

Intraoculair strooilight

T.J.T.P. van den Berg*

Interuniversitair Oogheekundig Instituut KNAW
en Vakgroep Medische Fysica AMC, Amsterdam

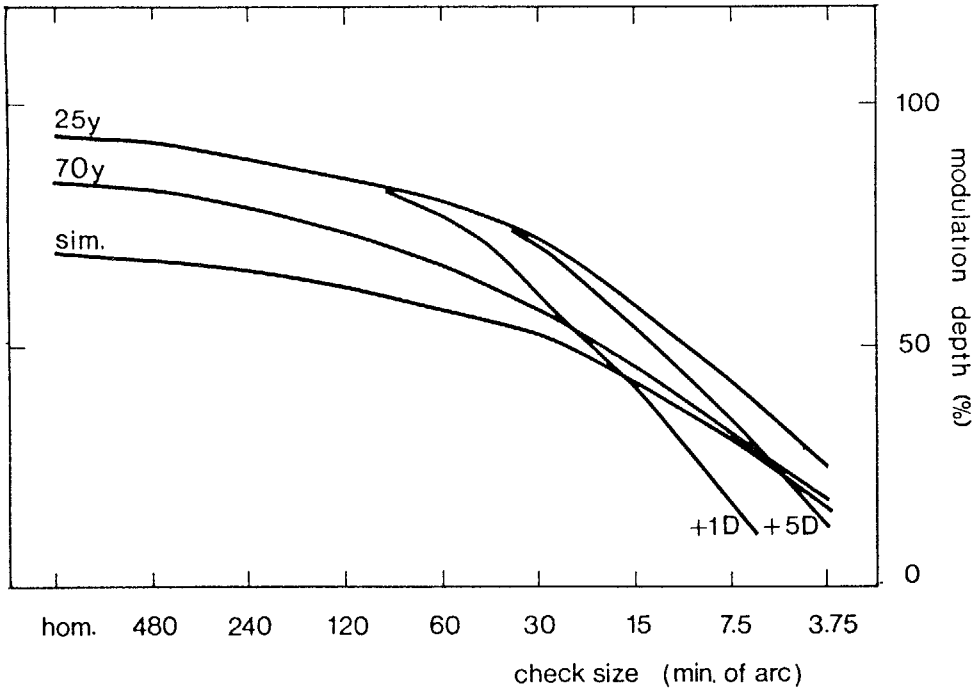
Het is reeds lang bekend dat het menselijke oog optische onvolkomenheden heeft. De optische kwaliteit kan gekarakteriseerd worden met de "Punt-Spreid-Functie" PSF. De PSF is gedefinieerd als het retinale beeld van een puntvormige lichtbron. De PSF is niet ideaal puntvormig. In het gezonde jonge oog heeft de PSF een halfwaarde breedte van ongeveer $5 \mu\text{m}$ ($1'$) en flanken die zich monotoon dalend over het hele netvlies uitstrekken. Aan het centrale deel dragen bij: diffractie aan de pupilopening, sferische en chromatische aberraties, irregulariteit in de lenswerking over het pupiloppervlak, en eventuele ongecorrigeerde refractiefouten. Het licht dat meer perifeer terechtkomt wordt strooilight genoemd en wordt veroorzaakt door inhomogeniteiten in de optische media (vooral de cornea en de lens) en door reflectie aan de oogbodem en doorlating door de oogwand. Met het toenemen van de leeftijd of door een afwijking kan de PSF verder verslechteren.

De niet-ideale vorm van de PSF leidt tot verlies van contrast in het retinale beeld. Immers het retinale beeld is de resultante van de afbeelding middels de PSF van alle voorwerpspunten. Mathematisch geformuleerd is het retinale beeld de convolutie van voorwerp en PSF.

Figuur 1 geeft het aldus berekende retinale contrast voor schaakbordpatronen met 100% modulatie diepte. Deze patronen worden veel bij visuele studies en bij de klinische diagnostiek gebruikt. De figuur laat zien dat het retinale contrast voor het gezonde 25-jarige oog al flink verlaagd is, afhankelijk van de grootte van de schaakbordvelden. De figuur toont ook dat min of meer normaal voorkomende verslechteringen van de PSF tot aanzienlijk verder verlies van retinaal contrast leiden. Dit is o.a. van belang bij het (klinisch) testen met behulp van functies die sterk van het contrast afhankelijk zijn, zoals het z.g. PERG. De figuur toont het effect bij normale veroudering (70γ), bij refractiefouten van $+ .5$ en $+ 1$ D en bij een zeer milde vertroebeling van de optische media die vooral het strooilight laat toenemen (sim).

Ieder contrastverlies, dus iedere PSF, leidt tot verlies van visuele functie. Maar in hoeverre dit voor de individu merkbaar is hangt sterk van de omstandigheden af. Het in figuur 1 beschreven contrastverlies bij het jonge oog is men zich doorgaans niet bewust. Misschien heeft dit te maken met een neuronaal compensatie-mechanisme dat contrasten verscherpt. Jonge mensen merken hun PSF vooral in tegenlicht situaties, wanneer relatief donkere zaken waargeno-

* Dr T J T P van den Berg (fysicus) is universitair hoofddocent bij de vakgroep Medische Fysica en Informatiekunde van de Universiteit van Amsterdam en senior onderzoeker bij het Interuniversitair Oogheekundig Instituut van de Koninklijke Nederlandse Academie van Wetenschappen. Zijn onderzoek betreft verschillende natuurkundige aspecten van het oog.



Figuur 1

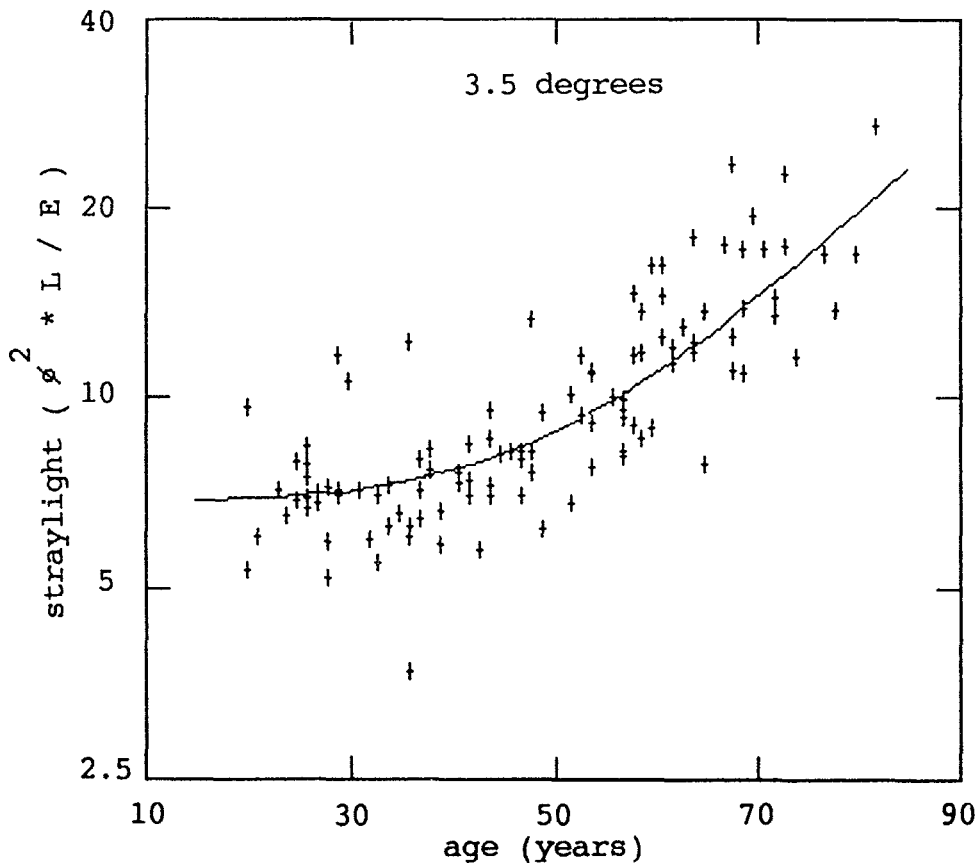
Retinaal contrast (gemiddeld over het oppervlak van een veld) als functie van de veld-grootte bij 100% zwart/wit schaakbordpatronen (Diameter 28 graden. Omgeving een homogeen veld van gelijke gemiddelde helderheid) Bron (6)

men moeten worden in aanwezigheid van heldere lichtbronnen elders in het gezichtsveld. Het stroolichtdeel van de PSF's van de heldere gebieden overstralen dan de donkerder gebieden met als gevolg contrast verlies eventueel resulterend in verblinding. Typische voorbeelden zijn tunnelingangen overdag, tegenliggers met groot licht 's nachts, iemand met zijn rug naar een helder venster, de klassieke ondervragingscène in thrillers

Bij toegenomen verstrooiing in het oudere (figuur 2) of wat troebele oog zijn dit situaties waarbij men ernstig visueel gehandicapt is. Bovendien ontstaan er veel meer situaties waarin men serieuze hinder ondervindt. Binnen de Oogheelkunde is men zich vaak bewust geweest van deze problematiek, maar door gebrek aan klinisch han-

teerbare meetmethode heeft men er niet op kunnen reageren. De oogartsen hebben zich vooral door de makkelijk meetbare gezichtsscherpte laten leiden om het functieverlies tengevolge van fouten in de optische media te beoordelen. Maar de laatste jaren vindt er vooral in Amerika een kentering plaats. Er zijn z.g. "glare testers" geïntroduceerd om ook dit andere functieverlies te meten. Met deze toestellen wordt een verblindend licht gegeven en op enige afstand een test-object, b.v. een letterkaartoptotype of een sinus-raster. De toename in de benodigde grootte van het optotype of van het benodigde contrast van het raster geeft dan een indicatie van de verblinding.

Merk op dat men in beide gevallen een grootheid meet die weliswaar van de PSF



Figuur 2
Strooilicht over 3.5 graden als functie van de leeftijd voor een caucasische populatie Bron (7)

afhangt, maar niet de PSF zelf is. Zowel de gezichtsscherpte als de verblinding hangen ook van andere zaken af, met name van eventuele neuronale afwijkingen en van de adaptatie toestand. Maar als het gaat om de beoordeling van de optische media zou men daarvan onderscheid moeten kunnen maken. Mede door deze neuronale afhankelijkheid varieert de uitkomst van dergelijke tests bovendien met de preciese uitvoering en zijn ze nogal met fouten behept. Meting van de PSF zelf is echter tot nu toe vooral tot de laboratoria beperkt gebleven omdat de meettechnieken klinisch niet hanteerbaar waren. De PSF is

daarbij in twee brokken gemeten. De centrale piek van de PSF is optisch bepaald door de aan de oogbodem gereflecteerde lichtverdeling te meten (1). Deze methode is beperkt tot de centrale 10' omdat de intensiteit van de PSF zo snel afneemt. Het strooilicht buiten de 1° is psychofysisch bepaald m.b.v. het z.g. equivalente luminantie concept (2). Hierbij wordt de luminantie L bepaald die hetzelfde drempelverhogende effect heeft als een puntbron op afstand σ (in graden). De integraal van de PSF wordt in dit geval op 1 genormeerd door L te delen door E, de illuminantie op het oog t.g.v. de puntbron.



Figuur 3.
Strooielichtmeting in de uitvoering geschikt voor klinisch gebruik.

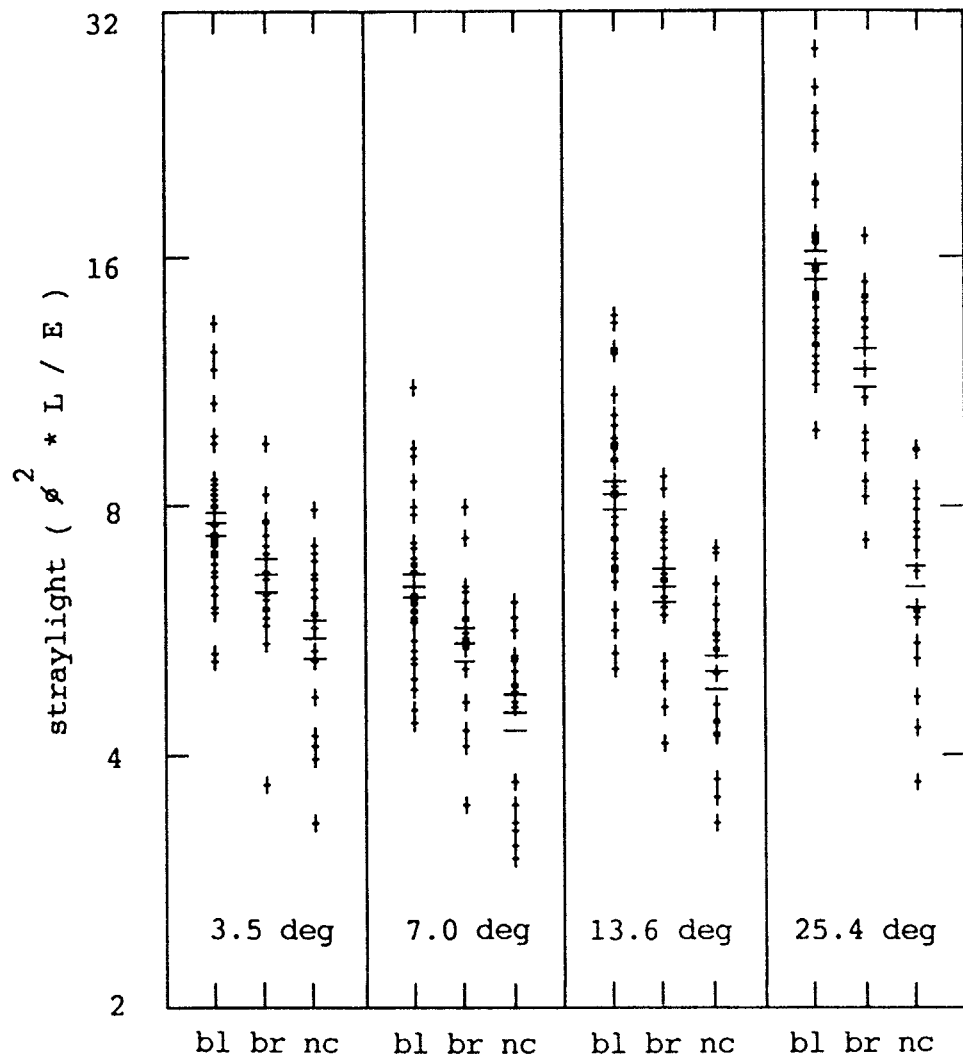
Voor het centrale deel is er nog geen klinisch bruikbaar alternatief voor handen. Voor het strooielicht is door ons een laboratorium-meetmethode ontworpen, die in een enigszins aangepaste en verkleinde vorm is omgezet voor klinisch gebruik. Figuur 3 toont de auteur terwijl hij een collega onderzoekt. Er zijn nu 55 exemplaren gebouwd die in binnen- en buitenland gebruikt worden. De essentie van de methode is als volgt: Een strooielicht-bron wordt knipperend aangeboden op zekere afstand

\varnothing van het fixatiepunt. Als gevolg van de lichtverstrooiing komt overal op de retina licht terecht, dus ook op de fovea. Bij aanbidding van een constante strooielichtbron is men zich dat doorgaans niet bewust; nu echter ziet men overal flikker. In het fixatiepunt wordt nu gelijktijdig een in tegenfase knipperend licht aangeboden. Door de sterkte aan te passen kan de waargenomen strooielicht-flikker gedoofd worden. De voor de PSF te gebruiken waarde L wordt dan de luminantie *modulatie* in het fixatie

punt en de E wordt dan de illuminantie *modulatie* t.g.v. de strooilichtbron

De meetmethode bleek zodanig nauwkeurig te zijn (0.05 logeenheid s.d.) dat een nadere studie aan gezonde ogen zinvol was. Daarbij werden flinke interindividuele verschillen gevonden. Figuur 2 toont dat het

strooilicht aanzienlijk toeneemt met de leeftijd, ook al zijn dit ogen waar oogheelkundig nog geen afwijking aan gevonden kon worden (2) Ook de kleur van de ogen bleek samen te hangen met de strooilichtwaarde (figuur 4). Zoals bekend hangt de kleur van de ogen af van de hoeveelheid pigment in het oog. Wij vroegen ons af of



Figuur 4

Strooilicht in afhankelijkheid van de oog-pigmentatie bl=caucasisch blauwogig, br=caucasisch bruinogig en nc= niet-caucasisch donker-bruinogig. Leeftijden 20-50 jaar, uniform verdeeld. Resultaten worden getoond voor 4 hoeken van lichtverstrooiing Bron (7).

misschien de oogwand enigszins lichtdoorlatend is. Door het licht van de strooilightbron alleen op de iris en sclera te laten vallen, konden we meten hoeveel de doorlating van deze structuren bijdraagt aan het strooilight.

Dit bleek aanzienlijk te zijn voor (licht-)blauwe ogen, maar meer dan 100 keer minder te zijn voor de donker-bruine ogen van gepigmenteerde mensen (3). Daarnaast draagt ook de reflectantie aan de oogbodem op pigmentafhankelijke manier bij aan het strooilight. Het spreekt vanzelf dat deze lichtdoorlating het grootst bleek te zijn bij rood licht. Blauwogige mensen kunnen dit d.m.v. eigen waarneming toetsen door licht op de zijkant van hun oog te laten vallen. Het is bekend dat blauw-ogige mensen bij een ondergaande zon donkere partijen vaak rood ingekleurd zien.

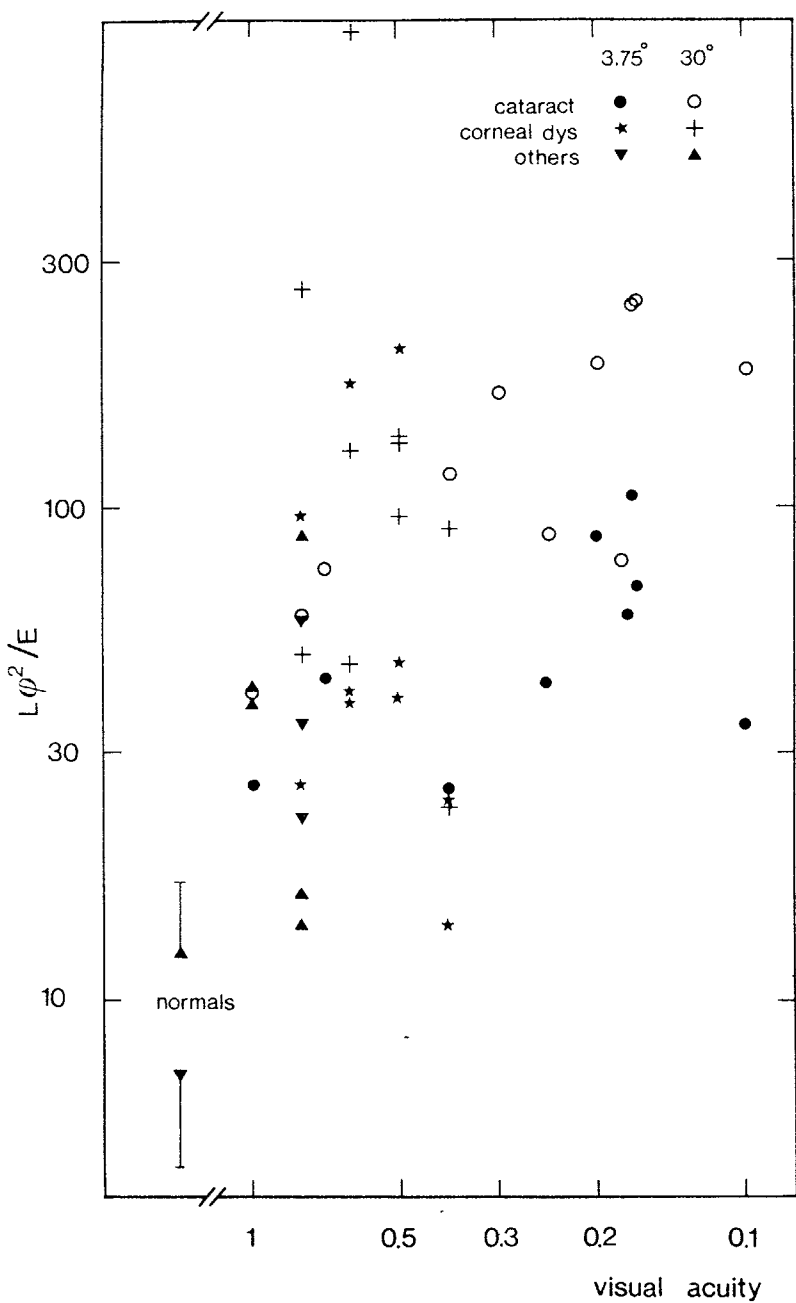
Er zijn zeer veel oogheelkundige aandoeningen die invloed hebben op de optische kwaliteit van het oog. Deze bepalen in belangrijke mate het werkterrein van de oogarts. Daarom is het zeer merkwaardig dat er vrijwel geen kennis bestaat over de optica van deze aandoeningen. Als zeer indirecte maat behelpt men zich met de gezichtsscherpte en meer recent met de "glare" test. Er begint een stroom publicaties op gang te komen waarin gepoogd wordt tot beter inzicht over de optische eigenschappen te komen. Voor wat betreft optische grootheden was men echter tot nu toe vrijwel beperkt tot studie van het strooilight zoals die soms uit een "glare" meting kan worden afgeleid (4,5). Bij deze studies beperkt men zich veelal tot de vraag in hoeverre de "glare" correleert met de gezichtsscherpte. De vraag naar de PSF is dus a.h.w. gereduceerd tot de vraag in hoeverre verbreding van de centrale piek van de PSF correleert met verhoging van de flanken.

Figuur 5 toont de samenhang (of liever het gebrek aan samenhang) tussen gezichtsscherpte en strooilight voor een betrekke-

lijk willekeurige groep patiënten. In de figuur valt op dat strooilightverhogingen zeer aanzienlijk kunnen zijn. Bij de kristallijne cornea dystrophy ("corneal dys.") blijkt bij een nog zeer acceptabele gezichtsscherpte het strooilight extreem verhoogd te kunnen zijn; meer dan 10 maal is geen uitzondering. Deze mensen waren vaak zeer gehandicapt, maar werden door de oogartsen terughoudend behandeld omdat alleen de gezichtsscherpte gemeten kon worden.

De belangrijkste aandoening van de optische media is het ouderdomscataract. Door de vooruitgang in operatie-techniek worden de patienten eerder geopereerd en is er een groeiende behoefte aan meer genuanceerd inzicht in de mate van handicap. Nu is, ook door het werk van anderen (4,5), duidelijk geworden dat de z.g. subcapsulaire vorm het meest van strooilight te lijden heeft. Overigens blijkt binnen iedere cataract-subpopulatie de verhouding tussen strooilight en gezichtsscherpte sterk te kunnen wisselen. Daardoor kan ten behoeve van de individuele diagnostiek niet volstaan worden met klassificatie van het cataract en de meting van de gezichtsscherpte. Steeds zou apart ook het strooilight gemeten moeten worden.

Uit bovenstaande volgt dat ook bij pigmentdefecten er een handicap uit strooilighttoename ontstaat. Eenvoudig kan worden ingezien dat in dit geval de gezichtsscherpte nauwelijks te lijden heeft. Immers het door de oogwand doorgelaten licht is net als bij matglas diffuus van karakter. Er wordt dus een homogeen waas aan de retinale lichtverdeling toegevoegd, die de contrasten uniform verlaagt. Maar de gezichtsscherpte is nauwelijks van contrast afhankelijk; een factor 2 contrastverlaging leidt tot een nauwelijks meetbare gezichtsscherpte-verlaging. Dus ook bij deze patientengroep kan de handicap tot nu toe niet goed beoordeeld worden. De hierboven beschreven meetmethode voor de doorlating van de oogwand kon eenvoudig



Figuur 5
 Strooilight tegen de gezichtsscherpte voor twee hoeken van lichtverstrooiing. Linksonder staan de normaalwaarden. Verder zijn resultaten van drie pathologische groepen getoond: lenstroeelingen (cataract), kristalliene cornea dystrofie (corneal dys.) en een kleine diversen groep (others). Bron (8).

bij patienten toegepast worden (3).

Door ons onderzoek is meer bekend geworden over het normale strooilicht en is een eerste aanzet gegeven voor inzicht in het pathologische strooilicht. Het is nog te vroeg om een verwachting uit te spreken ten aanzien van de vraag of strooilichtmeting inderdaad gemeengoed zal worden in de klinische praktijk.

Referenties

1. Cambell F W, Gubisch R W. 1966 Optical quality of the human eye. *J Physiol. Lond.* 186: 558-578.
2. Vos J J. 1984. Disability glare – a state of the art report. *Cie Journal* 2: 39-53.
3. Van den Berg T J T P, IJspeert J K, de Waard P W T, Meire F. 1990 Functional qualification of diaphany. *Doc. Ophth* in press
4. Abrahamsson M, Sjøstrand J. 1986. Impairment of contrast sensitivity function (csf) as a measure of disability glare. *Invest. Ophthal. Vis. Sc.* 27: 1131-1136.
5. Elliott D B, Hurst M A. 1989. Assessing the effect of cataract: A clinical evaluation of the opacity lensmeter 701. *Optometry Vis. Sc* 66 257-263.
6. Van den Berg T J T P, Boltjes B. 1988. The point-spread function of the eye from 0 to 100 deg and the pattern electroretinogram. *Doc. Ophth*, 67: 347-354.
7. IJspeert J K, de Waard P W T, van den Berg T J T P, de Jong P T V M. 1990 The intraocular straylight function in 129 healthy volunteers; dependence on angle, age and pigmentation. *Vision Res* 30: 699-707
8. Van den Berg T J T P 1986. Importance of pathological intraocular light scatter for visual disability. *Doc. Ophth.* 61. 327-333

Korrespondentie:

Dr. T.J.T.P. van den Berg
Medische Fysica en Informatiekunde
AMC, Meibergdreef 15
1105 AZ Amsterdam