjoittaminen lukemisen yhteydessä • Metanäön kehittäminen
Korvaaminen (<i>substitution</i>)	Optiset tai prosteettiset laitteet sekä ympäristön muokkaaminen	<ul style="list-style-type: none"> • Prismat • Säädetty valoistus • Suurentavat ohjelmat

4 Tietokonepohjaiset kuntoutusohjelmat

Vastoin vallalla olleita käsityksiä aivovaurioiden peruuttamattomuudesta muutamat tutkijaryhmät ovat rohkeasti ryhtyneet tutkimaan mahdollisuutta näkökenttäpuutosten korjaamiseksi. Kuntoutuksen yhteydessä tapahtuva näkökentän harjoittaminen vaatii valtavasti toistoja, ja tässä tietotekniikka on väsymättömänä apuna. Tähän tarkoitukseen kehitettyjä lähestymistapoja ja tietokoneohjelmia on erilaisia, ja näitä käydään läpi seuraavaksi. Tutkimuksen kantaisiä on Josef Zihl, joka yhteistyökumppaneidensa kanssa aloitti työn näköhäiriöiden ja niiden kuntouttamisen parissa jo 1970- ja 1980-lukujen vaihteessa [75]. Tietokonepohjaisten kuntoutusohjelmien lähempi tarkastelu aloitetaan kuitenkin Kastenin et al. artikkelissaan kuvaamasta ohjelmasta [26].

4.1 Erich Kasten et al.

Kastenin et al. [27] lähtökohtana ovat vaurioituneen ja terveen näkökentän välissä olevat nk. siirtymäalueet (*transition zones*). Tällä jäännösalueella (*residual vision*) näkö ei toimi täydellisesti, mutta potilas pystyy silti havaitsemaan heikentyneesti kyseiselle alueelle kohdistettuja ärsykyksiä. Myös sokeutuneen näköalueen sisällä voi olla pieniä saarekkeita, joissa näköhavainnot onnistuvat vielä jossain määrin. Tutkijoiden teorian mukaan tämä johtuu siitä, että osa siirtymäaluetta vastaavasta aivokudoksesta ei olekaan tuhoutunut kokonaan. Kastenin et al. kuntoutusohjelmassa ärsykkeet suunnataan juuri tälle näkökentän raja-alueelle, sillä osittain vauriolta säästyneiden neuronien uskotaan eläinkokeiden perusteella pystyvän toistuvan harjoittelun aktiivisena palauttamaan näkökyvyn kyseessä olevalle alueelle. Annettavia ärsykyksiä siirretään sitä mukaa yhä pidemmälle vaurioituneelle alueelle, kun näkökentän raja-alue kuntoutuu. Harjoitusmenetelmä voidaan siis tulkita palauttavaksi Kerkhoffin [30] kategorioinnissa (ks. taulukko 3.1).

Kastenin et al. [26] tutkimuslaitteisto koostuu tietokoneesta, monitorista, leukatuesta ja näppäimistöstä. Katseluetäisyys on 30cm, jolla saavutetaan näkökentästä 40° vaakatasossa ja 25° pystytasossa. Lisäksi harjoittelussa käytetty tila on pimennetty.

Kuntoutuksen yhteydessä käytettäviä eri ohjelmia on yhteensä kahdeksan. Kolmella niistä diagnosoidaan koehenkilön näkökentän puutoksia sekä muotojen ja värien havaitsemista. Näissä erilaiset näköärsykkeet esitetään satunnaisissa pisteissä sekä normaalille että puutteelliselle alueelle. Potilas ilmaisee havaitsemansa ärsykyksen painamalla

näppäimistöstä välilyöntipainiketta. Harjoitteluun on viisi ohjelmaa, joista neljä keskittyy erityisesti normaalin ja puutteellisen näköalueen rajojen harjoittamiseen. *Visurenimisessä* ohjelmassa ärsykkeet liikkuvat normaalin näön alueelta kohti puutteellisen näön aluetta. *SeeTrain* koostuu kahdesta osasta, joista ensimmäisessä kuntoutettavan on tarkoitus havaita mustalla taustalla harmaasta valkoiseksi vaihtuva staattinen ärsyke. Toisessa vaiheessa tehtävänä on havaita harmaalla taustalla kasvava musta viiva. Kaksi muuta harjoitusohjelmaa vastaa pitkälti värien ja muotojen havainnoinnin diagnosoinnissa käytettyjä ja viimeinen on tarkoitettu pelkkään fiksaation harjoittamiseen. Fiksaatio eli katseen kiinnittyminen yritetään varmistaa $0,5^\circ$ kokoisen kohdepisteen värien muutoksilla, joihin käyttäjän on reagoitava ja joita ei pitäisi pystyä huomaamaan ilman fiksaatiota. Fiksaatiopiste voi myös olla kuvaruudun keskustan ohella lähellä jotain ruudun nurkkaa eli näkökenttää voidaan harjoittaa neljännes kerrallaan tarkemmalla resoluutiolla. Jokaisen harjoitussession tulokset tallennetaan mahdollista myöhempää analyysiä varten. Tehtäviä voidaan myös vaikeuttaa koehenkilön saavutettua tietyn ennalta asetetun rajapyykin (90% vastauksista oikein) [26].

Potilaat harjoittelivat kotonaan tunnin päivässä kuuden kuukauden ajan (yhteensä n. 150 tuntia). 19 potilaan koeryhmän keskimääräinen parannus oli 7,8% perinteisellä perimetrialla mitattuna, mutta vain ryhmän 10 potilaalla oli aivohalvauksesta johtuvia näkökenttäpuutoksia ja heidän tuloksensa olivat näkökentän osalta vain noin kolmanneksen siitä mitä muilla. Kannattaa kuitenkin mainita, että näkökenttää kohentaneilla potilailla parantui samalla värien ja muotojen hahmottaminen [28].

4.2 Laura Julkunen et al.

Julkunen et al. [25] käyttivät omassa tutkimuksessaan *Silmäpeli*-nimistä ohjelmaa, joka hyödyntää myös Kastenin et al. [27] esittämää teoriaa normaalin ja puutteellisen näön välisistä siirtymäalueista. Tämän myös palauttavan (ks. taulukko 3.1) ohjelman ovat suunnitelleet yhteistyössä Turun yliopiston psykologian laitos ja Turun yliopistollisen keskussairaalan neurologian osasto [25].

Julkunen et al. [25] eivät anna kovin tarkkaa kuvausta ohjelmasta, mutta kuntoutustilanteen kuvauksen perusteella on syytä olettaa, että ohjelma ja laitteisto vastaa pitkälti Kastenin et al. [26] vastaavia sillä erotuksella, että käytössä on 17 tuuman monitori ja katseluetaisyys on 50cm. Ärsykeinä ovat vaaleat satunnaisesti valitulle alueelle esitetyt vilkkuvat pisteet mustalla taustalla. Ne saattavat esiintyä harjoituksen aikana 3–5 kertaa, mutta niiden koko pienenee alun 2 asteesta aina $0,5$ asteeseen oikeiden havaintojen myötä. Harjoitusärsykkeet esitetään 200 millisekuntia sen jälkeen, kun kuntoutettava on reagoinut fiksaatiopisteen muutokseen valkoisesta vilkkuvaksi

punaiseksi. Tällä pyritään estämään täydet sakkadit eli nopeat silmien liikkeet. Fiksaatiopisteen muutokseen on reagoitava 400–1200 millisekunnin aikana [25].

Harjoittelu suoritettiin ohjatusti tunti kerrallaan, kolme kertaa viikossa ja kolmen kuukauden aikana. Harjoitteluun käytetty kokonaisaika oli keskimäärin 41,6 tuntia. Lievää kohennusta havaittiin kolmen potilaan (yhteensä viisi) osalta [25].

4.3 Lea Hyvärinen et al.

Tämän Helsingin yliopiston tutkijaryhmän perusolettamuksena on, että osa näköärsykkeistä, ja etenkin heidän harjoituksissaan hyödyntämänsä välke, päättyy ylemmän tason käsittelylle varatuille alueille myös aiemmin esitellyn tektaalisen eli päälaenlohkolle kulkevan radan kautta [22]. Teoriaan liittyy olennaisesti myös ilmiö, joka tunnetaan nimellä sokeanäkö (*blindsight*) [57, 61]. Sokeanäössä tutkittava ei välttämättä havaitse tietoisesti sokealle näkökentän alueelle esitettyjä ärsykejä (palauttava menetelmä, ks. taulukko 3.1), mutta arvaamaan rohkaistuna reagoi niihin oikein useammin kuin pelkän sattuman kautta.

Kuntoutukseen valjastettu tutkimuslaitteisto koostuu tietokoneesta, monitorista, leukatuesta, 115cm:n säteisestä kaaresta ja siihen kiinnitetystä led-valosta, joka toimii fiksaatiopisteenä. Lisäksi kokeen valvojalla on käytössä näppäimistö ja hiiri, joilla hän syöttää kunkin testierän aloitusparametrit ja tallentaa yksittäisten testisuoritusten oikeellisuuden tai virheellisyyden.

Yksittäinen testisuoritus voi koostua kahdesta kahden sekunnin mittaisesta ajanjaksoista, joista jommankumman aikana ruudun 10° kokoisessa näkyvillä olevassa aukossa välkkyvä pyöreä kiekko. Toisen harjoittelumuodon aikana ärsykkeet ovat yksittäisiä ruudulla kahden sekunnin ajan välkkyviä kirjaimia. Muita testierän alussa määriteltäviä parametreja ovat muun muassa välketaajuus ja alustava kontrastitaso. Ohjelma vaihtelee kontrastitasoa testien aikana riippuen peräkkäisten oikeiden ja virheellisten vastausten määrästä. Kulloisenkin testierän aikana selvitetään koehenkilön kontrastirajajarvo tietyllä taajuudella ja tietystä kulmasta. Kuntoutusohjelman tuottamat äänimerkit antavat viitteitä siitä, milloin testattavan huomion tulisi olla kiinnitettynä ruudun tapahtumiin ja milloin annettu vastaus on virheellinen [47].

Hyvärisen et al. [21] ja Ranisen et al. [47] artikkeleista ei saa tarkkaa kuvaa, montako tuntia harjoittelua kokonaisuudessaan kullekin potilaalle kertyi, mutta vuoden kestäneen 2 kertaa viikossa tapahtuneen harjoittelun tuloksena välkkeen havaitseminen parani kaikilla ja palasi normaalitasolle vioittuneella eli hemianopisella puolella neljällä seitsemästä (luvut sisältävät molempien tutkimusten tulokset). Goldman-perimetriassa ei tutkimusten aikana havaittu muutoksia. Välkeherkkyyden korjaantuminen tapahtui ilmeisesti 4–12 kuukauden aikana.

4.4 Alidz Pambakian et al.

Pambakianin et al. [43] tutkimus perustuu näköhavaintojen yhteydessä hyödynnettävien sakkadien ja näkökenttää haravoivien hakustrategioiden harjoittamiseen, joten kyseessä niin sanottu on kompensoiva menetelmä (ks. taulukko 3.1). Potilaiden oletetaan oppivan havainnoimaan tehokkaammin vaurioituneita näköalueita, mikä puolestaan auttaa heitä selviämään paremmin näköpuutostensa kanssa. Samaan aihepiiriin ovat perehtyneet aiemmin myös Zihl et al. [78], Kerkhoff et al. [29] ja Nelles et al [39].

Kuntoutus toteutettiin potilaiden kotona heidän käyttöönsä luovutettujen kannettavan tietokoneen ja siihen yhdistetyn 21-tuumaisen television avulla. Heitä valvoneet tarkkailijat ohjeistivat kuntoutettavia pitämään harjoitteluolosuhteet häiriöttöminä pimeennetyin ja hiljaisiin ympäristöihin avulla. Tutkittavat tarkastelivat silmäntasolla olevaa näyttöruutua molemmin silmin päätä liikuttamatta. Puolentoista metrin etäisyydellä oleva televisioruutu käsitti näin näkökentästä 10° pysty- ja 25° vaakasuunnassa. Pambakianin et al. mukaan näin saatiin katettua keskeisen näön alue. Erilaiset näköön liittyvät hakutehtävät toteutettiin tätä varten suunnitellulla *isor2*-nimisellä ohjelmalla. Mustalle taustalle hakua vaikeuttavien valkoisten elementtien sekaan sijoitettu samanvärinen kohde vaihtoi satunnaisesti paikkaa. Kaikki näytöllä esitetyt kuvat kuuluivat yhteen kolmesta ryhmästä: viivoihin, neliöihin tai kolmioihin. Haettava kohde erosi muista elementeistä koon tai suunnan perusteella. Kuntoutettavien fiksaatio pyrittiin kiinnittämään jokaisen hakutehtävän alussa sekunnin ajan esillä olleeseen keskipisteeseen, jonka jälkeen potilaalla oli kolme sekuntia aikaa suorittaa haku ruudulle tuotetusta symbolien viidakosta. Haut suoritettiin 100 tehtävän ryppäissä, ja potilaille kerrottiin tätä ennen minkä tyyppisistä elementeistä tuleva tehtävien rypäs koostuu. Vastausten paikkansapitävyys pyrittiin varmistamaan viidenneksen kaikista tehtävistä käsittäneillä kohteettomilla hauilla (*non-target trials*). Potilaat ilmaisivat havaitsemansa kohteet toisella hiiren painikkeella ja toinen painike oli varattu tilanteisiin, joissa kohdetta ei heidän mielestään ollut [43].

Harjoittelu suoritettiin 20:ssä 40 minuutin jaksossa kuukauden aikana, jolloin harjoittelun kokonaisajaksi kertyi hieman reilut 13 tuntia. Kuntoutussessioiden suorituksia arvioitiin hakutehtävien läpäisemiseen kuluneiden aikojen perusteella, jotka tallennettiin myöhempää analyysiä varten. Potilaita ei opetettu käyttämään jotain ennalta määrättyä hakustrategiaa, vaan he saivat mahdollisuuden kehittää tätä tarkoitusta varten oman menetelmänsä. Kuntoutettavat vierailivat myös kolmen kuukauden aikana neljä kertaa tutkijoiden järjestämissä seurantatutkimuksissa. Näiden yhteydessä potilaille tehtiin perinteiset kineettiset ja staattiset näkökenttätutkimukset. Lisäksi näkökenttä tutkittiin perimetrisellä menetelmällä, jossa potilaalle sallittiin normaaleista näkökenttätutkimuksista poiketen myös silmien liikkeiden hyödyntäminen. Kuntoutuksen merkitystä arkipäiväiseen elämään arvioitiin henkilökohtaisten kyselylomakkeiden lisäksi vierailuilla toistetuilla arkipäivää simuloivilla pienillä tehtävillä, joiden mittarina toimi jälleen aika. Kokeiden perusteella kaikki potilaat hyötyivät kuntoutuksesta merkittävästi arkipäivän tehtävät silmällä pitäen, sillä niihin kuluneet ajat lyhenivät 25%. 29 potilaan keskimääräinen parannus aktiivisessa näkökentässä (*visual search field*, VSF) oli neljä astetta. Perinteiset näkökenttätutkimukset eivät kuitenkaan ilmaisseet minikäänlaista edistystä [43].

4.5 Omakohtaiset kokemukset

Valitettavasti en ole päässyt itse henkilökohtaisesti kokeilemaan kuin Hyvärisen et al. [21] ja Ranisen et al. [47] artikkeleissaan esittelemää kuntoutusohjelmaa. Viimeisteleminen kuvaisi tuota käyttäjäkokemusta varsin hyvin, mutta olisiko tuolta alun perin vain tutkimusta silmällä pitäen kehitetyltä kokonaisuudelta voinut odottaakaan sen enempää. Vahvimmin itselleni jäi mieleen se, että potilas antoi vastauksensa ohjelman esittämiin ärsykkeisiin suullisesti ja harjoittelua valvonut Raninen rekisteröi edelleen potilaan vastaukset ohjelmalle käyttämänsä hiiren avulla. Verenpaineeni nousi parikin kertaa harjoittelun aikana, kun tietokone vastasi oikein havaitsemaani ja kuuluvasti oikein antamaani vastaukseen virhettä merkitsevällä merkkiäänellä. Jäinkin pohtimaan, miksi potilas ei voisi itse painella hiiren nappuloita, jolloin virhepainalluksista voisi syyttää vain itseään. Kokeen valvoja käytti samaista hiirtä ohjelman asetusten säätämiseen ja vastausten satunnaisuuden tarkastamiseen. Mahdolliset ohjelman toimintaan vaikuttavat virheelliset komennot ovat varmasti syy, miksi hiirtä ei luovutettu potilaan käyttöön. Ei kuitenkaan olisi kovin vaikeata lisätä kokonaisuuteen laitetta, joka olisi vain potilaan käytössä ja jolla voisi antaa ainoastaan harjoitteluun tarvittavat vastaukset. Toinen vaihtoehto olisi rekisteröidä potilaan antamat vastaukset puheentunnistuksella, mutta tuon toteuttaminen olisi kenties hieman hiiren painalluksia moni-

mutkaisempaa ja virhemahdollisuus vastausten tulkitsemisessä kasvaisi merkittävästi. Toisaalta suullisten vastausten yhteydessä kyllä- ja ei-vastausten sekoittaminen olisi varmasti huomattavasti vaikeampaa kuin hiiren painikkeiden tarkoitusten ja sijaintien sekoittaminen.

Toinen mieleeni jäänyt seikka oli se, että harjoittelun kesto oli varsin pitkälti kiinni kuntoutettavan ja valvojan vireystilasta sekä valvojan kärsivällisyydestä. Harjoittelu vaatii potilaalta varsin paljon keskittymistä ja rasittaa näin ollen tätä henkisesti. Väsymyksen ja varmasti myös harjoitusten yksitoikkoisuuden myötä kuntoutettavan vireystila alkaa laskea melko pian. Eräällä kerralla suorittamamme puolentoista tunnin lähes yhtäjaksoinen harjoittelu oli mielestäni jo ehdottomasti liikaa. Vielä uuvuttavampaa tuon voisi kuvitella olevan kokeen valvojalle. Uupumuksen myötä ainakin oma nopeuteni vastausten antamisessa tuntui hidastuvan jonkin verran, ja kun valvoja odottaa vastausta kärsivällisesti, alkaa suoritusten kesto venyä harjoittelun loppua kohti. Tähänkin ongelmaan voisi tuoda ratkaisun se, että suoritusten tahditus siirrettäisiin kokeen valvojalta kuntoutusohjelmalle. Tälle voitaisiin määritellä, missä ajassa vastaus pitäisi antaa ja tämän kuluttua umpeen ohjelma voisi esimerkiksi siirtyä vain kylmästi seuraavaan suoritukseen. Potilaan luulisi yrittävän parantaa suoritustaan ainakin ensimmäisten liian pitkiksi venyneiden vastausten jälkeen, kun ohjelma vain jatkaa eteenpäin. Ohjelmahan voisi myös päättää harjoittelun ennaikaisesti, jos vastaukset jäävät uupumaan toistuvasti. Tuon voisi tulkita siis merkitsevän sitä, että kuntoutettavan mielenkiinto ei enää pysy harjoituksessa ja tällöin olisi varmasti hyvä pitää jonkinlainen tauko.

Ihmisen kanssa tapahtuvasta vuorovaikutuksesta oli huomattavissa tietenkin myös omat etunsa. Harjoittelun kulku ja potilaalta vaadittavat toiminnot tulivat sisäistetyksi varmasti helpommin ja lyhyemmässä ajassa kuin mitä niiden ymmärtämiseen olisi kulunut esimerkiksi tekstiin perustuvan käyttäjäoppaan kautta. Lisäksi harjoittelun aikana esille nousseisiin kysymyksiin sai vastauksen välittömästi ja vaikka harjoittelun jatkuessa. Edellä mainitut ominaisuudet ovat varsin vaikeita toteuttaa tietokonepohjaisesti.

4.6 Ohjelmien yhteenveto

Kastenin et al. ohjelma sisältää muutamia hyviä ominaisuuksia ja oivalluksia. Esimerkiksi siirtämällä fiksaatiopisteen sijaintia ruudun nurkkia kohti vapautuu suurempi alue viallisen alueen harjoittamiseen. Lisäksi harjoittelusta tallennettava loki on apuna monella tapaa. Oikein suunniteltuna sillä voidaan kerätä arvokasta tutkimusmateriaalia. Lisäksi harjoituksista levykkeille tallennettu loki mahdollisti etäharjoittelun jo 1990-

luvun puolivälissä. Potilaan yksin kotonaan suorittama etäharjoittelu helpottaa melkoisesti harjoitusten sovittamista arjen rutiinien sekaan. Loki auttaa myös potilaiden edistymisen ja harjoitteluahkeruuden tarkkailussa. Tämän informaation avulla voidaan esimerkiksi motivoida potilasta tarvittaessa.

Aina löytyy kuitenkin jotain parantamisen varaa. Muun muassa Kastenin et al. ohjelmaa ja tutkimuksia on kritisoitu kovasti siitä, että fiksaatiota ei varmisteta tarpeeksi hyvin harjoittelun ja erityisesti tulokset varmistavan perimetrian aikana [18, 46]. Tietokoneohjelmassa fiksaatio on pyritty varmistamaan siten, että fiksaatiopisteessä tapahtuu pieniä muutoksia, jotka Kastenin et al. mukaan eivät pitäisi olla havaittavissa ääreisnäöllä [26]. Plant [46] on asiasta eri mieltä ja Horton [18] olettaa, että potilaat ovat voineet oppia tekemään tulosten parantumisen havaitun astemäärän kokoisia sakkadeja harjoitettavan alueen suuntaan ilman, että näitä on kuitenkaan havaittu valvonnassa. Samaan katseen keskittämiseen liittyvään ongelmaan on törmätty jo aiemmin, sillä kantaisänä toiminutta Zihliä et al. kritisoitiin aikoinaan aivan samasta aiheesta [76]. Myöskään Julkusen et al. artikkeleista ei ilmene, että fiksaatiota olisi varmistettu sen paremmin harjoitusten kuin näkökenttätutkimusten aikana. Kasten et al. ilmeisesti suorittivat ensimmäisissä tutkimuksissaan perimetrian myös tuolla omalla ohjelmallaan ja heidän tuloksensa on kyseenalaistettu myös tuolta osalta [18].

Reinhard et al. [49] julkaisivat kuitenkin vuonna 2005 tutkimustulokset, joissa kuntoutusta edeltävät ja seuranneet näkökenttätutkimukset oli suoritettu SLO-mikroperimetrialla (*scanning laser ophthalmoscope*, SLO). Tuossa käytetty laite varmistaa fiksaation tutkimusten aikana tarkkailemalla laserin avulla tarkan näön aluetta silmän verkkokalvolla. Tulokset eivät kuitenkaan olleet kuntoutusohjelman suunnittelijoiden kannalta kovinkaan mairittelevat. Vain yhdellä potilaalla havaittiin pientä parannusta ja sekin vain toisen silmän osalta. Nyttemmin epäsuotuisien tulosten tahraamaa mainetta on yritetty paikata toiminnallisesta magneettipohjaisesta aivokuvantamisesta (*functional magnetic resonance imaging*, fMRI) saavutetuilla tutkimustuloksilla, joissa kuntoutuksella todettiin olevan vaikutusta aivojen toimintaan [34]. Edellä mainittujen seikkojen perusteella mahdollisissa tulevaisuuden kuntoutusohjelmissa soisi yhtenä ensimmäisistä vaatimuksista olevan sen, että fiksaatio varmistetaan kunnolla, eikä luoteta vain potilaiden rehellisyyteen ja näkökenttätutkimuksia suorittavien ammattilaisten erehtymättömyyteen fiksaation varmistamisessa.

En kuitenkaan pitäisi Kastenin et al. ja — toisaalta ohjelmiston samankaltaisuuden myötä myös — Julkusen et al. tuloksia aivan merkityksettöminä. Jonkinlaista kuntoutumista saatiin aikaiseksi, mutta edellä mainitun mikroperimetriatutkimuksen tulosten myötä kyseisten tutkijoiden kuntoutusmenetelmä voitaisiinkin luokitella enemmän kompensoivaksi kuin palauttavaksi (ks. taulukko 3.1). Toisaalta samaiseen kompensoi-

vaan kategoriaan laskettavan Pambakianin et al. [43] kuntoutusohjelma antoi vastaavaa luokkaa olevat tulokset lyhyemmässä ajassa. Heidän artikkelissaan mainitsevat Kerkhoffin et al. [29] tulokset olivat vielä huomattavasti paremmat aktiivisen näkökentän (VSF) suhteellista laajentumista tarkasteltaessa. Pambakian et al. [43] pitivät kuitenkin kyseisiä tuloksia epäilyttävän hyvinä.

Jos tyytyisimme pelkkään näköhäiriöiden kompensointiin, kannattaisi jatkokehitys varmasti suunnata enemmän silmän sakkadien ja hakustrategioiden kehittämiseen, kuten hollantilaisten tutkijoiden katsauksessakin todettiin [4]. Tässä lähestymistavassa on kuitenkin omat haasteensa. Voidaan olettaa, että useat potilaat olisivat mieluummin kiinnostuneita korjaamaan näköhäiriönsä, jos se vain olisi mahdollista. Vähemmän houkutteleva vaihtoehto sen sijaan olisi se, että he opettelisivat erikseen elämään sen kanssa.

Rohkaisevimmat tulokset saatiin Hyvärisen et al. ohjelmalla, joka voidaan myös määritellä palauttavaksi terapian muodoksi. Heidänkään ohjelmalla ei tosin ollut juuri vaikutusta näkökenttäpuutoksia tarkasteltaessa. Kuten aiemmin selvisi, perusideana oli, että näkösignaalit saavuttavatkin korkeammat aivoalueet pääläenlohkon kautta kulkevan tektaalisen radan kautta. Tämän kuntoutusmuodon mahdollisuuksia kannattaisi kenties selvittää lisää, että selviäisi, voiko siitä olla hyötyä näkökenttäpuutosten kuntouttamisessa laajemminkin.

Eräs huomio kaikkien edellä käsiteltyjen kuntoutusohjelmien yhteydessä oli niihin tarvittava aika. Taulukkoon 4.1 on koottu eri tutkijaryhmien kuntoutusten yhteydessä käytetyt pitkät harjoitusajat. Taulukon perusteella voidaan todeta, että harjoittelu vaatii potilailta melkoista sitoutumista. Kuntoutusohjelmaa saatetaan hyödyntää jopa päivittäin. Näin ollen olisi hyvä, jos harjoitusohjelma olisi mielekäs. Tällöin harjoituksia jaksaisi toistaa useammin ja pidempään.

Taulukko 4.1: Kuntouttamisessa käytetyt ajat [25, 28, 43, 47].

Tutkimusryhmä	Kuntoutuksen ohjelma	Keskimääräinen harjoittelu tunteina
Kasten et al.	1h päivässä, 6kk	150h
Julkunen et al.	1h, 3 kertaa viikossa, 3kk	41,6h
Hyvärinen et al.	1–2h päivässä, 2 kertaa viikossa, 1v	> 100h
Pambakian et al.	40min, 20 kertaa, 1kk	> 13h

5 Oma konsepti

Oma kuntoutusohjelmakonseptini yhdistäisi Hyvärisen et al. ja Kastenin et al. ohjelmien hyviä ominaisuuksia. Varteenotettava ajatus olisi myös yhdistää ohjelmaan elementtejä, jotka ottavat mukaan näön lisäksi muutkin aistit. Viimeaikaisten moniaistitutkimusten yhteydessä on saatu varsin rohkaisevia tuloksia, joita käsittelen hieman perusteellisemmin myöhemmin.

Oman suunnitteluni apuna toimii aiempien tutkimusten pohjalta laatimani lista vaatimuksista mahdolliselle tulevalle kuntoutusohjelmalle:

- harjoittelun pitää olla mielekästä ja/eli palkitsevaa
- fiksaatiota kontrolloidaan kunnolla
- harjoittelu pitää sisällään myös tunto- ja/tai kuuloaistin hyödyntämistä
- käyttöliittymän tulee olla helposti muokattavissa laitteistoon liittyvien rajoitusten perusteella
- toteutus saisi olla kohtuullisen ympäristöriippumaton
- kuntoutusohjelman tulisi olla ladattavissa verkon kautta
- mahdollisuus määritellä näköhäiriön sijainti itse tai suorittamalla ohjelmiston diagnosoiva osuus
- mahdollisuus määritellä ja käyttää erilaisia harjoittelustrategioita
- mahdollisuus tuoda pari edellä mainittua ulkopuolisista lähteistä
- loki harjoittelusta:
 - harjoitteluun käytetystä ajasta pidetään kirjaa
 - harjoittelussa käytettyjen ärsykkeiden määrästä ja sijainneista pidetään kirjaa (voi tosin olla vaikeaa määritellä, mitä yksittäinen ärsyke tarkoittaa)
- loki ja osa asetuksista tallennetaan verkkopalvelimelle

Osa vaatimuksista periytyy siis edellä esiteltyjen ohjelmien heikkouksista ja puutteista. Mielestäni näiden tekijöiden huomioonottamisella ja korjaamisella voitaisiin mahdollisesti saavuttaa sekä tehokkaampia kuntoutustuloksia että luoda toimivampi ja nykyajan teknisiä mahdollisuuksia paremmin hyödyntävä kuntoutusohjelma.

5.1 Taustaidea

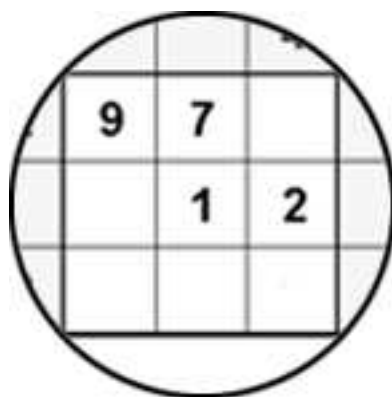
Kuten edellä voitiin havaita, minkäänlaisten merkittävämpien tulosten saavuttamiseen tarvittavan harjoittelun määrä oli todella suuri kaikissa ohjelmissa. Lisäksi kuntoutustilanteiden kuvausten perusteella harjoittelu kuulostaa objektiivisestikin arvioituna varsin yksitoikkoiselta. Ohjelmien toiminta näet perustuu pitkälti siihen, että samoja paria nappia painellaan havaittujen ärsykkeiden rekisteröimiseksi toinen toisensa jälkeen.

Tietenkin puutteellisen näön korjautumisessa voisi kuvitella olevan motivaatiota aivan tarpeeksi, mutta uskoisin, että ainakin itsestäni moinen saattaisi tuntua melko puuduttavalta jo muutaman päivän jälkeen. Palkinnon tietää kyllä periaatteessa odottavan jossain tulevaisuudessa, mutta hitaasti saavutettavat tulokset saattaisivat merkittävästi heikentää kuntoutettavan motivaatiota, sillä kuntoutusta on jatkettava puolikin vuotta.

Mielenkiintoinen kysymys onkin, voisiko harjoittelu tapahtua hieman leikin varjolla. Näin harjoittelu voisi olla mielekästä ja hieman välittömämmin palkitsevaa. Entä jos harjoittelu saataisiin yhdistettyä johonkin peliin kuten esimerkiksi Jyväskylän yliopiston lukihäiriöiden korjaamiseen suunniteltu Ekapeli [33]? Periaatteessahan kuntoutusohjelman takaa löytyvä peli voisi olla lähes mikä tahansa, jos siitä voidaan erottaa kaksi erillistä kokonaisuutta. Toinen informaation palanen tulisi olla sellainen, että pelaajan katse on suurimman osan ajasta fokuoituna siihen ja että pelaaminen olisi kutakuinkin mahdotonta ilman sitä. Lautapeli tapauksessa tämä voisi olla osa pelilautaa. Fiksaation on tarkoitus pysyä kiinnitettynä koko harjoittelun ajan käyttöliittymän tähän osaan.

Toinen osa voisi pitää sisällään jonkin pelin kannalta olennaisen toiminnallisuuden. Tämän osakokonaisuuden tulisi kuitenkin olla sen verran yksinkertainen, että siihen ei tarvittaisi tarkan näön aluetta ja näin ollen ei myöskään suoraa katseen kohdistamista. Tämän — pelin kannalta kenties sekundäärinen, mutta kuntoutuksen kannalta primäärinen — osan sijainti käyttöliittymässä mahdollisesti vaihtelisi hieman erilaisten kuntoutusstrategioiden mukaan keskittyen kuitenkin näkökentän puutoskohtien raja-alueiden läheisyyteen.

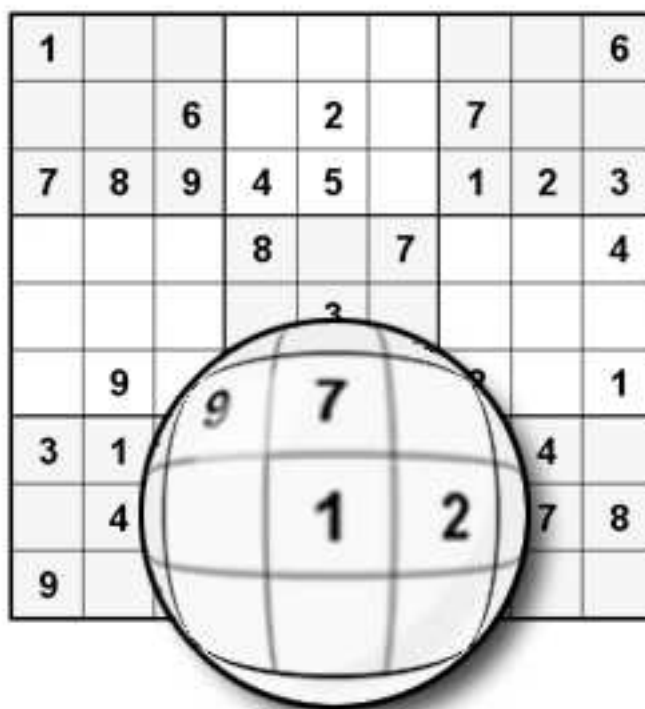
Käyttäkäämme esimerkkinä pari kolme vuotta sitten suurta suosiota nauttinutta sudokua. Fiksaatiolle varatussa osassa (ks. kuva 5.1) voitaisiin esittää yksi perinteisen yhdeksän kertaa yhdeksän sudoku-ruudukon kolme kertaa kolme solua käsittävä lohko. Lohkon kautta esimerkiksi yksittäisen solun eri mahdollisuuksien väliaikainen ylösmerkitseminen, selvitetyn solun arvon vahvistaminen ja muut sudoku-ruudukon ratkaisemiseen liittyvät tapahtumat mahdollistettaisiin pelaajalle. Tämä katseen oletettu keskipiste sijoitettaisiin ruudulle niin, että mahdollisen harjoittelustrategian mukaan valittu ja fiksaatiopisteen suhteen määritelty näkökenttäpuutoksen alue saataisiin mahdutettua myös samanaikaisesti käyttäjän näkymään.



Kuva 5.1: Sudoku-ruudukon täyttöalue ja fiksaation kohde.

Harjoitettavan näkökentän alueen kohdalla esitettäisiin hieman kooltaan pienennetty, ratkaistavana oleva kokonainen sudoku-ruudukko. Fiksaatiopisteessä hieman suurennettuna esitettävän valitun lohkon sijainti koko ruudukolla voitaisiin ilmaista jollain tavalla korostettuna puutteellisen alueen pikkuruudukossa. Tätä korostettua efektiä siirtämällä voitaisiin vaihtaa täydennettävänä olevaa lohkoa fokusalueen sisällä (ks. kuva 5.2).

Edellä mainittu efekti voisi olla sellainen, että se tuottaisi samalla näön harjoittamiseen tarvittavat ärsykkeet. Fokusalueen sijaintia ruudukolla voisi havainnollistaa esimerkiksi lasista linssiä muistuttavalla elementillä. Linssi voitaisiin määritellä Hyvärisen et al. tulosten rohkaisemana välkkymään jollain tietyllä tai miksei vaikka syklistesti vaihtelevalla taajuudella harjoittelustrategian mukaan. Linssin sijainnin muutokset synnyttäisivät samalla lähes automaattisesti liikeärsykejä, jotka ovat myös yksi voimakkaimmista ärsykkeiden muodoista. Liikkeen tuntu vahvistuisi vielä entisestään linssin aiheuttaman vääristymän myötä. Myös erilaiset viivat toimivat vahvoina ärsykeinä, joten itse sudoku-ruudukkokin toimisi jonkinlaisena ärsykkeenä.



Kuva 5.2: Pieni sudoku-ruudukko ja linssiefekti.

5.2 Katseen fiksaatio

Monen edellä käsitellyn tutkimuksen kritiikin kohteena on ollut katseen keskittämisen varmistaminen. Tämä siis tarkoittaa sitä, että potilaan katse tulisi olla harjoitus-suorituksen aikana kiinnitettynä tälle varattuun kohteeseen. Eräs yksinkertaisimmista menetelmistä fiksaation kohteen määrittämiseen on kuvata silmiä kamerasovelluksella näytteenottotajuuksella ja tulkita kuvasta, mihin katse on suunnattu. Kamera voi yleensä tällöin olla hieman etäämmällä valvottavasta kohteesta. On myös olemassa ns. häiritseviä (*intrusive*) menetelmiä, joissa joku tutkimuslaitteiston osa, kuten erikoisvalmisteen piilolinssi, kiinnitetään suoraan tutkimuskohteeseen. Tällä menetelmällä saavutetaan yleensä hieman parempi tarkkuus, mutta ne saattavat myös tuntua epämiellyttäviltä itse tutkittavasta [37]. Koska tavoitteenani on suunnitella kuntoutusohjelma, joka olisi käytettävissä kotiooloissakin, keskityn jatkossa tarkemmin kamera-pohjaisiin menetelmiin.

Fiksaation varmistamiseen liittyvät olennaisesti myös aiemmin mainitut sakkadit. Ne ovat siis silmien liikkeitä, jotka tapahtuvat esimerkiksi eri kohteisiin suunnattujen fiksaatioiden välissä. Muutaman asteen suuruiset sakkadit ovat Ojanpään [42] viittamaan Ciuffredan ja Tannenin [8] mukaan kestoltaan luokkaa 35–50 millisekuntia. Kun katse on keskitetty haluttuun kohteeseen, aivoihin saapuvan informaation käsittely kestää Hoogen et al. [17] useammista tutkimuksista johtamien keskiarvojen mukaan noin 100–300 millisekuntia silmän pysyessä paikallaan keskimäärin 200–500 millisekuntia. Kun tarkastellaan fiksaatioiden ja sakkadien minimikestoja, voidaan olettaa, että noin 10 kertaa sekunnissa tai sitä useammin silmän liikkeitä otetut näytteet riittäisivät havaitsemaan fiksaatiopisteestä poikkeavat katselinjat.

Näytteenottotajuuksien lisäksi näönkeskittämisen valvomiseen vaikuttaa myös siihen käytetyn kokonaisuuden tarkkuus. Tähän vaikuttavat mm. hyödynnettävien kameroiden resoluutio [41], valaistusolosuhteet [74] ja algoritmeissa sovellettujen laskennallisten mallien erot [32, 44, 73]. Lisäksi kuntoutettavan fyysiset ominaisuudet kuten pupillien koko sekä silmiä osittain peittävät silmäluomet saattavat omalta osaltaan vaikeuttaa katseen valvontaa [52]. Omassa tapauksessani näköhäiriöni on suhteellisen kaukana periferiassa, joten sen kattamiseen vaadittavat sakkaditkin ovat isot. Tämä puolestaan tarkoittaisi sitä, että silmien liikkeitä valvovan järjestelmän ei tarvitsisi omalla kohdallani pystyä kuin muutaman asteen tarkkuuteen. Muilla potilailla viiallisen alueen raja voi kuitenkin olla lähempänä näön keskialuetta, jolloin valvontajärjestelmän tarkkuuteen liittyvät vaatimukset olisivat hieman tiukemmat. Uskoisin asteen luokkaa olevan tarkkuuden riittävän tässäkin tapauksessa.

Katseen kohteen paikallistamiseen liittyvää tutkimusta ja siihen tarkoitettuja algoritmeja löytyy viimeiseltä vuosikymmeneltä todella runsaasti. Morimoton et al. [37] vuoden 2005 katsauksessa esitellään useampikin kamerapohjainen menetelmä, joilla oli jo tuolloin saavutettu noin yhden asteen virhemarginaali. Esimerkiksi Böhme et al. [7] sekä Ohno et al. [41] väittävät menetelmiensä pystyvän samaan tarkkuuteen sallimalla samalla jopa pienet pään liikkeet. Jälkimmäisen kokonaisuuden yhteydessä näytteenottotajuuudeksi mainittiin 30 kuvaa sekunnissa, mikä on kolme kertaa parempi kuin edellä johdettu minimitaso.

Mahdollisen kuntoutusohjelman ja sen käyttäjien kannalta ongelmaksi voi kuitenkin muodostua se, että edellä mainituissa tutkimuksissa, joissa silmien liikkeitä valvovissa kokoonpanoissa päästiin parhaisiin tuloksiin, laitteistoon kuului lähes poikkeuksetta useampia kameroita sekä niiden kanssa synkronoidusti toimivia valonlähteitä. Kyseiset komponentit eivät välttämättä olisi kustannuksiltaan kovin kalliita, mutta niitä ei ole nykyisellään saatavilla valmiina kokonaisuuksina suoraan kaupan hyllyltä. Jos fiksaatio siis halutaan varmistaa teknisin apuvälinein, kuntoutussovellusta varten voisi valmistaa esimerkiksi LED-tekniikkaan perustuvista valoista ja web-kameroista valmiiksi kootun paketin, jonka potilas voisi helposti asentaa käyttämälleen tietokoneelle. Muutoin potilaalta vaadittaisiin melkoista teknistä osaamista, että itse rakennetut valonlähteet ja hankitut kamerat saataisiin toimimaan yhdessä.

5.3 Moniaistisuus

Viime aikoina tehtyjen useampien aistien yhtäaikaiseen hyödyntämiseen liittyvien tutkimusten yhteydessä on saatu varsin kiinnostavia tuloksia, joilla voisi olla myös jonkinlaista merkitystä näkökenttäpuutosten kuntoutusta suunniteltaessa. Esimerkiksi erään aivoperäisestä näkökenttäpuutoksesta kärsineen potilaan todettiin parantaneen näköhavaintojaan näkökentän puutteellisella alueella, kun hän piti näöllisesti rajoittuneen puoleisen kätensä ojennettuna kohti puutosalueelle suunnattuja ärsykeitä. Mikä vielä erikoisempaa, sama ilmiö saatiin toistettua myös hieman kauempaa kädessä pidettyä tennismailaa apuna käyttäen [50]. Kohentuneiden havaintojen taustalla saattaisi olla Reedin et al. [48] samankaltaisen tutkimuksensa yhteydessä esittämä teoria siitä, että käsien sijainnit vaikuttavat huomioon. Käsien välittömästä läheisyydestä kumpuavat ärsykkeet varaavat osan huomiosta ja tulevat näin käsitellyiksi korkeammalla prioriteetilla kuin käden ulottumattomissa olevat ärsykkeet.

Tuntoaistin lisäksi myös kuuloaistilla on havaittu olevan näköaistimuksia vaurioituneella alueella kohentavia vaikutuksia. Frassinetti et al. [15] asettivat kokeissaan valoja äänilähteiden yhdistelmiä sivusuunnassa eriasteisiin silmäntason sijainteihin. Aivo-

peräistä näkökenttäpuutosta poteville koehenkilöille tuotettiin ääneen perustuva vihe ennen valoärsyksen antamista. Kun ääni ja valopiste olivat peräisin samasta tai läheisistä sijainneista, paranivat testattavien henkilöiden havainnot näkökentän puutteellisella alueella. Samaa ei voitu todeta, kun ääni- ja valoärsyke annettiin selvästi toisistaan poikkeavista sijainneista.

Myös molempien yllä mainittujen aistien, tunnon sekä kuulon, hyödyntämiseksi mahdollisen kuntoutusohjelman yhteydessä on kuntoutuslaitteiston kokoonpanoon liitettävä uusia laitteita. Kosketusnäytöllä voidaan rekisteröidä potilaan sormillaan tuottamat kuntoutusohjelman ohjaamiseen liittyvät syötteen. Kuuloärsykkeiden tuottamiseen tarvittaisiin puolestaan stereokuulokkeet tai erilliset kaiuttimet. Jälkimmäiset eivät varmasti aiheuttaisi potilaalle kovin suurta kulueraa, koska ne löytyvät suurimmalta osalta jo entuudestaan, mutta kosketusnäytöt ovat edelleen tavallisten tietokoneiden yhteydessä melko harvinaisia ja maksavat jo hieman enemmän.

5.4 Esitysgrafiikka

Näkökenttätutkimusten yhteydessä häiriöiden sijainnit ja koot ilmoitetaan yleensä asteina. Myös oma ohjelmani voisi käsitellä kaiken sijainteihin ja mittasuhteisiin liittyvän informaation sisäisesti asteiden kautta. Lopulliset pikselien määrät ja sijainnit voisivat määräytyä vasta grafiikkaa tuottaessa kuntoutuslaitteiston näytön koon ja kuntoutettavan potilaan silmien etäisyyden perusteella. Vektorigrafiikka olisi tässä yhteydessä yksi varteenotettavimmista vaihtoehdoista.

Eräs mahdollinen tapa ohjelman toteuttamiseksi vektorigrafiikalla olisi skaalautuva vektorigrafiikka (*scalable vector graphics*, SVG). Se on W3C:n valvoma avoin standardi, joten se voisi olla sopivin valinta esimerkiksi ympäristöriippumattomuuden saavuttamiseksi. SVG:n määrittelyyn kuuluu osana muun muassa se, että varsinaisella piirtoalueella voi olla oma koordinaatistonsa ja käyttäjän — tässä yhteydessä soveluksen — tiedoilla omansa. SVG:n toteutuksen tehtävänä on muuttaa mahdollisessa toisessa koordinaatistossa ja eri yksiköissä (kuten asteina) ilmoitetut koot ja sijainnit näytön koordinaatistoon ja yksiköihin (kuten pikseleihin) mahdollisten eri resoluutioiden vaikutukset huomioiden [71]. Vektorigrafiikalle on toki olemassa myös muita varteenotettavia toteutuksia, mutta ne ovat jossain määrin sidoksissa muihin ohjelmiin tai käyttöjärjestelmiin. XAML on kehitetty .Net-arkkitehtuurin pohjalta [40] ja XUL:lla määritellyt graafiset elementit ovat pääasiassa katseltavissa Mozillan Gecko-ulkoasumootoria (*layout engine*) hyödyntävillä selaimilla [38].

Lienee myös syytä huomioida tässä yhteydessä, että potilaan katseluetäisyydellä voisi periaatteessa olla jonkinlainen merkitys ääreisalueilla esitettävien asioiden mittasuhteille. Mitä lähempänä katsoja on ja mitä kauempana katseen keskipisteestä havainnoitava kohde sijaitsee, sitä vääristyneemmät mittasuhteet se katsojan silmissä saalitteelle pinnalle projisoituna. Kyseiseen seikkaan olisi varmasti kiinnitetty jo huomiota aikaisempia käyttöliittymiäkin suunniteltaessa, jos sillä olisi koettu olevan mainittavaa merkitystä, sillä aikaisemmin yleisesti käytössä olleilla kuperilla näyttöputkilla ongelman olisi voinut kuvitella korostuneen vielä entisestään. Lisäksi tarkoituksena on pitää potilas käden mitan päässä näytöstä, jolloin vääristymää tuskin pystyy edes havaitsemaan. Jos kyseinen asia kuitenkin koettaisiin häiritseväksi, vektorigrafikan mukanaan tuomien erilaisten muunnosten avulla tasoprojektiot voitaisiin suorittaa niin, että vääristymät saataisiin korjattua.

Kannattaa myös tiedostaa, että suurin osa erinäisiin tarkkuuksiin vaikuttavista seikoista on kuitenkin viime kädessä vahvimmin kiinni käyttäjän halusta ja taidosta noudattaa kuntoutuslaitteiston kokoonpanoon annettuja ohjeita. Tämän takia käyttäjälle suunnattujen ohjeiden pitäisikin olla mahdollisimman helpot ja yksiselitteiset, ettei niitä pystyisi tulkitsemaan väärin.

5.5 Verkkosovellus ja verkkopalvelu

Oman sovellukseni käyttöönottoa ja levikkiä voitaisiin helpottaa tekemällä siitä verkkosovellus, joka tunnetaan myös Adoben lanseeraamalla termillä Rich Internet Application (RIA) [5]. Kyseisen sovelluksen etuna on, että potilaat voisivat periaatteessa käyttää kuntoutusohjelmaa millä tahansa tietokoneella, joka on verkkoyhteydessä. Jos sovellus suunniteltaisiin oikein, saataisiin se toimimaan suoraan useimmista selaimista eikä potentiaalisten käyttäjien tietokoneille tarvitsisi asentaa erikseen omaa sovellusta. Eri tarkoituksiin suunnitellut lisälaitteet tosin vaikeuttavat siirrettävyyttä huomattavasti käytännössä. Lisäksi verkkosovellusten suoritus tapahtuu yleensä nk. hiekkalaahtikon sisällä, joka tarkoittaa sitä, että sovelluksella on vain tarkoin rajatut tietokoneen resurssit käytössään [67]. Tämä voisi mahdollisesti vaikuttaa häiritsevästi sovelluksen ja joidenkin lisälaitteiden väliseen kommunikaatioon. Osassa verkkosovelluksia kyseiset rajoitukset ohitetaan selaimen pluginien avulla, jolloin verkkosovelluksella on käytössään kaikki selaimellekin sallitut resurssit. Myös erilaiset laiteajurit voivat monimutkaistaa tilannetta. Kuitenkin esimerkiksi suurin osa uusimpien web-kameroiden liitännöistä on toteutettu USB-videolaitteiden luokan määrittelyn pohjalta (*USB video device class*, UVC), jolloin kameraa voi ohjata yleisesti luokan laitteille käytössä olevilla laiteajureilla [54].

Kuntoutusohjelman yhteyteen voitaisiin kehittää myös oma verkkopalvelu. Kuntoutussovelluksen käyttäjäkohtaiset tiedot, kuten esimerkiksi näkökenttäpuutoksen sijainti, käytetty harjoittelustrategia ja ratkaistavana oleva sudoku-ruudukko statistiikka-koineen, voisivat olla tallennettuina verkkopalvelimen tietokannassa. Näin harjoittelun jatkamiseksi tarvittava informaatio saataisiin ladattua kulloisellekin harjoittelualustalle, joka siis voisi olla tyystin eri tietokone kuin aikaisemmalla kerralla käytetty.

Kuntoutuksen onnistumisen kannalta olisi turvallisinta, että näkökenttäpuutoksen sijainti ja harjoittelustrategia olisivat jonkun ammattimaisen henkilön, kuten lääkärin, verkkopalvelimelle määrittelemät. Toisena vaihtoehtona voisi kuitenkin olla myös se, että potilas suorittaa verkkosovelluksella jonkintasoisen näkökenttätutkimuksen, jolla puutteellisen alueen sijainti kartoitettaisiin ohjelman ja potilaan itsensä toimesta. Samainen diagnostiikkaohjelma voisi olla joka tapauksessa osana verkkosovellusta, sillä suorittamalla se ajoittain uudelleen saataisiin apua potilaan mahdollisen kehityksen seuraamiseen. Suoritettujen näkökenttätutkimusten historia voitaisiin säilyttää myös verkkopalvelimella, jolloin esimerkiksi lääkäri voisi milloin tahansa käydä tarkistamassa kuntoutettavan kehityksen ja tehdä tulosten pohjalta mahdollisia muutoksia harjoittelustrategioihin. Luonnollisesti kun sovellusten välillä liikkuu luottamuksellisia potilastietoja, tietoturvaan pitäisi kiinnittää runsaasti huomiota.

Harjoittelussa hyödynnettävät sudoku-ruudukot voisivat olla peräisin verkkopalvelimelle tuotetusta joukosta. Käyttäjä voisi määritellä verkkosovelluksessa haluamansa vaikeustason, jota verkkopalvelusta ladattavat ruudukot olisivat. Toki vaikeustasoa voitaisiin säädellä myös sovelluksen toimesta automaattisesti, jos käyttäjä niin haluaisi. Vaikeustason lisäksi ruudukoiden yhteydessä voisi siirtyä myös mm. muiden palvelun käyttäjien samaiseen ruudukkoon käyttämistä kokonaisajoista ja heidän ratkaisemiseen käyttämiensä vihjeiden määrä. Näin mukaan saataisiin liitettyä myös eräiden käyttäjien voimakas kilpailuvietti. Heikommalla kilpailuvietillä varustetut potilaat voisivat halutessaan poistaa vastaavan informaation kokonaan omasta sovellusnäkyvästään.

Entä kuinka käyttäjää varoitetaan fiksaation puuttumisesta? Omassa konseptissani poistaisin näytöltä kaiken peliin liittyvän informaation, jolloin pelaaminen ei yksinkertaisesti voisi jatkua ennen kuin katse olisi taas sille tarkoitettussa kohteessa. Näin fiksaatio varmistettaisiin erittäin tehokkaasti eikä potilas pystyisi niin sanotusti huijaamaan kuntoutustilanteessa.

6 Yhteenveto

Kuten aivoperäisten näkökenttäpuutosten kuntouttamiseen suunniteltujen tietokoneohjelmien katsauksesta havaittiin, tarvitaan näköhäiriöiden kuntouttamiseen valtava määrä harjoittelua. Lisäksi harjoittelu vaikuttaa todella yksitoikkoiselta ja puuduttavalta käsitellyissä menetelmissä. Oma ohjelmakonseptini tekisi kuntoutuksesta potilaan kannalta mieluisamman tarjoamalla hänelle välittömämpää palkintoa. Kuntoutusmenetelmän taustalle valittavalla pelillä on kuitenkin suuri merkitys kuntoutettavien viihtyvyyteen ja olisi hyvä, jos se tuntuisi innostavalta mahdollisimman suuresta osasta kohderyhmää. Potentiaalisten käyttäjien ryhmä on kuitenkin varsin heterogeeninen, joten esim. sudoku ei välttämättä miellyttäisi kaikkia, vaikka sillä saattaisi olla muitakin hyötyjä esimerkiksi vanhenevan väestön aivotoimintojen ylläpitämisessä. Eräs lähestymistapa tähän ongelmaan olisi se, että kuntoutussovelluksen arkkitehtuuri suunniteltaisiin sen verran joustavaksi, että siinä hyödynnettävän pelin vaihtaminen onnistuisi suhteellisen pienellä työmäärällä. Uusien pelien lisääminen valikoimaan helpottuisi entisestään, jos sovellus toteutettaisiin avoimeen lähdekoodiin perustuen.

Viime vuosina tutkimuksissa on tarkasteltu jonkin verran myös useampien aistien yhtäaikaista hyödyntämistä. Näistä on saatu varsin rohkaisevia tuloksia yhdistämällä näön harjoittamiseen tunto- ja kuuloaisti. Ehkäpä näiden aistien mukaan integroiminen parantaisi kuntoutuksenkin lopputulosta. Niinpä myös omassa konseptissani hyödynnetään näitä aisteja kosketusnäytön ja kuulokkeiden avulla. On kuitenkin syytä huomata, että aiheesta tarvittaisiin vielä lisää lääketieteellistä tutkimusta, että saataisiin kattavampaa tietoa tulosten paranemisesta kuntoutuksen myötä. Lisäksi pitäisi tarkastella sitä, ovatko saavutetut tulokset pysyviä kuten tässä tutkielmassa tarkastelluissa tutkimuksissa. Tietotekniikan avulla eri aistien yhdistäminen on joka tapauksessa helppo toteuttaa erilaisten lisälaitteiden avulla. Lisälaitteista voi kuitenkin koitua myös ongelmia, sillä ne vaikeuttavat esimerkiksi kuntoutussovelluksen omaksumiseen laajempaan käyttöön. Potilaat joutuisivat hankkimaan nykyisellään kenties kalliitakin laitteita. Tekniikka kuitenkin kehittyy jatkuvasti, joten jo lähivuosina sovelluksen käyttöön vaadittavat välineet voivat olla lähes jokaisen ulottuvilla. On myös mahdollista, että ne löytyvät valmiina tulevista tietokoneiden kokoonpanoista, sillä esimerkiksi katseen kohteen tunnistaminen, jota hyödynnetään muihinkin tarkoituksiin, yleistyneenä lähitulevaisuudessa kotikoneissakin.

Oman konseptini heikkoudeksi on myös laskettava se, ettei itselläni ole lääketieteen tuntemusta, joten ohjelman vaikutus kuntoutustuloksiin on epäselvä. Olen toki koettanut hyödyntää omissa suunnitelmissani aiemmissa tutkimuksissakin hyviksi havaittuja ärsykeitä kuten välkettä ja liikettä, mutta suunnitteluun voisi osallistua myös lääketieteen asiantuntija, joka vastaisi vaikutusmekanismien teoriaperustasta. Tähän aiheeseen liittyen olisi hyvä saada lisätietoa esimerkiksi siitä, vaikuttavatko ne ärsykkeet, joihin ei kiinnitetä aktiivisesti huomiota, kuntoutustuloksiin.

Jos ohjelmakonseptistani alettaisiin kehittää kaupallista versiota, kannattaisi tutustua tarkemmin Bernhard Sabelin ja NovaVision Inc. -yhtiön rekisteröimiin patentteihin, joita löytyy yhteensä tusinan verran [13]. Kyseiset patentit saattaisivat pahimmassa tapauksessa rajoittaa merkittävästi suunnittelemani ohjelman kaupallista hyödyntämistä niin Euroopassa kuin esimerkiksi Yhdysvalloissa, sillä Sabel on patentoinut muun muassa varsin yleiseltä kuulostavan menetelmän eli käyttäjän harjoittamisen tietokoneen avulla [14]. Tämän tutkielman puitteissa patenttikysymykset eivät kuitenkaan nousseet keskeisiksi, sillä ohjelmaa ei ole vielä toteutettu käytännössä. Tutkimusprosessin aikana kokeilin toteuttaa demoversion ohjelmasta JavaFX:n avulla, mutta kyseinen ohjelmointikieli vaikutti vielä hieman epäkypsältä, sillä dokumentaatiota oli saatavilla varsin niukasti. Kenties olisi paikallaan tehdä lisää tutkimusta siitä, miten erilaiset verkkosovellusten toteuttamiseen tarkoitetut kielet soveltuisivat konseptini toteuttamiseen.

Tutkielmani perusteella voidaan todeta, että näkökentän puutosten kuntouttamiseen on menetelmiä ja ohjelmia, mutta niiden tekniset toteutukset vaikuttavat melko alkeellisilta. Tärkeää uuden ohjelman kehittämisessä olisi se, että kuntouttamiseen suunnitellulla ohjelmalla saadut tulokset voitaisiin todentaa fiksaation riittävällä varmistamisella. Tällä tavoin voitaisiin vastata yhä esiintyvään skeptisyyteen koko näön kuntouttamisen mahdollisuudesta sekä viedä tutkimusta omalta osaltaan eteenpäin, kun kriitikot eivät voisi enää kyseenalaistaa tuloksia vetoamalla jo perinteiseksi muodostuneeseen argumenttiin siitä, ettei fiksaatiota ole kunnolla varmistettu tutkimuksissa. Toinen keskeinen huomioni oli se, että kuntoutuksesta tulisi tehdä potilaalle mielekkäämpää, että hän jaksaisi toistaa vaadittavia harjoitteita yhä uudestaan ja uudestaan. Näiden kahden havainnon pohjalta olisi mahdollista toteuttaa kuntoutusohjelma, joka ei olisi aivan puuduttavan yksitoikkoinen, ja jonka mahdollisia tuloksia ei voitaisi kyseenalaistaa samalla argumentilla kuin edeltävissä ohjelmissa.

Ohjelmakonseptini hyvät ja huonot puolet huomioon ottaen, onnistuin tässä tutkielmassa mielestäni määrittelemään kuntoutusohjelman tekniset vaatimukset pääpiirteissään. Vaikka ohjelman toteutus ja kuntoutustehokkuuden arviointi jäivätkin tulevaisuuteen, uskon edelleen vahvasti, että vastaavalla ohjelmalla voitaisiin auttaa nä-

kökenttäpuutosten kuntouttamista aiempaa paremmin. Kenties ohjelmalla voitaisiin pienen jatkokehittelyn jälkeen jopa paikata kunnallisesta terveydenhuollosta löytyvä aukko kyseisellä saralla. Tällöin myös aivoperäisistä näköhäiriöistä kärsivillä potilailta olisi mahdollisuudet samantapaiseen terapiaan kuin mitä nykyään on tarjolla muun muassa liike- ja puhehäiriöistä kärsiville.

7 Lähteet

- [1] Aivohalvaus- ja dysfasialiitto, ”Aivohalvaus”, saatavilla WWW-muodossa
<URL: <http://www.stroke.fi/aivohalvaus.html>>, viitattu 5.11.2007.
- [2] Aivohalvaus- ja dysfasialiitto, ”Aivoverenkiertohäiriöt numerotietona”, saatavilla WWW-muodossa
<URL: http://www.stroke.fi/files/178/Numerotietoja_AVH_2008.pdf>, viitattu 26.5.2008.
- [3] Aivohalvaus- ja dysfasialiitto, ”Opas ammattihenkilöstölle: Aivoverenkiertohäiriöiden aiheuttamat neuropsykologiset puutosoireet”, saatavilla WWW-muodossa
<URL: <http://www.stroke.fi/pdf/nepsy-opas.pdf>>, viitattu 6.11.2007.
- [4] Bouwmeester L., Heutink J. ja Lucas C., *The effect of visual training for patients with visual field defects due to brain damage: a systematic review*, Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry, 78 (2007), s. 555–564.
- [5] Bozzon A., Comai S., Fraternali P. ja Carughi G.T., *Conceptual Modeling and Code Generation for Rich Internet Applications*, kirjassa ”Proceedings of the 6th International Conference on Web Engineering”, Association for Computing Machinery, s. 353–360, 2006.
- [6] Buonomano D.V. ja Merzenich M. M., *Cortical Plasticity: From Synapses to Maps*, Annual Review of Neuroscience, 21 (1998), s. 149–186.
- [7] Böhme M., Meyer A., Martinetz T. ja Barth E., *Remote Eye Tracking: State of the Art and Directions for Future Development*, kirjassa ”Proceedings of the 2nd Conference on Communication by Gaze Interaction”, COGAIN, s. 12–17, 2006, saatavilla WWW-muodossa
<URL: http://www.cogain.org/cogain2006/COGAIN2006_Proceedings.pdf>, viitattu 10.6.2008.
- [8] Ciuffreda K.J. ja Tannen B., ”Eye movement basics for the clinician”, Mosby-Year Book, Inc., St. Louis, 1995.
- [9] Desimone R. ja Duncan J., *Neural Mechanisms of Selective Visual Attention*, Annual Review of Neuroscience, 18 (1995), s. 193–222.

- [10] Driver J. ja Frackowiak R.S.J., *Neurobiological measures of human selective attention*, *Neuropsychologia*, 39 (2001), s. 1257–1262.
- [11] Egeth H.E. ja Yantis S., *Visual Attention: Control, Representation, and Time Course*, *Annual Review of Psychology*, 48 (1997), s. 269–297.
- [12] Eriksson P.S., Perfilieva E., Björk-Eriksson T., Alborn A-M., Nordborg C., Peterson D.A. ja Gage F.H., *Neurogenesis in the adult human hippocampus*, *Nature Medicine*, 4 (1998), s. 1313–1317.
- [13] European Patent Office, ”esp@cenet”, saatavilla WWW-muodossa
<URL: http://fi.espacenet.com/search97cgi/s97_cgi.exe?Action=FormGen&Template=fi/fi/home.hts>, viitattu 10.6.2008.
- [14] European Patent Office, ”Method and Device for Training of a User”, saatavilla WWW-muodossa
<URL: <http://v3.espacenet.com/textdoc?DB=EPDOC&IDX=EP1904991&F=0>>, viitattu 10.6.2008.
- [15] Frassinetti F., Bolognini N., Bottari D., Bonora A. ja Làdavas E., *Audiovisual Integration in Patients with Visual Deficit*, *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17 (2005), s. 1442–1452.
- [16] Hendry S.H.C. ja Reid R.C., *The Koniocellular Pathway in Primate Vision*, *Annual Review of Neuroscience*, 23 (2000), s. 127–153.
- [17] Hooge I.T.C., Erkelens C.J., *Adjustment of Fixation Duration in Visual Search*, *Vision Research*, 38 (1998), s. 1295–1302.
- [18] Horton J.C., *Editorial: Disappointing results from Nova Vision’s visual restoration therapy*, *British Journal of Ophthalmology*, 89 (2005), s. 1–2.
- [19] Hyvärinen L., ”Silmät ja näkeminen”, saatavilla WWW-muodossa
<URL: <http://www.lea-test.fi/su/silmat/index.html>>, viitattu 20.05.2008.
- [20] Hyvärinen L., ”LEA-Testin kognitiiviset testit”, saatavilla WWW-muodossa
<URL: <http://www.lea-test.fi/su/nakotest/instruct/kogn.html>>, viitattu 6.11.2007.

- [21] Hyvärinen L., Raninen A.N. ja Näsänen R.E., *Vision rehabilitation in homonymous hemianopia*, *Neuro-Ophthalmology*, 27 (2002), s. 97–102.
- [22] Hyvärinen L., *Henkilökohtainen tiedonanto*, 2007.
- [23] Ilmoniemi R., ”Aivojen rakenne ja toiminta: Aivojen pääosat”, oppimateriaali, Helsingin yliopisto, saatavilla WWW-muodossa
<URL: <http://www.biomag.hus.fi/braincourse/L1.html>>, viitattu 10.6.2008.
- [24] Ilmoniemi R., ”Aivojen rakenne ja toiminta: Näköaisti”, oppimateriaali, Helsingin yliopisto, saatavilla WWW-muodossa
<URL: <http://www.biomag.hus.fi/braincourse/L5.html>>, viitattu 20.5.2008.
- [25] Julkunen L., Tenovuo O., Jääskeläinen S. ja Hämäläinen H., *Rehabilitation of chronic post-stroke visual field defect with computer-assisted training: A clinical and neurophysiological study*, *Restorative Neurology and Neuroscience*, 21 (2003), s. 19–28.
- [26] Kasten E., Strasburger H. ja Sabel B.A., *Programs for diagnosis and therapy of visual field deficits in vision rehabilitation*, *Spatial Vision*, 10 (1997), s. 499–503.
- [27] Kasten E., Wuest S. ja Sabel B.A., *Residual Vision in Transition Zones in Patients with Cerebral Blindness*, *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 20 (1998), s. 581–598.
- [28] Kasten E., Poggel D.A. ja Sabel B.A., *Computer-Based Training of Stimulus Detection Improves Color and Simple Pattern Recognition in the Defective Field of Hemianopic Subjects*, *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12 (2000), s. 1001–1012.
- [29] Kerkhoff G., Münzinger U. ja Meier E.K., *Neurovisual Rehabilitation in Cerebral Blindness*, *Archives of Neurology*, 51 (1994), s. 474–481.
- [30] Kerkhoff G., *Neurovisual rehabilitation: recent developments and future directions*, *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 68 (2000), s. 691–706.
- [31] Lamme V.A.F., *Why visual attention and awareness are different*, *TRENDS in Cognitive Sciences*, 7 (2003), s. 12–18.

- [32] Li D. ja Parkhurst D., *Open-Source Software for Real-Time Visible- Spectrum Eye Tracking*, kirjassa "Proceedings of the 2nd Conference on Communication by Gaze Interaction", COGAIN, s. 18–20, 2006, saatavilla WWW-muodossa
<URL: http://www.cogain.org/cogain2006/COGAIN2006_Proceedings.pdf>, viitattu 10.6.2008.
- [33] Lyytinen H., Ronimus M., Alanko A., Poikkeus A-M. ja Taanila M., *Early identification of dyslexia and the use of computer game-based practice to support reading acquisition*, *Nordic Psychology*, 59 (2007), s. 109–126.
- [34] Marshall R.S., Ferrera J.J., Barnes A., Zhang X., O'Brien K.A., Chmayssani M., Hirsch J. ja Lazar R.M., *Brain Activity Associated With Stimulation Therapy of the Visual Borderzone in Hemianopic Stroke Patients*, *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 22 (2008), s. 136–144.
- [35] McMillan T.M., Robertson I.H. ja Wilson B.A., *Neurogenesis after Brain Injury: Implications for Neurorehabilitation*, *Neuropsychological Rehabilitation*, 9 (1999), s. 129–133.
- [36] Merigan W.H. ja Maunsell J.H.R., *How parallel are the primate visual pathways?*, *Annual Review of Neuroscience*, 16 (1993), s. 369–402.
- [37] Morimoto C.H., Mimica M.R.M., *Eye gaze tracking techniques for interactive applications*, *Computer Vision and Image Understanding*, 98 (2005), s. 4–24.
- [38] Mozilla Developer Center, "XUL", saatavilla WWW-muodossa
<URL: <http://developer.mozilla.org/en/docs/XUL>>, viitattu 10.6.2008.
- [39] Nelles G., Esserc J., Ecksteinc A., Tiedea A., Gerharda H. ja Diener H.C., *Compensatory visual field training for patients with hemianopia after stroke*, *Neuroscience Letters*, 306 (2001) s. 189–192.
- [40] .NET Framework Developer Center, "Windows Presentation Foundation: XAML", saatavilla WWW-muodossa
<URL: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms747122.aspx>>, viitattu 10.6.2008.
- [41] Ohno T. ja Mukawa N., *A Free-head, Simple Calibration, Gaze Tracking System That Enables Gaze-Based Interaction*, kirjassa "Proceedings of the 2004 Symposium on Eye Tracking Research & Applications", Association for Computing Machinery, s. 115–122, 2004.

- [42] Ojanpää H., "Visual search and eye movements: Studies of perceptual span", väitöskirja, University of Helsinki, Helsinki, 2006.
- [43] Pambakian A.L.M., Mannan S.K., Hodgson T.L. ja Kennard C., *Saccadic visual search training: a treatment for patients with homonymous hemianopia*, Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry, 75 (2004), s. 1443–1448.
- [44] Pedersen B. ja Spivey M., "Offline tracking of eyes and more with a simple webcam", saatavilla WWW-muodossa
<URL:<http://www.people.cornell.edu/pages/bp64/PedersenSpivey.pdf>>, viitattu 10.6.2008.
- [45] Pineles S.L., Volpe N.J., Miller-Ellis E., Galetta S.L., Sankar P.S., Shindler K.S. ja Maguire M.G., *Automated Combined Kinetic and Static Perimetry: An Alternative to Standard Perimetry in Patients with Neuro-ophthalmic Disease and Glaucoma*, Archives of Ophthalmology, 124 (2006), s. 363–369.
- [46] Plant G.T., *Editorial: A work out for hemianopia*, British Journal of Ophthalmology, 89 (2005), s. 2.
- [47] Raninen A., Vanni S., Hyvärinen L. ja Näsänen R., *Temporal sensitivity in a hemianopic visual field can be improved by long-term training using flicker stimulation*, Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry, 78 (2007), s. 66–73.
- [48] Reed C.L., Grubb J.D. ja Steele C., *Hands Up: Attentional Prioritization of Space Near the Hand*, Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 32 (2006), s. 166–177.
- [49] Reinhard J., Schreiber A., Schiefer U., Kasten E., Sabel B.A., Kenkel S., Vonthein R. ja Trauzettel-Klosinski S., *Does visual restitution training change absolute homonymous visual defects? A fundus controlled study*, British Journal of Ophthalmology, 89 (2005), s. 30–35.
- [50] Schendel K. ja Robertson L.C., *Reaching Out to See: Arm Position Can Attenuate Human Visual Loss*, Journal of Cognitive Neuroscience, 16 (2004), s. 935–943.
- [51] Schiller P.H., *On the specificity of neurons and visual areas*, Behavioural Brain Research, 76 (1996), s. 21–35.
- [52] Schnipke S.K. ja Todd M.W., *Trials and Tribulations of Using an Eye-tracking System*, kirjassa "CHI '00 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems", Association for Computing Machinery, s. 273–274, 2000.

- [53] Treue S., *Visual attention: the where, what, how and why of saliency*, Current Opinion in Neurobiology, 13 (2003), s. 428–432.
- [54] USB Implementers Forum, "USB Device Class Definition for Video Devices, Revision 1.1", saatavilla WWW-muodossa
<URL: http://www.usb.org/developers/devclass_docs/USB_Video_Class_1_1.zip>, viitattu 10.6.2008.
- [55] Vanni S., *Näkötiedon käsittely aivokuoressa*, Duodecim, 120 (2004), s. 2655–2662.
- [56] Vesti E., "Silmätautiopin propedeutiikka: Näkökenttätutkimus", Helsingin yliopisto, Silmätautien klinikka, saatavilla WWW-muodossa
<URL: http://www.helsinki.fi/laak/silk/opetus/prope/nakokentta_tutkiminen.html>, viitattu 28.5.2008.
- [57] Weiskrantz L., Barbur J.L. ja Sahraie A., *Parameters affecting conscious versus unconscious visual discrimination with damage to the visual cortex (VI)*, kirjassa "Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America", National Academy of Sciences, s. 6122-6126, Vol. 92 1995.
- [58] Wikimedia Commons, "Image: Schematic diagram of the human eye", saatavilla WWW-muodossa
<URL: http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Schematic_diagram_of_the_human_eye_multilingual.svg>, viitattu 10.6.2008.
- [59] Wikimedia Commons, "Image: Lobes of the brain", saatavilla WWW-muodossa
<URL: http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Lobes_of_the_brain_NL.svg>, viitattu 10.6.2008.
- [60] Wikimedia Commons, "Image: Ihmisen silmä", saatavilla WWW-muodossa
<URL: http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Ihmisen_silm%C3%A4.png>, viitattu 10.6.2008.
- [61] Wikipedia, "Blindsight", saatavilla WWW-muodossa
<URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/Blindsight>>, viitattu 26.5.2008.
- [62] Wikipedia, "Blind spot (vision)", saatavilla WWW-muodossa
<URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Blind_spot_%28vision%29>, viitattu 20.5.2008.

- [63] Wikipedia, "Image:Ventral-dorsal streams", saatavilla WWW-muodossa
<URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Ventral-dorsal_streams.svg>, viitattu 10.6.2008.
- [64] Wikipedia, "Cortical magnification", saatavilla WWW-muodossa
<URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Cortical_magnification>, viitattu 26.5.2008.
- [65] Wikipedia, "Näköaisti", saatavilla WWW-muodossa
<URL: <http://fi.wikipedia.org/wiki/N%C3%A4k%C3%B6aisti>>, viitattu 21.5.2008.
- [66] Wikipedia, "Retinotopy", saatavilla WWW-muodossa
<URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/Retinotopy>>, viitattu 26.5.2008.
- [67] Wikipedia, "Sandbox (computer security)", saatavilla WWW-muodossa
<URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Sandbox_%28computer_security%29>, viitattu 10.6.2008.
- [68] Wikipedia, "Visual cortex", saatavilla WWW-muodossa
<URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Visual_cortex>, viitattu 21.5.2008.
- [69] Wikipedia, "Visual system", saatavilla WWW-muodossa
<URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Visual_system>, viitattu 21.5.2008.
- [70] World Health Organization, "Global Burden of Stroke. Part three: the burden. The Atlas of Heart Disease and Stroke", saatavilla WWW-muodossa
<URL: http://www.who.int/cardiovascular_diseases/en/cvd_atlas15_burden_stroke.pdf>, viitattu 5.11.2007.
- [71] World Wide Web Consortium, "W3C Recommendation, SVG 1.1 Specification", saatavilla WWW-muodossa
<URL: <http://www.w3.org/TR/SVG11/REC-SVG11-20030114.pdf>>, viitattu 10.6.2008.
- [72] Wong A.M.F. ja Sharpe J.A. *A Comparison of Tangent Screen, Goldmann, and Humphrey Perimetry in the Detection and Localization of Occipital Lesions*, *Ophthalmology*, 107 (2000), s. 527–544.

- [73] Yoo D.H., Kim J.H., Lee B.R. ja Chung M.J., *Non-contact Eye Gaze Tracking System by Mapping of Corneal Reflections*, kirjassa "Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition", IEEE Computer Society, s. 94–99, 2002.
- [74] Zhu Z., Fujimura K. ja Ji Q., *Real-Time Eye Detection and Tracking Under Various Light Conditions*, kirjassa "Proceedings of the 2002 Symposium on Eye Tracking Research & Applications", Association for Computing Machinery, s. 139–144, 2002.
- [75] Zihl J., *Recovery of Visual Functions in Patients with Cerebral Blindness*, Experimental Brain Research, 44 (1981), s. 159–169.
- [76] Zihl J., Von Cramon D., Balliet R., Blood K.M.T. ja Bachy-y-Rita P., *Kirjeenvaihto: Zihl et al. vs Balliet et al.*, Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry, 49 (1986), s. 965–967.
- [77] Zihl J., *Cerebral disturbances of elementary visual functions*, kirjassa "Neuropsychology of Visual Perception", Lawrence Erlbaum Associates, 1988.
- [78] Zihl J., *Visual scanning behavior in patients with homonymous hemianopia*, Neuropsychologia, 33 (1995), s. 287–303.