

HET VERGENTIE AANPASSINGSVERMOGEN BIJ HET KIJKEN NAAR TELEVISIE BEELDEN IN 2D EN IN 3D VERSCHILT NIET

Anne Faber

Juni 2010

Bolognalaan 101

3584 CJ UTRECHT

Afstudeeropdracht, Hogeschool Utrecht, opleiding optometrie

SAMENVATTING

Door middel van driedimensionale televisie kunnen televisiebeelden nog realistischer worden weergegeven. In het werkelijke leven zien mensen namelijk ook alles in drie dimensies (3D). Het is belangrijk om te weten of het visuele comfort vermindert door het kijken naar driedimensionale televisie in vergelijking met de huidige tweedimensionale televisie. In dit onderzoek is het vergentie aanpassingsvermogen bij het kijken naar televisiebeelden in twee dimensies (2D) en in drie dimensies (3D) onderzocht. De vraag daarbij is of er verschil is in het vergentie aanpassingsvermogen tijdens het kijken naar televisie beelden in 2D en in 3D. Er hebben in totaal 35 proefpersonen aan het onderzoek deelgenomen met een leeftijd van 16 tot 40 jaar. Op het scherm van de 3D televisie wordt een rij met letters getoond. Om de mate van visuele uitputting te testen worden prisma flippers gebruikt. De prisma flippertest wordt uitgevoerd bij het kijken naar een beeld in 2D, en vervolgens naar een beeld in 3D (naar voren en naar achteren komend). De resultaten worden genoteerd in cycli per minuut (cpm). Nadat er voor een bepaalde diepte-instelling een minuut lang geflipperd is, vult de proefpersoon een vragenlijst in. Deze vragenlijst is bedoeld om de mate van visueel (dis)comfort vast te stellen (8 items op een 5 puntsschaal). Tevens wordt de oogstand gemeten. Het aantal cycli per minuut dat de proefpersonen behalen in 2D en 3D verschilt niet significant ($p = 0,505$ voor de 8 prdpt flipper en $p = 0,634$ voor de 4 prdpt flipper). Mensen met een exoforie halen een hoger aantal cycli per minuut dan mensen met een ortho- of eso- forie ($p = 0,003$ voor de 8 prdpt flipper en $p = <0,001$ voor de 4 prdpt flipper). Bij mensen met een esoforie is het aantal cycli per minuut het laagst. Deze relatie tussen oogstand en het aantal cycli per minuut is volgens de t-toets (ANOVA) significant ($p = 0,003$ voor de 8 prdpt flipper en $p = <0,001$ voor de 4 prdpt flipper). Het aantal cycli per minuut dat iemand haalt is afhankelijk van de oogstand van die persoon en onafhankelijk van de dimensie (2D of 3D). De comfort scores zijn niet statistisch significant voor de dimensie (2D of 3D, $p = 0,528$) en ook niet voor de oogstand (eso, exo, ortho; $p = 0,338$). Aan de hand van dit onderzoek kan niet worden gesteld dat visuele vermoeidheid optreedt bij het kijken naar een 3D televisie gedurende één minuut. Uit de gegevens van dit onderzoek blijkt dat het vergentie aanpassingsvermogen gemeten in 2D en 3D vrijwel niet verandert.

INHOUDSOPGAVE

Samenvatting	2
Inhoudsopgave	3
Inleiding	4
Materiaal en methode	6
Resultaten	9
Discussie	12
Conclusie	16
Referenties	17
Auteursrechten	19
Bijlage	20

INLEIDING

In het dagelijks leven zien mensen alles in drie dimensies (3D); onze ogen zijn horizontaal gescheiden, waardoor elk oog zijn eigen perspectief op de wereld heeft. Beide ogen krijgen een ander beeld op het netvlies. Stereopsis is de waarneming van diepte die is gebaseerd op het verschil tussen deze twee retinale beelden (Rutstein *e.a.*, 1998). De hersenen smelten het linker en het rechter beeld van beide retina samen tot één beeld. De hersenen selecteren relatieve diepte-informatie. Punten die worden gefixeerd door beide ogen worden geprojecteerd op overeenkomstige delen van het netvlies. Punten die niet op de horopter vallen hebben retinale dispariteit. Punten die voor de horopter liggen hebben een negatieve of gekruiste retinale dispariteit en de punten gelegen achter de horopter hebben een positieve of ongekruiste retinale dispariteit (Rutstein *e.a.*, 1998; Lambooi *e.a.*, 2009).

3D televisie maakt gebruik van stereopsis door een linker en een rechter beeld aan respectievelijk het linker en het rechter oog aan te bieden waarna beide retinale beelden gefuseerd kunnen worden. Indien bepaalde objecten in de beelden verschoven zijn ten opzichte van elkaar en dus retinale dispariteit bevatten, worden deze objecten waargenomen als zijnde zich fysiek voor en achter het scherm te bevinden. Met andere woorden, door middel van 3D televisie kunnen de beelden nog realistischer worden weergegeven.

De 3D televisie is nog volop in ontwikkeling. Voor een succesvolle marktintroductie van de 3D televisie moet zowel de kwaliteit als het kijkcomfort vergelijkbaar zijn met die van de traditionele 2D televisie (Lambooi *e.a.*, 2009). 3D technieken worden al op bescheiden schaal commercieel toegepast (mobiele telefoontjes, films). De verwachting is dat 3D LCD schermen binnen enkele jaren in populariteit toenemen (Getty *e.a.*, 2007). Voordat het brede publiek zich zal wagen aan deze nieuwe technologie moet eerst antwoord worden gevonden op vele vraagstukken, met inbegrip van visuele vermoeidheid na het bekijken van tv-beelden (Emoto *e.a.*, 2005).

Het is belangrijk om te weten of het visuele comfort verminderd door het kijken naar 3D televisie in vergelijking met de huidige 2D televisie. Sommige mensen ervaren eerder oogklachten, zoals vermoeide of trekkende ogen, bij 3D dan bij 2D beelden (Emoto *e.a.*, 2005). Eén van de oorzaken die vaak genoemd wordt is de ontkoppeling van accommodatie en vergentie. Accommodatie en vergentie zijn gekoppeld. Echter tijdens het kijken naar 3D

televisie is de accommodatie gefocust op het scherm waar de afbeelding het scherpst is weergegeven en de vergentie op het 3D object dat zich ergens voor of achter het scherm bevindt. Oftewel, het kijken naar een 3D televisie geeft ongelijke eisen aan de accommodatie en vergentie (Eadie *e.a.*, 2000). Mensen ervaren voornamelijk oogklachten wanneer de vergentie zwaar belast wordt of wanneer de vergentie verandert in de tijd (Emoto *e.a.*, 2005). Er is echter minder bekend over het effect van 3D televisie bij mensen met een heteroforie.

De stand van de ogen heeft invloed op de retinale dispariteit. Als de ogen niet goed op een punt fixeren maar ervoor of erachter, dan wordt de dispariteit groter. Mensen met een esoforie hebben meer moeite om te divergeren en mensen met een exoforie hebben meer moeite om te convergeren (Fortuin *e.a.*, 2005). Aan de hand van deze informatie zou je verwachten dat mensen met een exoforie makkelijker naar een 3D televisie kijken met divergente beelden, beelden die naar achter gaan en een gekruiste dispariteit hebben. Mensen met een esoforie zouden juist makkelijker naar een 3D televisie met convergente beelden kijken. Convergente beelden zijn dus beelden die naar voren komen en een ongekruiste dispariteit hebben.

De vraagstelling van dit onderzoek is: verschilt het vergentie aanpassingsvermogen tijdens het kijken naar televisie beelden in 2D en 3D?

Deze vraagstelling kan worden onderverdeeld in verschillende deelvragen.

- Maakt het verschil of de 3D televisie convergerend of divergerend staat?
- Halen mensen met een esoforie meer cycli per minuut bij het kijken naar convergente beelden?
- Kijken mensen met een esoforie rustiger naar een convergerend beeld na het uittesten van het vergentie aanpassingsvermogen?
- Kijken mensen met een exoforie rustiger naar een divergerend beeld na het uittesten van het vergentie aanpassingsvermogen?

MATERIAAL EN METHODE

Voor het onderzoek zijn bij voorkeur personen gekozen die niet comfortabel lezen en/of neigen naar decompensatie van hun oog samenwerking of om een andere reden slecht met twee ogen zien. Alle proefpersonen hebben enige mate van binoculair enkel zien en hebben een normale retinacorrespondentie. Mensen met een multifocale of bi-focale bril, suppressie, diplopie of amblyopie kunnen niet met het onderzoek meedoen. Werving vindt plaats op de Hogeschool Utrecht via een brief die verspreid wordt in de school en via e-mail. Voordat aan het onderzoek deelgenomen kan worden moet er een informed consent getekend worden.

Alvorens het onderzoek te beginnen is de heteroforie bepaald met behulp van Maddox op drie meter afstand. Op deze manier wordt bepaald of iemand thuishoort in de categorie exofoor, esofoor of orthofoor. De schaal van het Maddoxkruis is in graden en niet in prdpt. De gevonden afwijking is ook genoteerd in graden en niet in prdpt, 1graad = 1,745prdpt. De groepsgroottes zijn af te lezen in tabel 1.

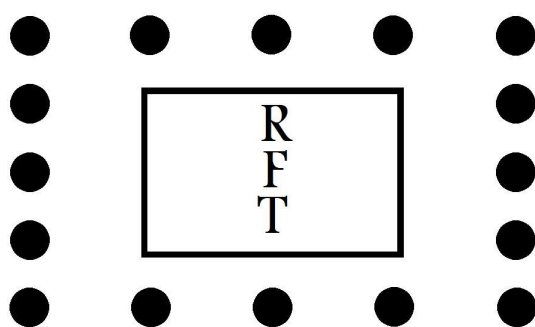
Tabel 1: groepsgrootte heteroforie

Deviatie	N (aantal personen)
Exofoor	8
Esofoor	17
Orthofoor	10

Om de mate van visuele uitputting te testen worden prisma flippers gebruikt. Een prismaflipper test het fusie aanpassingsvermogen en wordt in de optometrie gebruikt om de uitputting van de fusie te onderzoeken. Hiervoor is gekozen, omdat dit klinisch makkelijk uit te voeren is. De richting van het beeld wordt door de prisma's zo verplaatst dat de proefpersoon een corrigerende beweging moet maken met de ogen om te voorkomen dat er een dubbel beeld ontstaat. Bij prisma's met basis nasaal is er een divergente beweging nodig en bij prisma's met basis temporaal en convergente beweging (Rutstein *e.a.*, 1998). Door prisma's met basis temporaal en basis nasaal met elkaar af te wisselen moet de persoon steeds convergeren en weer divergeren. Dat gebeurt ook bij het kijken naar een 3D televisie. De beelden komen steeds in verschillende mate naar voren waardoor de vergentie ook steeds aangepast moet worden (Eadie *e.a.*, 2000). Er is gekozen voor een flipper prisma van 8 prdpt, omdat dit de sterkte is die het meest gebruikt wordt om de vergentie te testen (Eskridge *e.a.*, 1991). Tijdens het onderzoek is na de eerste 4 metingen besloten om bij de volgende proefpersonen (N = 30) ook een flipper van 4 prdpt te gebruiken.

Aan de proefpersonen wordt gevraagd om aan te geven wanneer de beelden scherp en enkel zijn. Zodra dit het geval is worden de prisma's omgedraaid van basis nasaal naar basis temporaal of andersom. Dit wordt een minuut lang gedaan per fixatie object en het aantal keer dat het beeld enkel en scherp is wordt geteld. In de optometrie wordt de flipperprisma gemeten in cycli per minuut (cpm). Dit is het aantal keer dat de convergente en divergente fusiebewegingen zijn uitgevoerd.

Voor het onderzoek is een 42" Philips LCD televisie gebruikt. De 42" Philips LCD televisie heeft negen kijkrichtingen die ontstaan door negen verschillende blikrichtingen (Dodgson, 2002). Verder heeft het een lenticulair oppervlak. Dit is een oppervlak van cilinder lenzen, zo gemaakt dat wanneer er van een andere hoek gekeken wordt er een ander beeld te zien is (Pastoor, Wöpking, 1997). Voor deze televisie is geen bril als hulpmiddel nodig om driedimensionaal te kijken. Er wordt gebruik gemaakt van stereozien en parallax (Dodgson, 2002). De televisie heeft een resolutie van 960 x 544 en een gezichtsveld van 21 graden. Op de juiste afstand krijgt de kijker in ieder oog een ander beeld aangeboden.



Figuur 1: fixatie object 3 dimensionale televisie

Op het scherm van de 3D televisie wordt een fixatie object geprojecteerd. Het fixatie object is een vlak met drie letters erin (figuur 1). De televisie staat op een afstand van drie meter van de proefpersoon. Deze afstand is gekozen omdat het lenticulair oppervlak op deze kijkafstand het beste diepte effect geeft. Op deze afstand is goed binoculair dieptezien

mogelijk (Noorden e.a., 2002). De diepte-instelling varieert van 3D ongekruist, 3D gekruist of 2D. De volgorde van de verschillende diepte-instellingen verschilt per proefpersoon. Hiervoor is een randomisatie schema gemaakt dat de volgorde van de diepte-instelling bepaalt. Bij elke diepte-instelling wordt een minuut lang geflipperd. Het aantal cycli per minuut wordt opgeschreven.

Nadat er voor een bepaalde diepte-instelling een minuut lang geflipperd is, vult de proefpersoon een vragenlijst in. Hierin wordt gevraagd in hoeverre de persoon één of meer van de onderstaande klachten heeft ervaren tijdens het doen van de test. De vragenlijst is te zien in tabel 2.

Tabel 2: visueel discomfort vragenlijst. De proefpersoon wordt gevraagd in hoeverre er één of meer van de onderstaande klachten zijn ervaren tijdens het doen van de test

		nooit	zelden	soms	vaak	altijd
1	Vermoeide ogen					
2	Oncomfortabel gevoel					
3	Hoofdpijn					
4	Dubbel zien					
5	Pijn in de ogen					
6	Irritatie in/ om de ogen					
7	Trekkend gevoel in de ogen					
8	Onscherpe waarneming					

De gegevens van de visueel discomfort vragenlijst zijn verwerkt door aan elke uitkomst een waarde te koppelen. Hierbij is voor 'nooit' de waarde 1 gekozen, voor 'zelden' de waarde 2, voor 'soms' de waarde 3, enzovoort. Er zijn acht vragen, dus iemand kan minimaal $1 \times 8 = 8$ punten halen en maximaal $5 \times 8 = 40$ punten. Hoe hoger de score is, hoe meer discomfort de proefpersoon heeft ervaren tijdens het doen van de test.

Alle gegevens zijn ingevoerd in tabellen en grafieken. Vervolgens zijn de gegevens ingevoerd in de 'Analyse of Variance' (ANOVA) tabel. Een ANOVA vergelijkt de scores, in dit geval het aantal cycli per minuut van de verschillende groepen ten opzichte van elkaar. Het neemt simpel gezegd groeps groottes en bijbehorende gemiddelden en standaardafwijking van elke groep en analyseert of ze significant van elkaar verschillen. Het voert t-toetsen uit voor alle mogelijke combinaties.

RESULTATEN

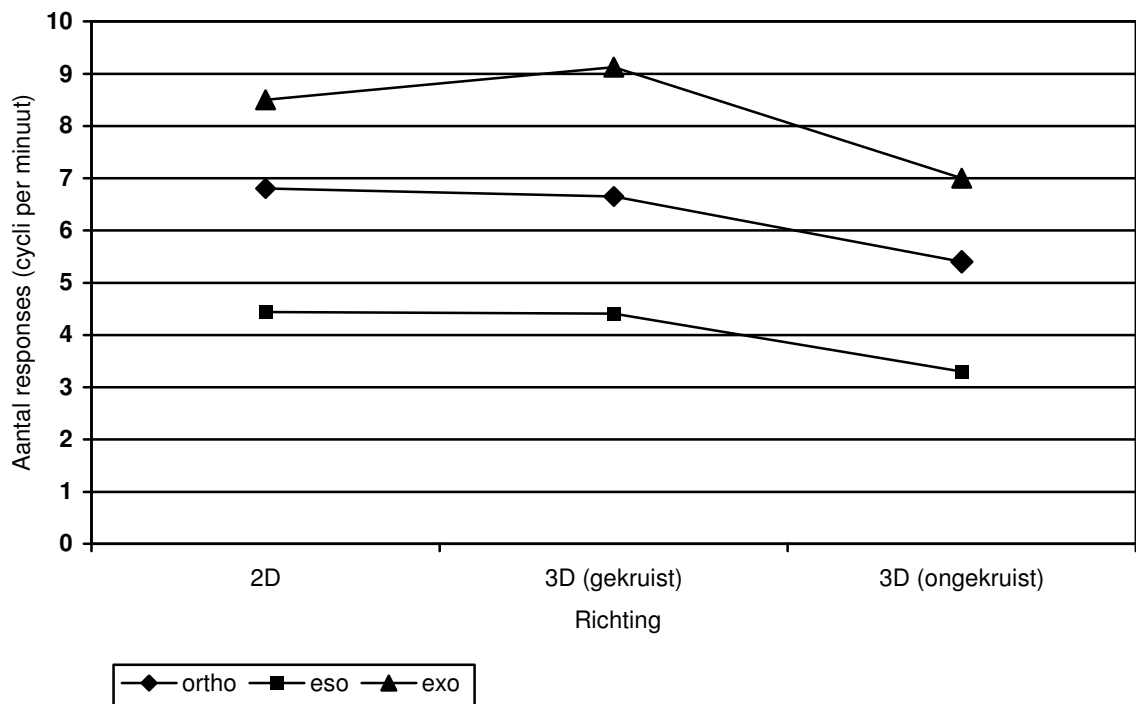
De resultaten van het onderzoek zijn terug te vinden in tabel 5 in de bijlage. Er hebben in totaal 35 proefpersonen aan het onderzoek meegedaan met een leeftijd van 16 tot 40 jaar. Zoals te zien is in tabel 5 gaat het om veel gegevens. Om het overzichtelijk te maken zijn alle gegevens onderverdeeld in groepen. Er is een onderverdeling gemaakt aan de hand van drie punten:

1. De hoogte van het flipperprisma (8 of 4 prismadioptrie)
2. De oogstand (orthofoor, esofoor of exofoor)
3. De diepte-instelling (3D ongekruid, 3D gekruist of 2D)

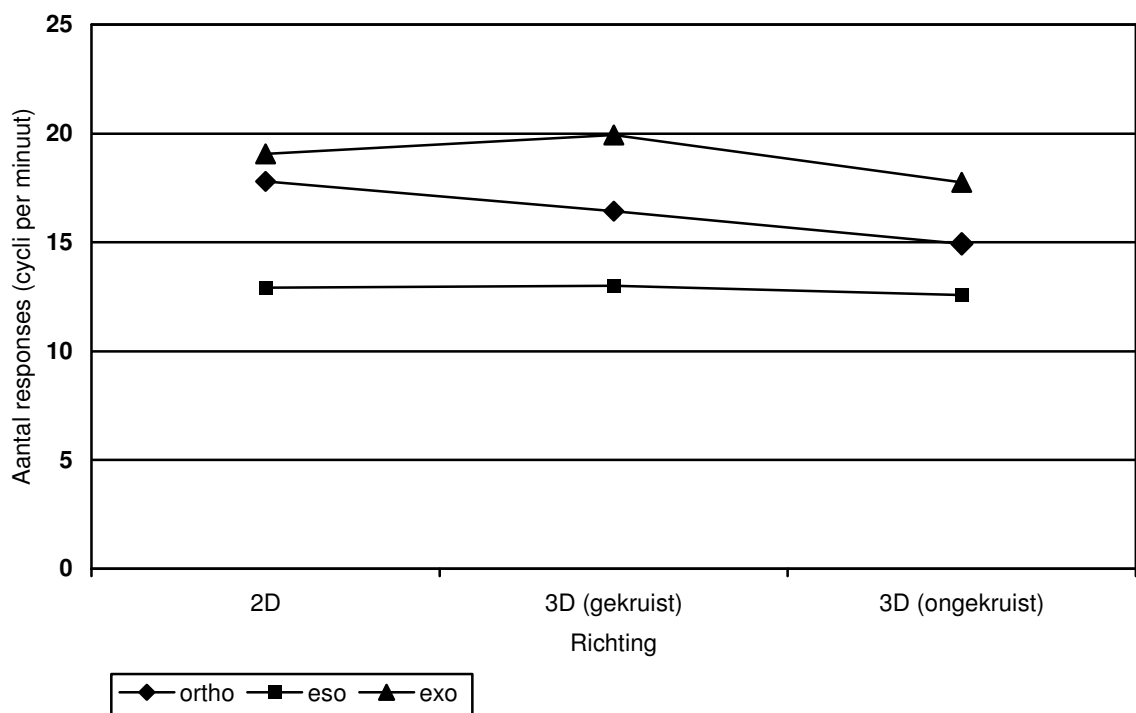
Van elke groep is een gemiddelde berekend. De verdeling van de groepen en het bijbehorende gemiddelde is te zien in tabel 3. Grafiek 1 laat de gemiddelde uitkomsten zien van de prismaflipper test bij de 8 prisma flipper en grafiek 2 die van de 4 prisma flipper. Alle gegevens zijn genoteerd in cycli per minuut.

Tabel 3: Gemiddelde uitkomst van de prismaflipper test in cycli per minuut (cpm)

		3D (ongekruist)	2D	3D (gekruist)
4 prdpt N= 30	Ortho	14,9	17,8	16,4
	Eso	12,6	12,9	13,0
	Exo	17,8	19,1	19,9
8 prdpt N= 35	Ortho	5,4	6,8	6,7
	Eso	3,3	4,4	4,4
	Exo	7,0	8,5	9,1



Grafiek 1: gemiddelde uitkomst van de prismaflipper test in cycli per minuut bij de 8 prisma flipper, N = 35

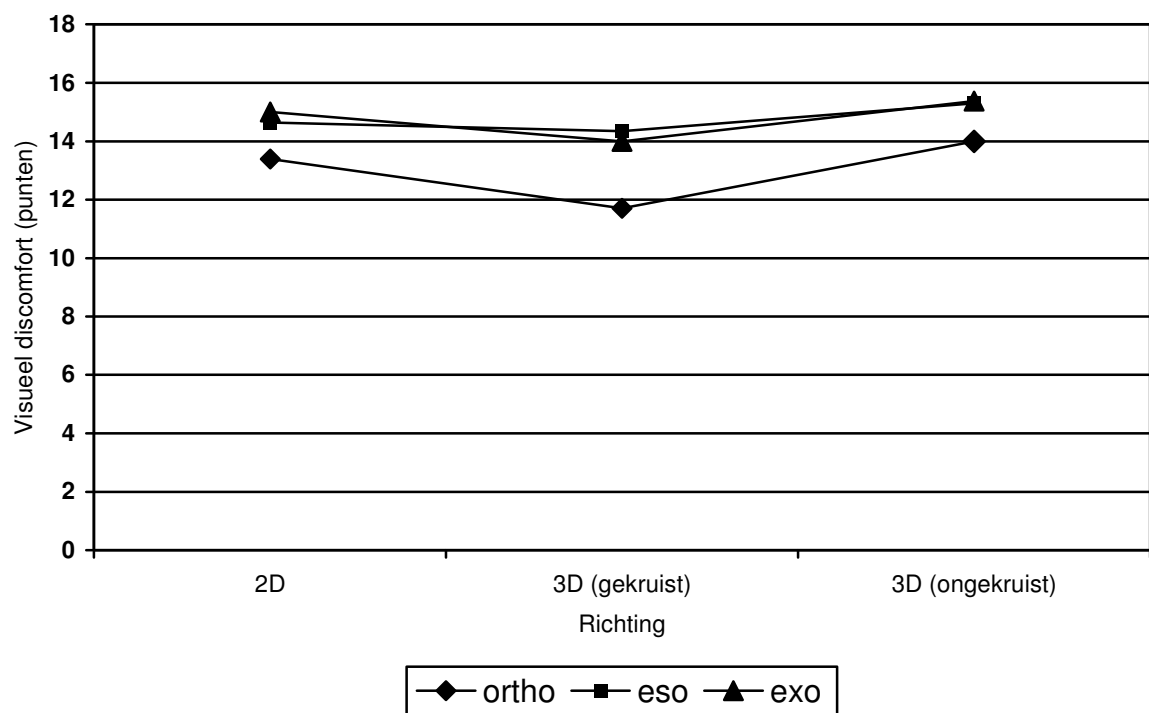


Grafiek 2: gemiddelde uitkomst van de prismaflipper test in cycli per minuut bij de 4 prisma flipper, N = 30

De resultaten van de visueel (dis)comfort vragenlijst zijn te vinden in tabel 6 in de bijlage. Deze gegevens zijn ook onderverdeeld in groepen, namelijk die van de oogstand en van de diepte-instelling. De gemiddelde scores die behaald zijn op de visueel (dis)comfort vragenlijst zijn af te lezen in tabel 4. Van deze tabel is een grafiek gemaakt, zie grafiek 3.

Tabel 4: gemiddelde score behaald op de visueel (dis)comfort vragenlijst in punten (score bereik 8 tot 40)

	3D (ongekruist)	2D	3D (gekruist)
Ortho	14,0	13,4	11,7
Eso	15,3	14,6	14,4
Exo	15,4	15,0	14,0



Grafiek 3: gemiddelde score behaald op de visueel (dis)comfort vragenlijst in punten (score bereik 8 tot 40), N = 35

DISCUSSIE

In de grafieken 1 en 2 is duidelijk te zien dat de mensen met een exoforie de meeste cycli per minuut halen. Het gemiddelde aantal cycli per minuut dat de mensen met een exoforie behalen ligt bij alle diepte-instellingen hoger dan het gemiddelde dat de mensen met een eso- of een ortho- forie halen. De mensen met een esoforie halen de minste cycli per minuut, het gemiddelde van de mensen met een esoforie ligt bij alle diepte-instellingen onder dat van de mensen met een exo- of een ortho- forie. Uit de t-toets blijkt dat dit verschil significant is. Voor de 8 flipperprisma test geldt dat $p = 0,0003$ en voor de 4 flipperprisma test geldt dat $p = < 0,0001$. Het aantal cycli per minuut dat iemand haalt, is dus afhankelijk van de oogstand van die persoon. Het vergentie aanpassingsvermogen is groter bij mensen met een exoforie.

Om de resultaten te vertalen naar de praktijk is het de vraag of iemand met een esoforie meer visueel discomfort ervaart bij het kijken naar een 3D televisie, dan iemand met een orthoforie of een exoforie. Het feit dat de proefpersonen met een esoforie gemiddeld minder cycli per minuut halen bij de prisma flippertest kan erop wijzen dat het deze mensen meer moeite kost om op het 3D beeld scherp te stellen. Dit is echter niet klinisch relevant, omdat iemand met een esoforie niet meer cycli per minuut haalt tijdens de prisma flippertest bij het kijken naar een 2D televisie. Het kost de proefpersonen met een esoforie evenveel moeite om scherp te stellen op een 2D beeld als op een 3D beeld.

Het valt op dat de grafiek bij elke afwijking hetzelfde verloop heeft. 2D en 3D gekruist hebben ongeveer even veel cycli per minuut en 3D ongekruist haalt duidelijk het minste aantal cycli per minuut. De vraag is of 3D ongekruist moeilijker is dan 3D gekruist en 2D. Statistisch gezien is er geen verschil tussen 3D gekruist, 3D ongekruist en 2D, de t-toets geeft een waarde van $p = 0,634$ voor de 4 prdpt flippertest en $p = 0,505$ voor de 8 prdpt flippertest. Toch is in grafiek 1 en 2 te zien dat 3D ongekruist het laagste aantal cycli per minuut haalt. Het gaat hier echter wel om een heel klein verschil, slechts enkele cycli per minuut. De vraag of 3D ongekruist echt moeilijker is dan 2D en 3D gekruist is vanwege dit kleine verschil niet klinisch relevant.

Tijdens het werven van proefpersonen is getracht zoveel mogelijk mensen te vinden die niet comfortabel lezen en/ of neigen naar decompensatie van hun oog samenwerking of om een

andere reden slecht met twee ogen zien. De oogsamenwerking is bij deze mensen zwakker dan bij de gemiddelde mens. Als de 3D televisie voor meer visueel discomfort zorgt dan de traditionele 2D televisie, dan zullen deze mensen daar het eerst last van hebben. De proefpersonen die meedoen moeten echter wel stereopsis hebben en een normale retina correspondentie.

De oogstand is afhankelijk van verschillende factoren zoals het tijdstip waarop het gemeten is, de test die gebruikt is en de afstand waarop gemeten wordt. De uitkomst van de meting kan daarom verschillen (Rutstein *e.a.*, 1998). In dit onderzoek is de oogstand gemeten op 3 meter, omdat dit dezelfde afstand is als waarop de flippertest bij de 3D televisie is gedaan. Er is gekozen om de oogstand te meten met het Maddox-kruis, omdat het Maddox-glaasje dissocieert door middel van prisma's net zoals de 3D televisie. Op deze manier is geprobeerd de oogstand zo zuiver mogelijk te bepalen. Tijdens het meten van de heteroforie met behulp van het Maddox-kruis, blijkt dat de groep proefpersonen voor een groot deel bestaat uit mensen met een rechte oogstand. Er zijn precies 10 proefpersonen van de 35 waarbij een deviatie van 0 graden wordt gemeten. Bij de andere proefpersonen wordt een deviatie gemeten van een halve graad of meer. De gemeten deviaties zijn allemaal genoteerd in tabel 5 in de bijlage. Op basis van de normwaarde volgens Morgan valt een heteroforie van 1 prdpt exoforie met een standaarddeviatie van 2 prdpt voor veraf binnen de norm (Rutstein *e.a.*, 1998). Dit betekent dat iemand met een heteroforie tussen de 1 prdpt esofoor en 3 prdpt exofoor binnen deze norm valt. In dit onderzoek vallen de meeste deelnemers binnen deze norm. Er is in dit onderzoek voor gekozen om bij het maken van de indeling naar de oogstand geen rekening te houden met de normwaarde volgens Morgan. Hiervoor is gekozen, omdat er dan maar 2 exofoeren en 12 esofoeren in de subgroepen zouden vallen. Dit zijn te kleine groepsgroottes voor een onderzoek. Een mogelijk artefact voor het hoge aantal eso-deviaties kan komen doordat de rode Maddox streep de accommodatie en de convergentie kunstmatig stimuleerde. Er is geen objectieve oogstandmeting met de cover-test verricht ter verificatie.

De resultaten van de visueel (dis)comfort vragenlijst zijn te zien in tabel 4 en grafiek 3. In deze tabel en grafiek is te zien hoeveel punten de proefpersonen hebben gehaald bij het invullen van de vragenlijst. Hoe hoger de score is, hoe meer visueel discomfort de proefpersoon heeft ervaren tijdens het doen van de flippertest. In grafiek 3 is te zien dat de score in het geheel laag is, wat betekent dat er over het algemeen niet veel visueel discomfort is ervaren tijdens het onderzoek. De gemiddelde uitkomst is 14,2 punten. Dat is

weinig in vergelijking met de maximaal haalbare score van 40 punten. Verder zijn de volgende feiten uit grafiek 3 te halen:

1. De proefpersonen die orthofoor zijn hebben gemiddeld een lagere score behaald dan de proefpersonen die eso- of exo-foor zijn.
2. 3D gekuist is de richting waarbij de score, in alle 3 de groepen, het laagst is.

De punten die hierboven genoemd zijn (richting en afwijking) zijn niet significant, dat heeft de t-toets uitgewezen. Het maakt voor het visuele discomfort niet significant uit of er naar een 2D, 3D gekuist of 3D ongekuist beeld wordt gekeken ($p = 0,5$). Het maakt ook niet significant uit of iemand ortho-, eso- of exo-foor is voor het ervaren van visueel discomfort ($p = 0,3$). De combinatie richting en afwijking is niet significant ($p = 1,0$).

Het verschil in score tussen de verschillende afwijkingen en de gemeten richtingen is niet groot. De minimale score die gehaald kan worden is 8 punten en de maximale score is 40 punten. Er is dus een verschil in score mogelijk van 32 punten. De gemiddelde score geeft echter maar een verschil van ongeveer 2 punten tussen de verschillende afwijkingen en ook een soortgelijk verschil tussen de verschillende richtingen. Dit is een verschil van 6% ($2/32$). Aan de hand van de grafiek kan er alleen gesproken worden van trends, die misschien significant gemaakt kunnen worden als de groepen veel groter worden gemaakt. In dit onderzoek waren de comfort verschillen in 2D en 3D niet statistisch en niet klinisch relevant.

Het is opvallend dat de eso- en exo-foren ongeveer evenveel visueel discomfort ervaren. De esofoeren halen immers minder cycli per minuut bij de flippertest dan de exofoeren. Het feit dat mensen met een esofoorie minder cycli per minuut halen met de flippertest, kan komen omdat proefpersonen met een esofoorie er daadwerkelijk meer moeite mee hebben en dit ook aangeven middels meer ervaren visuele discomfort. Het kan ook zijn dat proefpersonen met een exofoorie bij toeval extra veel cycli per minuut hebben gehaald en daardoor wat extra klachten hebben ervaren. Dit is echter niet uit de gegevens te halen die gemeten zijn.

Het gehele onderzoek duurt niet langer dan 15 minuten per proefpersoon. Dit is zo'n korte tijd dat er niets gezegd kan worden over de visuele vermoeidheid na langere tijd 3D televisie kijken. Een film of een televisieprogramma duurt over het algemeen veel langer dan 15

minuten. Het is dus zeker relevant om in een volgend onderzoek te kijken wat er gebeurt als iemand voor langere tijd naar een 3D televisie heeft gekeken. Er moet dan ook rekening worden gehouden met het adaptatievermogen. De verwachting is dat deze verandert bij het kijken naar een 3D scherm.

CONCLUSIE

Uit de gegevens van dit onderzoek blijkt dat het vergentie aanpassingsvermogen op een 2D en 3D televisiebeeld nagenoeg gelijk verloopt.

REFERENTIES

- [1] Eadie, A.S., Gray, L.S, Carlin, P., Mon-Williams, M. (2000) Modelling adaptation effects in vergence and accommodation after exposure to a simulated Virtual Reality stimulus. *Ophthalmic and Physiological Optics*. Vol. 20, p. 242-251.
- [2] Emoto, M., Niida, T., Okana, F. (2005) Repeated Vergence Adaptation Causes the Decline of Visual Functions in Watching Stereoscopic Television. *Journal of Display Technology*. Vol. 1, p. 328-340.
- [3] Emoto, M., Nojiri, Y., Okano, F. (2004) Changes in fusional vergence limit and its hysteresis after viewing stereoscopic TV. *Journal of Display Technology*. Vol. 25, p. 67-76.
- [4] Getty, D.J., Green, P.J. (2007) Clinical applications for stereoscopic 3-D displays. *Journal of the SID*. 15/6, p. 377 – 384.
- [5] Hagura, H., Nakajima, M., Owaki, T., Takeda, T. (2006) Study of asthenopia caused by the viewing of stereoscopic images: measurement by MEG and other devices. *Proceedings of SPIE*. Vol. 6057, p. 192-202.
- [6] Lambooi, M., Fortuin, M., IJsselstein, W.A., Heynderickx, I. (2009) Measuring visual discomfort associated with 3D displays. *Proceedings of SPIE*. Vol. 7237.
- [7] Li, H., Seo, J., Kham, K., Lee, S. (2008) Measurement of 3D visual fatigue using event-related potential (ERP): 3D oddball paradigm. *Optical Society of America*. p. 213 - 216.
- [8] Mon-Williams, M., Wann, J.P., Rushton, S. (1993) Binocular vision in a virtual world: visual deficits following the wearing of a headmounted display. *Ophthalmic and Physiological Optics*. Vol.13, p. 387 – 391.
- [9] Peli, E. (1998) The visual effects of head-mounted-display (HMD) are not distinguishable from those of desk-top computer display. *Vision Research*. Vol. 38, p. 2053-2066

- [10] Peli, E., Hedges, T.R., Tang, J., Landmann, D. (2001) A Binocular Stereoscopic Display System with Coupled Convergence and Accommodation Demands. *Proceedings of SPIE*. p. 1296 – 1299.
- [11] Richards W. (1970) stereopsis and Stereoblindness. *Experimental Brain Research*. Vol. 10, p. 380-388.
- [12] Ukai, K., Howarth, P. A. (2008) Visual fatigue caused by viewing stereoscopic motion images: Background, theories and observations. *Displays*. Vol. 29, p. 106-116.
- [13] Ukai, K., Kato, Y. (2002) The use of video refraction to measure the dynamics properties of the near triad in observers of a 3-D display. *Ophthalmic and Physiological Optics*. Vol. 22, p. 385- 388.
- [14] Eskridge, B.J., Amos, J.F., Bartlett J.D. (1991) *Comprehensive adult eye and vision examination*. Philadelphia, J.B. Lippincott Company
- [15] Rutstein, R.P., Daum, K.M. (1998) *Anomalies of binocular vision: diagnosis and management*. United States, Mosby.
- [16] Fortuin, M., Rijkers, A., Sonneveld, J. (2005) De AC/A relaties: op twee manieren bekeken. *Visus*. Vol. 3, p. 68 – 72
- [17] Fortuin, M., Rijkers, A., Sonneveld, J. (2005) Forieën en AC/A relatie: theorie en praktijk. *Visus*. Vol. 3, p. 62 – 68.
- [18] Noorden G.K., von, Campos, E.C. (2002) *Binocular Vision and ocular Motility: Theory and Management of Strabismus*. zesde editie. Missouri, A Harcourt Health Sciences Company.
- [19] Dodgson N.A. (2002) Analysis of the viewing zone of multi-view autostereoscopic displays. *Proceedings of SPIE*. Vol. 4660.
- [20] Pastoor S., Wopking, N. (1997) 3-D displays: a review of current Technologies. *Displays*. Vol.17, No.2, p.100-110.

AUTEURSRECHTEN

De auteurs verklaren het volledige auteursrecht op hun werk te bezitten. Zij vrijwaren de Opleiding Oogzorg van de Hogeschool Utrecht voor alle vorderingen van derden betreffende de inhoud en vorm van het artikel. Vermenigvuldiging en verspreiding is, zonder toestemming van de Opleiding Oogzorg, Hogeschool Utrecht, niet toegestaan. De auteurs zullen bij eventuele publicatie, gebaseerd op het artikel, de Opleiding Oogzorg slechts vermelden na verleende toestemming.

BIJLAGEN

Tabel 5: alle uitkomsten van de flipperprisma test en de gemeten deviatie met het Maddoxglaasje

Nummer	Deviatie	Diepte-instelling	8 prismaflipper	4 prismaflipper
1	ortho	Ongekruid	5	28
		2D	13	35
		Gekruist	9	32
2	ortho	Ongekruid	9	
		2D	9	
		Gekruist	9	
3	ortho	Ongekruid	4	
		2D	5	
		Gekruist	10	
4	4 eso	Ongekruid	23	
		2D	25	
		Gekruist	23	
5	0,5 eso	Ongekruid	1	
		2D	3	
		Gekruist	1	
6	1 eso	Ongekruid	8	38
		2D	16	41
		Gekruist	17	38
7	ortho	Ongekruid	13	38
		2D	18	40
		Gekruist	20	40
8	0,5 eso	Ongekruid	15	26
		2D	21	30
		Gekruist	23	29
9	1,5 eso	Ongekruid	19	24
		2D	23	34
		Gekruist	19	27
10	1 exo	Ongekruid	2	24
		2D	1	28
		Gekruist	1	25
11	ortho	Ongekruid	3	8
		2D	7	21
		Gekruist	10	19
12	1 exo	Ongekruid	6	22
		2D	8	24
		Gekruist	8	29
13	1 eso	Ongekruid	1	20

		2D	4	19
		Gekruist	3	26
14	2 exo	Ongekruist	8	40
		2D	18	45
		Gekruist	24	48
15	1 exo	Ongekruist	17	30
		2D	18	37
		Gekruist	17	35
16	ortho	Ongekruist	28	33
		2D	23	39
		Gekruist	27	35
17	1 eso	Ongekruist	3	29
		2D	8	34
		Gekruist	3	32
18	0,5 exo	Ongekruist	13	35
		2D	13	34
		Gekruist	20	38
19	1 eso	Ongekruist	1	8
		2D	0	9
		Gekruist	0	10
20	10 eso	Ongekruist	1	36
		2D	5	35
		Gekruist	3	28
21	0,5 exo	Ongekruist	7	20
		2D	7	17
		Gekruist	7	24
22	0,5 eso	Ongekruist	2	26
		2D	2	16
		Gekruist	8	24
23	ortho	Ongekruist	10	31
		2D	16	36
		Gekruist	17	33
24	0,5 eso	Ongekruist	10	42
		2D	11	41
		Gekruist	19	45
25	1 eso	Ongekruist	1	21
		2D	1	20
		Gekruist	2	20
26	1 eso	Ongekruist	1	7
		2D	2	7
		Gekruist	1	6
27	ortho	Ongekruist	31	42

		2D	33	47
		Gekruist	27	46
28	2 eso	Ongekruist	9	25
		2D	10	24
		Gekruist	8	27
29	1 exo	Ongekruist	17	51
		2D	29	58
		Gekruist	27	58
30	ortho	Ongekruist	5	
		2D	9	
		Gekruist	3	
31	10 exo	Ongekruist	43	68
		2D	41	62
		Gekruist	35	61
32	ortho	Ongekruist	0	29
		2D	3	31
		Gekruist	1	25
33	1 eso	Ongekruist	9	25
		2D	14	26
		Gekruist	16	30
34	1 eso	Ongekruist	7	12
		2D	1	18
		Gekruist	3	15
35	0,5 eso	Ongekruist	1	7
		2D	5	15
		Gekruist	1	12

Tabel 6: alle uitkomsten van de visueel discomfort vragenlijst

Nummer	Deviatie	Diepte-instelling	Score
1	ortho	Ongekruist	13
		2D	16
		Gekruist	10
2	ortho	Ongekruist	11
		2D	12
		Gekruist	11
3	ortho	Ongekruist	26
		2D	23
		Gekruist	15
4	4 eso	Ongekruist	14
		2D	14
		Gekruist	14
5	0,5 eso	Ongekruist	13

		2D	12
		Gekruist	12
6	1 eso	Ongekruist	13
		2D	14
		Gekruist	10
7	ortho	Ongekruist	16
		2D	15
		Gekruist	13
8	0,5 eso	Ongekruist	6
		2D	11
		Gekruist	12
9	1,5 eso	Ongekruist	16
		2D	12
		Gekruist	17
10	1 exo	Ongekruist	12
		2D	12
		Gekruist	12
11	ortho	Ongekruist	14
		2D	9
		Gekruist	8
12	1 exo	Ongekruist	27
		2D	26
		Gekruist	27
13	1 eso	Ongekruist	18
		2D	21
		Gekruist	18
14	2 exo	Ongekruist	11
		2D	13
		Gekruist	13
15	1 exo	Ongekruist	12
		2D	10
		Gekruist	11
16	ortho	Ongekruist	12
		2D	12
		Gekruist	13
17	1 eso	Ongekruist	20
		2D	20
		Gekruist	18
18	0,5 exo	Ongekruist	11
		2D	11
		Gekruist	13
19	1 eso	Ongekruist	11

		2D	13
		Gekruist	9
20	10 eso	Ongekruist	26
		2D	23
		Gekruist	29
21	0,5 exo	Ongekruist	10
		2D	8
		Gekruist	12
22	0,5 eso	Ongekruist	17
		2D	16
		Gekruist	16
23	ortho	Ongekruist	10
		2D	8
		Gekruist	8
24	0,5 eso	Ongekruist	13
		2D	11
		Gekruist	10
25	1 eso	Ongekruist	21
		2D	15
		Gekruist	16
26	1 eso	Ongekruist	20
		2D	19
		Gekruist	17
27	ortho	Ongekruist	12
		2D	12
		Gekruist	12
28	2 eso	Ongekruist	12
		2D	11
		Gekruist	12
29	1 exo	Ongekruist	29
		2D	29
		Gekruist	14
30	ortho	Ongekruist	11
		2D	11
		Gekruist	11
31	10 exo	Ongekruist	11
		2D	11
		Gekruist	10
32	ortho	Ongekruist	15
		2D	16
		Gekruist	16
33	1 eso	Ongekruist	18

		2D	16
		Gekruist	15
34	1 eso	Ongekruist	12
		2D	11
		Gekruist	13
35	0,5 eso	Ongekruist	10
		2D	10
		Gekruist	6