

Onderzoek van de Pupilmbewegingen

door

N. M. J. SCHWEITZER en M. A. BOUMAN

(Instituut voor Zintuigfysiologie R.V.O.-T.N.O.)

In de literatuur is de laatste jaren een toenemende belangstelling merkbaar voor de pupilmbewegingen van het menselijk oog. Het opvallende van dit verschijnsel is, dat het niet alleen oogartsen zijn, die zich ex professo voor dit onderwerp interesseren, maar vooral ook onderzoekers van zeer verschillende pluimage: neurologen, fysiologen, psychologen en lichttechnici.

De oorzaak van deze concentratie ligt wel daarin, dat de pupilmbewegingen het resultaat zijn van een aantal belangrijke reacties in het menselijk organisme. De zenuwverbindingen met hun verschillende synapsen, die de bij belichting van het netvlies ontstaande impulsen overbrengen naar de pupilcentra in de middenhersen, en de banen, die van daaruit de motoriek van de pupil beïnvloeden, vinden hun verloop temidden van structuren die uitzonderlijk gevoelig zijn voor ziekelijke veranderingen. Daarbij komt, dat wel geen orgaan in het lichaam zo open staat voor onderzoek als juist de pupil: een kleine opening, waarvan een kringpier bedekt door een allerfijnst weefsellaagje de omtrek vormt, direct zichtbaar onder de heldere convexiteit van het hoornvlies.

Ofschoon impulsen in de derde hersenzenuw de toestand van de sluitspier van de pupil en daarmee haar diameter bepalen, is een veel zwakker ontwikkelde, radiaal gerichte groep van spiervezeltjes mede verantwoordelijk voor de verwijding van de pupil. Deze laatste, antagonisten van de sluitspier dus, worden geënerveerd door het sympathische zenuwstelsel; diens gevolg weerspiegelen de pupilmbewegingen ook de tonus van dit voor het leven zo belangrijke systeem.

De aard van de lichtreflex kan betrekkelijk eenvoudig geschetst worden.

Wanneer licht op het netvlies valt, wordt een serie impulsen via de oogzenuw voortgeleid naar de visuele centra in de hersenen. Een gedeelte van deze impulsen bereikt via een baan, die slechts over een beperkte afstand hetzelfde verloop heeft als de visuele, de pupilcentra in de middenhersen. Onder normale omstandigheden bedienen deze centra beide pupillen, zodat ook indien slechts één oog door een lichtprikkel getroffen wordt, de pupil van het andere oog op identieke wijze reageert.

De sluitspier van de pupil wordt geprikkeld, wanneer de impulsen die de pupilcentra treffen voldoende sterk zijn. De pupil wordt dan nauwer en diens gevolg bereikt, wanneer de lichtbron overigens constant blijft, minder licht het netvlies. Mede daardoor opent de pupil zich, neemt de licht-

stroom op het netvlies toe en dit vormt de aanleiding voor een nieuwe contractie. Zo komt het tot een evenwichtstoestand, die gekenmerkt wordt door regelmatige oscillaties van de pupil rond een middelwaarde. Deze oscillaties ontbreken, wanneer geen licht wordt waargenomen.

Het pupilmechanisme is dus een systeem met tegenkoppeling. Het pupilcentrum in de middenhersen bepaalt de gevoeligheid ervan, maar er is nog weinig bekend over de invloeden, die dit centrum zelf ondervindt. Zeker is, dat zij ten dele van corticale aard zijn en met het bewustzijn samenhangen.

Deze summiere vermeldingen dienen slechts om duidelijk te maken, onder welke omstandigheden de pupilreflex tot stand komt, en hoe het mogelijk is, dat zich in het verloop daarvan veranderingen kunnen voordoen, die subtiele differentiaties toelaten wat betreft de aard en de localisatie van processen in het centrale zenuwstelsel.

Is de reflex uitgevallen? Enkel- of dubbelzijdig? Geheel of gedeeltelijk? Verloopt zij trager dan normaal? Is de statische diameter van de pupil rechts en links gelijk en adaequaat, vergeleken bij de heersende belichtingsomstandigheden? Dat zijn klassieke vragen, die de neuroloog stelt. De antwoorden daarop kunnen hem op het spoor brengen van een bloeding of een tumor, of van de ernst van een ongeval. Zij zijn mede bepalend, of er chirurgisch moet worden ingegrepen, en wáár.

Juist in de laatste tijd is, vooral door het werk van *Loewenstein* in New York, gebleken hoe een verfijnd kwantitatief onderzoek, verricht met een goede meetapparatuur, kan bijdragen tot de oplossing van dergelijke vragen.

Niet alleen de neuroloog, ook de psychiater heeft behoefte aan zulk een methode om zich nader te oriënteren over stoornissen op zijn terrein. Verwonderlijk is dit niet: iedereen is bekend met de plotselinge verwijding en starheid van de pupil, die optreedt bij schrik, of met de vernauwing, die een slaperige toestand begeleidt.

Door de pupildiameter uit te zetten als functie van de tijd, gedurende welke een lichtprikkel in het oog valt, is het soms mogelijk, uit de verschillende componenten belangrijke conclusies te trekken over de emotionaliteit en andere psychische kwaliteiten van de onderzochte.

Een behoorlijke kennis van het normale reflexverloop is dus zeker voor de klinicus noodzakelijk. Maar dit geldt ook voor de lichttechnicus, daar de gecompliceerdheid van het systeem hem anders

voor onverwachte moeilijkheden zal plaatsnemen. Hij heeft immers te maken met de pupil, niet alleen gezien als een statisch diafragma in de optiek van het oog, maar ook met de invloed die bewegingen van dit diafragma op het organisme uitoefenen, en met de aard en de mate waarin die kunnen optreden.

Het onderzoek in deze materie is lange tijd vertraagd door het ontbreken van geschikte technieken.

Wil men gegevens hebben over de statische toestand van de pupil, dan is de eenvoudigste en nauwkeurigste meetmethode wel de *flits-fotografie*. De latentietijd van de pupilreflex waarborgt, dat het fotografische beeld geen invloed heeft ondergaan van de belichting. Maar de storingen in de adaptatietoestand van het oog en de pupilbewegingen, die optreden nadat de latentietijd van de reflex verlopen is, maken het noodzakelijk, dat tussen twee opnamen geruime tijd verloopt.

Voor metingen van veranderingen in de pupildoor-snedes kan men zeer goed gebruik maken van het feit, dat het irisweefsel *infrarode stralen* sterk reflecteert, terwijl deze stralen de retina niet prikkelen en dus bij de mens ook geen pupilbeweging veroorzaken. Men kan bij infrarode „belichting” filmopnamen van het oog maken of gebruik maken van een z.g. infrarood-microscop. Hierin worden door het oogweefsel gereflecteerde stralen via een elektronisch systeem gebundeld op een fluorescerend scherm, waar een beeld van het oog verschijnt. Uiteraard gaat bij een dergelijke methode zonder verdere registratie een deel van de informatie verloren, maar zij is zeer goed bruikbaar voor kwalitatief werk.

Een eenvoudiger werkwijze, waarbij het niet geprikkelde oog van de onderzochte persoon *entoptisch* veranderingen in de pupildiameter waarneemt, wordt op het ogenblik beproefd op haar bruikbaarheid onder verschillende omstandigheden.

De *gevoeligheid van de reflex* is één van de punten, die de klinicus speciaal interesseren. Bij onderzoeken over dit onderwerp bleek dat de energie, die nodig is om de pupil tot contractie te brengen, uitermate klein kan zijn: enkele honderden lichtquanten. Deze gevoeligheid is voor één persoon betrekkelijk constant, maar varieert sterk van individu tot individu. Correlaties tussen de lichtdrempel van de pupil en de psychische gesteldheid worden wel vermoed, maar konden tot nu toe niet worden aangetoond. Individuele drempelwaarden kunnen tijdelijk verhoogd of verlaagd zijn, zowel door psychische als door somatische processen, maar ook op dit gebied zijn nog veel gegevens nodig vóórdat het gerechtvaardigd zal zijn, daaruit conclusies te trekken.

Het is een opvallende eigenschap van de pupilreflex, dat zij gebruik kan maken van alle licht dat het netvlies bereikt, onder voorwaarde dat het licht ook zichtbaar is.

Deze *uitgebreide integratiemogelijkheid* staat in tegenstelling tot de wetten, die de waarneming van licht beheersen. Daar geldt dat enkele verspreide

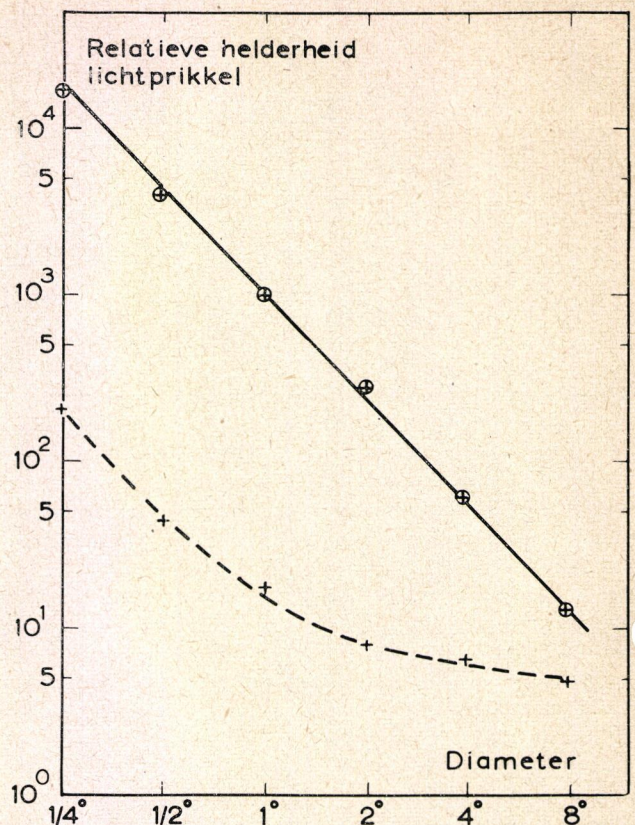


Fig. 1. De relatieve helderheden (ΔB) van een flitsend rond object:

---+--- nodig voor de waarneming en

+—+—+ nodig voor pupilcontractie.

als functie van de diameter in booggraden, waaronder het wordt aangeboden.

De flits werd 9° nasaal van het fixatiepunt geprojecteerd op het centrum van een achtergrond, diameter 8°, waarvan de helderheid 500 maal boven de waarnemingsdrempel lag. Flits en achtergrond beide groen.

Slechts voor de pupil geldt overal, dat het product van oppervlakte en helderheid van de flits constant is.

lichtpunten, waarvan de onderlinge afstand groter is dan 30 minuten en die elk voor zich onvoldoende energie bevatten om zichtbaar te zijn, ook bij gelijktijdige aanbieding nooit zullen worden waargenomen. Maar zelfs punten, die enkele tientallen graden van elkaar verwijderd zijn, kunnen gezamenlijk onder de omstandigheden waarbij wij dat beproefd hebben een forse pupilcontractie te voorschijn roepen, terwijl zij individueel onwerkzaam zijn. Onder de voorwaarden waarbij deze integratiewet geldig is kan het dus voorkomen, dat een ternauwernood zichtbare, uitgebreide lichtvlek een sterke reflexactie oproept, terwijl een kleine, heldere lichtbron het systeem niet in beweging kan brengen.

Figuur 1 geeft de resultaten van een dergelijke proef weer. Men ziet daaruit dat, om een pupilcontractie van constante kwaliteit te verkrijgen, de helderheid van een lichtbron met dezelfde factor verlaagd kan worden, waarmee de oppervlakte van die lichtbron vergroot wordt; de benodigde hoeveelheid energie blijft binnen dit gebied dus constant. De kromme, die voor de waarneming geldt,

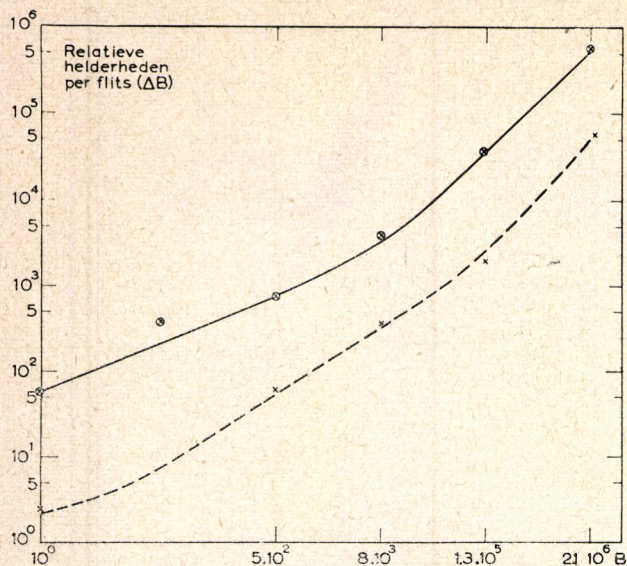


Fig. 2. De relatieve helderheden (ΔB) van een flitsend rond object:

--- + nodig voor de waarneming en
 + — + nodig voor de pupilcontractie,
 als functie van de helderheid (B) van een achtergrond.

De flits, die zelf een diameter had van 2° werd 9° nasaal van het fixatiepunt geprojecteerd op een achtergrond, waarvan de diameter 8° bedroeg. Flits en achtergrond: beide groen.

Over dit hele gebied van achtergrondshelderheden ligt de pupillomotorisch werkzame hoeveelheid licht tussen 10 en 25 maal de hoeveelheid, die voor waarneming van de flits nodig is.

vertoont daartegenover een geheel ander verloop: bij de grotere oppervlakten dient de helderheid constant te blijven en neemt de energie-inhoud derhalve evenredig toe met de oppervlakte.

Behalve het hierboven geschetste, dynamische aspect van de pupilbewegingen, waarbij het netvlies integreert over alle licht dat op haar oppervlakte valt, en de pupil zelf als het ware differentieert over de totale lichtstroom die de retina bereikt (slechts veranderingen daarin geven aanleiding tot veranderingen in de pupildiameter), dient men nog een ander aspect van het systeem te onderscheiden, namelijk dat de wijdt van de pupil bepaald wordt door de lichtstroom, die in het oog valt. Op deze statische pupildiameter zijn dan de pupilbewegingen, die ontstaan door veranderingen in de lichtstroom, gemoduleerd.

Juist onder omstandigheden, waarbij het oog geïmponeerd is aan een bepaalde helderheid, hebben metingen betreffende de gevoeligheid van de reflex hun grootste betekenis voor de praktijk, want onder die condities gebruikt de mens gewoonlijk zijn gezichtsvermogen. Dan ook pas beïnvloedt de grootte van de pupil op merkbare wijze de waarneming.

Vraagt men zich af, in welk opzicht de pupil hier invloed uitoefent, dan noemden wij reeds die van een diafragma in de optiek van het oog. Daarbij moet men niet in de eerste plaats aan de apertuur denken, waarvan de variaties, die liggen in de orde van $f:1,8$ tot $f:8$, betrekkelijk onbelangrijk zijn

vergeleken met de enorme veranderingen in de gevoeligheid van het netvlies zelf: de drempel van de lichtwaarneming wordt immers met een factor 10⁶ verlaagd door een goede donkeradaptatie.

Van groter belang lijkt de variatie van de dieptescherpte, die bijv. voor een afstand van 25 cm. varieert van 0,8 cm. voor een middelmatig wijde tot 3,2 cm. voor een zeer nauwe pupil. Daardoor kunnen accommodatie-veranderingen tijdens het lezen beperkt blijven.

Een nauwe pupil vermindert verder de sferische aberratie van het oog en verhoogt daardoor de gezichtsscherpte en de contrastgevoeligheid.

Het afsnijden van lichtstralen, die invallen onder een hoek met de optische as en daardoor (naar Stiles en Crawford vonden) inboeten aan werkzaamheid, is een punt dat bij optische calculaties mede verrekend moet worden. Opgemerkt zij in dit verband, dat het Stiles-Crawford-effect zelf de demping van de spontane pupilbewegingen zeer essentieel kan beïnvloeden.

Tenslotte speelt de snelheid en de amplitude van de pupilreflex een rol in de eerste stadia van het licht- en donker-adaptatie-proces: omdat de snelheid van vernauwen en verwijden van de pupil min of meer parallel verloopt aan de betreffende adaptatiestadia, verminderen zij de sensatie die daarvan het gevolg is.

Het ligt dan ook voor de hand dat, indien de pupil op zoveel verschillende manieren de waarneming beïnvloedt, een goede kennis van haar gedrag noodzakelijk is voor de practicus, die bijvoorbeeld te oordelen heeft over optimale kleur en helderheid van televisieschermen, seinlichten, straatverlichting en dergelijke.

Daarbij komt nog dat er sterke aanwijzingen zijn, dat de pupilreacties zelf bijdragen tot het gevoel van vermoeidheid of „discomfort”, dat wel lastig te definiëren is maar in de praktijk veelvuldig voorkomt.

Metingen in ons instituut aan de drempelwaarden van de reflex bij continu aangeboden achtergronden van variabele helderheid, hebben onverwachte resultaten gegeven. Zo bleek bijvoorbeeld, dat de verhouding tussen reflexdrempel en waarnemingsdrempel behalve van de helderheid ook van de kleur van de achtergrond afhankelijk is. Een voorbeeld van dergelijke experimenten geven wij in figuur 2. In dit geval lopen de differentiële drempels voor de pupilreactie en de waarneming in grote trekken parallel.

Een goed kwantitatief onderzoek naar soortgelijke fenomenen is eigenlijk pas in de laatste tien jaren mogelijk geworden. De resultaten die daarbij behaald zijn bevestigen, wat reeds zoveel langer vermoed werd: dat de pupilspieren de bij uitstek toegankelijke indicatoren zijn van zeer subtiele processen in het centrale en perifere zenuwstelsel. Hun analyse is voor de diagnostiek en de topografie van normale en gestoorde hersenfuncties van grote betekenis.

Anderzijds modificeren zij de waarnemingscondities in voldoende mate om van belang te zijn voor ieder, die zich met verlichtingsproblemen bezig houdt.