

Eye-tracking: Et historisk innblikk og hva som måles

Pedram Sadeghi^{1,2} og Erik Arntzen¹

¹OsloMet – storbyuniversitetet og ²VID vitenskapelige høyskole

Historisk sett har forskning på det okulære systemet vært av stor interesse. Teknologiske nyvinninger har gitt muligheter for å kunne forstå det okulære systemet bedre, noe som har resultert i spesifikke enheter for øyemålinger, mindre inngripende instrumenter, og bruksområder basert på teknologien. Kunnskap om stimuluskontroll og variabler som kan påvirke og etablere stimuluskontroll, er særst viktig innenfor atferdsanalyse. Observeringsresponsen står sentralt i vurderingen av spørsmål knyttet til stimuluskontroll. Øyebevegelser kan være en måte å måle observeringsresponsen på, og utgjør en av de vanligste måtene å tilegne seg informasjon om omgivelsene. Dette kan skje for eksempel ved å rette blikket mot en stimulus før utførelsen av neste handling. For å registrere hvor en person ser kan man bruke eye-tracking som et verktøy. Det å måle hvor folk ser ved bruk av eye-tracking anvendes innen mange fagfelt, og kan være fruktbart i analysen av relasjoner mellom miljø og atferd. I denne artikkelen beskriver vi historiske hovedtrekk i utviklingen av eye-tracking, samt redegjør for de sentrale målingene ved bruken av eye-tracking.

Nøkkelord: stimuluskontroll, observeringsresponsens, øyebevegelser, eye-tracking, komplekse menneskelig atferd

Eye-tracking: A Historical Account and Eye Measurements

Historically, research on the ocular system has been of great interest. Technological innovations have provided opportunities to better understand the ocular system, which has resulted in specific measuring units of eye movements, less intrusive instruments, and applications based on the technology. Knowledge of stimulus control and variables that can influence and establish stimulus control are particularly important in behavioral analysis. Observing responses are central to the assessment of questions related to stimulus control. Eye movements can be a way of measuring observing responses and are one of the most common ways of acquiring information about the environment. This can be done, for example, by looking at a stimulus before responding. To register where a person sees, one can use eye-tracking as a tool. Measuring where people see using eye-tracking is used in many disciplines and can be fruitful in the analysis of relationships between the environment and behavior. In this article, we describe the main historical features in the development of eye-tracking, as well as explain the key measuring units within eye-tracking.

Key words: Stimulus control, observing response, eye movements, eye-tracking, complex human behavior

For å kunne gjennomføre situasjonsavhengig passende eller adekvat responser i det daglige liv, spiller stimuluskontroll en avgjø-

rende rolle. Responser skjer ikke i et vakuum og en foranledning er en forutsetning for at responsen skal kunne avgis. Dette kan skje

Forfatterne erklærer at det er ingen interessekonflikter. Artikkelen er basert på førsteforfatter sin masteroppgave ved Masterprogram for Læring i Komplekse Systemer (nå Masterprogram i atferdsvitenskap), HiOA (nå OsloMet).

All korrespondanse i forbindelse med manuskriptet adresseres til Pedram Sadeghi, Pedram.sadeghi@vid.no

uavhengig av egen kjennskap eller rapportering om spesifikke stimuli som gir anledning til å kunne utføre atferd. Et eksempel på dette kan være når man kan gjengi å ha kjørt forbi en café uten at man faktisk har sett direkte på caféen, og deretter handler i tråd med kjennskap til denne informasjonen. Det er når aspekter ved atferden endres betinget på tilstedeværelse eller fravær av en forutgående stimulus at en kan bekrefte at atferden er under stimuluskontroll (Cooper et al., 2020). Eksempelvis vil stimuluskontroll spille en større rolle i situasjoner som innebærer verbal atferd, eller atferd som foregår over lengre tidsrom.

En observeringsrespons er en respons som blir opprettholdt ved at den gjør andre stimuli tilgjengelig, som igjen tillater videre interaksjon som gir mulighet for tilgang på forsterkere (Wyckoff, 1952, 1959). Et eksempel som kan illustrere dette er en e-postkorrespondanse. Etter å ha skrevet en tekst, vil en person søke med blikket etter et navn i en navneliste, for å finne navnet på rett person. Hvis det å bevege blikket over navnet var forsterkende, ville personen fortsette med atferden frem til noe annet utkonkurrerte denne handlingen. Det som oftere er tilfellet er heller at personen finner navnet som sammenfaller med verbal atferd, som nå produserer informasjon (stimuli) i form av korrekt navn. Personen trykker på dette navnet for å tilføye adressen til adressefeltet, for å så kunne trykke send. Det å trykke på kontaktnavnet vil være observeringsresponsen, og trykke send vil være responsen som leder til lyd og visuell tilbakemelding om at eposten er sendt og er dermed forsterkende.

Et annet eksempel er en treningssituasjon som i en matching-to-sample trening eller i etablering av betingede diskriminasjoner hvor det å se på de forskjellige stimuli som er tilgjengelig ikke er direkte forsterkende i seg selv da det å rette blikket mot en stimulus ikke resulterer i en forsterker. Konkret vil det å se på sammenlikningsstimuli gi tilgang til informasjon (dvs. at en av disse matcher en

bestemt utvalgsstimulus) og som gir anledning for at personen kan responderer til en av stimuliene.

Observeringsrespons er en forutsetning for å kunne fremvise nøyaktig visuell stimuluskontroll (Dinsmoor, 1985; Dube et al., 2010; Dube et al., 1999; Dube et al., 2003; Dube et al., 2006). Ved å ta utgangspunkt i matching-to-sample eksemplet ovenfor, blir det tydelig at personen må komme i kontakt med de nødvendige stimuli eller stimulusaspektene som er nødvendige for å respondere korrekt. Hvis personen kun ser på én sammenlikningsstimulus av tre sammenlikningsstimuli, vil dette begrense sannsynligheten for riktig respondering, da det ikke er sikkert at personen ser den korrekte sammenlikningsstimuli.

Med hensyn til stimuluskontroll er det naturlig å anta at en betydelig proporsjon av sannesintrykket hos organismer med okulære system vil bli oppfattet gjennom det visuelle sanseapparatet. Relativ til andre sansemodaliteter er synet det mest effektive måten å tilegne seg store mengder av informasjon om omgivelsene på.

Palmer (2010) beskriver hvordan kompleks menneskelig atferd som strekker seg over tid, samt atferd som er av mikroskopiske størrelser, fortsatt er utforsket på grunn av at analyser har blitt forhindret på grunn av utfordringer med måling og kontroll. Ett av Palmers forslag for å forstå mikroskopiske atferdsenheter er å undersøke øyebevegelser. Ved å utnytte teknologi som eye-tracking kan man få innsikt i stimulusforhold, som kan være med på å avdekke miljø-atferds relasjoner som ellers ikke har vært framtreddende i analyser av stimuluskontroll. Den brede anvendelsen av instrumenter eller verktøy som eye-tracking kan også bidra til å utvide læringsteknologi på lang sikt. Det er nettopp kunnskap om stimuluskontroll og effekter av forskjellige kontingenser, herunder observeringsrespons, som vil muliggjøre målrettede design av effektive læringssituasjoner. Dermed er det en naturlig sammenheng mellom stimuluskontroll

og observeringsrespons, og majoriteten av øyebevegelser vil bli ansett som observeringsrespons. Vi ønsker i denne artikkelen å beskrive de historiske hovedtrekkene i utviklingen av eye-tracking apparatusen. Videre vil noe av de sentrale målingene ved bruk av eye-tracking bli redegjort for.

Eye-tracking

Hva er eye-tracking?

Eye-tracking er prosedyren av å bruke høyteknologiske utstyr til å måle øyebevegelser for å identifisere *hvor* en person ser, dvs., personens absolutte blick i det visuelle landskap, og *hvordan* en person ser (Bojko, 2013; Majaranta & Bulling, 2014). Hayhoe (2004) skriver blant annet at eye-tracking gir muligheter for måling av fikseringsstedet, varighet, første forekomst, og nøyaktighet. Dette vil ofte tillate sterkere slutninger enn andre målinger, som for eksempel prosentvis korrekt eller reaksjonstid.

Bruksområder

Eye-tracking er mye brukt innen områder som nevrovitenskap, kognitiv psykologi, psykolingvistik, psykiatri, ergonomi, reklame, design, medisinsk diagnostisk, interaksjon mellom mennesker og datamaskiner; føreratferd, sport, e-sport, brukervennlighet og brukergrensesnitt (Bojko, 2013; Holmqvist et al., 2011; Majaranta & Bulling, 2014; Rayner, 1998; Richardson & Spivey, 2004b).

Mer spesifikt har eye-tracking blitt benyttet i forskning på områder som leseferdigheter (Kang, 2014; Špakov et al., 2017), psykisk helse som depresjon og selvmord (Akram et al., 2021; Tsypes et al., 2017; Vazquez et al., 2016), brukervennlighet med tanke på merking av medisiner (Bojko et al., 2006), spedbarnsforskning (Hayhoe, 2004), markedsføring (Białowas & Szyszka, 2019), stimulusoverselektivitet (Dube et al., 1999; Dube et al., 2006), emergens av stimuluskivalens (Hansen & Arntzen, 2021; Sadeghi & Arntzen, 2018; Steingrimsdottir

& Arntzen, 2016), og diskriminasjonslæring og øyebevegelser (Huziwaru et al., 2016; Huziwaru et al., 2015; Pessôa et al., 2009).

Utviklingen av eye-tracking — et historisk overblikk

Forståelsen av det okulære systemet har vært av stor betydning. Charles Darwin (1859/2006) refererte til øynene som det mest perfekte organet, med tanke på ekstrem perfektjon og komplikasjon. Anatomiske studier av det okulære systemet kan dateres tilbake til medisinsk forskning av Claudius Galen (ca. 130–200) og resultatene av disse studiene forble pålitelig gjennom 1000 år og da oversatt til arabisk av Hunain ibn Is-hâq (ca. 807–877). Derimot kan studier av øyebevegelser spores så langt tilbake som til Aristoteles (ca. 384–322 f.Kr). Aristoteles, var opptatt av binokulære øyebevegelser, og var overbevist om at øynene fungerte som en enhet. Han skilte mellom konvergens og sammenfallende øyebevegelser. Konvergens er navnet øyebevegelser som forekommer i overgangen fra å fikserer på et objekt til et annet objekt som er nærmere. Dette resulterer i at øynene beveger seg mot hverandre. Sammenfallende øyebevegelser, forekommer når øynene beveger seg i samme retning. Antakelsene til Aristoteles var basert på observasjoner, og ikke basert på konkrete eksperimenter han hadde utført. Senere var Ibn al-Haytham (Alhazen) (ca. 965–1039) også interessert i binokulære øyebevegelser. Han var en av de første som innså at øyebevegelser kunne undersøkes ved observasjoner framfor å stole på introspeksjon. Likevel, skulle mange århundrer passere før dette ble aktualisert, og fremskrittene ble drevet av teori snarere enn observasjoner (Wade, 2010).

William Charles Wells (1757–1817), som var interessert i å se om sammenlagte øyebevegelser var lært eller medfødt, introduserte i 1792 etterbilder (se fotogener som vist i Figur 1) for å vurdere om øyebevegelsene var frivillige eller ufrivillige. Selv om andre har antydnet noe annet, er det sterke indikasjoner på at Wells faktisk var den første til å



Figur 1. Illustrasjon av et etterbilde. Ved å først fikserere blikket på prikken som er i ansiktet til Robert Waring Darwin (1766–1848), vil fiksering på prikken til høyre produsere et etterbilde. Bilde hentet fra <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3563053/figure/F20/> ©Wade, N. J., 2010, Creative Commons License.

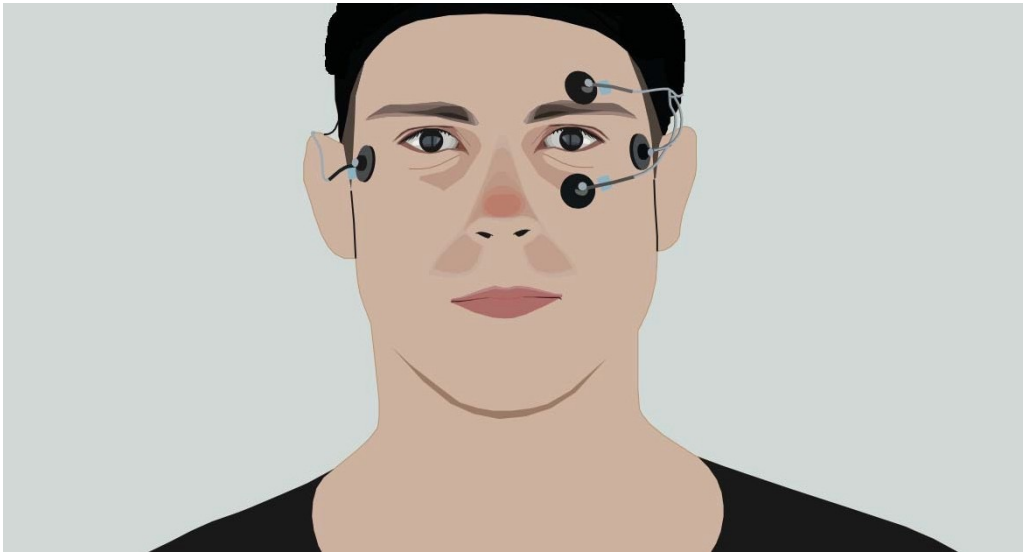
gjennomføre systematiske studier på øyebegivelser (Wade, 2010; Wade & Tatler, 2005).

På grunn av tekniske begrensninger hadde forskningen på slutten av 1800-tallet en tendens til å fokusere mer på orienteringen av øynene, i motsetning til å fokusere på øyebegivelser i seg selv. Til tross for tekniske begrensninger ble det formulert en rekke lovmessigheter i løpet av denne perioden, for eksempel Herings lov, Donders lov, og Listings lov (Wade, 2010). I Herings (1977) lov beskrives det hvordan musklene i øynene alltid er like innvert, ved at de mottar like nevrale signaler, og dermed opererer som ett organ. Følgelig beveger øyene seg simultant etter å ha mottatt en impuls heller enn at øyene beveger seg enkeltvis. Mens Donders lov handler om fysiologisk lovmessigheter, er Listings lov den mest økonomiske forklaringen på disse lovmessighetene (Ewart et al., 2016; Hess & Thomassen, 2014)

I forbindelse med det som var framtrepende av psykologi og visuell persepsjon på

begynnelsen av 1900-tallet, var den behavioristiske revolusjonen vellykket ved å fokusere på offentlige hendelser. Derimot hadde det tidlige stimulus-respons paradigmat begrensninger når det gjaldt tilgjengeligheten av å studere visuell persepsjon. Som følge av at behavioristene fokuserte utelukkende på øyebegivelser, ble studiet av visuell persepsjon forsømt og dermed overlatt til gestaltpsykologien (Wade & Tatler, 2005).

Når man vurderer utviklingen av eye-tracking har det vært flere tilfeller der teknologiske fremskritt og gjennombrudd har hatt revolusjonerende innflytelse. Øyebegivelsesdata ble opprinnelig anskaffet gjennom introspeksjon eller av forskerens subjektive observasjon av deltakernes øyne når det ble brukt instrumenter som etterbilder, speil, teleskoper og kikkkhull. For å motvirke sårbarhetene ved disse subjektive hendelsene var det en nødvendighet med objektive målinger (Richardson & Spivey, 2004b; Wade & Tatler, 2005). Slike objek-



Figur 2. Illustrasjon av en hode eye-tracker (elektrookulografi). Bilde med tillatelse av Bjørving, M., 2015, gjengivelse av originalbilde hentet fra <http://www.wired.co.uk/magazine/archive/2011/12/play/the-eyes-have-it/viewgallery/272206>. ©Black Box, 2011.

tive målinger av øyebevegelser ble utviklet gjennom bruken av eye-tracking.

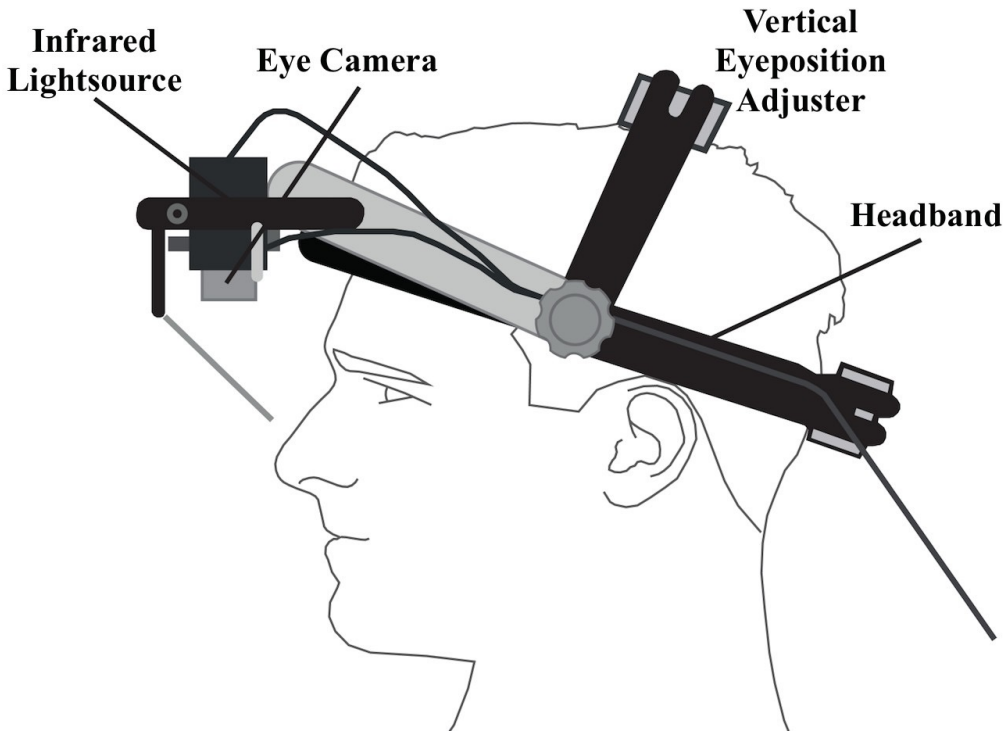
Eye-trackere

En eye-tracker er en apparatur som brukes til å måle øyebevegelser. Et av de viktigste vendepunktene kom da Dodge og Cline (1901), oppfant den første ikke-inngripende eye-tracker "Dodge Photochronograph", som inspirerte videreutviklingen av andre eye-trackere (Wade & Tatler, 2005). Duchowski (2007) henviser til fire overordnede kategorier av metoder for måling av øyebevegelser som: elektrookulografi, skleral kontaktlinser/søkespole, fotokulografi eller videokulografi og videobasert kombinert pupille/hornhinne-refleksjon.

Elektrookulografi er avhengig av måling av forskjeller i hudens elektriske (hornhinne) potensiale, i form av likestrøms signaler ved å plassere elektroder rundt det okulære hulrommet. Disse ble mye brukt på 1970-tallet (Duchowski, 2007; Young & Sheena, 1975). (se Figur 2). Med mindre elektrookulografi brukes i kombinasjon med en eye-tracker som kan festes på hodet, er det ikke egnet for å måle referansepunkt (Duchowski, 2007).

Sklerakontaktlinser/søkespolemetoder er basert på å koble et mekanisk eller optisk referanseobjekt til kontaktlinser som er direkte plassert på øyet. Den mest grunnleggende metoden er å måle en trådspole, som beveger seg gjennom et magnetfelt. For å unngå glidning må linsen dekke hele hornhinnen og sklera (Young & Sheena, 1975). Selv om dette er en av de mest presise metodene for å måle øyebevegelser, kan det være veldig inngripende for deltakeren, og krevende å implementere med hensyn til at linsen må plasseres direkte på øyet. For eksempel Huey (1898) som forsket på lesing måtte faktisk bedøve øyet med kokain. Begge de ovennevnte metodene er vanligvis ikke egnet for måling av referansepunkt.

Fotokulografi eller videokulografimetoder refererer til en rekke forskjellige eye-trackere, som vanligvis ikke måler referansepunkt (se Figur 3). De involverer måling av identifiserbare trekk i øyet under rotasjon/overføring for eksempel formen på pupillen, plassering av limbus eller hornhinneranden og hornhinne-refleksjon med en nærliggende lyskilde som ofte er infrarød. Målingene som gjøres ved bruk av disse eye-trackere er ved auto-



Figur 3. Illustrasjon av en hode eye-tracker (fotokulografi/videokulografimetoder) basert på infrarød teknologi. Bilde med tillatelse av Bjørving, M., 2015, gjengivelse av originalbilde hentet fra http://www.wikid.eu/images/d/d8/Eye_tracking_features.gif.

matisk registrering eller via visuell inspeksjon av videoopptak.

Eye-trackere som er videobasert har kombinert pupille og hornhinnerefleksjon og bruker kameraer og bildebehandlingsmaskinvare for å få referansepunkt i sanntid. For øyeblikket er de mest brukte eye-trackere de som er basert på måling av hornhinnerefleksjon i forhold til pupillesenteret (Duchowski, 2007). Det er slike eye-trackere som har blitt brukt i forskning på stimulusoverselektivitet (Dube et al., 1999; Dube et al., 2006), stimulusekvivalens (Hansen & Arntzen, 2021; Sadeghi & Arntzen, 2018; Steingrimsdottir & Arntzen, 2016), og diskriminasjonslæring (Huziwarra et al., 2016; Huziwarra et al., 2015; Pessôa et al., 2009).

Det er hovedsakelig to typer eye-trackere, de som måler øyets plassering i forhold til hodet, og de som måler øyets orientering i rommet, eller referansepunkt (*point of regard*)

(Young & Sheena, 1975). For å oppnå referansepunktmåling, må hodet være stasjonært eller ved at flere egenskaper i øynene måles. Dette for å skille mellom hodebevegelser og øyebevegelser, for eksempel, senteret av pupillen og refleksjon av hornhinnen (Duchowski, 2007).

Ulike målinger av øyebevegelser

Parallelt med utviklingen av den første ikke-inngripende eye-trackeren var ett av de mest kritiske gjennombruddene innen oppdagelsen av typen øyebevegelser som betegnes som sakkader. Det var en gjennomgående antakelse om at øyebevegelser var raske, jevne og kontinuerlige. Siden forskerne på den tiden ikke hadde tilgang til de nøyaktige målingene vi har i dag, med tanke på tekniske begrensninger, dreide de eksperimentelle studiene seg mer om øyets orientering framfor på øyebevegelser (Wade,

2010; Wade & Tatler, 2005). Det var Louis-Émile Javal (1839–1909) som introduserte begrepet sakkader. Hans anerkjennelse av sakkadiske øyebevegelser og nødvendigheten av objektive målinger var derimot basert på hans intuisjoner og subjektive inntrykk av øyebevegelser. Javal var interessert i synet i forbindelse med lesing og gjorde mange forsøk på å måle sakkader. Dette blant annet ved bruk av etterbilde og ved å måle lysets avbøyninger fra et speil festet til øyet, uten at disse forsøkene førte fram (Wade & Tatler, 2005). I 1879 var M. Lamare, student av Javal, den første som observerte og registrerte sakkader under lesing, men det var først 13 år senere at han beskrev eksperimentet sitt. Lamare brukte flere metoder for å måle diskontinuiteten i øyebevegelser (Wade, 2007).

En av disse metodene var beregning av antall ord han kunne lese dividert med det estimerte antallet pauser som ble tatt. En annen metode var å telle antall forskjellige øyebevegelser mens han så langs en linje (Wade & Tatler, 2005). Videre målte både Lamare og Karl Ewald Konstanin Hering (1834–1918) ved å bruk to gummirør som fungerte som et miniatyrstetoskop. Disse ble plassert på øyelokkene før de hørte på lydene fra de okulære musklene. Hering rapporterte om klappeliknende lyder da deltakerne leste, men lydene opphørte da deltakerne ble instruert om å fikserer på stasjonære stimuli. Han konkluderte med at lydene var av kontraherende okulomotoriske muskler som fulgte med øyebevegelsene. Med bruk av et etterbilde studerte Hering sammenhengen mellom klappelydene og bevegelsene, og dermed ble funnene bevisgrunnlaget for konklusjonen (Wade, 2007). Hering beskrev diskontinuiteten i øyebevegelser og identifiserte en klasse av roterende øyebevegelser som vi nå omtaler som sakkadisk. På grunn av Hueys mindre korrekte formuleringer i boken *The psychology and pedagogy of reading* (utgitt i 1908), ble Javal kreditert for oppdagelsen og målingene av sakkader. Javal, hadde bare henvist til M. Lamares upubliserte

verk i en fotnote, men det var altså Lamare og Hering, som var de første som målte sakkader, og dette med veldig like metoder (Wade, 2007, 2009; Wade, 2010; Wade & Tatler, 2005).

For Dodge (1907) var forholdet mellom øyebevegelser og fiksering sammensatt. Han mente at de uregelmessige øyebevegelsene som ble sett på som tilfeldige variasjoner av fiksering, faktisk var en del av forutsetningen som rettferdiggjorde påstanden om at absolutt fiksering ikke eksisterte innenfor normalt syn. Senere beskrev han hvordan de vanligste øyebevegelsene var sammensatt av vekslinger mellom serier med rytmiske rykk og perioder med fiksering.

Etter hvert som det skjedde teknologiske framskritt, ble det oppdaget flere typer av øyebevegelser. Det er forskjellige typer øyebevegelser og noen av de vanligste er fikseringer; sakkader; glissader, jevne forfølgelse av øyebevegelser, intra-fiksjonelle øyebevegelser som mikrosakkader, skjelvninger; *drifts*, og *scanpaths*.

Fikseringer

Ved målinger av fiksering, gjøres dette når øyet «står ganske stille», men merk at øynene aldri står helt stille. Dodge (1907) bemerket riktig at begrepet 'fiksering' ofte brukes for å dekke hele prosessen med visuell justering, inkludert de forutgående øyebevegelsene. Generelt ser det imidlertid ut til at fiksering betyr at referansepunktet forblir relativt uendret innenfor synsfeltet. Holmqvist et al. (2011) skiller mellom den okulomotoriske definisjonen som Dodge (1907) snakker om og prosesseringsdefinisjonen som inkluderer visuelt input som et tilleggskriterium for fikseringer. Siden fikseringsvarighet beregnes ved hjelp av forskjellige fiksasjonsdeteksjonsalgoritmer (for eksempel *Dispersion-Threshold Identification*) som ikke tar i betraktning visuelt input og har forskjellige definisjoner av fikseringer, er fikseringsvarighet utelukkende definert av hendelsesdeteksjonsalgoritmer (dvs. hendelser–øyebevegelser–som blir avdekket av matematiske algoritmer og deres egenskaper). En fiksering har vanligvis

en varighet på 200–300 ms, men siden en fiksering allikevel kan ha en varighet på ned til 100 ms, er minimum varighetsterskelen for spredningsbaserte identifikasjonsalgoritmer satt til 100–200 ms (Salvucci & Goldberg, 2000). Funksjonen til fikseringer er å bringe stabilitet i øyet slik at stimulansen bringes til området av netthinnen kalt fovea (Wade & Tatler, 2005). Fikseringsvarighet, også kalt fikseringstid, holdetid, eller hvor lenge fikseringen holdes, er sannsynligvis den mest brukte målingen innen eye-tracking forskning (Holmqvist et al., 2011). Fikseringsvarighet og fikseringsrate har vært målenhetene som har vært i hovedfokus i forskning på stimulusoverselektivitet (Dube et al., 1999; Dube et al., 2006), stimulusekivalens (Hansen & Arntzen, 2021; Sadeghi & Arntzen, 2018; Steingrimsdottir & Arntzen, 2016), diskriminasjonslæring (Huziwaru et al., 2016; Huziwaru et al., 2015; Pessôa et al., 2009) leseferdigheter (Kang, 2014; Špakov et al., 2017), psykisk helse (Akram et al., 2021; Tsypes et al., 2017; Vazquez et al., 2016), og brukervennlighet (Bojko et al., 2006).

Sakkader

Sakkader er en del av fylogenetisk utvikling ved at evolusjonen har selektert atferden/responsen av å observere deler av den visuelle verden i rask rekkefølge snarere enn det tungvinne alternativet av å vie ressurser til å behandle enorme mengder med visuell data i detalj på en gang (Richardson & Spivey, 2004b). Fortsatt er det bare under fikseringer at visuell informasjon blir oppfattet, mens en øyebevegelse gir øynene tilgang til å fikse på flere områder i den visuelle scenen.

Generelt sett kan sakkader defineres som en periode når øyet flytter seg raskt. Sakkadene har en varighet på 30–80 ms, amplitude på 4–20 ° og med hastigheten 30–500 ° / s (Holmqvist et al., 2011). Richardson og Spivey (2004a) definerer sakkader som store ballistiske skanningbevegelser, som innebærer at når de først er igangsatt kan fart og mål ikke endres. Bevegelsene oppstår 3–4 ganger per sekund. Det er frivillige øyebevegelser som har den funksjonen å bringe foveaen

til målet for fiksering. Sakkadene er kjenne-tegnet ved start med en innledende akselerasjon, som er veldig høy, og en deselerasjon på slutten (Young & Sheena, 1975). Sakkader er de raskeste bevegelsene en ekstern del av kroppen kan produsere. Under en sakkadisk øyebevegelse undertrykkes synet til et følsomhetsnivå tilsvarende blindhet (Bojko, 2013; Holmqvist et al., 2011).

Glissader

I henhold til Holmqvist et al. (2011) er glissader en post-sakkadisk øyebevegelse, der øyet “vingler” litt før det stopper opp. En stor mengde av alle sakkadiske øyebevegelser, det vil si mellom 20–40%, avslutter med en glissade, men nesten ingen sakkade begynner med en glissade. Glissadens varighet er på 10–40 ms, amplitude på 0,5–2 ° og med hastigheten 20–140 ° / s. Til nå har forskjellige hendelsesdeteksjonsalgoritmer vurdert glissader usystematisk og annerledes. Dette vet at øyebevegelsene noen ganger vurderes som fikseringer og andre ganger som sakkader, enkelte ganger forekommer dette innenfor den samme algoritmen. Tatt i betraktning at flere algoritmer er i stand til å oppdage og vurdere glissader, vil det absolutt være mer forskning som fokuserer på glissader i fremtidig forskning. Videre så poengterer Holmqvist et al. (2011) at glissader følger den samme hovedsekvensen som sakkader.

Jevn forfølgelse av øyebevegelser (Smooth pursuit)

De jevne forfølgelsene av øyebevegelser er tregere øyebevegelser som oppstår når øynene visuelt følger en bevegelig stimulus (Duchowski, 2007; Holmqvist et al., 2011).

De har en hastighet på 10–30 ° / s, og ser ut til å være begrenset i akselerasjon så vel som i hastighet. De jevne øyebevegelsene krever en bevegelig stimulus og øynenes evne til å matche hastigheten til den bevegelige stimulusen (Holmqvist et al., 2011; Young & Sheena, 1975). Likevel har enkelte studier tilbakevist kravet om en bevegelig stimulus se for eksempel i Holmqvist et al. (2011). I tillegg er det i henhold til Holmqvist

og kolleger helt forskjellige bevegelser, da sakkader og jevn forfølgelse er kontrollert av forskjellige deler av hjernen. De sistnevnte funksjon er å stabilisere bildet av den bevegelige stimulusen eller bakgrunnen på netthinnen som er uavhengig av de sakkadiske øyebevegelserne, og er først og fremst ikke under frivillig kontroll (Young & Sheena, 1975).

Intra-fiksjonelle øyebevegelser

Det er tre ufrivillige typer mikrobevegelser som er klassifisert under fiksering, mikrosakkader, skjelvninger og *drifts* (Yarbus, 1967). Disse øyebevegelserne hjelper til med å holde stimulusen midt i foveaen, og forhindrer sensorisk tilpasning i vår visuelle bane, som ellers ville gjøre øynene blinde under visuell fiksering (Martinez-Conde et al., 2004).

Mikrosakkader

Mikrosakkader oppstår vanligvis når fikseringsvarigheten har overskredet en viss lengde (0,3–0,5 s), eller når *drifts* beveger punktet for fiksering for langt borte fra sentrum av fovea (Yarbus, 1967). Mikrosakkadefunksjonen er å bringe øyet raskt tilbake til sin opprinnelige posisjon, og har en varighet på 10–30 ms, amplitude på 10–40', med hastigheten 15–50 %/s (Holmqvist et al., 2011). Mikrosakkadens rolle er fremdeles usikker i forhold til deres innflytelse på opprettholdelsen av hva som er synlig (Martinez-Conde et al., 2004).

Skjelvinger (fysiologisk nystagmus)

Det at man må ta hensyn til deltakerens hodebevegelser og vibrasjoner fra apparaturen, gjør at skjelvningene er den vanskeligste øyebevegelsen å måle. Skjelvingene har både veldig lav amplitude og høy frekvens (Yarbus, 1967). Den nøyaktige funksjonen til skjelvninger er enda uklar, det er mulig at de er forårsaket av upresis muskelkontroll. Skjelvinger har en amplitude på <1', med hastigheten 20' / s (topp), og en frekvens rundt 90 Hz (Holmqvist et al., 2011).

Drifts

Drifts er uregelmessige og relativt langsomme øyebevegelser som beveger øynene

bort fra fikseringssenteret, som oppstår mellom periodene med mikrosakkader, og alltid ledsages av en skjelving (Holmqvist et al., 2011; Martinez-Conde et al., 2004; Yarbus, 1967). I følge Holmqvist et al. (2011) har *drifts* en varighet på 200–1000 ms, amplitude på 1–60', med hastigheten 6–25' / s.

Scanpaths

Noton og Stark (1971a, 1971b) introduserte opprinnelig begrepet *scanpath* og med henvisning til et spesifikt karakteristiske visningsmønster hos deltakerne. Dette mønsteret består av en fast bane mens deltakerne så på et mønster, som dukket opp i læringsfasen og dukket opp igjen i begynnelsen av gjenkjennefasen. Likevel viste ikke dette funnet regelmessighet ved vanlige kjennetegn i disse mønstrene på tvers av deltakerne (Noton & Stark, 1971a, 1971b).

I følge Holmqvist et al. (2011) brukes *scanpath* for å beskrive hvordan konkrete øyebevegelser oppstår fysisk i rommet, men dette er ikke nødvendigvis tilfellet for "enhver" deltaker og definerer *scanpath* som "the route of oculomotor events through space within a certain timespan." (Holmqvist et al., 2011, s. 590). Sammenfallende begreper er *scan pattern*, *search pattern*, *scan sequence*, *gaze sequence*, *fixation track*, *inspection pattern*, og *eye-movement pattern*.

Oppsummering og konklusjon

Stimuluskontroll har en sentral rolle i atferdsanalyse. Det vil være nyttig å benytte seg av instrumenter som kan gi dypere innsikt i analyser av miljø-atferdsrelasjoner. Kunnskapen om det okulære systemet har historisk sett vært viktig for forståelsen av menneskelig atferd, anatomi, og fysiologi. Det har vært store milepæler og fremgang innenfor feltet. Forståelsen av det okulære systemet har resultert i klassifisering av øyebevegelser, samt ytterligere kunnskap om egenskapene ved øyebevegelser. Ett av instrumentene som har blitt anvendt i denne

sammenheng er eye-tracking. Eye-tracking anvendes på tvers av forskjellige disipliner. Den historiske oversikten av utviklingen av eye-tracking og øyebevegelser som måleenheter, vil forhåpentligvis inspirere til ytterligere forskning på stimuluskontroll og observeringsresponsen.

Referanser

- Akram, U., Ellis, J. G., Cau, G., Hershaw, F., Rajenthiran, A., Lowe, M., Trommelen, C., & Drabble, J. (2021). Eye tracking and attentional bias for depressive internet memes in depression. *Experimental Brain Research*, 239(2), 575–581. <https://doi.org/10.1007/s00221-020-06001-8>
- Białowąs, S., & Szyszka, A. (2019). Eye-tracking in Marketing Research. In R. Romanowski (Ed.), *Managing Economic Innovations - Methods and Instruments* (pp. 91–104). <https://doi.org/10.12657/9788379862771>
- Bojko, A. (2013). *Eye Tracking the User Experience: A Practical Guide to Research*. Rosenfeld Media.
- Bojko, A., Buffardi, K., Lew, G., & Israelski, E. (2006). Eye Tracking Study on the Impact of the Manufacturer's Logo and Multilingual Description on Drug Selection Performance. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 50(10), 1112–1116. <https://doi.org/10.1177/154193120605001024>
- Cooper, J. O., Heron, T. E., & Heward, W. L. (2020). *Applied behavior analysis* (Third edition.; Global edition. ed.). Pearson Education.
- Darwin, C. (2006). *On the origin of species: By means of natural selection*. Dover Publications. . (Original work published 1859)
- Dinsmoor, J. A. (1985). The Role Of Observing And Attention In Establishing Stimulus Control. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 439(3), 365–381. <https://doi.org/10.1901/jeab.1985.43-365>
- Dodge, R. (1907). An experimental study of visual fixation. *The Psychological Review Monograph Supplements*, 8(4), 1–96. <https://doi.org/10.1037/h0093042>
- Dodge, R., & Cline, T. S. (1901). The angle velocity of eye movements. *Psychological Review*, 8(2), 145–157. <https://doi.org/10.1037/h0076100>
- Dube, W. V., Dickson, C. A., Balsamo, L. M., Odonnell, K. L., Tomanari, G. Y., Farren, K. M., Wheeler, E. E., & McIlvane, W. J. (2010). Observing behavior and atypically restricted stimulus control. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 94, 297–313. <https://doi.org/10.1901/jeab.2010.94-297>
- Dube, W. V., Lombard, K. M., Farren, K. M., Flusser, D. S., Balsamo, L. M., & Fowler, T. R. (1999). Eye tracking assessment of stimulus overselectivity in individuals with mental retardation. *Experimental Analysis of Human Behavior Bulletin*, 17, 8–14.
- Dube, W. V., Lombard, K. M., Farren, K. M., Flusser, D. S., Balsamo, L. M., Fowler, T. R., & Tomanari, G. Y. (2003). Stimulus overselectivity and observing behavior in individuals with mental retardation. In S. Soraci & K. Murata-Soraci (Eds.), *Visual Information Processing* (pp. 109–123). Praeger.
- Dube, W. V., M., B. L., Fowler, T. R., Dickson, C. A., Lombard, K. M., & Tomanari, G. Y. (2006). Observing behavior topography in delayed matching to multiple samples. *The Psychological Record*, 56(2), 233–244.
- Duchowski, A. (2007). *Eye Tracking Methodology: Theory and Practice*. Springer.
- Ewart, S., Hynes, S. M., Darling, W. G., & Capaday, C. (2016). A Donders' Like Law for Arm Movements: The Signal not the Noise [Original Research]. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10(136). <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00136>
- Hansen, S., & Arntzen, E. (2021). Eye movements during conditional discrimination training and equivalence class formation. *European Journal of Behavior Analysis*,

- 22(1), 4–21. <https://doi.org/10.1080/15021149.2018.1553379>
- Hayhoe, M. M. (2004). Advances in Relating Eye Movements and Cognition. *Infancy*, 6(2), 267–274. https://doi.org/https://doi.org/10.1207/s15327078in0602_7
- Hering, E. (1977). *The theory of binocular vision*. Plenum Press.
- Hess, B. J. M., & Thomassen, J. S. (2014). Kinematics of Visually-Guided Eye Movements. *PLoS ONE*, 9(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095234>
- Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H., & van de Weijer, J. (2011). *Eye Tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. Oxford University Press.
- Huey, E. B. (1898). Preliminary Experiments in the Physiology and Psychology of Reading. *The American Journal of Psychology*, 9(4), 575–586. <https://doi.org/10.2307/1412192>
- Huziwara, E. M., de Souza, D. d. G., & Tomanari, G. Y. (2016). Patterns of eye movement in matching-to-sample tasks. *Psicologia: Reflexão e Crítica*, 29(1), 2. <https://doi.org/10.1186/s41155-016-0010-3>
- Huziwara, E. M., Silva, M. J. M., Perez, W. F., & Tomanari, G. Y. (2015). Analyzing the Stimulus Control Acquisition in Simple Discrimination Tasks through Eye Movement. *Psicologia: Reflexão e Crítica*, 28(3), 603–612. <https://doi.org/10.1590/1678-7153.201528319>
- Kang, H. (2014). Understanding online reading through the eyes of first and second language readers: An exploratory study. *Computers & Education*, 73, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.12.005>
- Majoranta, P., & Bulling, A. (2014). Eye Tracking and Eye-Based Human-Computer Interaction. In S. H. Fairclough & K. Gilleade (Eds.), *Advances in Physiological Computing* (pp. 39–65). Springer London. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-6392-3_3
- Martinez-Conde, S., Macknik, S. L., & Hubel, D. H. (2004). The role of fixational eye movements in visual perception. *Nature Reviews Neuroscience*, 5(3), 229–240. <https://doi.org/10.1038/nrn1348>
- Noton, D., & Stark, L. (1971a). Scanpaths in eye movements during pattern perception. *Science*, 171(3968), 308–311. <https://doi.org/10.1126/science.171.3968.308>
- Noton, D., & Stark, L. (1971b). Scanpaths in saccadic eye movements while viewing and recognizing patterns. *Vision Research*, 11(9), 929–942.
- Palmer, D. C. (2010). Behavior under the microscope: Increasing the resolution of our experimental procedures. *Behavior Analyst*, 33(1), 37–45.
- Pessôa, C. V. B. B., Huziwara, E. M., Perez, W. F., Endemann, P., & Tomanari, G. Y. (2009). Eye-Fixation to Figures in a Four-choice Situation with Luminance Balanced Area. *Journal of Eye Movement Research*, 2(5), 1–6. <http://www.ufscar.br/>
- Rayner, K. (1998). Eye Movements in Reading and Information Processing: 20 Years of Research. *Psychological Bulletin*, 124(No. 3), 372–422.
- Richardson, D. C., & Spivey, M. J. (2004a). Eye Tracking: Characteristics and Methods. In *Encyclopedia of Biomaterials and Biomedical Engineering* (Vol. 1, pp. 568–572). New York: Taylor & Francis.
- Richardson, D. C., & Spivey, M. J. (2004b). Eye Tracking: Research Areas and Applications. In *Encyclopedia of Biomaterials and Biomedical Engineering* (Vol. 1, pp. 573–582). New York: Taylor & Francis.
- Sadeghi, P., & Arntzen, E. (2018). Eye-movements, training structures, and stimulus equivalence class formation. *The Psychological Record*, 68(4), 461–476. <https://doi.org/10.1007/s40732-018-0290-3>
- Salvucci, D. D., & Goldberg, J. H. (2000). *Identifying fixations and saccades in eye-tracking protocols* Proceedings of the 2000 symposium on Eye tracking research

- & applications, Palm Beach Gardens, Florida, USA.
- Špakov, O., Siirtola, H., Istance, H., & Rähä, K.-J. (2017). Visualizing the reading activity of people learning to read. *Journal of Eye Movement Research*, *10*(5). <https://doi.org/10.16910/jemr.10.5.5>
- Steingrimsdottir, H. S., & Arntzen, E. (2016). Eye Movements During Conditional Discrimination Training. *The Psychological Record*, *66*(2), 201–212. <https://doi.org/10.1007/s40732-015-0156-x>
- Tsypes, A., Owens, M., & Gibb, B. E. (2017). Suicidal ideation and attentional biases in children: An eye-tracking study. *Journal of Affective Disorders*, *222*, 133–137. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2017.07.012>
- Vazquez, C., Blanco, I., Sanchez, A., & McNally, R. J. (2016). Attentional bias modification in depression through gaze contingencies and regulatory control using a new eye-tracking intervention paradigm: study protocol for a placebo-controlled trial. *BMC Psychiatry*, *16*(1). <https://doi.org/10.1186/s12888-016-1150-9>
- Wade, N. J. (2007). Scanning the seen: Vision and the origins of eye movement research. In R. P. G. van Gompel, M. H. Fischer, W. S. Murray, & R. L. Hill (Eds.), *Eye movements: a window on mind and brain* (pp. 31–61). Elsevier Science.
- Wade, N. J. (2009). Did Javal measure eye movements during reading? *Journal of Eye Movement Research*, *2*(5), 1–7. <http://www.jemr.org>
- Wade, N. J. (2010). Pioneers of eye movement research. *i-Perception*, *1*(2), 33–68. <https://doi.org/10.1068/i0389>
- Wade, N. J., & Tatler, B. W. (2005). *The moving tablet of the eye: The origins of modern eye movement research*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198566175.001.0001>
- Wyckoff, L. B. (1952). The role of observing responses in discrimination learning. Part I. *Psychological Review*, *59*(6), 431–442. <https://doi.org/10.1037/h0053932>
- Wyckoff, L. B. (1959). Toward a quantitative theory of secondary reinforcement. *Psychological Review*, *66*(1), 68–78. <https://doi.org/10.1037/h0046882>
- Yarbus, A. L. (1967). *Eye movements and vision* (B. Haigh, Trans.). Plenum Press. http://books.google.no/books?id=k_k-AAAAIAAJ
- Young, L. R., & Sheena, D. (1975). Survey of eye movement recording methods. *Behavior Research Methods & Instrumentation*, *7*(5), 397–429. <https://doi.org/10.3758/BF03201553>
-