

Ilkka Kotilainen

**SILMÄNLIIKETUTKIMUS – FYSIOLOGINEN NÄKÖJÄRJESTELMÄ  
JA KATSEENSEURANNAN TEKNIIKAT**

Tietojärjestelmätieteen  
kandidaatintutkielma  
22.6.2010

Jyväskylän yliopisto  
Tietojenkäsittelytieteiden laitos  
Jyväskylä

## TIIVISTELMÄ

Kotilainen, Ilkka Antti

Silmänliiketutkimus – fysiologinen näköjärjestelmä ja katseenseurannan tekniikat / Ilkka Kotilainen

Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2010

37 s.

Kandidaatintutkielma

Tässä kirjallisuuskatsauksena suoritettussa kandidaatintutkielmassa tarkastellaan silmänliiketutkimuksessa käytettäviä neljää katseenseurannan tekniikkaa: elektro-okulografiaa (engl. Electro-OculoGraphy, EOG), kovakalvolle sijoitettavaa piilolinssiä/induktiokäämiä (engl. scleral contact lens/search coil), valokuva-okulografiaa (engl. Photo-OculoGraphy, POG) tai video-okulografiaa (engl. Video-OculoGraphy, VOG) ja videopohjaista pupillin ja sarveiskalvoheijasteen yhdistelmää (engl. video based combined pupil and corneal reflection), joista viimeksi mainittu videotekniikka, Purkinje-heijastetta hyödyntävä tekniikka, on yleisin käytössä oleva.

Ihmisen näköjärjestelmä käsitellään fysiologisena kokonaisuutena, josta esitellään tarkemmin: silmä ja silmänliikkeet, sekä aivoista näköradat ja näköaivokuori. Havaitsemisen, visuaalisen tarkkaavaisuuden ja objektien tunnistamisen kognitiiviset ja psykologiset teoriat on esitelty lyhyesti. Fysiologisten ja psykologisten teorioiden välisistä yhteyksistä käydään läpi "mikä" (what) ja "missä" (where) -teoriat, joilla on yhteys näköaivokuoren ventraaliseen ja dorsaaliseen virtaan.

Tutkimuksen tulosten perusteella videotekniikka on vakiinnuttanut asemaansa katseenseurantamenetelmien kärjessä. Katseenseuranta tarjoaa määrällistä (kvantitatiivista) dataa ja mahdollisuuden seurata mihin ihmisen visuaalinen tarkkaavaisuus on suuntautunut.

AVAINSANAT: silmänliiketutkimus, katseenseuranta, silmä, aivot, näköradat

# SISÄLLYS

|   |           |
|---|-----------|
| <u>1 JOHDANTO.....</u>  | <u>8</u>  |
| <u>2 HAVAITSEMINEN.....</u>   | <u>10</u> |
| 2.1 Visuaalinen tarkkaavaisuus (engl. visual attention).....                                  | 10        |
| 2.2 Objektien tunnistus.....  | 11        |
| 2.3 Bottom-up malli.....  | 12        |
| <u>3 JOHDATUS NÄKÖJÄRJESTELMÄÄN.....</u>  | <u>14</u> |
| <u>4 SILMÄ.....</u>   | <u>15</u> |
| 4.1 Silmän rakenne.....   | 15        |
| 4.2 Silmänliikkeet.....   | 17        |
| 4.2.1 Fiksaatio.....  | 17        |
| 4.2.2 Sakkadi.....  | 18        |
| 4.2.3 Liikkuvat kohteet.....  | 18        |
| 4.2.4 Nystagmus.....  | 18        |
| 4.2.5 Ajelehtiminen, mikrosakkadit.....   | 19        |
| <u>5 AIVOT JA VISUAALISET RADAT.....</u>  | <u>20</u> |
| 5.1 Keskushermosto.....   | 20        |
| 5.2 Aivot.....  | 21        |
| 5.3 Visuaaliset radat.....  | 22        |
| <u>6 SILMÄNLIIKETUTKIMUS.....</u>   | <u>26</u> |
| 6.1 Historia.....   | 26        |
| 6.2 Katseenseuranta.....  | 28        |
| 6.3 Katseenseurannan tekniikat.....   | 29        |
| 6.3.1 Elektro-okulografia.....  | 31        |
| 6.3.2 Kovakalvolle sijoitettava piilolinssi / induktiokäämi.....                              | 31        |
| 6.3.3 Valokuva-okulografia tai video-okulografia.....   | 32        |
| 6.3.4 Videopohjainen pupilli ja sarveiskalvoheijasteen yhdistelmä<br>(Purkinje-heijaste)..... | 33        |
| <u>7 YHTEENVETO.....</u>  | <u>35</u> |
| <u>LÄHTEET.....</u>   | <u>37</u> |

## 1 JOHDANTO

Ihmiset käyttävät silmiään päivittäin mitä erilaisimpiin tarkoituksiin. Katsomme elokuvia, surffaamme Internetissä, luemme, seuraamme liikennettä ja tutkimme kevään ensimerkkejä puiden oksilta. Ihminen kerää informaatiota ympäristöstään suunnitellakseen toimintaansa, havainnoidakseen ja oppiakseen uusia asioita sekä ohjatakseen liikkumistaan. (Glenstrup & Engell-Nielsen 1995).

On tiedetty jo pitkään (Špakov 2008), että silmänliikkeet liittyvät aivojen sisäisiin prosesseihin, kuten ajatteluun ja kognitioon, jolla tarkoitetaan tiedon hankintaa, järjestämistä ja käyttöä (Neisser 1982). Eysenck & Keane (2005) mainitsevat, että vain osa visuaalisen havaintokykymme monimutkaisuudesta tuli esille, kun tekoälyn tutkijat yrittivät ohjelmoida tietokoneita havaitsemaan ympäristöä. Helpotkin tehtävät, jotka vaativat ainoastaan valkoisten kappaleiden määrien laskemista, olivat haastavia ja monimutkaisia ohjelmoida.

Silmänliikkeitä ja samalla ihmisen visuaalista hahmottamista ympäristöstään voidaan tutkia katseenseurannalla. Merja Lehtinen (2005) määrittelee katseenseurannan (engl. eye tracking) tietotekniikan näkökulmasta käytettävyytutkimuksen menetelmäksi, jolla voidaan kerätä tietoa käyttäjän silmänliikkeistä ja näin analysoida tarkkaavaisuuden suuntautumista ja kiinnittymistä käyttöliittymässä.

Tämän tutkielman tavoitteena on selvittää kirjallisuuskatsauksena, minkälaisia tekniikoita silmänliikkeiden seuraamiseen käytetään.

Näistä katseenseurannan tekniikoista käydään läpi yleisimmät ja tarkastellaan, mikä tällä hetkellä on suosituin käytössä oleva. Koska havaitseminen ja kuinka ihminen hahmottaa ympäristöään, ovat laaja käsite, rajataan ihmisen

näköjärjestelmän käsittely fysiologiseen näkökulmaan, jossa ihminen nähdään anatomisena eliöllisenä rakenteena. Näiden rakenteiden välisiä yhteyksiä pyritään vertaamaan katseenseurantaan ja löytämään yhtäläisyyksiä. Havaitsemisen psykologia esitellään taustatietona ensimmäisessä luvussa.

## 2 HAVAITSEMINEN

Kuten jo johdannon alussa todettiin, ihmisen havaintokyky (engl. perception) on laaja. Eysenck & Keane (2005) lainaavat osittain Sekuler & Blakea (2002) todetessaan, että hankimme ja käsittelemme päivittäin huomattavan määrän tietoa aisteillamme. Keräämme näkö-, kuulo-, maku- ja tuntoaistien avulla tietoa ympäristön objekteista päättäessämme miten toimia. Visuaalinen havaintokyky (engl. visual perception) on yksi ihmisen tärkeimmistä välineistä hahmottaa ympäristöään (Anderson 2000).

Vaikka tämän tutkielman pääasiallinen raja-alue on fysiologian ja anatomian puolella käsiteltäessä näköjärjestelmää, on syytä ottaa huomioon, että ihmisen visuaaliseen tarkkaavaisuuteen ja ympäristön hahmottamiseen liittyy myös psykologinen näkökulma. Tässä kappaleessa selitän lyhyesti kognitiivisen psykologian tutkimusalueita havaitsemisesta taustatietona. Tutustumme tarkemmin ihmisen visuaaliseen tarkkaavaisuuteen ja siihen kuinka, hahmotamme visuaalista ympäristöämme.

### 2.1 Visuaalinen tarkkaavaisuus (engl. visual attention)

Ihmisen kapasiteetti on rajallinen, emme voi seurata kaikki asioita yhtä aikaa. Tarkkaavaisuutemme suuntautuu yhteen kohteeseen kerrallaan, jotta mieli voi prosessoida kiinnostuksen kohteen. Rakennamme kuvaa visuaalisesta ympäristöstämme yksi pala kerrallaan, vaiheittain, luoden yhtenäistä kokonaiskuvaa. (Duchowski 2007)

Nykyisen käsityksen mukaan näkökykyä käytetään kahteen toimintaan; objektin tunnistamiseen, joka vastaa kysymykseen "mikä" (engl. what) sekä objektin sijainnin määrittämiseen, joka vastaa kysymykseen "missä" (engl. where) (Eysenck & Keane 2005). Aivojen eri alueilla näyttäisi olevan

eroavaisuuksia kysymysten mikä ja missä välillä (Zeki 2003). Duchowski (2007) sekä Eysenck & Keane (2005) viittaavat myös muihin esitettyihin teorioihin, kuten Gibsonin "kuinka" (engl. how). "Missä" ja "mikä" -kysymysten mainitaan kuitenkin sisältävän nykyisen tunnetun visuaalisen tarkkaavaisuuden pääosat (Duchowski 2007).

Neisser (1967) esittää tarkkaavaisuuden visuaalisen kiinnittymisen olevan kaksivaiheinen prosessi. Tässä prosessissa on kaksi samanaikaisesti toimivaa vaihetta: esitarkkaavaisuus (engl. pre-attentive) ja keskitetty tarkkaavaisuus (engl. focal attention). Esivaiheessa havainto tehdään koko visuaalisesta kentästä ja keskitetyssä vaiheessa vain yhdestä, korkeintaan muutamasta kohteesta.

Neisser jatkaa (1982) esittäen, että ihmisillä on sisäisiä skeemoja. Skeemat ovat sisäinen osa havaintosykliämme, jossa voimme muuttaa aikaisemmin kokemaamme. Vahvistamme skeemoja havainnoilla ja ne voivat ohjata toimintaamme hankkiessamme lisää tietoa. Neisserin mukaan myös valikoimme katseella tiettyjä tapahtumia jättäen toissijaiset huomioimatta. Tähän vaikuttavat tutkimusten mukaan mm. koehenkilön kokeneisuus.

## **2.2 Objektien tunnistus**

Eysenck & Keane (2005) aloittavat objektien hahmottamisen ongelman näkymällä, jossa on useita objekteja jotka leikkaavat toisiaan. Katsojan on osattava päätellä, mistä objektit alkavat ja mihin ne loppuvat. Objektit on voitava myös tunnistaa eri etäisyyksiltä ja niiden kokojen suhteen on pysyttävä samana. Lisäksi objektien visuaaliset ominaisuudet saattavat vaihdella valtavasti. Esimerkkinä autoista Lada, joka on ruosteinen, ruma ja ruskea verrattaessa Ferrariin, joka on kiiltävä, kaunis ja punainen. Tunnistamme molemmat autoiksi, vaikka ensin mainitusta sitä ei heti uskoisikaan.



Ihminen hahmottaa yleisesti perustasolla muotoja, värejä ja liikettä (Anderson 2000). Eysenck & Keane (2005) jatkavat objektien tunnistamisesta, jota on tulkittu niin muodon yksinkertaisuudella (law of Prägnanz) kuin sillä, että ihminen ryhmittelee visuaaliset elementit yhteen, jos ne ovat toisiaan lähekkäin (law of proximity). Näiden Gestaltilaisten järjestämisperiaatteiden mukaan pyrimme organisoimaan objektit yksiköiksi (Anderson 2000).

Marrin teoria syvyyksien ja pintojen havaitsemisesta jakaantuu varhaiseen vaiheeseen (2-ulotteinen havainto), syvyyteen ja suuntaan (2½-ulotteinen) sekä muotoihin ja sijaintiin (3-ulotteinen). Toinen tunnetumpi on Biedermanin komponenttien avulla tapahtuva objektien tunnistamis teoria (engl. recognition-by-components), jonka mukaan segmentoimme ensin objektit perusaliojekteihin, tämän jälkeen määrittelemme mihin kategoriaan ne kuuluvat ja lopuksi tunnistamme objektin aliojekteista muotoutuvista paloista (Anderson 2000).

### **2.3 Bottom-up malli**

Duchowski (2007) tuo esille bottom-up mallin, jossa visuaalinen tarkkaavaisuutemme ohjautuu silmänliikkeillä katselemamme kuvan tai visuaalisen kentän kiinnostaviin osiin. Näemme aluksi alueen kokonaisuutena ääreisnäöllä matalana resoluutiona, jonka jälkeen kohdistamme tarkannäön alueen ensimmäiseen alueeseen joka kiinnittää huomiomme. Tällöin keskitämme huomiomme ja tarkannäön alueemme korkealla resoluutiolla kiinnostuksemme kohteeseen.

Malli sisältää kuitenkin muutamia ongelmia. Jos vain visuaalinen ärsyke kiinnittää huomiomme, minkälaisia ovat piirteet jotka kiinnittävät huomiomme? Ovatko ne edellisessä kappaleessa mainittuja objekteja tai aliojekteja? Jos taas visuaalinen ärsyke olisi ainoa visuaalisen huomiomme

kiinnittävä asia, tarvitsemmeko tahdonalaisia silmänliikkeitä ollenkaan? Näiden kahden kysymyksen pohtiminen ja yhteys huomiomme kiinnittymisen ja silmänliikkeiden välillä (tai niiden puuttuminen) tuovat esille havaitsemisen tutkimisen haasteet.

Visuaalisen tarkkaavaisuus on laaja käsite, ihmisen kognitiiviset prosessit ohjautuvat tehtäväkeskeisesti vaikuttaen haettavaan tietoon ja kohteisiin joihin kiinnitämme huomiomme. Katsetta seuraamalla voimme selvittää silmänliikkeet, mutta emme koko visuaalisen tarkkaavaisuuden aluetta. Duchowski (2007) esittääkin mahdollisuutemme tutkia aivoja ja löytää alueita jotka vastaavat kysymyksiimme. Samalla pitää hyväksyä ja luottaa, että huomiomme on kiinnittynyt tarkannäön alueelle, vaikka näin ei aina olisikaan. (Duchowski 2007)

### 3 JOHDATUS NÄKÖJÄRJESTELMÄÄN

Johdatellessaan visuaalisen näköjärjestelmämme maailmaan Kalat (2007) kertoo: "Vihreys on se mitä tapahtuu kun valo pomppii pois puun lehdistä reagoiden aivojesi hermosolujen kanssa." Kalat jatkaa tarkentaen: "Valon saapuessa silmän retinaan reseptorimme reagoivat ja tapahtuu visuaalisen ärsykkeen ensimmäinen vaihe. Kemiallisten mallien mukaan välittyy ärsyke neuroneihin jatkaen matkaansa kohti aivoja".

Kalatin (2007) esimerkeissä tiivistyvät näköjärjestelmämme osat. Näköjärjestelmän keskeisiin osiin kuuluvat silmät, näköradat sekä näköaivokuoret. Seuraavassa kappaleessa "Silmä" tutustutaan tarkemmin silmän rakenteeseen ja silmänliikkeisiin. Kappaleessa viisi "Aivot ja visuaaliset radat" käsitellään aivojen näköratoja ja näköaivokuorta.

Tärkeää näköjärjestelmästä on huomata, että näkemämme kuva ei toistu aivoissa sellaisenaan, vaikka silmän rakennetta usein kameraan verrataankin (Duchowski 2007). Kuvan ei tarvitse olla verkkokalvolla tai aivojemme yläosassa. Voimme verrata tätä tietokoneisiin: tietojärjestelmän tallentaessa valokuvan, sen ei tarvitse olla kuvapuoli ylöspäin kiintolevyllä tai muistissa. (Kalat 2007)

Fysiologisen näköjärjestelmän, silmän rakenteen sekä näköaivokuoren ja näköratojen ymmärtäminen auttaa tulkitsemaan ihmisen havainnointiprosessia ja silmänliikkeiden mittaamisessa käytettäviä tekniikoita, joita käsitellään tarkemmin kappaleessa kuusi "Silmänliiketutkimus".

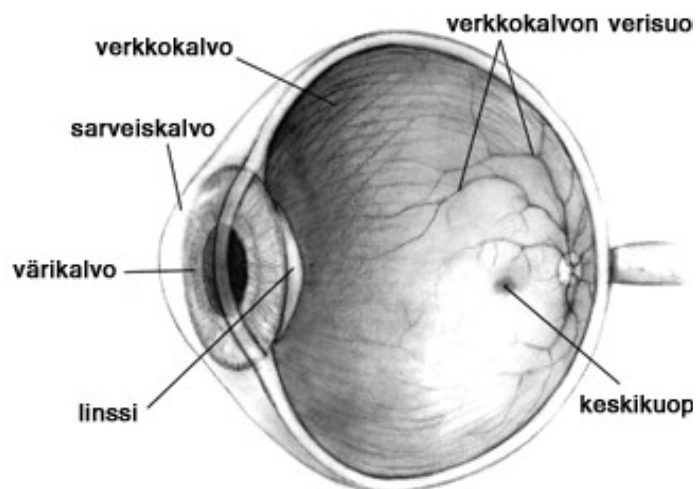
## 4 SILMÄ

Edellisessä kappaleessa mainittiin silmän ja kameran yhtäläisyyksistä, mutta monista hienoista ominaisuuksistaan huolimatta on silmää myös maailman huonoimmaksi kameraksi kutsuttu. Muutamista puutteista linssissä ja kaarevuudestaan huolimatta kattaa silmän näkökentän vaakasuora alue  $180^\circ$  visuaalisen kulman ja pystysuora akseli  $130^\circ$ . Niin kutsuttu käyttökelpoinen näköalue on noin  $30^\circ$ , tarkan näön alueen ollessa vain muutaman asteen luokkaa (Duchowski 2007). Seuraavassa tarkemmin lisää silmästä, sen rakenteesta ja silmänliikkeistä.

### 4.1 Silmän rakenne

Silmän optiikan perusrakenne koostuu kolmesta osasta: sarveiskalvo (engl. cornea), värikalvo eli iiris (engl. iris) ja mykiö eli linssi (engl. Lens) (Roorda 2002). Lasiainen (engl. vitreous humor) muodostaa pääosan silmän sisällöstä lasimaisella kirkkaalla hyytelömäisellä aineella (Hyvärinen 2001).

Ympäristömme objekteista lähtevät valoallot läpäisevät silmän etuosan läpinäkyvän sarveiskalvon jatkaen kohti värikalvoa. Värikalvon keskellä oleva reikä, pupilli (engl. Pupil), joka suomeksi myös mustuaisena tunnetaan, määrittää kuinka paljon valoa silmään saapuu. Linssi kohdistaa valon verkkokalvolle (engl. retina) silmän takaosaan (Eysenck & Keane 2005).



*Kuva 1: Ihmisen silmä (Wikimedia Commons)*

Lasiainen ympärille muodostuva verkkokalvo on silmän sisin kerrosrakenne (Hyvärinen 2001). Verkkokalvo itsessään on kompleksinen rakennelma, jossa on viisi eri kerrosta soluja (Eysenck & Keane 2005). Duchowski (2007) tarkentaa näistä kahden välissä olevan solukerroksen toimivan liitoksena kolmelle solunipulle.

Verkkokalvolla toimii kahden tyyppisiä reseptorisoluja, tappi- (engl. cones) ja sauvasoluja (engl. rods) (Eysenck & Keane 2005). Tappisoluja on arviolta n. 7 miljoonaa ja sauvasoluja n. 120 miljoonaa (Duchowski 2007). Sauvasolut sijaitsevat verkkokalvon uloimmalla pinnalla. Ne ovat erikoistuneet hämärään valaistukseen ja liikkeen havaitsemiseen (Eysenck & Keane 2005).

Tappisolut osallistuvat värinäköön tuottaen korkean resoluution ja terävän näön. Ne sijaitsevat suurimmaksi osaksi silmän keskikuopassa (engl. Fovea), joka toimii tarkan näön alueena. Tuon alueen halkaisija on 0,2 mm ja se vastaa 1° näkökentästä (Ilmoniemi 2001). Duchowski (2007) tarkentaa visuaalisen kulman olevan n. 1-5°. Tällöin 21" tietokoneen näytöstä (nähtynä 60 cm päästä)

näemme vain 3 %. Liikuttaessamme silmiämme suuntaamme katseen niin, että objekti lankeaa keskikuopan alueelle (Anderson 2000).

Reseptorisoluista (tappi- ja sauvasolut) löytyvä näköpigmentti on valoa absorboivaa ainetta. Valokvanttien ärsytys siirtyy edelleen välivaiheittain lopulta bipolaari- ja gangliosoluihin, joista jälkimmäisessä lähtevät aksonit kulkevat näköhermoina (engl. optic nerve) aivoihin (Ilmoniemi 2001). Näköhermonpäässä (engl. optic disc) silmän takaosalla ei ole reseptorisoluja, joten tällä alueella ei myöskään tapahdu näkemistä. Aluetta kutsutaan myös nimellä sokea piste (engl. blind spot) (Kalat 2007).

## **4.2 Silmänliikkeet**

Kuten edellä todettiin, muodostavat tappisolut ihmisen silmän keskikuopassa tarkan näön alueen. Ilmoniemi kirjoittaa (2001): "Ihmisellä on tarkka näkö ja hyvä värien erotuskyky vain verkkokalvon keskellä, kun taas retinan reunoilla havaitaan helposti liike ja valaistusvaihtelut. Jos jotakin tapahtuu näkökentän laidalla, siirrämme nopeasti katseemme sinne."

Silmillä on kuuden asteen liikkumavapaus, josta kolme on käännöstä silmäkuopassa ja kolme rotaatiota. Liikkeitä ohjaa kuusi eri lihasta, joista kaksi on sivuttaisliikkeelle, kaksi ylös/alas liikkeelle ja kaksi kiertoliikkeelle. (Duchowski 2007).

Silmänliikkeet koostuvat pääasiallisesti kiinnittymisistä ja hypähdyksistä (Lehtinen 2005). Seuraavat alikappaleet käsittelevät tarkemmin silmänliikkeitä.

### **4.2.1 Fiksaatio**

Kiinnittyminen eli fiksaatio (engl. Fixation), tapahtuu kun ihminen kohdistaa katseensa haluttuun kohteeseen. Tällöin verkkokalvo vakautetaan silmän

keskikuopan tarkan näön alueelle (foveaan). Ajallisesti fiksaation kesto on 100-600 millisekuntia. Kaikesta katseluajastamme käytämme noin 90 % fiksaatioihin (Duchowski 2007).

#### **4.2.2 Sakkadi**

Hypähdykset eli sakkadit (engl. saccades) ovat nopeita silmänliikkeitä, jotka kohdistavat silmän keskikuopan uuteen alueeseen visuaalisessa ympäristössämme. Ajallisesti sakkadien kesto on n. 10-100 millisekuntia (Duchowski 2007). Sakkadien aikana ei tapahdu näkemistä (Sinkkonen, Kuoppala, Parkkinen & Vastamäki 2009).

#### **4.2.3 Liikkuvat kohteet**

Silmän ns. takaa-ajo -liike (engl. smooth pursuit tai pursuit motion) on hitaampi kuin sakkadi. Sen tarkoitus on pitää liikkuva kohde silmän tarkan näön alueella. Se ei ole tahdonalainen ja vaatii toimiakseen liikkuvan objektin visuaalisessa kentässämme (Glenstrup & Engell-Nielsen 1995).

#### **4.2.4 Nystagmus**

Myös nystagmus-liike on liikkuvia kohteita varten. Sen toiminta alkaa, kun käännämme nopeasti päätämme vastakkaiseen suuntaan seuratessamme nopeasti liikkuvaa kohdetta. Tällainen liike on monelle junassa istuneelle ja ikkunasta ulos tuijottaneelle tuttu (Glenstrup & Engell-Nielsen 1995). Nopean liikkeen ja pään asennon vaihtumisen korjaa sakkadi liike (Duchowski 2007).

#### 4.2.5 Ajelehtiminen, mikrosakkadit

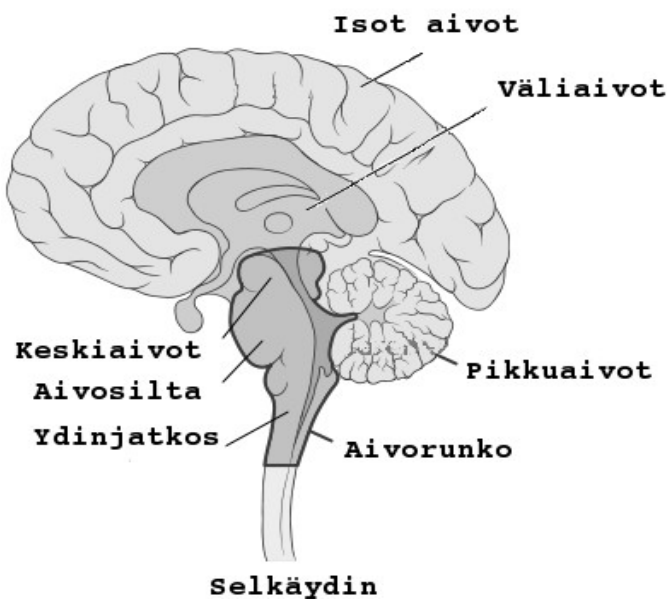
Fiksaatioiden aikana esiintyvä silmän hidas ajelehtiminen (engl. Drift) ja sitä seuraavat todella pienet sakkadit eli mikrosakkadit (engl. Microsaccades) todennäköisesti pyrkivät korjaamaan (vakauttamaan) silmän ajelehtimistä. Liike on tahaton (Glenstrup & Engell-Nielsen 1995). Näiden pienenliikkeiden on arveltu olevan silmien kontrollijärjestelmän melua (mahdollisesti liikkuvien kohteiden, engl. smooth pursuit), vaikka toisaalta jos fiksaatio pysäytetään keinotekoisesti, katoaa näkökyky n. sekunnissa ja näkymä katoaa (Duchowski 2007).



## 5 AIVOT JA VISUAALISET RADAT

Edellisen kappaleen jälkeen ymmärrämme nyt paremmin, kuinka silmä toimii. Tässä kappaleessa käsitellään aivojen näköjärjestelmää anatomian ja fysiologian näkökulmasta: tutustutaan ihmisen aivojärjestelmän visuaalisen havaintokyvyn perusrakenteeseen ja toimintaan. Ensimmäinen kappale käsittelee keskushermostoa, aivojen yleisrakennetta ja aivolohkoja. Toinen kappale käsittelee aivojen visuaalisia ratoja ja ns. virtauksia oleellisilta osin Duchowskin(2007), Eysenck & Keanen (2005) ja Zekin (1993) perusteella.

### 5.1 Keskushermosto



*Kuva 2: Keskushermosto (kuva on kahdesta lähteestä koostettu: Wikimedia Commons, Ilmoniemi 2001)*

Ihmisen keskushermoston pääosat voidaan jakaa neljään eri alueeseen. Seuraavassa alueet käsitellään Ilmoniemen (2001) mukaan. Ihmisen

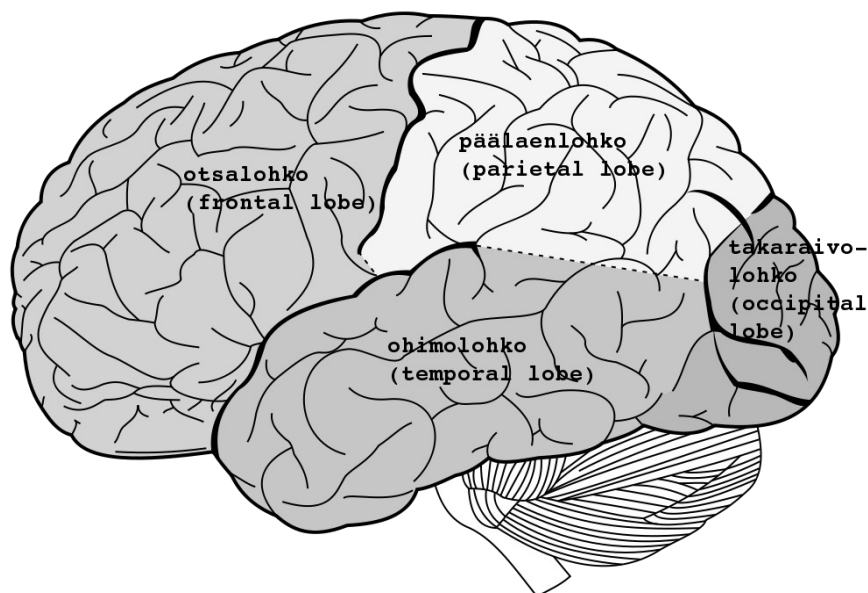
keskushermoston pääosiin kuuluvat isot aivot, pikkuaivot, aivorunko ja selkäydin, jotka käsittävät kokonaisuutena keskushermoston.

Aisti-informaatio saadaan perifeerisestä ääreishermostosta. Aivorunkoon kuuluvat alhaalta ylöspäin ydinjatkos, aivosilta, keskiaivot ja ylimmäisenä väliaivot. Väliaivoissa on mm. hormonitoimintaa ohjaava hypothalamus sekä talamus, josta aistien lähettämät viestit (ei hajusignaalit) välittyvät aivokuorelle solujen kautta.

## 5.2 Aivot

Anderson (2000) toteaa aivojen alempien osien olevan kehityksen kannalta alkukantaisempia ja ne säätelevät tahdosta riippumattomia toimintoja, kuten hengitystä, nielemistä, ruuansulatusta ja sydämenlyöntiä. Ylemmät osiot ovat kehittyneimpiä korkeamman asteen lajeilla. Ilmoniemi (2001) mainitsee, että pikkuaivot toteuttavat isojen aivojen alulle panemia käskyjä.

Isot aivot ovat kahdessa aivopuoliskossa (engl. Hemispheres) jotka koostuvat aivokuoresta (engl. cortex). Vasen aivopuolisko säätelee ruumiin oikean puolen toimintoja ja oikea aivopuolisko vasemman puolen toimintoja. Syyksi ristikkäiseen toimintojen ohjaukseen on tarjottu näköjärjestelmän dominointia hermoston yhteyksien kehittymisessä evoluution aikana. Silmän linssi muodostaa näkökentän oikean puolen kuvan vasemmalle puolelle verkkokalvoa sekä samoin vasemmalla puolella näkökenttää. Tällöin olisi luontevaa, että muut aistitoiminnot ovat omaksuneet saman jaottelun. (Ilmoniemi 2001)



*Kuva 3: Aivolohkot (kuva on kahdesta lähteestä koostettu: Wikimedia Commons, Ilmoniemi 2001)*

Vasen ja oikea aivopuolisko voidaan jakaa neljään aivolohkoon: otsalohko (frontal lobe), päälaenlohko (parietal lobe), takaraivolohko (occipital lobe) ja ohimolohko (temporal lobe). Lisäksi Brodman jakoi 1900-luvun alussa aivokuoren 52 eri alueeseen perustuen eri solutyyppeihin. Monella näistä alueista on todettu olevan toiminnallisia eroja. (Anderson 2000)

### 5.3 Visuaaliset radat

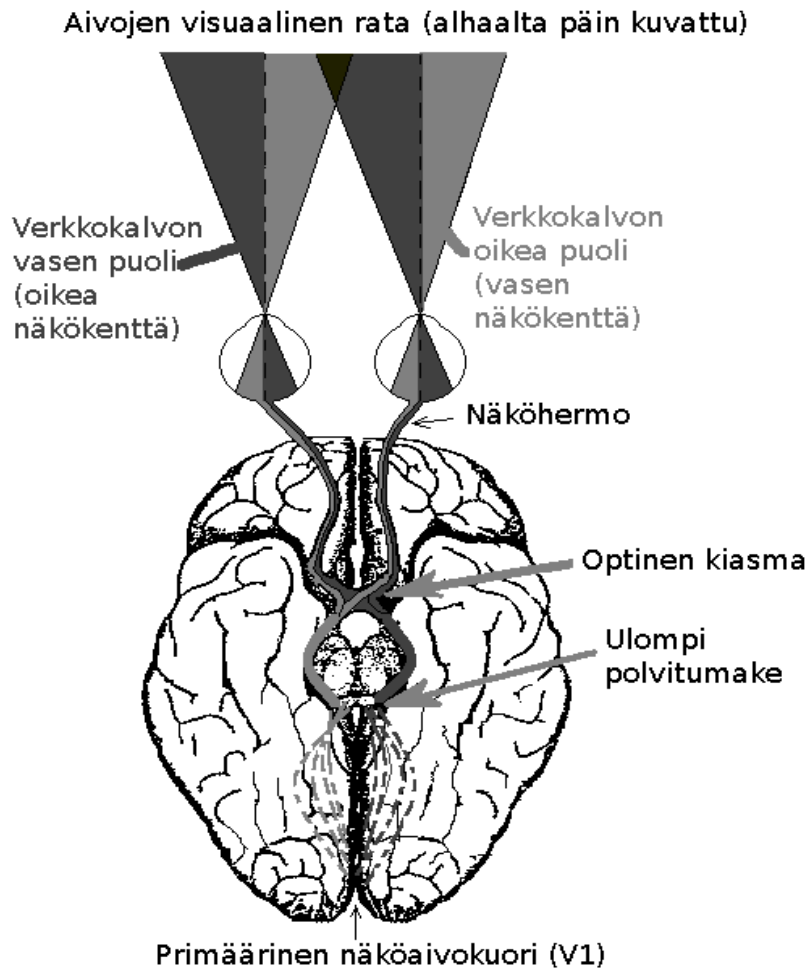
Ihmisen visuaalista järjestelmää ja sen toimintaa voidaan kuvata silmän retinan (verkkokalvo) ja aivojen alueiden välisillä yhteyksillä. Näitä yhteyksiä kutsutaan visuaalisiksi radoiksi (engl. visual pathways). Visuaalisia ratoja, jotka liittyvät useille aivoalueille ja joilla on samantyyppinen visuaalinen tehtävä, kutsutaan virtauksiksi (engl. streams). (Duchowski 2007)

Silmän retinalta gangliosolujen aksonit jatkavat näköhermoa (engl. optic nerve) pitkin optiseen kiasmaan (engl. optic chiasm) ja siitä näköjuostetta (engl. optic

tract) myöten ulompaan polvitumakkeeseen (engl. lateral geniculate nucleus, LGN) (Ilmoniemi 2001). Polvitumake (LGN) on osa väliaivojen talamusta. Optisessa kiasmassa silmien retinan ulompien puolikkaiden aksonit jatkavat samalle aivopuoliskolle. Retinan sisemmän puolen aksonit taas menevät ristiin ja jatkavat vastakkaiselle aivopuoliskolle (Eysenck & Keane 2005). Tällä tavoin näkökentän vasen ja oikea puolisko projisoituvat vastakkaiselle aivopuoliskolle (Ilmoniemi 2001).

Toinen tärkeä osa on kaksi suhteellisen itsenäistä rataa, jotka muodostavat parvosellulaariset (P-solut) ja magnosellulaariset (M-solut) solut. P-solujen rata havaitsee herkimmin värejä ja yksityiskohtia. M-solujen rata on herkempi liikkeelle. (Eysenck & Keane 2005)

Talamuksen polvitumakkeesta (LGN) näköinformaatio jatkaa takaraivolohkossa sijaitsevaan primääriseen näköaivokuoreen, joka tunnetaan myös nimellä V1 (Eysenck & Keane 2005). Sekä Duchowski (2007) että Eysenck & Keane (2005) huomauttavat että todellisuudessa ratojen välillä on ristikkäisyyttä ja todelliset rakenteet eivät ole kokonaan erottuneita toisistaan. Lisäksi on syytä huomata, että näköaivokuoren alueella on yli 30 visuaalista aluetta. Arviolta n. 25% aivokuoresta on omistettu näölle (Eysenck & Keane 2005).

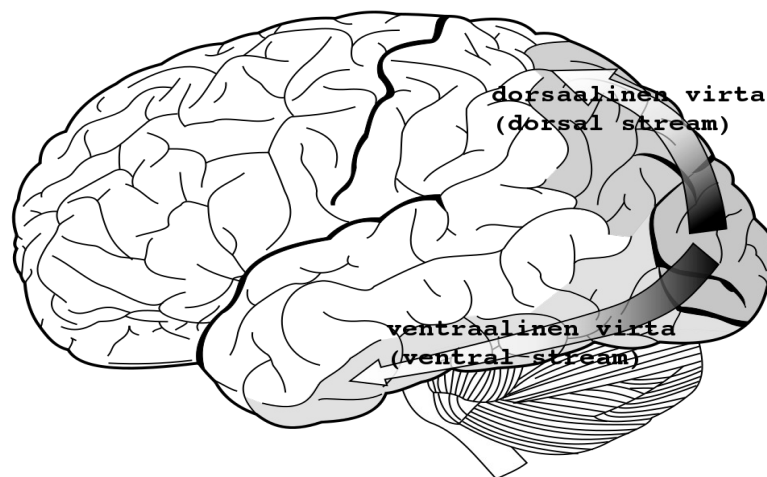


*Kuva 4: Aivojen visuaalinen rata alhaalta päin kuvattuna (kuva on kahdesta lähteestä koostettu: Wikimedia Commons, Kalat 2007)*

Kirjassa *A vision of the brain* Zeki (1993) listaa eri näköaivokuorien päätehtävät. Primäärinen ja sekundäärinen näköaivokuori (V1 ja V2) ovat tekemisissä keskenään visuaalisen havainnon alkuvaiheessa. Niiden kautta signaalit viedään seuraaviin vaiheisiin. Duchowski (2007) mainitsee mm. V2, V3 ja V4 näköaivokuorien prosessoivan muotoja, värejä ja liikettä. V5-alueen on havaittu toimivan erityisesti liikkeitä havaitsevana sekä MST-alueen liikkeen nopeutta ja suuntaa havaitsevana. Muita silmänliikkeisiin vaikuttavia alueita

ovat mm. Superior Colliculus (SC), joka osaltaan vaikuttaa silmänliikkeisiin ja kohteen valitsemiseen. Lateral Intra Parietal (LIP) alueella toiminta tapahtuu ennen sakkadillisia silmänliikkeitä. Posterior Parietal Complex (PPC) on osallinen fiksaatioihin. Viimeisenä tärkeänä alueena Duchowski mainitsee Palmeria (1999) mukailleen Pulvinarin, joka parantaa tai kytkee tarkkaavaisuutta. Pulvinar sijaitsee talamuksessa väliaivoissa kuten myös aikaisemmin mainittu polvitumake (LGN).

Yhteydet, jotka tehdään V1-alueesta yllä mainituille alueille, voidaan jakaa kahteen virtaukseen: dorsaaliseen (dorsal = selänpuoleinen) ja ventraaliseen (ventral = vatsanpuoleinen) (Ilmoniemi 2001). Dorsaalinen virtaus (dorsal stream) käsittää liike- ja sijaintiprosessointia (attentional where – tarkkaavaisuus missä) ja ventraalinen virtaus (ventral stream) kognitiivista prosessointia (attentional what – tarkkaavaisuus mitä) (Duchowski 2007). Kappaleessa kaksi ”Havaitseminen” kohdassa 2.1 ”Visuaalinen tarkkaavaisuus” käsitellyt objektin tunnistus (mikä, engl. what) ja sen sijainnin määrittely (missä, engl. where) näyttävät siis kulkevan aivoissa omilla radoillaan.



*Kuva 5: Ventraalinen ja dorsaalinen virtaus (kuva on kahdesta lähteestä koostettu : Wikimedia Commons, Ilmoniemi 2001)*

## 6 SILMÄNLIIKETUTKIMUS

Tutkielman edellisissä kappaleissa on esitelty ensin lyhyesti taustaa ihmisen havaitsemisesta ja visuaalisesta tarkkaavaisuudesta. Tarkemmin tarkasteltiin silmää ja silmänliikkeitä sekä aivoja ja aivojen näköratojen fysiologista toimintaa.

Tässä tutkielman kappaleessa esitellään lyhyesti silmänliiketutkimuksen taustat ja historiaa. Tämän jälkeen syvennyttään tarkemmin yhteen osaan silmänliiketutkimusta, katseenseurantaan, jonka tekniikoiden kehittymisestä ja historiasta silmänliiketutkimuksessa voi lukea jo tässä kappaleessa.

### 6.1 Historia

Silmänliiketutkimuksen varhaisimmat kaudet ulottuvat kauas tietokoneaikakauden taakse, näistä esimerkkinä Javalin tutkimukset vuodelta 1878. Tutkimusta tehtiin tarkkailemalla visuaalisesti silmänliikkeitä. Toisena vaihtoehtona oli suora fyysinen kosketus, jota voidaan nykymittapuulla pitää arveluttavana. Judd, McAllister ja Steel nauhoittivat vuonna 1905 alkeellisilla välineillä pienen hiukkasen liikettä silmässä. Dodge ja Cline tarkkailivat vuonna 1901 valon heijastumista sarveiskalvolta. (Jacob & Karn 2003)

Yleistyvät nauhoitus- ja elokuvatekniikat auttoivat kehitystä eteenpäin mentäessä kohti 1950-lukua (Lehtinen 2005). Kameroiden avulla voitiin tutkia tarkemmin mm. lukemista ja jopa seurata lentäjiä ja tutkia lentokoneen ohjaamon instrumenttien sijoittelua laskeutumisen aikana. Ensimmäinen päähän kiinnitettävä katseenseurantalaite kehitettiin vuonna 1948 (Jacob & Karn 2003).

Kohti tietokoneiden aikakautta siirryttäessä ilmailu toimi myös osaltaan eteenpäin viejänä. Sotilasilmailussa pyrittiin parantamaan datan käsittelyaikoja,

jotka jarruttivat kehitystä. Minuuteissa kerätyn datan käsittelyyn kun saattoi vierähtää useita päiviä. Vähitellen tietokoneiden tehot lisääntyivät ja 80-luvulle siirryttäessä päästiin jo reaaliaikaiseen datan tarkasteluun tarkasteltaessa ihmisen ja tietokoneen vuorovaikutusta. Kehitys silmänliikkeiden tutkimisessa on jatkunut 90-luvulta keskittyen Internetin myötä erityisesti käyttöliittymiin ja käytettävyyteen. (Jacob & Karn 2003)

Katseenseurantalaitteiden kehittyessä psykologiset teorit yhdistyivät silmänliiketutkimuksen kognitiivisiin prosesseihin. Tällöin myös psykologiset ja fysiologiset teorit keskittyivät enemmän silmän toimintaa ja ihmisen kognitiivisiin prosesseihin (Lehtinen 2005). Tämä muutos aika silmänliiketutkimuksessa aina 70-luvulta alkaen oli mielestäni osaltaan pois päin siirtymistä behaviorismista, joka äärimmillään sivuttaa ihmisen ajattelevana olentona.

Jacob & Karn esittivät (2003), että silmänliikkeiden seurantaan tarkoitettu teknologia on ollut lupaavaa jo monia vuosia, mutta sen hyödyntäminen ihmisen ja tietokoneen vuorovaikutuksessa on ollut hidasta. Lupaavia tutkimuksia on tehty, mutta laajempaa valloitusta tai asemaa markkinoilla ei ole saavutettu. Hyrskykari, Lehtinen, Majaranta, Ovaska ja Räihä (2008) toteavat puolivuosisikymmentä myöhemmin katseenseurannan saavuttaneen vihdoinkin asemansa ja vastanneen odotuksiin, ainakin käytettävyysslaboratorioissa.

Silmänliikkeitä seuraamalla voidaan nykyään selvittää esimerkiksi käyttöliittymien painikkeiden sijaintien vaikutusta katseen kiinnittymiseen (Goldberg & Kotval 1998). Käytettävyytutkimuksen lisäksi katseenseurantaa voidaan käyttää teollisuudessa ilmailun ja autoilun tutkimisessa (Duchowski 2007) sekä lääketieteessä silmien kuntoutuksessa (Wiik 2008). Seuraavassa osiossa käsitellään tarkemmin katseenseurannan nykytekniikoita.



## 6.2 Katseenseuranta

Katseenseuranta on osa silmänliiketutkimusta. Lehtinen (2005) toteaa sen olevan menetelmä, jolla voidaan kerätä tietoa käyttäjän silmänliikkeistä. Tässä tapauksessa käyttäjä on ihminen, joka kerää tietoa visuaalisesta ympäristöstään. Silmien liikkeiden mittaamiseen käytetään yleisimmin katseenseurantalaitetta (engl. eye tracker) (Duchowski 2007).



*Kuva 6: Katseenseurantalaitteistoa (Wikimedia Commons)*

Duchowski (2007) esittää, että jos voimme seurata jonkun silmänliikkeitä, voimme olettaa, että pystymme seuraamaan katsepolkuna (engl. gaze path) tarkkaavaisuuden kiinnittymistä. Tämä saattaa tuottaa meille tietoa siitä mitkä asiat nähtiin kiinnostavina, mikä kiinnitti tarkkaavaisuuden ja kuinka henkilö havaitsi näkymän, jota hän oli katsomassa.

Lehtinen (2005) toteaa, että ehkä kuitenkin tärkein katseenseurannasta saatava hyöty on se, että pystytään seuraamaan mihin ihmisen visuaalinen

tarkkaavaisuus (engl. attention) on kohdistunut. Katseenseurannan hyvistä puolista Merja Lehtinen (2005) listaa mm. sen tarjoavan määrällistä (kvantitatiivista) dataa ja mahdollisuuden analysoida esim. katsepolkua laadullisesti. Erilaisia algoritmeja käyttämällä voidaan saada erilaista, monipuolisempaa ja tarkempaa tietoa (dataa) silmänliikkeitä analysoitaessa (Špakov 2008).

Simola (2006) mainitsee katseenseurannassa käytettävistä analysointitekniikoista fiksaatioiden määrittämisen, jotka saadaan x- ja y-koordinaattien, ajan ja pupillin koon avulla algoritmia hyödyntämällä. Silmänliikkeiden signaaleja voidaan myös arvioida lineaarisilla suodattimilla (Duchowski 2007). Lineaarilla erotteluanalyysillä (engl. Linear Discriminant Analysis, LDA) pyritään löytämään uusia muuttujia yhdistelemällä alkuperäisiä arvoja (Simola 2006).

Piilo-Markov-mallin (engl. Hidden Markov Models, HMM) avulla voidaan päätellä käyttäjän tarkkaavaisuuden kohdentumista matalan tason silmänliikesignaaleista, jolloin kuvataan vain niiden syntymekanismia, joiden avulla päätellään piilotilat (Simola 2006).

### 6.3 Katseenseurannan tekniikat

Tutkielman viimeisessä kappaleessa käydään läpi katseenseurannassa käytettäviä tekniikoita. Duchowski (2007) viittaa Young & Sheenan (1975) tekemään jakoon silmänliikkeiden monitorointitekniikoista, joita on yleisesti kaksi:

- Tekniikat, jotka mittaavat silmän asentoa suhteessa päähän ja
- tekniikat, jotka mittaavat silmän suuntautumista avaruudellisessa tilassa, toisin sanoen silmän fiksaatiopistettä.

Duchowskin (2007) mukaan silmänliikkeiden mittaamisessa käytetään yleisesti neljää eri tekniikkaa:

- elektro-okulografiaa (engl. Electro-OculoGraphy, EOG),
- kovakalvolle sijoitettavaa piilolinssi/induktiokäämiä (engl. scleral contact lens/search coil),
- valokuva-okulografiaa (engl. Photo-OculoGraphy, POG) tai video-okulografiaa (engl. Video-OculoGraphy, VOG) ja
- videopohjaista pupillin ja sarveiskalvoheijasteen yhdistelmää (engl. video based combined pupil and corneal reflection).

Näistä viimeksi mainittu on yleisimmin käytössä oleva (Duchowski 2007) ja lisäksi on syytä huomauttaa, että kyseinen tekniikka yhdistelee menetelmiä valokuva-okulografia (POG) tai video-okulografia (VOG)-tekniikoista, joista seuraavissa kappaleissa lisää.

Glenstrup & Engell-Nielsen (1995) jakavat menetelmät kolmeen luokkaan sen mukaan, miten ne ovat kontaktissa kohteeseen (Lehtinen 2005: "fyysisen kosketuksen määrän mukaan"). Menetelmiä ovat valon heijastuminen silmästä (tyypillisesti infrapuna), sähköpotentiaalinen mittaaminen iholta ja silmään asetetun piilolinssin seuraaminen.

Seuraavassa tekniikoiden esittely Duchowskin (2007) mukaan järjestettynä. Jaottelu on lähes samanlainen, mutta tarjoaa lisänä uudempaa tietoa nykyisistä videoperusteisista menetelmistä.

### 6.3.1 Elektro-okulografia

Electro-okulografia mittaa sähköpotentiaalien eroja silmää ympäröivästä ihosta. Tekniikka mittaa silmän liikkeitä suhteessa päähän (Duchowski 2007). Silmän ihoa ympäröivä elektrostaattinen kenttä kiertää silmän mukaan (Glenstrup & Engell-Nielsen 1995). Mittaustilanteessa koehenkilölle laitetaan molempien silmien ympärille sekä otsan, nenän ja poskien alueelle 8-9 anturia (elektrodia), yleensä kaksi kappaletta per dimensio per silmä. Molempia silmiä voidaan tallentaa samaan aikaan (Špakov 2008).

EOG oli vielä 40 vuotta sitten eniten käytetty silmänliikkeitä mittaava tekniikka ja se on vielä tänäkin päivänä käytössä (Duchowski 2007). Etuna voidaan pitää, ettei EOG vaadi esteetöntä näkymää silmään, koska mittaus tapahtuu silmää ympäröivältä iholta (Lehtinen 2005). Huonona puolena on Glenstrup & Engell-Nielsen (1995) mukaan käyttäjälle mahdollisesti antureiden ihoon aiheuttaman kontaktin epämukavuus. Lisäksi fiksaatiopisteen mittaaminen ei onnistu, ellei pään asentoa mitata erikseen (Duchowski 2007).

### 6.3.2 Kovakalvolle sijoitettava piilolinssi / induktiokäämi

Koehenkilö käyttää piilolinsskejä, joiden käytössä koetilanteessa on olemassa kaksi erilaista tekniikkaa. Ensimmäisessä voidaan laskea silmän asento heijastamalla valoa linssiin. Toinen vaihtoehto on asentaa linssiin pieni induktiokäämi ja mitata silmän liikettä asentamalla pään ympärille elektromagneettinen kenttä (Glenstrup & Engell-Nielsen 1995).

Špakov (2008) esittää myös kolmannen vaihtoehdon, jossa yhdistetään linssi VOG-tekniikkaan (esim. infrapunavalon suuntaaminen, kts. seuraava otsikko), jolloin saadaan suurempi kirkkaus linssin ja pupillin välille. Kaikki edellä esitellyt vaihtoehdot eivät kuitenkaan mittaa silmän liikkeitä suhteessa päähän,

eivätkä näin ollen ole yleensä soveltuvia fiksaatiopisteen mittaamiseen (Duchowski 2007).

Piilolinsejä käyttävä tekniikka oli pääosin käytössä n. 30 vuotta sitten (Špakov 2008). Suurimpana etuna on, että tekniikka on tarkin käytössä olevista mittaamenetelmistä. Huonona puolena on sen aiheuttama suuri fyysinen kosketus silmään. Linssin asettaminen vaatii huolellisuutta ja harjoittelua sekä sen pitäminen aiheuttaa epämukavuutta (Duchowski 2007). Lisäksi käyttö laboratorion ulkopuolella on hankalaa ja Glenstrup & Engell-Nielsen (1995) epäilevätkin, että vaikka tekniikka saataisiin esimerkiksi normaaleihin piilolinseihin, eivät ihmiset haluaisi käyttää sitä televisionsa ohjaamiseen(!).

### **6.3.3 Valokuva-okulografia tai video-okulografia**

Duchowski (2007) toteaa molempien tekniikoiden listauksensa kokoavan yhteen monta erilaista tallennustekniikkaa. Yhteisenä tekijänä näille on havaittavissa olevia piirteitä silmien kierto tai kääntöliikkeiden aikana. Tällaisia ovat esimerkiksi pupillin näennäinen muoto, silmän värikalvon ja kovakalvon rajan asento ja sarveiskalvon heijastuminen lähelle sijoitetusta valosta (yleensä infrapuna).

Myöskään nämä tekniikat eivät yleensä tarjoa fiksaatiopisteen mittausta. Ainoana poikkeuksena on Duchowskin (2007) mukaan viimeksi mainitun sarveiskalvoheijasteen ja pupillin keskinäisen suhteen mittaaminen (corneal reflection and pupil). Sarveiskalvoheijaste tunnetaan myös nimellä Purkinje-heijaste (engl. Purkinje reflections tai Purkinje images), josta tarkemmin seuraavassa kappaleessa (6.1.4 Video-Based Combined Pupil/Corneal Reflection (Purkinje-heijaste)).

Glenstrup & Engell-Nielsen (1995) jakavat silmään valoa heijastavat tekniikat viiteen alakohtaan, jotka Lehtinen (2005) listaa seuraavasti. Tällöin silmän rakenteesta seurataan:

- Iiriksen ja kovakalvon rajaa (engl. limbus tracking),
- pupillia (engl. pupil tracking),
- sarveiskalvoheijasteen ja pupillin keskinäistä suhdetta (engl. corneal reflection and pupil),
- sarveiskalvoheijastetta ja hermoverkkoalgoritmien avulla käsiteltävää silmän kuvaa (engl. corneal reflection and eye image using ANN), tai
- Purkjine-heijastetta (engl. Purkjine images).

Špakov (2008) mainitsee mm. ANN-tekniikan (engl. Artificial neural network) ja limbus tracking:n tarvitsevan hyvät algoritmit, viimeksi mainitun erityisen edistyneen pystyäkseen tuottamaan tarvittavan tarkkaa vertikaalista seuranta. Hyvän algoritmin puuttuminen voi johtaa ongelmiin tarkastusvaiheessa, josta Duchowskikin puhuu seuraavassa.

Duchowski (2007) mukaan valoa heijastavien tekniikoiden huono puoli on, että ne joudutaan tallentamaan usein videonauhurille, jolloin tulokset joudutaan tarkastamaan visuaalisesti, joskus jopa kuva (engl. frame) kerrallaan. Tämä on todella väsyttävää ja altistaa virheille.

#### **6.3.4 Videopohjainen pupilli ja sarveiskalvoheijasteen yhdistelmä (Purkinje-heijaste)**

Videotekniikkaa käyttävät laitteet voivat olla joko pöytään tai päähän kiinnitettäviä. Parhaiten ne sopivat vuorovaikutusta vaativien järjestelmien

käyttöön. Etuna ovat suhteellisen halvat kamerat ja kuvan prosessointiin käytettävä laitteisto, jolla voidaan suorittaa reaaliaikaista mittaamista. Tekniikka on nykyään yleisin käytössä oleva. (Duchowski 2007)

Videotekniikka käyttää hyväkseen sarveiskalvoheijasteen, eli Purkinje-heijasteen (tyypillisesti infrapuna), suhdetta silmän pupillin keskiöön. Silmän rakenteesta johtuen muodostuu neljä Purkinje-heijastetta, joista videotekniikalla paikannetaan yleensä ensimmäinen. (Duchowski 2007)

Esimerkiksi koetilanteessa silmän liikkeessa fiksaatiopisteeseen, joka sijaitsee oikealla ylhäällä, voidaan ensimmäinen Purkinje-heijaste havaita vaaleana tai kirkkaana pisteenä vasemmalla alhaalla pupillin alalaidalla. Vastaavasti suoraan ylöspäin katsottaessa siirtyy heijaste pupillin alalaitaan sen keskiön suuntaisesti. Katsottaessa suoraan eteenpäin asettuu heijaste lähemmäksi pupillin alalaitaa ja yhä alaspäin katsottaessa se siirtyy lähes pupillin keskiöön.

Purkinje-heijasteen avulla voidaan erottaa silmän ja pään liike toisistaan, mikä mahdollistaa fiksaatiopisteen mittaamisen. Pupillin keskiön ja sarveiskalvoheijasteen sijainti muuttuu silmää liikuttaessamme, mutta pysyy suhteellisen samana vähäisissä pään liikkeissä. (Duchowski 2007)

## 7 YHTEENVETO

Kuten monella muullakin alalla, myös silmänliiketutkimuksessa on tietokoneiden kehitys selkeästi edistänyt katseenseurantamenetelmiä kahtena viime vuosikymmenenä. Videotekniikka, joka osittain yhdistää infrapunavalon heijastumista sarveiskalvolle, on saavuttanut yleisimmän käytetyn menetelmän aseman. Osaltaan videotekniikan suosioon on vaikuttanut varmasti myös sen helppo liikuteltavuus. Tutkijoilla on vihdoin mahdollisuus päästä laboratorioden ulkopuolelle kannettavien ja helposti liikuteltavien laitteiden kanssa.

Videotekniikan eduksi voidaan myös laskea sen vähäinen fyysinen kontakti koehenkilöön ja käyttömukavuus. Mittaustekniikat ovat myös verrattain luotettavia ja videolaitteiden kamerat yhä tarkempia, pienempiä ja helppokäyttöisempiä. Tällaisia teknisiä mahdollisuuksia Duchowski (2007) kuvaa mm. kahden Purkinje-heijasteen mittaamisesta yhtä aikaa.

Kritiikkiäkin löytyy. Lehtinen (2005) toteaa ongelmaksi laitteiden käytön hankaluuden ja kalleuden, vaikka videotekniikan hintaa ja käytettävyyttä suhteessa muihin tekniikoihin verrattiinkin paremmaksi (Duchowski 2007). Kenties kehityksen suunta ainakin on oikea. Laitteet ja ohjelmistot eivät kuitenkaan vielä ole jokaisen käden ulottuvilla, vaan harvojen tutkijoiden käytössä teollisuudessa tai yliopistoissa. Todelliset innovaatiot ja käyttötarkoitukset voitaisiin löytää jokapäiväisestä elämästä, mutta ainakin toistaiseksi odotamme.

Ohjelmistopuolella katseenseurantalaitteiden uusien algoritmien kehitys ja käyttöliittymien parantuminen edistävät reaaliaikaista mittaamista. Historiallisesta näkökulmasta on datan käsittelyaika näytellyt merkittävää osaa kehityksen edistäjänä tai jarruttajana. Mielenkiintoista olisi tietää, kuinka paljon



dataa nykyään voidaan saada koetilanteista ulos ja miten sen jatkokäsittely on parantunut tai huonontunut. Tutkijan iltapäivän kahvitunnit jäävät lyhyeksi, jos excel-taulukointi on ainoa tie onneen.

Yleisesti silmänliiketutkimuksen ja katseenseurannan käsittely luo ymmärrystä ihmisen tavoista havainnoida ympärillä olevia asioita sekä tulkita ja muokata uusia ja jo opittuja asioita. Vaikka edellä mainittu kuulostaa lainaukselta Neisseriltä, (1982) on se samalla myös katsaus ihmisen fysiologiseen rakenteeseen, jonka kautta ihmisen voi nähdä myös tietojenkäsittelyjärjestelmänä. Tästä hyvänä esimerkkinä on "mikä" ja "mitä" virtausten muodostuminen aivoissa.

On mielenkiintoista peilata katseen merkitystä aivoihin ja mieleemme, kuten Špakovia (2008) jo johdannossa lainattiin. Špakov jatkaa todeten, että ensimmäiset katseenseurantalaitteet palvelivat sosiologeja, psykologeja ja kognitiivista tiedettä "ikkunana ihmisen mieleen". Tämä avoin ikkuna ja ihminen tietojenkäsittelyn ihmeenä avaa monia uusia ovia mielenkiintoisina tutkimusaiheina ihmisen kognitiivisista prosesseista. Prosesseja, joista osan teemme tiedostamatta ja osan tiedostaen. Mitkä asiat kiinnittävät huomiomme, miten keräämme tietoa ja kuinka tehokasta se on.

Katseemme voi paljastaa tiedostamattomia asioita, mutta se myös kertoo, mikä meitä juuri tällä hetkellä kiinnostaa. Tämän takia tekstin kirjoittaja kiittää, että olet päässyt lukiessasi tähän asti.

## LÄHTEET

Anderson J. R., 2000: Cognitive Psychology and its Implications. New York, USA: Worth Publisher.

Duchowski A. T., 2007. Eye Tracking Methodology: Theory and Practice, 2nd edition. London, UK: Springer-Verlag.

Eysenck M. W. & Keane M. T., 2005: Cognitive Psychology a student´s handbook. New York, USA: Psychology Press.

Glenstrup, A.J. & Engell-Nielsen, T., 1995. Eye controlled media: Present and futurestate. Bsc. Thesis, Denmark: University of Copenhagen.

Goldberg J. H. & Kotval X. P., 1998. Computer interface evaluation using eye movements: methods and constructs. The Pennsylvania State University: Department of Industrial and Manufacturing Engineering.

Hyrskykari A., Ovaska S., Majaranta P., Räihä K.-J. & Lehtinen M., 2008. Gaze Path Stimulation in Retrospective Think Aloud. Journal of Eye Movement Research2(4):5, 1-18.

Hyvärinen L., 2001 (1981). Silmät ja näkeminen. [viitattu 20.05.2010] saatavilla www-muodossa <<http://www.lea-test.fi/su/silmat/index.html>>.

Ilmoniemi R., Aivojen rakenne ja toiminta: Aivojen pääosat, oppimateriaali. [viitattu 21.5.2010] Helsingin yliopisto, saatavilla www-osoitteessa <<http://www.biomag.hus.fi/braincourse/L1.html>>.

Ilmoniemi R., Aivojen rakenne ja toiminta: Näköaisti, oppimateriaali. [viitattu 21.5.2010] Helsingin yliopisto, saatavilla www-osoitteessa <<http://www.biomag.hus.fi/braincourse/L5.html>>.

- Jacob R.J.K. & Karn K.S., 2003. Eye tracking in human-computer interaction and usability research: Ready to deliver promises. In Hyönä J., Radach R. & Deubel H. (Eds.), *The Mind's Eye: Cognitive and Applied Aspects of Eye Movement Research*. Amsterdam: Elsevier Science, The Netherlands: North-Holland.
- Kalat J. W., 2007. *Biological Psychology*. Belmont, USA: Thomson Wadsworth.
- Lehtinen, M., 2005 *Katseenseuranta*. Ovaska, S., Aula, A. & Majaranta, P. (toim.) *Käytettävyytutkimuksen menetelmät*, 223-236. Tampereen yliopisto, Tietojenkäsittelytieteiden laitos B-2005-1.
- Neisser U., 1982. *Kognitio ja todellisuus*. Espoo, Finland: Weiling + Göös.
- Neisser U., 1967. *Cognitive Psychology*. New York, USA: Appleton-Century-Crofts.
- Palmer S., 1999. *Vision Science*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Roorda A., 2002. *Human Visual System - Image Formation*, *Encyclopedia of Imaging Science and Technology*.
- Sekuler R. & Blake R., 2002. *Perception* (4<sup>th</sup> Ed.). New York: McGraw-Hill.
- Simola J. 2006. Käyttäjän päämäärien ja kiinnostuksen tutkimus – Silmänliikkeiden mittaus, tulkinta ja sovellus. Julkaisussa *Psykologia* 2006 (1) [viitattu 20.6.2010]. Saatavilla [www-osoitteessa](http://www-osoitteessa) <<https://oa.doria.fi/handle/10024/34115>>.
- Sinkkonen I., Kuoppala H., Parkkinen J. & Vastamäki R., 2009. *Käytettävyyden psykologia*. Adage oy.

Špakov O., 2008 iComponent – Device-Independent Platform for Analysing Eye Movement Data and Developing Eye-Based Applications  
Väitöskirja Tietojenkäsittelytieteidenlaitos, Tampere.

Zeki S., 1993. A Vision of the Brain. Oxford, UK: Blackwell Scientific Publications.

Wiik T. 2008. Näkökentän tietokoneavusteinen kuntouttaminen. Prograduatutkielma, Jyväskylän yliopisto. Saatavilla [www-osoitteessa <https://jyx.jyu.fi/dspace/handle/123456789/19017>](https://jyx.jyu.fi/dspace/handle/123456789/19017).

Wikimedia Commons, "[File:Ihmisen silmä](#)", [viitattu 19.5.2010], saatavilla [www-osoitteessa <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ihmisen\\_silm%C3%A4.png>](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ihmisen_silm%C3%A4.png).

Wikimedia Commons, "[File:Brain sagittal section stem highlighted](#)", [viitattu 20.5.2010], saatavilla [www-osoitteessa <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brain\\_sagittal\\_section\\_stem\\_highlighted.svg>](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brain_sagittal_section_stem_highlighted.svg).

Wikimedia Commons, "[File:Lobes of the brain NL](#)", [viitattu 20.5.2010], saatavilla [www-osoitteessa <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lobes\\_of\\_the\\_brain\\_NL.svg>](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lobes_of_the_brain_NL.svg).

Wikimedia Commons, "[File:Ventral-dorsal streams](#)", [viitattu 21.5.2010], saatavilla [www-osoitteessa <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ventral-dorsal\\_streams.svg>](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ventral-dorsal_streams.svg).

Wikimedia Commons, "[File:Constudeyepath](#)", [viitattu 21.5.2010], saatavilla [www-osoitteessa <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Constudeyepath.gif>](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Constudeyepath.gif).

Wikimedia Commons, "[File:EyeTrackingDevice](#)", [viitattu 22.6.2010], saatavilla  
www-osoitteessa <[http://commons.wikimedia.org/wiki/  
File:EyeTrackingDevice.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:EyeTrackingDevice.jpg)>.