

SAMENVATTING

Ofschoon de vergelijking tussen het menselijk oog en de klassieke fotocamera zich met name leent ter demonstratie van structurele overeenkomsten, laat de beeldverwerking van beide optische instrumenten een vergaande vergelijking niet toe. Zo is voor het vervaardigen van een scherpe fotografische opname een absoluut vereiste dat zowel de camera alsmede het te fotograferen object geen beweging ten opzichte van elkaar vertonen. Daarentegen is (enige) beeldbeweging op het netvlies juist een vereiste om scherp te kunnen zien. De verklaring hiervoor ligt in het feit dat het netvlies (in tegenstelling tot de fotogevoelige film in de camera) naast de ruimtelijke eigenschappen, tevens de tijdsaspecten van het door de lens gevormde (bewegende) beeld weet vast te leggen.

Afhankelijk van de gedetailleerdheid van het waar te nemen object, tolereert het visueel systeem slechts een beperkte beeldsnelheid ten opzichte van het netvlies (gemiddeld: $0,2-2,0^\circ/s$). Van nature zal het beeld nooit te langzaam bewegen daar ook tijdens fixatie van stilstaande voorwerpen, minieme - veelal onbewuste - fixatieve oogbewegingen het beeld juist voldoende bewegen over het netvlies. Naast een volledige stabilisatie is met name ook het teveel aan beeldbeweging schadelijk voor de kwaliteit van ons zien. Waar het de ongestoorde zichtbaarheid van details betreft ligt de bovengrens van beeldbewegingssnelheid ten opzichte van het netvlies reeds bij de $2^\circ/s$.

Het is dan ook niet verwonderlijk dat de mens over diverse neuronale systemen beschikt welke het dreigend teveel aan beeldbeweging op het netvlies (slip) tot aanvaardbare proporties reduceren.

Onder alledaagse omstandigheden gebruiken we met name een tweetal van deze zogenaamde beeldstabiliserende systemen. Enerzijds onderscheiden we het oogvolgsysteem, hetgeen ons in staat stelt met stilstaand hoofd bewegende objecten in de ruimte om ons heen te volgen. Anderzijds is een zeer belangrijke beeldstabiliserende taak weggelegd voor het evenwichtsorgaan, in het bijzonder de vestibulo-oculaire reflex, welke voorkómt dat bij beweging van het hoofd de ogen aan de hoofddraaiing deelnemen. Door de ogen evenveel terug te draaien ten opzichte van het hoofd blijft het mogelijk, ondanks de hoofdbeweging, de blik naar één ruimtelijk punt gericht te houden.

Hoofd en ogen kunnen niet volledig rond draaien. De bewegingsvorm is die van een "oscillatie", waarbij steeds weer de uitgangspositie wordt bereikt (vergelijkbaar met de beweging van de slinger van een klok).

Het oogvolgsysteem kan de ogen feitelijk niet sneller doen oscilleren dan met twee heen en weer gaande bewegingen per seconde (oscillatie-frekwentie: 2 Hz). Het veel krachtiger vestibulair systeem kan oogoscillaties opwekken met veel hogere frekquenties. Beide systemen werken gelijktijdig en vullen elkaar waar mogelijk aan.

In het verleden zijn slechts enkele experimenten uitgevoerd waarbij zowel oog-en hoofdbeweging simultaan met de gezichtsscherpte werden bepaald.

In geval van het oogvolgsysteem werd reeds vroeg duidelijk dat boven een kritieke oscillatiefrekwentie (1-2 Hz) de ogen niet gefixeerd konden blijven op het object. Dientengevolge ontstond boven deze kritieke waarden een teveel aan beeldbeweging ten opzichte van het netvlies (slip), waardoor het object in kwestie niet scherp meer waargenomen kon worden. Een probleem echter werd gevormd door het feit dat de grootte van de gemiddelde beeldsnelheid niet in verhouding leek te staan tot de verminderde gezichtsscherpte. Mogelijk dat in aanwezigheid van oogvolgbewegingsactiviteit de tolerantiegrens voor beeldbeweging van het visueel systeem, doorgaans op 2°/s gesteld, enkele malen overschreden kon worden. Tijdens fixatie van een stilstaand object bij bewegend hoofd is de beeldbeweging over het netvlies een gevolg van de onvolkomenheden in het vestibulair systeem. In analogie met hetgeen bekend is over de eigenschappen van het oogvolgsysteem vermeldt de literatuur ook hier een discrepantie tussen de hoeveelheid beeldbeweging op het netvlies en de relatief goede zichtbaarheid van het object in kwestie!

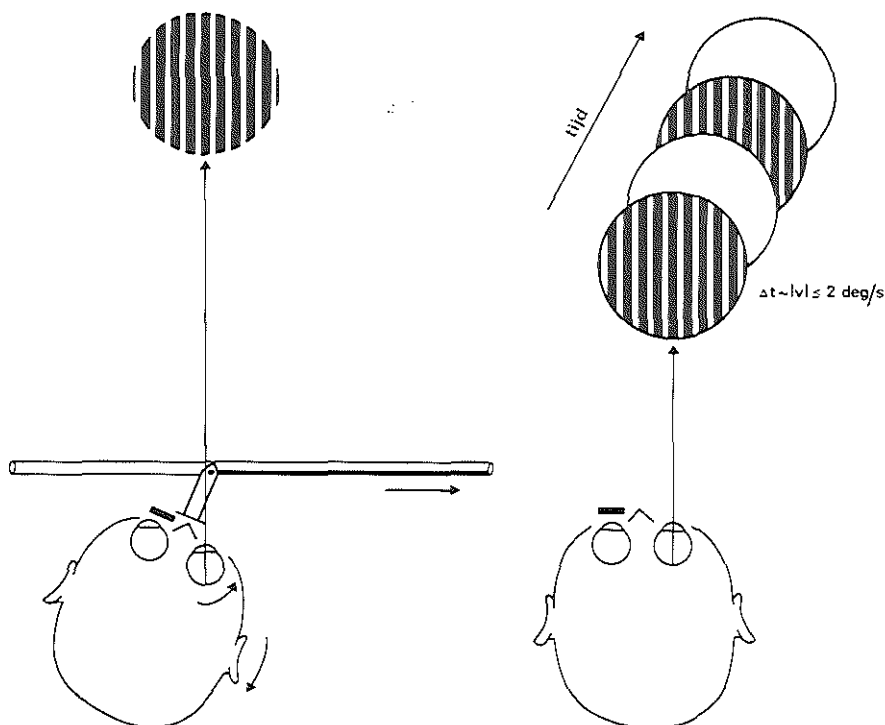
De konsekwenties van deze bevindingen zijn verstrekkend. Mogelijk dat - nog onbekende - signalen afkomstig van het oogvolg- en vestibulair systeem bijdragen aan de beeldverwerking c.q. beeldbewerking welke plaatsvindt in het visueel systeem. Dit zou een duidelijke waardevermindering van de huidige veelal bewegingsarm uitgevoerde (klinische) visuele tests impliceren, daar de resultaten hiermee verkregen persé geen geldigheid (meer) onder dagelijkse, dynamische, omstandigheden behoeven te hebben.

Gezien in deze context, en met oog voor het feit dat ons leefmilieu een toenemend dynamisch karakter krijgt waarbinnen een steeds groter beroep gedaan wordt op het visueel prestatievermogen, lijkt een studie naar de rol van deze compensatoire (slipreducerende) oogbewegingen in relatie tot de visuele beeldverwerking gerechtvaardigd.

Hiertoe werd de (visuele) contrast gevoeligheid voor al dan niet bewegende rasterpatronen bepaald onder verschillende, elkaar deels verklarende, experimentele meetcondities. Contrast gevoeligheid, als getalsmaat voor het juist waarneembaar zijn van de rasterstructuur bij een minimaal verlichtingsverschil tussen de rasterlijnen onderling, bleek een uitermate geschikte grootte te zijn om het effect van beeldbeweging op het netvlies, en de daarmee samenhangende veranderingen in de visuele perceptie, te kwantificeren.

Door diverse, elektronisch-gegenereerde, rasterpatronen een oscillatoire beweging te laten maken, waarbij de proefpersoon een meebewegend fixatiepunt volgde, werd door gelijktijdige meting van de oogrotatie (infrarood reflectie methode), het effect van de onvolkomenheden in het oogvolgbewegingssysteem verklaard (Experiment I-III). Het in de literatuur beschreven slipmodel, waarbij de (gemiddelde) snelheid van het beeld ten opzichte van het netvlies als enige maat voor de verandering in de visuele perceptie werd genoemd, kon middels de huidige experimenten volledig bevestigd worden. Als aanvulling hierop werd geconcludeerd dat de tolerantiegrens voor beeldbeweging van het visueel systeem, doorgaans gesteld op 2°/s, tijdens oogvolgbewegingen niet veranderd.

Het zwaartepunt van deze studie wordt echter gevormd door een serie experimenten (IV-VI) welke het effect van passieve hoofdbeweging op de visuele perceptie van in de ruimte opgestelde stilstaande rasterpatronen beschrijft. Door het hoofd door middel van een bijtstuk hoogfrequentie (2-6 Hz) oscillaties op te leggen kon voldoende beeldbeweging op het netvlies opgewekt worden om de zichtbaarheid van de rasters te doen veranderen (Fig. 18, links). Uit zeer nauwkeurige registratie van de oogbeweging (sclerale inductiespoel methode) viel af te leiden dat het beeld met een niet-constante (sinusvormige) snelheid ten opzichte van het netvlies heen en weer bewogen werd. Deze bevinding vormde de aanzet tot een differentiatie naar de invloed van enerzijds gemiddelde-, anderzijds momentane beeldsnelheid op de visuele perceptie.



Figuur 18

De drempelcontrastwaarden zoals deze gemeten werden tijdens passieve beweging van het hoofd (links), konden exact nagebootst worden door het raster in te flitsen (rechts). Hierbij was een vereiste dat de duur van de presentatie van het raster overeenkwam met de duur van de perioden dat de beeldsnelheid op het netvlies, zoals deze gemeten werd tijdens het hoofdbewegingsexperiment, niet hoger was dan 2°/s.

Volledig in overeenstemming met de literatuur konden tijdens hoofdbeweging hoge gemiddelde beeldsnelheden vastgelegd worden welke niet gepaard gingen met een corresponderende daling in contrast gevoeligheid. Alhoewel dit als mogelijk bewijs van de uitbreiding van de bewegingstolerantie van het visueel systeem onder dynamische omstandigheden beschouwd kon worden, leek een andere verklaring hiervoor meer acceptabel. Kernargument hierbij werd dan ook dat niet de gemiddelde-, maar de momentane beeldsnelheid op het netvlies de kwaliteit van de visuele waarneming bepaald.

Het mechanisme hierachter leek gebaseerd te zijn op het bestaan van zogenaamde observatie-intervallen. Deze perioden werden gekenmerkt door de aanwezigheid van lage beeldsnelheden ($< 2\text{ }^\circ/\text{s}$) op het netvlies, welke samenvallen met de momenten waarop de oscillatoire oogbewegingen van richting veranderen (omkeerpunten). Deze gedachte werd bevestigd door de periode waarin deze beeldsnelheden gemeten konden worden tijdens hoofdbeweging hernieuwd aan te bieden middels een inflitsexperiment, nu in afwezigheid van hoofdbeweging, waarbij de flitsduur exact overeen kwam met de (gemiddelde) duur van de lage beeldsnelheid (Fig. 18, rechts).

Tot slot werd een tweetal experimenten uitgevoerd om de invloed van actieve, vrijwillige, hoofdbeweging op de visuele perceptie vast te stellen (Expt. VII, VIII). Hieruit kwam naar voren dat uitsluitend datgene wat op het netvlies gebeurd verantwoording draagt voor een eventuele verandering in de zichtbaarheid van de omgeving.

En passant werd een verklaring gegeven voor het feit dat de gezichtsscherpte (visus), in verhouding tot de visuele contrast gevoeligheid, aanvankelijk minder geschaad wordt door beeldbeweging op het netvlies. Verschillende visuele detectie-kwaliteiten, waartoe waarschijnlijk ook kleuren-, en diepte-zien gerekend dienen te worden, lijken dus ook verschillend te lijden onder de onvolkomenheden in de beeldstabilisatie.

De tekortkomingen in het vestibulair- en - mogelijk ook - het oogvolgsysteem, inzake de reductie van het teveel aan beeldbeweging ten opzicht van het netvlies, worden in zekere zin door het visueel systeem geanticipeerd. Waar volgens de klassieke gedachte omtrent de werking van beide beeldstabiliserende systemen een continue heldere weergave van de omgeving bestaat, lijkt volgens de huidige inzichten het visueel systeem, noodgedwongen, grote discontinuïteiten in de hoeveelheid beeldbeweging op het netvlies te moeten accepteren. Hierdoor wordt de aandacht praktisch geheel gericht op die momenten waarin acceptabele beeldsnelheden bestaan. Doorgaans vallen deze gunstige snelheidsmomenten samen met de omkeerpunten in de hoofd- en oogbeweging.