

2 m 11. 3048.8

Université de Montréal

L'inhibition binoculaire  
dans la dégénérescence maculaire liée à l'âge

par

Judith Renaud

École d'optométrie

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures  
en vue de l'obtention du grade de Maîtrise (M.Sc.)  
en sciences de la vision  
option sciences fondamentales

Avril 2002

© Judith Renaud, 2002





Université de Montréal  
Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé :  
L'inhibition binoculaire dans la dégénérescence maculaire liée à l'âge

présenté par :  
Judith Renaud

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Maurice Ptito, Ph.D.  
président rapporteur

Jocelyn Faubert, Ph.D.  
directeur de recherche

Jacques Gresset, O.D., Ph.D.  
codirecteur de recherche

Caroline Faucher, O.D., M.Sc.  
membre du jury

## RÉSUMÉ

La dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA) occasionne des lésions de la rétine centrale chez des sujets âgés. Il en résulte une diminution des fonctions visuelles, généralement asymétrique, affectant l'équilibre binoculaire.

Le premier article compare les sensibilités au contraste monoculaires et binoculaires pour des réseaux de basse fréquence spatiale statiques et en mouvement. Les seuils de contraste ont été mesurés chez des sujets âgés sans maladie oculaire (groupe contrôle) et chez d'autres atteints de DMLA. Le ratio de sommation binoculaire pour le groupe contrôle est plus faible pour le réseau présenté en condition dynamique que pour celui présenté en condition statique. Dans le cas des sujets atteints de DMLA, l'inhibition binoculaire n'est présente que pour le réseau statique.

Le second article compare l'effet de la dimension de la cible sur l'inhibition binoculaire pour un réseau statique. Les seuils de contraste ont été établis pour trois grandeurs de cible : 5, 10 et 20 degrés d'angle visuel. Avec l'augmentation de la grandeur de la cible, le ratio de sommation binoculaire du groupe contrôle diminue et le pourcentage d'inhibiteurs chez les sujets avec DMLA diminue. Le gain de sensibilité, qu'une stimulation binoculaire permet par rapport à une

stimulation monoculaire, serait moindre pour une cible de grande dimension chez des sujets âgés normaux. Pour des sujets avec DMLA, la grandeur de la cible aurait un impact sur l'inhibition binoculaire, celle-ci étant plus importante avec une petite cible.

En résumé, un objet statique de basses fréquences spatiales ne stimulant qu'une petite partie du champ visuel favorise l'inhibition binoculaire chez les gens atteints de DMLA.

### **Mots clés**

sommation binoculaire, sensibilité au contraste spatial, sensibilité au contraste temporel, basse fréquence spatiale, ratio de sommation binoculaire

## SUMMARY

Age-related macular degeneration (ARMD) causes lesions at the central retina in the elderly. It induces an asymmetrical decrease in the visual functions, affecting binocular functions.

The first article compared monocular and binocular contrast sensitivities for static and drifting gratings of low spatial frequency. Contrast thresholds were measured for older observers without ocular pathologies (control group) and for observers with ARMD. Binocular summation ratio for the control group was lower for the dynamic condition. For the ARMD group, binocular inhibition was present only for the static condition.

The second article compared the effect of target size on binocular inhibition for static gratings. Contrast thresholds were measured for three different stimulus sizes: 5, 10 and 20 degrees of visual angle. With increasing target size, binocular summation ratio for the control group decreased and the percentage of ARMD inhibitors also decreased. The gain of sensitivity for binocular stimulation over monocular one would be reduced with increasing stimulus size for normal elderly. For ARMD observers, target size is a major factor to consider in binocular inhibition: more inhibition occurs with smaller targets.

In conclusion, for small static visual stimuli of low spatial frequencies, binocular inhibition is more likely to occur for some ARMD observers.

**Keywords**

binocular summation, spatial contrast sensitivity, temporal contrast sensitivity, low spatial frequency, binocular summation ratio

## TABLE DES MATIÈRES

Résumé .....	i
Summary .....	iii
Table des matières .....	v
Liste des tableaux et des figures.....	vii
Liste des sigles et des abréviations.....	viii
Remerciements .....	ix
Avant-propos .....	x
<i>Chapitre I</i>	
Introduction .....	1
Recension de la littérature .....	3
1. Dégénérescence maculaire liée à l'âge.....	3
2. Sensibilité au contraste .....	12
3. Vision binoculaire : sommation et inhibition .....	19
Contexte de l'étude .....	30
<i>Chapitre II</i>	
Méthodologie .....	32
<i>Chapitre III</i>	



Article 1 .....	33
Abstract.....	34
Introduction .....	36
Methods .....	38
Results .....	40
Discussion.....	48
References .....	54
 <i>Chapitre IV</i>	
Article 2.....	55
Abstract.....	56
Introduction .....	58
Methods .....	59
Results .....	61
Discussion.....	69
References .....	73
 <i>Chapitre V</i>	
Discussion générale des résultats .....	75
 <i>Chapitre VI</i>	
Conclusion.....	78
Bibliographie.....	81

## LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES

### *Chapitre III*

*Article 1 : No Binocular Inhibition for Fast Moving Stimuli in the Elderly with Age-Related Macular Degeneration*

Figure 1 : Contrast sensitivity for normal observers in static and dynamic conditions.....	45
Figure 2 : Contrast sensitivity for ARMD observers in static condition .....	46
Figure 3 : Contrast sensitivity for ARMD observers in dynamic condition .....	47
Figure 4 : Individual binocular summation ratios.....	51
Table I : Demographic information of the observers.....	53

### *Chapitre IV*

*Article 2 : Less Binocular Inhibition for Larger Stimuli in the Elderly with Age-Related Macular Degeneration*

Figure 1 : Contrast sensitivity for the control group.....	63
Figure 2 : Contrast sensitivity for ARMD observers 5-degree stimulus .....	64
Figure 3 : Contrast sensitivity for ARMD observers 10-degree stimulus .....	65
Figure 4 : Contrast sensitivity for ARMD observers 20-degree stimulus .....	66
Table I : Demographic information of the observers.....	72

## LISTE DES SIGLES ET DES ABRÉVIATIONS

ARMD : *age-related macular degeneration*

BI : *binocular inhibition*

BSR : *binocular summation ratio*

cd/m<sup>2</sup> : candela par mètre carré, unité de luminance

cpd : cycle(s) par degré d'angle visuel

DMLA : dégénérescence maculaire liée à l'âge

EPR : épithélium pigmentaire de la rétine

Hz : Hertz, unité de fréquence temporelle représentant le nombre de cycles par seconde

NBI : *non binocular inhibition*

SAC : sensibilité au contraste

VA : *visual acuity*

° : degré d'angle visuel

## REMERCIEMENTS

Un merci spécial à mon directeur de recherche, le docteur Jocelyn Faubert, pour sa grande disponibilité, pour le partage de ses nombreuses connaissances, pour sa bonne humeur, et pour m'avoir donné goût à la recherche.

Un grand merci à mon codirecteur de recherche, le docteur Jacques Gresset, pour la confiance qu'il me témoigne, et pour m'avoir communiqué son intérêt pour la basse vision.

Un gros merci à Claudine Haback, pour sa patience, pour le rôle de guide qu'elle a joué dans mon initiation à la recherche, et pour son support.

Un merci au docteur Pierre Simonet, pour m'avoir conseillée et encouragée à faire une maîtrise.

Un merci à l'Institut Nazareth et Louis-Braille et à l'École d'optométrie, pour m'avoir aidée dans le recrutement de mes sujets.

Un merci affectueux à Rémy et à Nicolas, pour leur support et pour leurs nombreux encouragements.

## AVANT-PROPOS

Je travaille dans le domaine de la réadaptation du handicap visuel. Je suis souvent confrontée aux difficultés que ces gens rencontrent dans l'accomplissement de leurs tâches quotidiennes. La majorité de la clientèle que je dessers est atteinte de dégénérescence maculaire liée à l'âge. Il n'existe actuellement pas de traitement médical capable d'enrayer cette maladie de manière durable. Mon implication dans ce travail de recherche origine de mon désir de mieux comprendre l'impact de cette maladie sur les fonctions visuelles afin de mieux aider les gens qui en sont atteints.

## *Chapitre I*

### **INTRODUCTION**

Le vieillissement normal entraîne des changements des fonctions visuelles. Certaines maladies, dont la dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA), accélèrent davantage ce processus en causant une détérioration de la rétine et de la choroïde. Le développement de l'atrophie maculaire dans la DMLA est asymétrique, et affecte à divers degrés les fonctions visuelles de chaque œil.

La sommation binoculaire, c'est-à-dire la réponse visuelle binoculaire résultant de la stimulation simultanée des deux yeux, est maximale lorsque les sensibilités monoculaires sont égales. Il devient donc pertinent de chercher à connaître l'impact de l'asymétrie visuelle acquise dans la DMLA. Le but de l'étude est de mieux comprendre l'effet de la DMLA sur la vision binoculaire. La fonction visuelle évaluée dans cette recherche est la sensibilité au contraste. En mesurant les seuils de détection pour des réseaux sinusoïdaux statiques, Faubert et Overbury (2000) ont démontré la présence d'inhibition binoculaire chez des sujets âgés atteints de dégénérescence maculaire. L'inhibition binoculaire se définit comme une sensibilité binoculaire inférieure à celle du meilleur œil.

Plusieurs études considèrent que le meilleur facteur prédictif de l'inhibition binoculaire est l'amplitude de la différence des sensibilités monoculaires. L'hypothèse de ce travail est que le mécanisme de l'inhibition binoculaire est également affecté par des facteurs externes au sujet. Les caractéristiques temporelles et dimensionnelles des stimuli seront considérées.

La première étude consiste à déterminer si l'inhibition binoculaire rencontrée avec une cible statique se produit également avec une cible en mouvement. La seconde étude étudie l'effet de la dimension du stimulus sur l'inhibition binoculaire pour une cible statique.

Une recension de la littérature en trois sections précède les articles. La première partie porte sur la DMLA. La deuxième section est consacrée à la sensibilité au contraste. Dans la troisième section, une revue sur la sommation et l'inhibition binoculaires est présentée.

Un bref résumé de la méthodologie employée dans ces deux expériences précède la présentation des articles.

L'ouvrage se termine par une discussion générale des résultats et la conclusion qui propose des avenues possibles de recherche dans ce domaine.

## RECENSION DE LA LITTÉRATURE

### 1. DÉGÉNÉRESCENCE MACULAIRE LIÉE À L'ÂGE

La dégénérescence maculaire liée à l'âge est une accélération du processus de vieillissement normal de la région maculaire de la rétine qui affecte les personnes de plus de 50 ans (Sarks et Sarks, 1994). Cette détérioration rétinienne progressive, habituellement bilatérale et asymétrique, occasionne une diminution des fonctions visuelles. L'évolution et la gravité de cette maladie varient selon la forme dégénérative : forme atrophique ou forme exsudative.

#### 1.1 Prévalence, incidence et facteurs de risque

La dégénérescence maculaire liée à l'âge occupe le premier rang des maladies responsables des cas de cécité légale <sup>a</sup> aux États-Unis chez les plus de 60 ans (National Eye Institute, 2002).

La prévalence et l'incidence de cette maladie sont grandement reliées à l'âge, le facteur de risque reconnu comme le plus important. La fréquence de la DMLA

---

<sup>a</sup> “Une personne est considérée comme aveugle, lorsque son acuité visuelle dans les deux yeux, après correction par l'usage des lentilles réfractives appropriées, est de 6/60 (20/200) ou moins d'après l'échelle de Snellen ou l'équivalent, ou si le plus grand diamètre du champ de vision dans les deux yeux est inférieur à 20 degrés.” (*Loi sur les aveugles. Règlements sur les allocations aux aveugles. Gaz Can 2, 1442 : 96 : 2509-2524*)



chez les gens âgés de plus de 75 ans est beaucoup plus importante (Smith et al., 2001). Ainsi dans la *Beaver Dam Eye Study*, près de 20 % des sujets entre 65 et 75 ans présentaient une DMLA, alors que ce pourcentage passait à 35 % chez les plus de 75 ans (Klein et al., 1992). En plus de l'âge, d'autres facteurs de risque sont cités dans la littérature. Ici, il ne sera fait mention que du genre, de la race, de l'hérédité et du tabagisme.

Les femmes sont plus affectées par cette maladie (National Eye Institute, 2002). Chez les femmes de plus de 75 ans, l'incidence d'une DMLA précoce est plus élevée que chez les hommes du même âge (Klein et al., 1997). De plus, pour ce même groupe d'âge, la forme exsudative est plus fréquente chez les femmes (Klein et al., 1992).

Bien qu'il y ait certaines contradictions dans la littérature, cette maladie oculaire semble plus fréquente et plus grave chez les personnes de race blanche que chez les Noirs ou les hispaniques. Ainsi dans la *Macular Photocoagulation Study* (MPS), les personnes de race noire ne comptaient que pour 0,08 % des sujets présentant une DMLA exsudative (Jampol et Tielsch, 1992). Dans la *Baltimore Eye Survey*, il n'y avait aucun cas de cécité bilatérale due à la DMLA chez les gens de race noire, alors que le pourcentage s'élevait à 30 % chez ceux de race blanche (Tielsch et al., 1990). Selon un rapport américain récent de la *National Eye Institute*, la prévalence de la DMLA est initialement comparable entre les

différentes races mais, après 75 ans, elle augmente beaucoup plus rapidement chez les gens de race blanche (National Eye Institute, 2002).

Une histoire familiale de DMLA est un facteur de risque. Les recherches en génétique démontrent un lien entre la présence de certains chromosomes et le développement de différentes formes de dégénérescence maculaire (Stone et al., 2001 ; National Eye Institute, 2001).

Le tabagisme augmente les risques de développer une DMLA (Smith et al., 2001 ; National Eye Institute, 2002), particulièrement pour la forme exsudative (The Eye Disease Case-Control Study Group, 1992). Parmi les facteurs de risque connus, le tabagisme constitue le principal facteur d'exposition évitable.

## **1.2 Description de la maladie**

### **1.2.1 Anatomie du pôle postérieur de l'œil**

La tunique de l'œil se divise en trois parties : la rétine, la choroïde et la sclère, nommées dans l'ordre de la plus interne à la plus externe. La rétine est composée de dix couches. L'épithélium pigmentaire de la rétine (EPR) est sa composante la plus externe. Il joue un rôle métabolique important pour les photorécepteurs : les cônes et les bâtonnets. Il est en contact direct avec la membrane de Bruch dont la structure sous-jacente est la couche choriocapillaire.

Le pôle postérieur de l'œil est la zone anatomique où la macula et le nerf optique se situent. Au centre de la région maculaire, il y a une petite dépression, expliquée par une absence de certaines couches rétiniennes, une plus grande concentration de cônes et une absence de la vascularisation rétinienne qui maximisent l'acuité visuelle. Ce repère anatomique s'appelle la fovéola.

### 1.2.2 Définition

Il n'y a pas de consensus universel pour définir les stades précoces de la DMLA (American Academy of Ophthalmology, 1994). Selon certaines définitions cliniques, le terme DMLA peut être employé si trois conditions sont rencontrées : personne de plus de 50 ans, acuité visuelle corrigée inférieure à 6/9 et changements caractéristiques visibles au fond d'œil.

Comme son nom l'indique, la DMLA atteint les personnes âgées. Cette atteinte pathologique correspond à une accélération du processus dégénératif de la rétine maculaire (Sarks et Sarks, 1994). Il y a un amincissement de la choroïde, un épaissement de la membrane de Bruch, une accumulation de lipofuscine et de drusen, ainsi qu'une dégradation secondaire de l'épithélium pigmentaire et des photorécepteurs (Strahlman et al., 1983 ; Holopigian et al., 1997). Avec les années, des débris cellulaires et des dépôts de protéines et de lipides tels les drusen s'accumulent entre l'EPR et la membrane de Bruch (Stone et al., 2001). L'accumulation de ces débris limite le transport des éléments nutritifs et des

déchets métaboliques. Il en résulte une atrophie de l'EPR et de la couche choriocapillaire (Schatz et McDonald, 1989). Les photorécepteurs dégénèrent provoquant une détérioration des fonctions visuelles centrales, alors que celles en périphérie sont préservées (Sunness et al., 1985 ; Holopigian et al., 1997).

### 1.2.3 Formes cliniques

La DMLA se classifie en deux formes : atrophique et exsudative.

#### *La forme atrophique*

La forme atrophique, aussi appelée sèche, représente 80 à 90 % des cas de DMLA et est d'évolution lente. À long terme, elle affecte la vision centrale de façon sévère (Schatz et McDonald, 1989). Ce type de DMLA se caractérise par des drusen et des modifications pigmentaires de la rétine qui conduisent à une atrophie géographique de l'EPR (Schatz et McDonald, 1989 ; Smith et al., 2001). Par manque d'activité métabolique, la couche choriocapillaire s'atrophie avec le temps laissant visibles les gros vaisseaux choroïdiens (Schatz et McDonald, 1989). Cette forme de DMLA peut progresser vers le stade exsudatif.

#### *La forme exsudative*

La DMLA peut conduire à une cécité légale, c'est-à-dire à une acuité visuelle inférieure à 6/60 ou un champ visuel inférieur ou égal à 20 degrés pour le meilleur œil. La grande responsable de la majorité de ces cas de cécité légale est la forme

exsudative ou humide (Stone et al., 2001). Son évolution est donc rapide et dévastatrice. Le signe caractéristique de cette forme de DMLA est la formation d'une membrane néovasculaire sous-rétinienne qui origine de la vascularisation choroïdienne. Une exsudation séreuse et/ou hémorragique, des exsudats et un détachement de l'EPR sont d'autres changements possibles (The Eye Disease Case-Control Study Group, 1992). Dans la plupart des cas, la néovascularisation choroïdienne évolue vers une cicatrice fibrovasculaire disciforme.

### **1.3 Atteintes des fonctions visuelles**

Le patient atteint de DMLA peut être asymptomatique dans les premiers stades de la maladie ou présenter des degrés variables de détérioration des fonctions visuelles. Dans la forme sèche, les symptômes visuels apparaissent bien souvent de façon insidieuse (Schatz et McDonald, 1989) alors que dans la forme exsudative, la baisse de vision est plutôt abrupte et soudaine. Voici certains symptômes que le patient peut rapporter : embrouillement, distorsion, difficulté à lire, difficulté à reconnaître les visages, éblouissement, etc. (Loshin et White, 1984 ; Fine et al., 1986 ; Brilliant, 1999). Lors de l'évaluation clinique, plusieurs fonctions visuelles sont affectées comme par exemple l'acuité visuelle, la sensibilité au contraste, le champ visuel et la vision binoculaire.

### 1.3.1 Acuité visuelle

L'acuité visuelle des sujets atteints de DMLA est diminuée. Cette détérioration, qui varie selon la gravité de la dégénérescence rétinienne, est la plupart du temps asymétrique entre les deux yeux. Il y a une relation entre l'acuité visuelle mesurée et l'étendue du scotome central (zone de vision partiellement ou totalement absente) et l'habileté du patient à fixer excentriquement (Loshin et White, 1984). En effet, la région fovéolaire est souvent atrophiée ce qui donne lieu à un scotome central. Dans ce cas, l'utilisation d'une zone rétinienne extra-fovéolaire, bien que cette façon de fixer ne soit pas naturelle chez la plupart des patients âgés, permet souvent une meilleure acuité (Harris et al., 1985).

L'acuité visuelle varie habituellement de 6/9 à 6/120 dans les cas de DMLA sèche, mais se dégrade parfois davantage. En présence de la forme exsudative, l'acuité est souvent sévèrement affectée et inférieure à 6/120 (Brilliant, 1999).

### 1.3.2 Sensibilité au contraste

Chez les personnes présentant une DMLA, il y a une diminution de la sensibilité au contraste qui, dans certains cas, précède la baisse d'acuité visuelle (Kleiner et al., 1988 ; Armbrecht et al., 2000). Au début de la maladie, la baisse est plus marquée pour les hautes fréquences spatiales (vision des détails). Dans les stades plus avancés de dégénérescence maculaire, la diminution de la sensibilité est

observée pour toutes les fréquences spatiales (Sjostrand, 1979) et il y a un déplacement du pic de sensibilité vers les basses fréquences (Loshin et White, 1984 ; Kleiner et al., 1988).

L'évaluation de la sensibilité au contraste aide à mieux comprendre les plaintes du patient (Sjostrand, 1979). En effet, les difficultés rencontrées sont plus importantes lorsqu'il y a une diminution de la sensibilité au contraste pour l'ensemble des fréquences spatiales. Ainsi, les incapacités fonctionnelles du patient ne s'expliquent pas toujours par son acuité visuelle (Kleiner et al., 1988 ; Frennesson et Nilsson, 1993). La sensibilité au contraste s'avère souvent un meilleur facteur de prédiction des habiletés visuelles d'un sujet dans sa vie de tous les jours (van der Wildt et al., 1994 ; McClure et al., 2000). Plusieurs études ont démontré que la sensibilité au contraste présente une corrélation avec la performance en lecture (Ginsburg et al., 1987 ; Rubin, 1987) ou avec les indices de mobilité (Marron et Bailey, 1982 ; Lennerstrand et Ahlstrom, 1989) supérieure à celle observée avec l'acuité visuelle. De plus, la fluidité en lecture, chez les gens présentant une maculopathie acquise, serait davantage reliée à la qualité du contraste d'un texte imprimé qu'à la grandeur des optotypes (Hazel et al., 2000).

### 1.3.3 Champ visuel

Le champ visuel central est affecté dans la DMLA (Loshin et White, 1984). Il y a présence de métamorphosie (perception déformée des objets) et/ou de scotomes

centraux ou paracentraux, alors que la périphérie est préservée. Ces zones de scotomes et de métamorphopsie peuvent être déterminées à l'aide de la grille quadrillée d'Amsler qui évalue les 10 degrés centraux du champ visuel (Fine et al., 1986). Le sujet indique les endroits où les lignes lui apparaissent courbées (métamorphopsie) ou absentes (scotome).

Fréquemment, il y a formation de plusieurs petits scotomes dont la densité varie à l'intérieur de la zone affectée (Faye, 1976). Cette vision centrale morcelée complique l'utilisation efficace et stable d'un point de fixation extra-fovéolaire. Avec le temps, les zones de scotomes évoluent et deviennent coalescentes à cause de la détérioration importante de l'aire maculaire (Schatz et McDonald, 1989). Ceci résulte en un scotome central de grande dimension causant une baisse considérable de l'acuité visuelle et des autres fonctions rétinienne centrales.

#### 1.3.4 Vision binoculaire

La DMLA, qui évolue souvent à des rythmes différents dans chaque œil, cause une asymétrie de la performance visuelle monoculaire. Ces changements affectent la vision binoculaire. Faubert et Overbury (2000) ont démontré la présence d'inhibition binoculaire pour la sensibilité au contraste chez des sujets atteints de DMLA. Dans leur étude, 45 % du groupe de sujets atteints de DMLA ont démontré de l'inhibition pour un réseau sinusoïdal de fréquences spatiales faibles et intermédiaires. Ainsi, dans des situations impliquant des gros objets à faible



contraste, telle lors de la mobilité, l'utilisation d'un seul œil serait plus avantageuse. Ce phénomène est davantage discuté dans le premier article.

## **2. SENSIBILITÉ AU CONTRASTE**

La sensibilité au contraste fournit de précieux renseignements lorsqu'il s'agit de comprendre le niveau de fonctionnement d'un patient en basse vision. Différentes études ont montré que la perception du patient de son handicap visuel est plus fortement corrélée à sa sensibilité au contraste qu'à son acuité visuelle.

### **2.1 Définitions**

Le contraste représente une différence de luminance entre deux bandes distinctes. La sensibilité au contraste est la capacité du sujet à percevoir cette différence. Le contraste est élevé lorsqu'il y a une différence importante entre l'intensité de la cible et du fond ; par exemple, une cible blanche sur un fond noir. Michelson définit le contraste selon cette équation :

$$\text{Contraste} = \frac{L_{\text{max}} - L_{\text{min}}}{L_{\text{max}} + L_{\text{min}}}$$

où  $L_{\text{max}}$  est la luminance maximum et  $L_{\text{min}}$  est la luminance minimum.

Le seuil de contraste indique le niveau de luminance nécessaire pour que le système visuel détecte un objet d'une certaine dimension. La sensibilité au contraste est l'inverse du seuil. La fonction de sensibilité au contraste peut être représentée graphiquement. En général, l'ordonnée correspond à l'inverse des seuils de contraste et l'abscisse représente les différentes fréquences spatiales (Beazley et al., 1980) ou temporelles. Cette fonction reflète la sensibilité de l'ensemble des cellules ganglionnaires et représente le domaine visible (Risse, 1999). En effet, les différentes cellules ganglionnaires répondent de façon sélective aux fréquences spatiales. La taille du champ récepteur de ces cellules augmente avec l'excentricité rétinienne. Dépendant du champ rétinien stimulé, la réponse varie en fonction de la fréquence spatiale étudiée. En s'éloignant de la région maculaire, la fréquence spatiale doit diminuer pour permettre aux cellules d'intégrer le signal (Proceedings of the Retina Research Foundation Symposia, 1993).

## **2.2 Méthodes de mesure**

Campbell et Green (1965) ont mesuré chez l'humain, le seuil de contraste, c'est-à-dire la plus petite différence de luminance perceptible par l'œil et ont obtenu une courbe de sensibilité au contraste. De nos jours, la cible généralement utilisée en psychophysique est un réseau sinusoïdal généré sur un écran cathodique. Il s'agit d'une alternance de bandes foncées et pâles de mêmes dimensions qui varient d'intensité de façon progressive. Un cycle est formé d'une bande sombre et d'une

bande claire. Le nombre de cycles présents dans un degré d'angle visuel détermine la fréquence spatiale. Un petit détail visuel correspond donc à une fréquence spatiale élevée (Wolkstein et al., 1980 ; van der Wildt et al., 1994).

### **2.3 Courbe de sensibilité au contraste**

Dans cette sous-section, à moins d'indication contraire, les études considéraient des sujets sans atteinte pathologique oculaire.

#### **2.3.1 Sensibilité au contraste spatial**

La fonction de sensibilité au contraste pour différentes fréquences spatiales a la forme d'un U inversé lorsque les valeurs logarithmiques de sensibilité au contraste sont représentées en ordonnée et les différentes fréquences spatiales en abscisse. Il y a donc une baisse de sensibilité aux basses et aux hautes fréquences spatiales. Le pic de sensibilité se situe au niveau des fréquences intermédiaires, entre 2 et 5 cycles par degré d'angle visuel (cpd), et varie légèrement selon l'âge du sujet et les différentes études (Arundale, 1978 ; Derefeldt et al., 1979 ; Beazley et al., 1980 ; Owsley et al., 1983 ; Risse, 1999). La fréquence de haute coupure est au voisinage de 20 à 30 cpd, correspondant à la mesure de l'acuité visuelle.

Un filtrage sélectif montre que les hautes fréquences spatiales participent essentiellement à la vision des détails (acuité visuelle), alors que les basses

fréquences renseignent surtout sur la forme générale et sur le contour des objets. Cela signifie que la perception des basses fréquences est davantage reliée aux propriétés neurophysiologiques du système visuel (organisation des champs récepteurs), et que la perception des fréquences moyennes et hautes est surtout influencée par les facteurs optiques de l'œil (amétropie, transparence des milieux oculaires) (Princeton Nadler et al., 1990). Pour les basses fréquences spatiales, un embrouillement optique a donc peu d'influence.

### 2.3.2 Sensibilité au contraste temporel

La mesure de sensibilité au contraste peut s'effectuer avec une cible dynamique. Pour créer l'impression de mouvement, la luminance du réseau s'inverse ou le réseau se déplace. La fréquence temporelle s'exprime en cycles par seconde (Hertz). La courbe de sensibilité au contraste en fonction des différentes fréquences temporelles reste pratiquement stable jusqu'à 5 Hertz (Hz). Pour les hautes fréquences temporelles, il y a une baisse notable de la sensibilité (Lundh et al., 1983). Pour ces dernières, des contrastes de près de 100 % doivent être utilisés pour que le sujet puisse percevoir les stimuli.

Chez l'humain, pour des fréquences spatiales intermédiaires et élevées, le seuil de contraste est plus élevé pour une cible dynamique que pour une cible statique. Par contre, pour des basses fréquences spatiales (jusqu'à 1 cpd), l'ajout d'une faible ou moyenne fréquence temporelle de présentation a pour conséquence d'améliorer la

sensibilité au contraste (Lundh et al., 1983 ; Owsley et al., 1983 ; Tulunay-Keesey et al., 1988). Frennesson et Nilsson (1993) ont démontré que cette observation s'appliquait également pour des sujets atteints de DMLA. Dans leur étude, avec une basse fréquence spatiale de 0,5 cpd, le seuil de contraste mesuré pour un réseau sinusoïdal dynamique était inférieur à celui d'un réseau statique.

## **2.4 Paramètres influençant la sensibilité au contraste**

### **2.4.1 Âge**

La sensibilité au contraste se développe très tôt chez l'humain en augmentant graduellement pour toutes les fréquences spatiales et elle atteint son maximum vers le début de l'adolescence (Beazley et al., 1980). Vers la quarantaine, le seuil de contraste commence à augmenter, principalement pour les fréquences spatiales hautes et intermédiaires.

Plusieurs études démontrent une diminution de la sensibilité au contraste spatial avec le vieillissement (Arundale, 1978 ; Derefeldt et al., 1979 ; Beazley et al., 1980 ; Owsley et al., 1983 ; Nameda et al., 1989 ; Pardhan, 1996 ; Hennelly et al., 1998). Des facteurs optiques et neuraux causeraient cette baisse mais les mécanismes exacts ne sont pas complètement élucidés (Pardhan, 1996). Selon Owsley et al. (1983), la diminution de la sensibilité pour les fréquences spatiales supérieures à 2 cpd débute aux alentours de 40 à 50 ans. Vers la soixantaine, le pic

de la fonction de sensibilité au contraste passe de 4 cpd à 2 cpd. Ces changements s'expliqueraient en grande partie par la diminution de l'éclairage rétinien causée par le myosis et la perte de transparence du cristallin chez les personnes âgées (Owsley et al., 1983). Cependant, des études ultérieures considèrent que cette diminution de la sensibilité au contraste reliée à l'âge serait davantage causée par des changements au niveau du système nerveux central (Morrison et McGrath, 1985 ; Sturr et al., 1988 ; Elliott et al., 1990 ; Scheffrin et al., 1999).

La sensibilité au contraste temporel atteint une maturité dès l'âge de 7 ans (Elleberg et al., 1999) et demeure ensuite stable pour plusieurs années. Par la suite, elle diminue avec le vieillissement, mais de façon beaucoup moins marquée que dans le cas d'un réseau statique (Tulunay-Keesey et al., 1988). Il a été mentionné plus haut que le seuil de contraste diminue lorsqu'une cible de basse fréquence spatiale est modulée temporellement. Ce gain de sensibilité pour une cible dynamique par rapport à une cible statique persiste avec l'âge mais, il devient beaucoup moins important pour une fréquence temporelle intermédiaire (4,3 Hz) (Owsley et al., 1983). Cet effet du vieillissement n'est pas attribué à des facteurs optiques tel la diminution de l'illumination rétinienne. Il serait davantage relié à des changements neuraux du système visuel (Owsley et al., 1983 ; Sloane et al., 1988 ; Elliott et al., 1990).

#### 2.4.2 Diamètre pupillaire

Le vieillissement amène une réduction du diamètre pupillaire. Ce myosis sénile cause une diminution de l'illumination rétinienne. Cet effet est important pour des conditions de faible illumination (Weale, 1963), c'est-à-dire inférieure à environ  $3,33 \text{ cd/m}^2$  (Zhang et Sturr, 1995). Une faible illumination rétinienne réduit la sensibilité au contraste pour les fréquences spatiales élevées (Kelly, 1972).

#### 2.4.3 Conditions de mesure : monoculaire versus binoculaire

Les chercheurs ont démontré depuis longtemps que la sensibilité au contraste mesurée en condition binoculaire est supérieure à celle en condition monoculaire (Campbell et Green, 1965 ; Blake et Fox, 1973 ; Blake et al., 1981). Lors de ces expériences, la sommation binoculaire s'est avérée supérieure à ce que la loi de la probabilité prédit pour une double stimulation monoculaire. Selon une base statistique et dépendant des modèles, la valeur de sommation se situerait entre 19 et 25% supérieure à celle qui est monoculaire (Blake et Fox, 1973 ; Blake et al., 1981). Or, chez un sujet sain, la réponse binoculaire est environ 42% supérieure à la réponse monoculaire lors de la présentation d'un réseau sinusoïdal statique (Blake et al., 1981 ; Legge, 1984 ; Bearse et Freeman, 1994). Cette sommation neurale en condition binoculaire indiquerait l'existence d'une interaction corticale entre les *inputs* de chaque œil.

### 3. VISION BINOCULAIRE : SOMMATION ET INHIBITION

Le système visuel binoculaire résulte de l'interaction entre deux *inputs* sensoriels : celui de l'œil droit et celui de l'œil gauche. La comparaison des réponses monoculaires et binoculaires amène à parler du phénomène de sommation binoculaire.

Dans la vie de tous les jours, l'humain fonctionne avec ses deux yeux ce qui augmente son efficacité dans la plupart des tâches visuelles. La perception de la profondeur et du relief ainsi que la détection et la discrimination de cibles s'avèrent plus faciles lors de l'utilisation des deux yeux. Bien que la science ne connaisse pas exactement le mécanisme de l'unification des réponses monoculaires, cette interaction paraît se dérouler au niveau cortical. Plusieurs tâches visuelles, dont la mesure de la sensibilité au contraste, démontrent très bien cette forme de sommation binoculaire où la réponse obtenue lors de la stimulation des deux yeux est supérieure à celle du meilleur œil.

#### 3.1 Définitions

##### 3.1.1 Sommation

Il y a une sommation binoculaire lorsque l'utilisation des deux yeux améliore la performance visuelle. Par définition, le ratio de sommation binoculaire est



supérieur à un lorsqu'il y a sommation, c'est-à-dire lorsque le seuil obtenu en condition binoculaire est inférieur à celui en condition monoculaire (Pardhan, 1993).

$$\text{Ratio de sommation binoculaire} = \frac{\text{SAC binoculaire}}{\text{SAC du meilleur œil}} > 1$$

SAC : sensibilité au contraste

Plusieurs auteurs se sont penchés sur le processus qui expliquerait une meilleure sensibilité lors d'une stimulation binoculaire. La plupart des expériences dans ce domaine ont été réalisées de façon empirique considérant que la performance binoculaire devrait être supérieure à la performance monoculaire. Cette supposition repose sur deux considérations. Premièrement, les connexions anatomiques entre l'œil et le cortex favorisent la convergence des *inputs* monoculaires de points rétiniens correspondants (points rétiniens de l'œil gauche et de l'œil droit ayant la même projection visuelle dans l'espace) vers une localisation corticale commune. Deuxièmement, les données physiologiques concernant l'interaction neurale à un point de convergence à l'intérieur d'un système fournissent une évidence à l'hypothèse que la convergence anatomique permet une interaction neurale fonctionnelle (Blake et Fox, 1973). Ces deux suppositions ont influencé la plupart des expériences sur la sommation binoculaire, cherchant à démontrer une interaction neurale efficace.

Suivant les principes de la probabilité, il est normal de s'attendre à ce que la réponse binoculaire soit d'une intensité supérieure à la réponse monoculaire. En effet, la présentation simultanée aux deux yeux permet à l'observateur de recevoir une double stimulation. Ainsi, il a deux chances de détecter correctement le stimulus lors d'un seul essai. Pirenne (1943) a été l'un des premiers à décrire le modèle classique de la sommation par probabilité. Son hypothèse était basée sur le théorème classique d'indépendance. Ce théorème énonce que la valeur attendue de deux événements indépendants est égale à la somme de ces événements moins leur intersection (Blake et Fox, 1973). Plus tard, Eriksen (1966) a critiqué vivement ce modèle classique de la sommation par probabilité. Il a indiqué que le modèle avait tendance à surévaluer la performance binoculaire attendue parce que le facteur de conjecture (devinette) recevait double considération. Pour un essai en condition monoculaire, la probabilité d'une bonne réponse est composée d'au moins deux parties. L'une, l'observateur détecte correctement le stimulus. L'autre, l'observateur ne détecte pas adéquatement le stimulus mais devine correctement. Lorsque les probabilités monoculaires de chaque œil sont combinées pour prédire la performance binoculaire, la conjecture est incluse dans chacune des probabilités. Or, en condition binoculaire, l'observateur n'a qu'une seule chance de deviner correctement la réponse. Ainsi, l'application du théorème classique à des expériences psychophysiques visuelles est inadéquate. En tenant compte de ceci, Eriksen (1966) a proposé le modèle d'indépendance ou de seuil décisionnel (*decision-threshold model*) dans lequel le facteur de conjecture n'est considéré qu'une seule fois, ce qui correspond mieux aux conditions réelles d'expériences.

Plus tard, Eriksen a raffiné son modèle en intégrant les différents niveaux de sensibilité qui reflètent un système en continuelle fluctuation. Ainsi, il n'y a pas seulement deux états de perception : détecter correctement ou deviner correctement. En plus, il y a toute une gradation du niveau de sensibilité. Si cette variation n'est pas considérée, il y a risque que la performance soit surestimée. Le modèle à états multiples (*multistate model*) tient donc compte du fait que chaque œil est un canal indépendant dont le niveau de perception fluctue et qu'à tout moment, un des canaux peut présenter un état de sensibilité plus élevé que l'autre. Ainsi, une augmentation de la performance binoculaire peut être associée à l'amélioration de l'état perceptif d'un ou des deux canaux indépendants (Blake et Fox, 1973). Ces différents modèles servent à estimer correctement la portion de sommation binoculaire pour laquelle la loi de la probabilité est responsable. Par simple probabilité, la sensibilité binoculaire au contraste pour un stimulus statique serait de 19 à 25 % supérieure à la sensibilité monoculaire (Blake et al., 1981 ; Pardhan, 1996).

Dans les cas où la performance en condition binoculaire est supérieure à celle que la sommation par probabilité permet de prédire, il est alors considéré qu'il y a une interaction efficace entre les deux yeux : sommation neurale (Blake et Fox, 1973). Pour prétendre que la réponse obtenue s'explique par un mécanisme de sommation neurale, la performance binoculaire doit être beaucoup plus importante que ce que la probabilité permet d'anticiper. En ce qui concerne la sensibilité au contraste pour un réseau sinusoïdal statique, la performance binoculaire doit être environ 1,4

fois supérieure à celle du meilleur œil (Blake et al., 1981 ; Bearse et Freeman, 1994). Le processus de sommation se déroulerait au niveau cortical. Cependant, les mécanismes exacts d'interaction binoculaire qui produiraient une sommation neurale ne sont pas bien connus.

### 3.1.2 Suppression

Si le résultat en condition binoculaire équivaut à la performance du meilleur œil, on suppose que le cerveau supprime en partie ou en totalité l'*input* du moins bon œil. Il y a donc dominance du meilleur œil et suppression du moins bon œil. Dans ce cas, le ratio de sommation binoculaire est égal à un.

$$\text{Ratio de sommation binoculaire} = \frac{\text{SAC binoculaire}}{\text{SAC du meilleur œil}} = 1$$

### 3.1.3 Inhibition

Il arrive parfois que la performance binoculaire soit inférieure à celle du meilleur œil. Il se produit, dans ce cas, une interaction négative lors de la stimulation simultanée des deux yeux. Il s'agit d'une inhibition binoculaire. Le ratio de sommation binoculaire est alors inférieur à un.

$$\text{Ratio de sommation binoculaire} = \frac{\text{SAC binoculaire}}{\text{SAC du meilleur œil}} < 1$$

Un sujet ne retire donc pas d'avantages à utiliser ses deux yeux pour des conditions où une inhibition binoculaire est présente. Au contraire, la condition binoculaire pénalise le sujet. Dans un tel cas, le sujet améliore sa performance visuelle en n'utilisant que son meilleur œil et en occluant l'œil ayant la moins bonne sensibilité. En 1860, Fechner a été un des premiers à relever ce paradoxe binoculaire (Blake et Fox, 1973). Il a montré que si un filtre de densité neutre était placé devant un œil en condition binoculaire, la perception de la luminosité était diminuée. En comparant la condition où un filtre de densité neutre est placé devant un œil et celle où l'œil derrière le filtre est occlus, la performance binoculaire est inférieure dans le premier cas. Ce phénomène est appelé le paradoxe de Fechner (Pardhan et Gilchrist, 1990a). Plus récemment, plusieurs études ont démontré la présence d'inhibition binoculaire lors de la mesure de la sensibilité au contraste (Pardhan et al., 1990 ; Cruz et al., 1991 ; Pardhan et Elliott, 1991 ; Pardhan et Gilchrist, 1992 ; Faubert et Overbury, 2000).

## **3.2 Paramètres influençant la sommation et l'inhibition binoculaires**

### **3.2.1 Âge**

Avec l'âge, le ratio de sommation binoculaire diminue. Ceci refléterait une détérioration des fonctions corticales binoculaires. Pour expliquer cette baisse de performance avec le vieillissement normal, il y a différentes hypothèses possibles dont une diminution du nombre de cellules corticales ou une détérioration générale de leurs capacités fonctionnelles (Pardhan, 1997). Une analyse des données de Ross et al. (1985) par Pardhan, ainsi que certaines études de Pardhan (1996 et 1997) démontrent que la sommation binoculaire pour la sensibilité au contraste est plus faible chez les personnes âgées que chez les jeunes. Dans l'étude de Pardhan (1996), le groupe de sujets jeunes a obtenu un ratio de 1,46 et 1,48 pour des fréquences spatiales de 1 cpd et de 6 cpd respectivement alors que le ratio du groupe plus âgé était de 1,31 et 1,13. Le ratio de sommation binoculaire est donc inversement proportionnel à l'âge du sujet, et diminue davantage avec le vieillissement pour des fréquences spatiales plus élevées.

### 3.2.2 Différence interoculaire

Plusieurs études tendent à montrer que la différence interoculaire, c'est-à-dire le ratio de la différence de sensibilité entre l'œil gauche et l'œil droit, serait un facteur important pour expliquer l'inhibition binoculaire. En effet, Pardhan a démontré que le ratio de sommation binoculaire dépendait de la différence de sensibilité monoculaire (Pardhan et Gilchrist, 1990b ; Pardhan, 1996). La sommation binoculaire serait maximale lorsque la sensibilité de chaque œil est égale. Si la différence interoculaire augmente, le ratio de sommation diminue, pour

éventuellement tendre vers un, ce qui représente une situation de suppression. Au-delà d'une certaine différence monoculaire de sensibilité entre les deux yeux, la réponse binoculaire devient inférieure à celle du meilleur œil : inhibition binoculaire. Si la différence interoculaire s'accroît davantage, le phénomène d'inhibition binoculaire laisse place à nouveau à la suppression binoculaire. Cette variation du ratio de sommation binoculaire en fonction de la différence interoculaire de sensibilité au contraste a été démontrée pour le vieillissement normal (Pardhan, 1996), chez des amblyopes (Cruz et al., 1991 ; Pardhan et Gilchrist, 1992), chez des gens présentant une cataracte unilatérale (Pardhan et Elliott, 1991 ; Taylor et al., 1991) et chez des gens normaux pour lesquels une différence monoculaire de luminance ou d'embrouillement de l'image rétinienne était produite à l'aide de filtres de densité neutre (variation de la luminance) (Gilchrist et Pardhan, 1987) ou de lentilles convexes (variation de l'embrouillement) (Harwerth et Smith, 1985).

### 3.2.3 Dimension de la cible

Wood et al. (1992) ont étudié l'effet de la grandeur de la cible sur la sommation binoculaire. Les sujets devaient détecter une petite cible lumineuse projetée sur la coupole d'un appareil de champ visuel Humphrey. Trois grandeurs différentes de diamètre correspondant aux cibles circulaires I ( $0,108^\circ$  (degré d'angle visuel)), III ( $0,431^\circ$ ) et V ( $1,724^\circ$ ) de l'appareil Goldmann ont été utilisées. À la fovéa, la dimension du stimulus n'avait pas d'influence significative sur le ratio de

sommation binoculaire. Par contre, avec l'augmentation de l'excentricité rétinienne, le ratio de sommation binoculaire diminuait pour la plus petite cible (I) alors que l'effet était inverse pour la plus grande cible (V). L'effet de la différence interoculaire de sensibilité sur la sommation binoculaire a été analysé. Pour le plus petit stimulus, il y avait une augmentation de la différence interoculaire de sensibilité avec l'excentricité rétinienne. De plus, pour les cibles I et III, le ratio de sommation binoculaire diminuait avec l'augmentation de la différence interoculaire, pour se rapprocher de un avec la plus petite cible, signifiant l'absence de sommation binoculaire. En ce qui a trait à la plus grande cible, le ratio de sommation était peu influencé par la différence de sensibilité entre les deux yeux. Pour résumer cette étude, il semble que la sommation binoculaire dépende de la différence interoculaire pour des petites cibles.

#### 3.2.4 Excentricité rétinienne

La sommation binoculaire diminue légèrement avec l'augmentation de l'excentricité rétinienne chez des sujets normaux jeunes et âgés (Pardhan, 1997). L'effet de l'excentricité serait plus important le long du méridien horizontal que le long du méridien vertical (Wood et al., 1992). Cette asymétrie entre les méridiens horizontal et vertical pourrait être reliée à la différence de sensibilité entre l'œil droit et l'œil gauche. La différence interoculaire augmente avec l'excentricité et est plus importante pour le méridien horizontal. En effet, lors d'une stimulation binoculaire sur le méridien horizontal, un des points stimulés est dans l'hémirétine



nasale et l'autre dans l'hémirétine temporale. Or, il a été démontré que la rétine nasale était plus sensible que la rétine temporale (Grigsby et Tsou, 1994).

Dans l'étude de Pardhan et Whitaker (2000) avec des sujets amblyopes anisométriques, les ratios de sommation binoculaire pour la fovéa étaient inférieurs aux ratios pour la périphérie. Par contre, pour le groupe contrôle, les ratios de sommation pour la fovéa et pour les mesures en périphérie étaient comparables. En comparant les ratios de sommation binoculaire des deux groupes, il y avait une différence significative pour la région fovéale mais pas pour la périphérie. Les amblyopes anisométriques démontreraient donc une sommation binoculaire plus importante en périphérie qu'en central. Différentes hypothèses sont possibles. Les connections binoculaires périphériques seraient conservées alors que celles du champ central seraient davantage compromises. Autre explication plausible, le champ central serait plus sensible à une différence interoculaire que le champ périphérique (Pardhan et Whitaker, 2000).

### 3.2.5 Fréquence spatiale

Il y a une divergence d'idées dans la littérature en ce qui concerne l'influence de la fréquence spatiale sur la sommation binoculaire. Certains auteurs concluent que la sommation binoculaire pour la détection de contraste ne serait pas sensible à la fréquence spatiale lorsque les sensibilités monoculaires sont égales (Ross et al., 1985). Afin de vérifier cette affirmation, Pardhan et al. (1989) ont introduit une

différence monoculaire de sensibilité chez des sujets sains visuellement en plaçant un filtre de densité neutre devant un œil. Ils ont mesuré une diminution du ratio de sommation binoculaire mais cette baisse était constante pour les différentes fréquences spatiales évaluées (0,5 cpd, 1 cpd, 2 cpd, 6 cpd et 16 cpd). Plus tard, Pardhan (1996) a comparé la sommation binoculaire pour deux fréquences spatiales (1 et 6 cpd) chez des sujets jeunes et âgés ne présentant pas de maladie oculaire. Le ratio de sommation binoculaire ne variait pas en fonction de la fréquence spatiale pour le groupe jeune. Par contre, pour le groupe âgé, le ratio de sommation était plus faible pour la fréquence spatiale la plus élevée. L'étude de Faubert et Overbury (2000) semble également montrer une diminution du ratio de sommation binoculaire pour des fréquences plus élevées pour un groupe de sujets normaux âgés. Pour le groupe de sujets avec dégénérescence maculaire liée à l'âge, l'inhibition binoculaire était principalement manifeste pour des fréquences spatiales basses et intermédiaires. Selon ces différentes études, le ratio de sommation binoculaire pour la sensibilité au contraste dépendrait en partie de la fréquence spatiale.

## CONTEXTE DE L'ÉTUDE

Certains des points mentionnés dans la recension de la littérature se révèlent particulièrement importants dans le cadre de cette recherche. Premièrement, Faubert et Overbury (2000) ont démontré que certains sujets atteints de DMLA présentent de l'inhibition binoculaire. Pour des stimuli statiques de fréquences spatiales faibles ou intermédiaires, la sensibilité au contraste binoculaire était inférieure à celle du meilleur œil pour près de la moitié des sujets avec DMLA. En second lieu, la sensibilité au contraste dépend de facteurs spatio-temporels. Pour une fréquence spatiale donnée, le seuil varie en fonction de la caractéristique temporelle du réseau. En effet, plusieurs études démontrent que la sensibilité au contraste binoculaire diffère si la cible est statique ou en mouvement, suggérant que des mécanismes différents sont impliqués. Troisièmement, selon Wood et al. (1992), la taille de l'objet influence l'amplitude de la sommation binoculaire. Avec l'augmentation de l'excentricité rétinienne, le ratio de sommation binoculaire diminue dans le cas d'une petite cible, et l'effet est inverse dans le cas d'une plus grande cible. Enfin, l'étude de Pardhan et Whitaker (2000) suggère que la vision centrale binoculaire serait plus affectée par une différence interoculaire de sensibilité que la vision périphérique.

La sensibilité aux fréquences spatiales faibles et intermédiaires s'avère importante dans des conditions de mobilité. De plus, les déplacements dans l'environnement

nécessitent un grand champ de vision ; l'étendue du champ visuel est maximale en condition binoculaire. Le fonctionnement binoculaire pourrait constituer un avantage en situation de déplacement malgré le fait que l'inhibition binoculaire soit plus fréquente pour des basses et moyennes fréquences spatiales. Un autre facteur à considérer est le fait que l'environnement est en continuel mouvement lors des déplacements. L'inhibition binoculaire chez les gens avec DMLA était présente pour une cible statique. Pour une cible dynamique, l'inhibition binoculaire pourrait s'avérer négligeable. Nous faisons l'hypothèse que dans des conditions de mobilité, l'inhibition binoculaire serait moins importante. Ainsi, pour un sujet en mouvement, l'étendue de son champ visuel et l'environnement dynamique favoriseraient une performance binoculaire supérieure à la performance monoculaire. Par contre, pour une tâche impliquant la reconnaissance d'objets statiques et de petite taille telle la lecture, un sujet pourrait avoir intérêt à fermer un œil. Ces hypothèses se résument comme suit : pour un stimulus de grande taille et en mouvement, il y aurait moins d'inhibition. Les deux études actuelles visent donc à analyser l'effet des caractéristiques spatio-temporelles et dimensionnelles des stimuli sur la sommation binoculaire.

## *Chapitre II*

### **MÉTHODOLOGIE**

Les deux expériences ont nécessité la participation de sujets humains aptes et libres de fournir un consentement de participation aux recherches. Chaque participant à l'étude devait avoir eu un examen oculo-visuel complet avec dilatation pupillaire au cours de la dernière année. Avant de commencer l'expérience, la mesure de l'acuité visuelle a été évaluée pour chacun des sujets et la mesure du champ visuel central a été effectuée à l'aide d'un périmètre automatisé Humphrey (stratégie *SITA fast 24-2*).

Les sujets ont été divisés en deux groupes principaux : un groupe de sujets âgés ne présentant pas de maladie oculaire et un groupe de sujets âgés atteints de dégénérescence maculaire liée à l'âge.

Pour les deux expériences, la sensibilité au contraste a été évaluée par méthode psychophysique. Cette mesure a été effectuée à l'aide d'un réseau sinusoïdal généré par ordinateur sur un écran cathodique. Pour déterminer le seuil de contraste, la méthode PEST avec choix forcé à deux alternatives a été employée.

Pour une explication plus détaillée, consulter la section décrivant la méthodologie dans chaque article.

*Chapitre III*

**ARTICLE 1**

No Binocular Inhibition for Fast Moving Stimuli in the Elderly with  
Age-Related Macular Degeneration

Jocelyn Faubert, Ph.D., Judith Renaud, O.D.,

Claudine Habak, M.Sc., Jacques Gresset, O.D., Ph.D.

## ABSTRACT

**Purpose:** To determine the effect of age-related macular degeneration (ARMD) in older observers on monocular and binocular contrast sensitivity for static and moving stimuli.

**Design:** Between-within design.

**Participants:** Thirty-two older adults between the ages of 61 and 77 years; twenty of the observers had ARMD.

**Measures:** Visual acuity screening and spatial contrast sensitivity.

**Results:** For thirty-five percent of observers with ARMD, sensitivity to spatial information, as measured by static spatial contrast sensitivity, is worse when both eyes are used than when stimuli are viewed only with the better eye (binocular inhibition or BI). However, binocular sensitivities to stimuli containing rapid motion (16Hz) were very close to the best eye sensitivities for both ARMD and normal observers, thus showing no evidence of BI. Analysis of the older normal observer data also shows that subjects demonstrating binocular neural summation for the static stimuli show no such summation in the dynamic condition used.

**Conclusions:** The present data replicate previous results for static stimuli<sup>1</sup> and further show that there is no evidence of BI for fast moving stimuli, which confirms the advantage of using both eyes during mobility (due to an increase of visual field). On the other hand, it may be advantageous for a subset of ARMD observers, those showing BI, to use only the better eye for tasks where little

movement is required. Our results from normal aging observers further show that the subjects that demonstrate neural summation (binocular summation ratio of 1.4) for static stimuli show no evidence of binocular summation for the dynamic images beyond what is predicted from probability summation. This implies that fast moving stimuli do not generate neural binocular summation.



## INTRODUCTION

A major consequence of aging is the increase of age-related visual impairments leading to low vision. The most wide spread eye disease causing durable low vision in the elderly is age-related macular degeneration (ARMD). The result of ARMD is a loss of sight in the fovea that can cause dramatic visual acuity and spatial frequency sensitivity losses. Another frequent consequence of ARMD is an asymmetrical visual capacity where one eye is significantly more affected than the other. This raises the obvious question: how do these patients combine individual monocular inputs to function binocularly?

We have previously demonstrated that a large percentage of the elderly with ARMD express binocular inhibition (BI) for static spatial stimuli<sup>1</sup>. Binocular inhibition is when binocular sensitivity is worse than the best monocular sensitivity<sup>2</sup>. This study reported that, out of 49 ARMD patients, 45% had worse binocular sensitivity functions than their best monocular function as calculated by the area under the spatial frequency contrast sensitivity function. Although there were no differences in mean age and contrast sensitivity of the best eye between the group expressing BI and the group that did not, there was a significant difference in the sensitivity of the worse eye between groups. It appears therefore, that the best predictor of BI for an ARMD patient is the amplitude of the

sensitivity difference between the two eyes (within limits). Other studies on BI for subjects with other visual disorders have also demonstrated similar effects<sup>2,3</sup>.

The results of our previous study raise a number of issues regarding binocular function in the ARMD population. For one, our data imply that using both eyes under certain circumstances may impair some low vision observers. The question is: under what circumstances will observers best be served by one rather than two eyes, and vice versa? Standard visual acuity measures are of no help in determining this, as previous data showed that binocular inhibition occurs mainly at the medium and lower spatial frequencies<sup>1</sup>. In addition, there was no correlation between visual acuity and whether or not patients showed BI. Standard acuity is a measure of higher spatial frequencies at maximum contrast. Contrast sensitivity to medium and lower spatial frequencies is generally related to tasks that require this type of information, such as orientation and mobility. Orientation and mobility require a larger field of view and this may explain why both eyes are still functional for contrast detection, despite a detrimental effect of binocular inhibition. A notion that was not considered in the previous study was that of moving stimuli. While travelling about, ARMD patients benefit not only from a larger field of view obtained from binocular vision, but they also experience continuous movement in their visual environment. An obvious question is whether ARMD patients also experience BI for moving objects? If there is no evidence of BI for moving stimuli then it would make intuitive sense that

observers have not learned to repress their worse eye at the expense of loosing some binocular sensitivity for static stimuli. The purpose of the present experiment was to determine whether subjects that demonstrate BI for static gratings also show BI for drifting gratings.

## **METHODS**

### **Subjects**

ARMD participants were recruited at the Institut Nazareth et Louis Braille and the general optometry clinic at the School of Optometry at Université de Montréal. The normal observers were recruited from the general optometry clinic at the School of Optometry at Université de Montréal. The low vision subjects were asked if they wanted to participate in the study when they came for a regular follow-up at the low vision center or they were contacted by phone, and the normal subjects were people that came for a regular examination at the optometry clinic.

### **Procedure**

Spatial sine wave gratings were generated with a Macintosh G3 system and the stimuli were presented on an Apple Vision 750 monitor (15 inch, 832 x 624 pixel resolution, refresh at 75Hz). The stimuli were red with CIE  $u'v'$  values of 0.400 and 0.515 respectively. This configuration was used because the monitor spectrum for the red gun has a narrow bandwidth. For an example of the spectral

output of the guns see Faubert<sup>4</sup>. The portion of the spectrum covered by the red gun is relatively spared by optical absorption<sup>5,6</sup>. Therefore, using such a configuration minimises the individual differences in lens opacity on the sensitivity data. The computer screen was calibrated and corrected for linearity by methods previously described<sup>7</sup>. A PEST adaptable staircase procedure was used for all experiments and threshold was established at 75% correct level. Before each session the subjects were given a minimum of 25 practice trials. Viewing distance was 57 cm and the sequence of testing for eye (left, right, or binocular) and stimulus condition was randomly selected. All observers were individually corrected for the viewing distance of 57 cm. The mean luminance was 9.5 cd/m<sup>2</sup> in a dimly lit room. In all experiments the stimulus subtended 10 degrees of visual angle and the spatial frequency of the gratings was 0.5 cycle-per-degree of visual angle (cpd). Contrast thresholds were calculated using Michelson contrast ( $L_{max} - L_{min} / L_{max} + L_{min}$ ) where  $L_{max}$  and  $L_{min}$  corresponded to the maximum and minimum luminances in the image respectively. Sensitivity was calculated as the inverse of the contrast threshold and was converted to log units. On any given trial, the stimulus was presented for 750 msec and was preceded by a warning tone.

For static stimuli, we used an orientation discrimination paradigm and the task was to determine whether the presented gratings were oriented vertically or horizontally on a given trial. In the moving stimuli condition, we used a motion

direction paradigm where the task was to determine whether a vertical sinewave grating drifting at 16Hz was moving in the leftward or rightward direction. Gratings were presented at fixation (central). ARMD observers were allowed to use eccentric viewing.

## **RESULTS**

A total of 32 observers were tested. The control group consisted of 12 normal observers with an age range of 61 to 74 years, a mean of 67.3 years, and a standard deviation of 4.4 years. The experimental group consisted of 20 observers with age-related macular degeneration (ARMD) between the ages of 62 to 77 years, a mean of 71.1 years, and a standard deviation of 4.1 years. Table I lists the demographic information of the observers included in the normal and ARMD groups. The subjects were categorised into two groups based on their spatial contrast sensitivity. Their data either demonstrated a pattern corresponding to "binocular inhibition" (BI) where binocular sensitivity was inferior to the best monocular sensitivity, or they did not show this trend (NBI) in which case binocular sensitivity was better or equal to the best monocular data. If the binocular contrast sensitivity was higher or equal to the best monocular sensitivity, then the subject fell into the NBI category. If, on the other hand, the binocular contrast sensitivity was worse than the best monocular sensitivity, then the subject was placed into the BI category.

Using this categorisation procedure, 13 observers (65%) demonstrated NBI behaviour and seven observers (35%) showed BI characteristics for static stimuli. In other words, 35% of the ARMD patients had a binocular spatial contrast sensitivity that was worse when both eyes were used than when only the better eye was used. No observers from the normal group showed a BI pattern. In the moving stimulus condition, 14 observers (70%) demonstrated NBI behaviour while six (30%) had a BI pattern. However, there was very little difference between the binocular and best monocular sensitivities for patients in either category. Only three of the observers that showed BI for the static stimuli showed the same pattern for the moving stimuli. This means that three observers out of the 13 that originally demonstrated a NBI pattern for static stimuli showed a BI pattern for the moving stimuli. This can be explained by the fact that the sensitivities for binocular and best monocular conditions were very close and these results are a consequence of normal variance in the sensitivity measures as will be evidenced by the statistical analysis below.

Because of the difference in categorization between the static and moving stimuli, separate analysis of variance (ANOVA) calculations were performed for the static and drifting stimuli results of ARMD observers. Separate 2x3 between-within ANOVAs were performed on the contrast sensitivity values obtained from the ARMD observers for the static and drifting data. The between condition corresponded to the categories (NBI vs. BI) and the within condition consisted of the eye categories related to performance as measured by contrast sensitivity

(worse eye, better eye, and binocular). The static condition ANOVA shows significant main effects of group ( $F(1,18)=9.66$ ;  $p=0.006$ ) and eye categories ( $F(2,36)=11.31$ ;  $p<0.001$ ). Furthermore, a significant group by eye interaction was also found ( $F(2,36)=6.42$ ;  $p=0.004$ ). Post hoc Tukey HSD pairwise comparisons were performed on the data. These show that the two groups differ at statistically significant levels on their binocular and worse eye sensitivities, both being lower for the BI than the NBI group ( $p<0.01$ ). However, the sensitivity for the better eye was not significantly different between groups ( $p>0.05$ ).

The drifting stimuli condition ANOVA shows no significant main effect of category ( $F(1,18)=0.75$ ;  $p=0.40$ ) nor of category by eye interaction ( $F(2,36)=1.99$ ;  $p=0.15$ ). There was a significant main effect of eye ( $F(2,36)=20.38$ ;  $p<0.001$ ). A Post hoc analysis demonstrates that this effect was generated by a significant difference between the sensitivity of the worse eye and the other eye conditions ( $P<0.05$ ).

Binocular summation ratios (binocular sensitivity divided by the sensitivity of the best eye) were calculated for normal and ARMD observers. Normal observers show binocular summation ratios of 1.23 and 1.05 for the static and dynamic conditions respectively. The static data show binocular summation ratios of 1.09 and 0.89 for the NBI and BI groups respectively, and the ratios for the drifting grating data are 1.08 and 0.96 for these same groups.

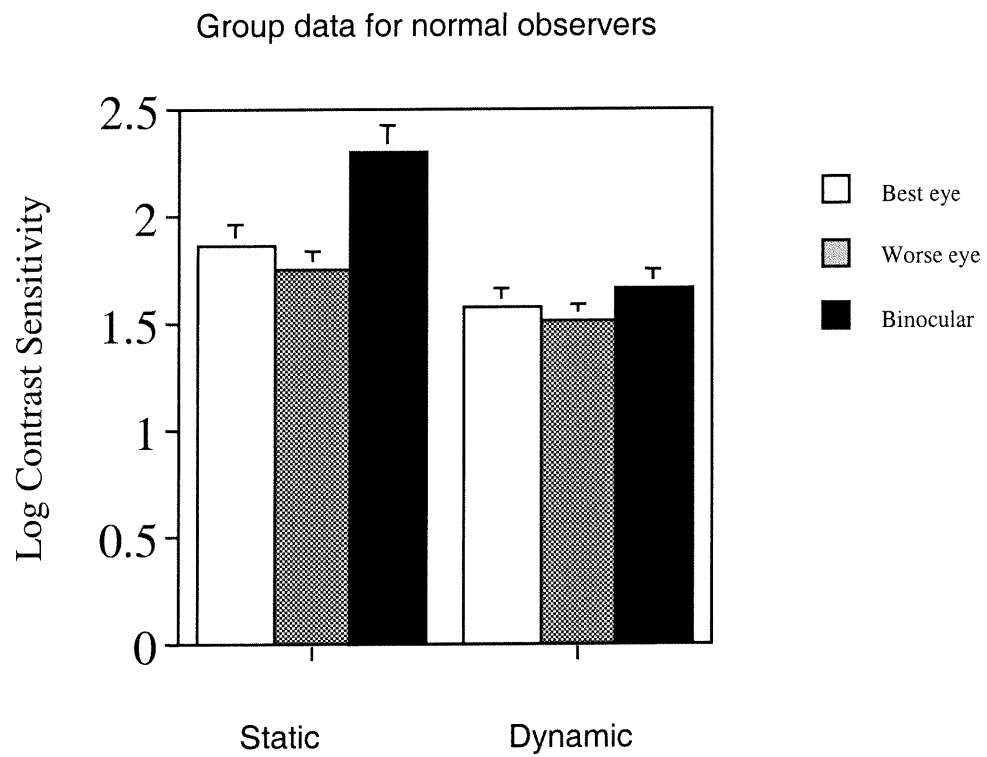
To illustrate these results in graphical form, mean contrast sensitivity values for the normal group is plotted in Figure 1; the ARMD data for the static stimulus condition in Figure 2 and for the dynamic condition in Figure 3. The y-axis represents the log contrast sensitivity and the x-axis the different eye performance categories. As demonstrated in Figure 1, the normal group data clearly shows a higher binocular sensitivity function than the best monocular function in the static stimulus condition. However, this difference is completely eliminated in the dynamic condition where the binocular function is essentially equivalent to the two monocular functions. Figure 2 illustrates the fact that the best eye performance of the NBI and BI groups for the static grating condition are identical while the worse eye and binocular sensitivities of the BI group are significantly lower than the those of the NBI group for the same conditions. This pattern exactly replicates our previous study on binocular inhibition in ARMD patients<sup>1</sup>. Figure 3 demonstrates that the sensitivities of the best and worse eye, and binocular sensitivities, are almost identical for both ARMD groups for the dynamic condition as supported by the statistical analysis above.

Because there were only significant differences between groups in the static condition, we performed further statistical analyses only on those data. These analyses showed that there were no significant differences between the mean age of the BI and NBI groups. The mean age of the BI group was 72.6 years with a standard deviation of 2.1 years and the mean age of the NBI group was 70.2 with a



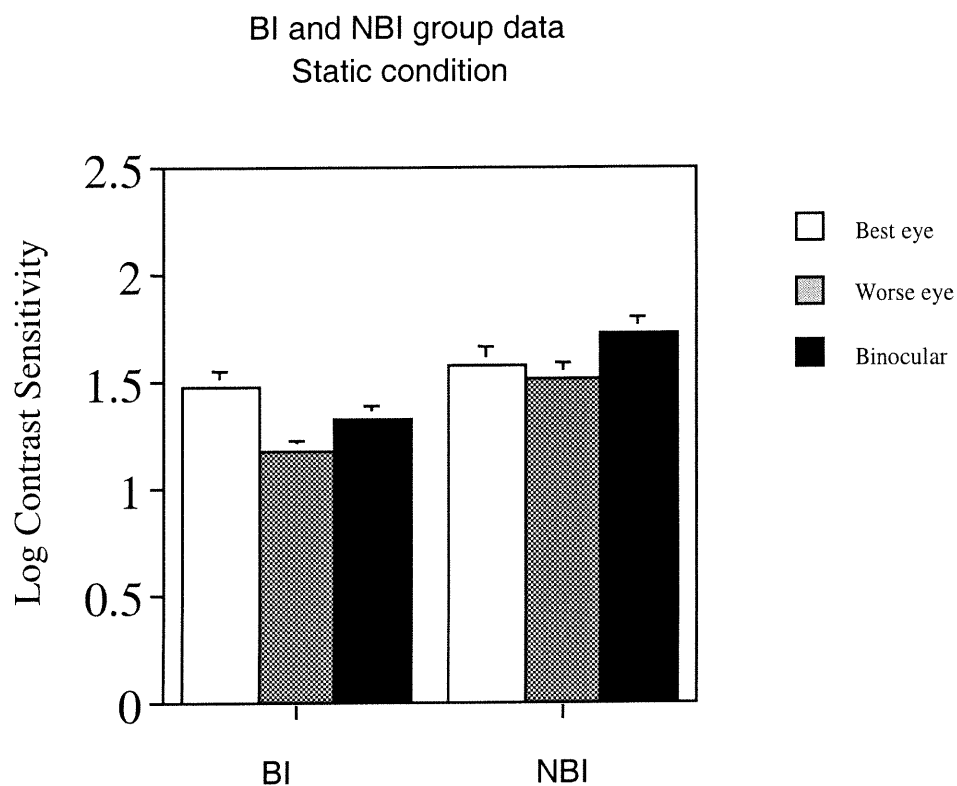
standard deviation of 4.6 years. Age also showed little correlation with group category (Spearman RHO,  $r = -0.25$ ).

**Figure 1: Contrast sensitivity for normal observers in static and dynamic conditions**



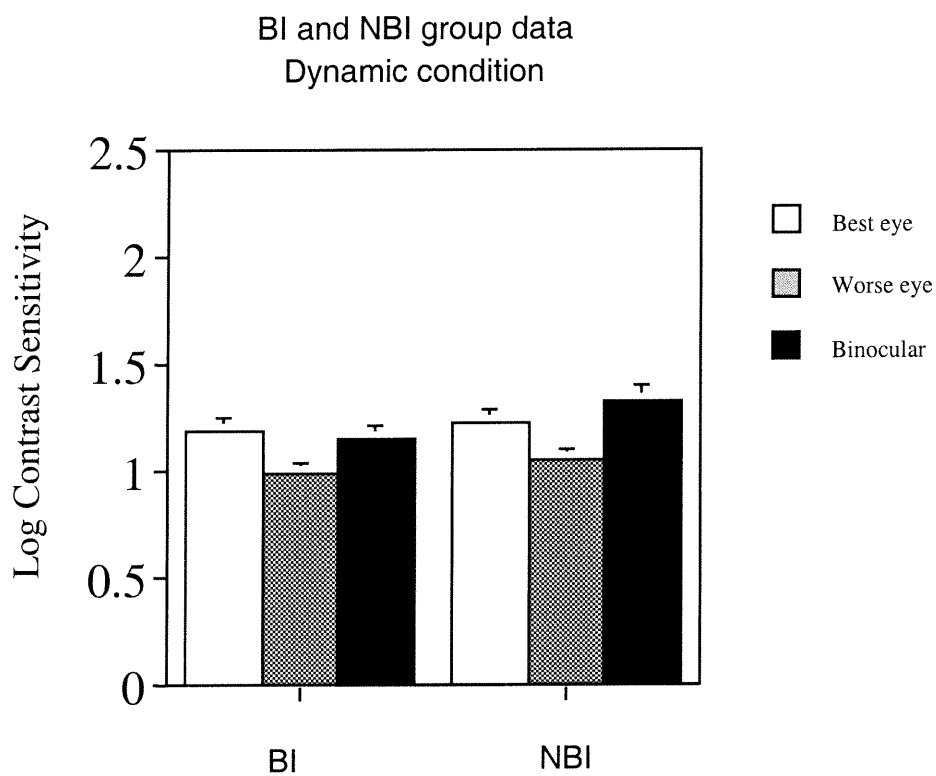
**Figure 1:** Log contrast sensitivity as a function of group category and stimulus parameters. Group data for normal observers are shown for the static and dynamic (16Hz) stimuli, and for each eye condition (best eye, worse eye and binocular).

**Figure 2: Contrast sensitivity for ARMD observers  
in static condition**



**Figure 2:** Log contrast sensitivity as a function of group category and stimulus parameters. ARMD observers group data for the static stimuli are shown for the two categories (BI and NBI) and for each eye condition (best eye, worse eye and binocular).

**Figure 3: Contrast sensitivity for ARMD observers  
in dynamic condition**



**Figure 3:** Log contrast sensitivity as a function of group category and stimulus parameters. ARMD observers group data for the dynamic stimuli are shown for the two categories (BI and NBI) and for each eye condition (best eye, worse eye and binocular).

## DISCUSSION

The present results support our previous findings with ARMD patients that a subset of observers can have worse binocular contrast sensitivity than their best monocular sensitivity (BI) for static spatial frequency gratings. The original data were confirmed regardless of the fact that a different methodology was used in the present study. In the first study increment thresholds with a detection paradigm were used and in the present experiment an adaptive PEST procedure with an orientation discrimination paradigm. Further, the present study extends our previous findings to dynamic stimuli showing that there is no evidence of BI for stimuli containing rapid motion information. This is particularly important knowledge for practitioners in the field of low vision. It is important to understand that ARMD patients that demonstrate BI patterns for static spatial frequency information would still benefit from using both eyes when they are engaged in locomotion or tracking fast moving objects. However, when they have to perform tasks where movement information is minimal, they would benefit from using only their best eye as opposed to using binocular vision.

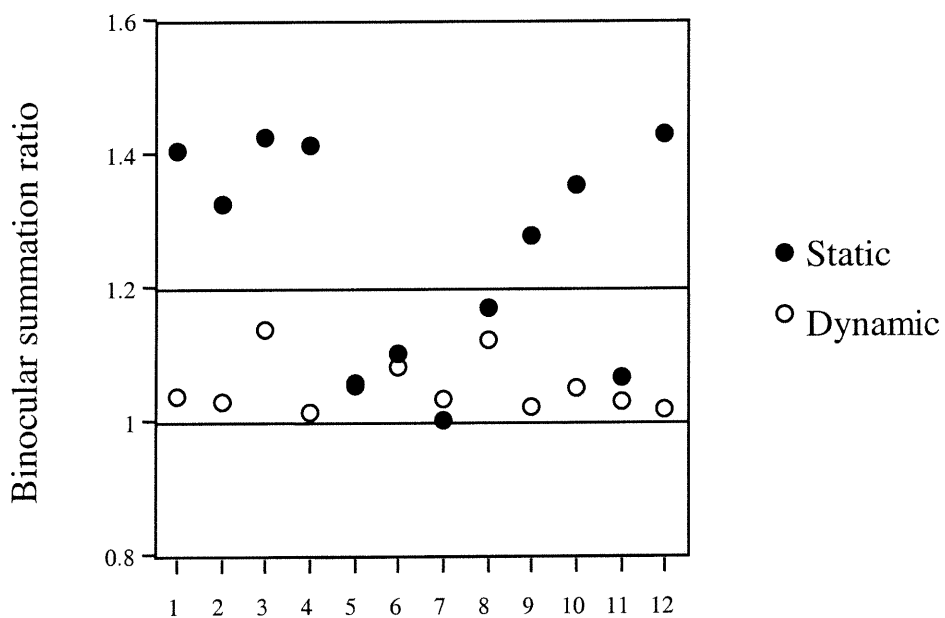
Although the present data appear clear cut they still raise a number of questions as to the nature of binocular inhibition in ARMD patients. First, although the pattern of previous data was confirmed, the percentages of the BI subgroup were different between studies. In the first study, we found that 45% of the ARMD patients demonstrated BI whereas in the present study only 35% of ARMD patients

showed this behaviour. Besides the differences in basic psychophysical methodology mentioned above, the stimuli used also differed. For instance in the first study contrast sensitivity to six spatial frequencies was measured, and only one spatial frequency was assessed in the present case. This frequency is in the range that produced the most BI in our previous study so the difference between percentages of BI probably does not lie there. However, the biggest difference may be in the size of the stimulus used in the different studies. In fact, the stimulus size for the Faubert and Overbury study<sup>1</sup> was 5 degrees of visual angle whereas the stimulus size was 10 degrees in the present study. We believe that this is the most critical difference for ARMD patients. The reason has to do with the nature of ARMD, which causes a loss of central vision (central scotoma). It is possible that the percentage of patients demonstrating BI behaviour and the magnitude of this BI depends on the size of the stimulus used. We are presently conducting such studies and preliminary data tend to support this notion i.e. the smaller the target the more inhibition occurs.

Another issue to consider from these findings is the effect of normal aging on binocular summation ratios. The mean binocular summation ratios for the older normal observers were 1.23 for the static data and 1.05 for the dynamic stimuli. Does this mean that there is no binocular summation in observers of this age group? It has been determined that binocular summation ratios up to about 1.2 can be accounted for by probability summation<sup>8,9</sup>. Individual data of the normal

observers for the static and dynamic stimuli are plotted in Figure 4. These data reveal that, although a number of observers have binocular summation ratios between 1.0 and 1.2, there are many observers that have ratios close to 1.4; a binocular summation value that is beyond probability summation and has been attributed to some form of neural summation<sup>9</sup>. Figure 4 clearly illustrates that the same normal observers never have binocular summation ratios above 1.2 for the dynamic condition. We can conclude from this that there are still a number of normal older individuals that demonstrate some form of neural summation in this age category. We can further extrapolate from these results that stimuli containing fast motion do not generate neural summation.

To date, experiments conducted were performed under controlled testing conditions. However, our ultimate goal is to determine how ARMD observers perform in realistic situations. Although the present experiments help in understanding the underlying mechanisms, a legitimate concern is whether these observations can be generalized to real life situations. To this end, future experiments in our laboratory will explore monocular and binocular performances in the context of a full immersion room (CAVE). In such an environment, it is possible to control the entire visual field and expose patients to realistic situations of daily life. Under these conditions, we will be able to determine to what extent BI can generate difficulties in an ARMD population.

**Figure 4: Individual binocular summation ratios**

**Figure 4:** Individual binocular summation ratios (binocular sensitivity/best monocular sensitivity) for the normal observers as a function of stimulus conditions (static and dynamic).



In conclusion, we have found that sometimes one eye is better than two in the case of ARMD patients. This is particularly true for visual performance when images have low and medium spatial frequency components (large and medium size objects) as demonstrated in our previous study, and low temporal frequency evidenced by our present results. We have also shown that there is no evidence of BI for stimuli containing fast motion information in older patients with ARMD. Furthermore, data for normal observers show that even subjects expressing neural binocular summation for the static stimuli do not show any binocular sensitivity beyond what is predicted from probability summation for the fast moving stimuli. Our results may lead to a better understanding of the functional impact of ARMD, which is the leading cause for low vision and legal blindness in the elderly population, on monocular and binocular functions for different requirements of daily activities.

**Table I: Demographic information of the observers**

AGE	DIAGNOSIS	LogMAR(OS)	LogMAR(OD)	LogMAR(OU)	CATEGORY (static)
61	NORMAL	-0.1	-0.2	-0.2	NBI
63	NORMAL	0	0	-0.1	NBI
74	NORMAL	-0.1	-0.1	-0.2	NBI
71	NORMAL	0	0	0	NBI
62	NORMAL	-0.2	-0.1	-0.2	NBI
64	NORMAL	-0.1	-0.1	-0.1	NBI
66	NORMAL	-0.1	0	-0.2	NBI
73	NORMAL	0	0	0	NBI
65	NORMAL	-0.1	-0.1	-0.1	NBI
71	NORMAL	0	0	-0.1	NBI
70	NORMAL	0	0	-0.1	NBI
68	NORMAL	-0.1	0	-0.1	NBI
74	ARMD	1.2	1.1	1.1	BI
71	ARMD	1	-0.1	-0.1	BI
73	ARMD	0.48	1.4	0.48	BI
69	ARMD	1.12	1.12	1.12	BI
72	ARMD	0.82	0.52	0.6	BI
74	ARMD	0.82	1.03	0.92	BI
75	ARMD	1.12	1.3	1.12	BI
64	ARMD	0.48	0.6	0.6	NBI
67	ARMD	0.48	0.8	0.48	NBI
73	ARMD	0.18	0.3	0	NBI
77	ARMD	0.8	0.4	0.48	NBI
71	ARMD	0.4	0.1	0.1	NBI
70	ARMD	1	0.9	0.9	NBI
62	ARMD	1.1	0	0	NBI
65	ARMD	0	0.6	-0.1	NBI
75	ARMD	1	1	1	NBI
75	ARMD	0.8	0.7	0.7	NBI
71	ARMD	0.7	0.9	0.6	NBI
71	ARMD	0	0.3	0	NBI
72	ARMD	0.18	0.4	0.1	NBI

Table I: List of age, diagnosis, acuities in LogMAR, and category for each subject in the static condition.

## REFERENCES

1. Faubert J, Overbury O. Binocular vision in older people with adventitious visual impairment: Sometimes one eye is better than two. *JAGS* 2000; 48:375-380.
2. Pardhan S, Gilchrist J. The importance of measuring binocular contrast sensitivity in unilateral cataract. *Eye* 1991; 5:31-35.
3. Pardhan S, Gilchrist J. Binocular contrast summation and inhibition in amblyopia. The influence of the interocular difference on binocular contrast sensitivity. *Documenta Ophthalmologica* 1992; 82:239-248.
4. Faubert J. Colour induced stereopsis in images with achromatic information and only one other colour. *Vision Research* 1995; 35:3161-3167.
5. Weale R. *The aging eye*. London: Lewis, 1963.
6. Faubert J, Diaconu V, Ptito M, Ptito A. Residual vision in the blind field of hemidecorticated humans predicted by a diffusion scatter model and selective spectral absorption of the human eye. *Vision Research* 1999; 39:149-157.
7. Faubert J. *Effect of target size, temporal frequency and luminance on temporal modulation visual fields*. In *Perimetry: Update 1990/1991*, Amsterdam/New York: Kugler, 1991, pp. 381-390.
8. Arditi A. *Binocular vision*. In Boff KR, Kaufman L, Thomas JP (eds.) *Handbook of perception and human performance*. Volume I. Sensory processes and perception. New York: John Wiley & Sons, 1986.
9. Blake R, Fox R. The psychophysical inquiry into binocular summation. *Perception and Psychophysics* 1973; 14:161-185.

*Chapitre IV*

**ARTICLE 2**

Less Binocular Inhibition for Larger Stimuli in the Elderly with Age-  
Related Macular Degeneration

Judith Renaud, O.D., Jocelyn Faubert, Ph.D., Claudine Habak, M.Sc.

## ABSTRACT

**Purpose:** Age-related macular degeneration (ARMD) induces asymmetrical function of the eyes. The purpose of this study was to assess the effect of target size on binocular function for static stimuli of low spatial frequency (0.5 cpd) in older observers with and without ARMD.

**Methods:** Thirteen older observers without ocular pathologies (ages 61-74) and twenty older observers with ARMD (ages 64-77) were tested. Contrast thresholds were measured for three different grating dimensions: 5x5, 10x10 and 20x20 degrees, presented at fixation (central). Subjects were required to discriminate the orientation (vertical or horizontal) of the grating. Each condition was assessed binocularly and monocularly for each eye.

**Results:** Observers (except for one) in the group without ocular pathologies showed binocular summation for all conditions, but the summation ratio was smaller for the largest stimulus size (20x20). Fifty percent of the ARMD observers showed binocular inhibition for the 5-degree target, the remainder showed either binocular summation or suppression. For the 10-degree stimulus size, thirty percent of the ARMD group presented binocular inhibition behavior. No true binocular inhibition pattern was present for the largest target size. The percentage of ARMD observers demonstrating binocular inhibition decreased with increasing grating size.

**Conclusions:** An increase in target size affects binocular performance: the group without ocular pathologies showed less summation whereas the group of ARMD

inhibitors showed less inhibition. Binocular inhibitors may benefit in using only one eye for small targets but using binocular vision does not seem detrimental when viewing large stimuli.

## INTRODUCTION

Age-related macular degeneration (ARMD) is the leading cause of acquired blindness in the ageing population in North America<sup>1</sup>. The deterioration of the macular area impairs visual functions affecting acuity, contrast sensitivity and central visual field. The reduction of sensitivity in central vision is often asymmetrical occasioning, for some, an abnormal binocular interaction. Some ARMD observers show a pattern of binocular inhibition for static stimuli of intermediate and low spatial frequencies<sup>2</sup>. Binocular inhibition (BI) is defined as a binocular sensitivity being lower than the best monocular sensitivity. Other studies showed inhibition behaviour for observers with other visual disorders such as cataract<sup>3</sup> and amblyopia<sup>4,5</sup>. Different studies tend to demonstrate that the best predictor of BI would be the difference in sensitivity between the two eyes<sup>6,7</sup>.

However, it was demonstrated that BI is not present for ARMD observers when they are viewing a fast moving stimulus<sup>8</sup>. Those results raise several issues. Concerning mobility, it is possible that two eyes are better than one. For instance, when they are walking around, the moving environment creates conditions making inhibition less likely to occur. Another possible explanation is the benefit they might have with a wider visual field in binocular condition. However, when they stop to look at a street sign, BI might be detrimental. In this case, they would be better served by closing one eye.

Other factors might influence binocular inhibition. One possibility is target size. In Faubert and Overbury study<sup>2</sup>, there were 45% of ARMD inhibitors while only 35% in Renaud et al. study<sup>8</sup>. In the former, a 5-degree target was used and in the later, the stimulus was 10 degrees of visual angle. The difference in stimulus sizes could be an explanation for the decrease in percentage of binocular inhibitors with the widest target. To verify the impact of target size on binocular inhibition, we evaluated static spatial contrast sensitivity for stimuli of different target sizes.

## **METHODS**

### **Observers**

Thirteen older participants without ocular pathologies (aged  $67.2 \pm 4.3$  years) were recruited from the clinic of the School of Optometry of the Université de Montréal. All subjects had right and left monocular corrected visual acuities (VA) of 6/7.5 or better.

Twenty older observers with aged-related macular degeneration (ARMD) (aged  $71.5 \pm 3.3$  years) participated in the study. They were recruited from the clinic of the School of Optometry of the Université de Montréal and at the low vision center of Institut Nazareth et Louis-Braille. The patients presented ARMD in at least one eye. ARMD was defined as the presence of characteristic ARMD fundus changes of the dry or exudative types. Changes visible during ophthalmoscopy such as



drusen, pigmentary disturbances, choroidal neovascular membrane or disciform scar and associated with best corrected visual acuity of 6/9 or worse.

All the subjects had passed a full optometric examination within the last year. Visual acuities were measured with the ETDRS illuminated letters chart. They had no history of amblyopia or squint. They were phakics (normal low-grade cataracts for their age) or pseudophakics, the same condition being present in both eyes. Twelve out of thirteen observers in the control group had VA of 6/6 or better (Table I). Pupil diameters, measured under the experimental conditions, ranged between 4.0 and 5.0 mm. All observers were refracted for the viewing distance of the test.

### **Stimuli & Procedure**

Stimuli were generated by a Power Macintosh G3 and presented on a 15" Apple Vision 750 color monitor. The monitor had a refresh rate of 75Hz and a resolution of 832 x 624 pixels. The computer screen was calibrated and corrected for linearity by previously described methods<sup>9</sup>.

Stimuli consisted of a red 0.5 cycle-per-degree of visual angle (cpd) sinusoidal grating presented on a red background with a mean luminance of 9.5 cd/m<sup>2</sup> in a dimly lit room. A red stimulus (CIE  $u'=0.400$  and  $v'=0.515$ ) was selected to minimise the absorption of wavelengths under 600 nm by the ageing lens<sup>10,11</sup> and because the spectral bandwidth of the red gun is relatively narrow<sup>12</sup>. Gratings were

presented in three different hard-edged square patches subtending 5x5, 10x10 and 20x20 degrees. Static gratings were presented at fixation (central). ARMD observers were allowed to use eccentric viewing. The testing distance was 57 cm. Subjects were required to discriminate the orientation (vertical or horizontal) of the grating. Presentation time was 760 msec, preceded by a warning tone. Contrast thresholds (75% correct) were measured using a PEST procedure<sup>13</sup>. Each of these different conditions was assessed binocularly and monocularly for each eye. Test condition order was randomised for all subjects. Testing took place over two one-hour sessions, which started with a minimum of 25 practice trials. Observers could take pauses at any time.

The Michelson contrast equation was used to calculate the contrast thresholds:  $(L_{max}-L_{min}/L_{max}+L_{min})$ . The  $L_{max}$  represents the maximum luminance in the image while the  $L_{min}$  corresponds to the minimum luminance of the image. The contrast sensitivity was calculated as the inverse of the contrast threshold and converted into log units.

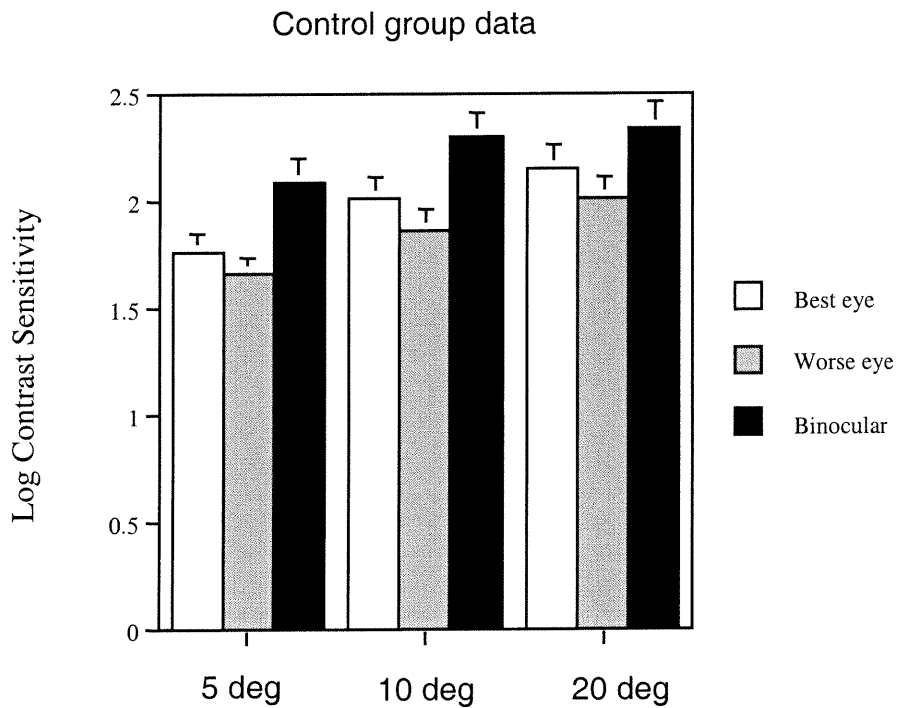
## **RESULTS**

### **Group classification**

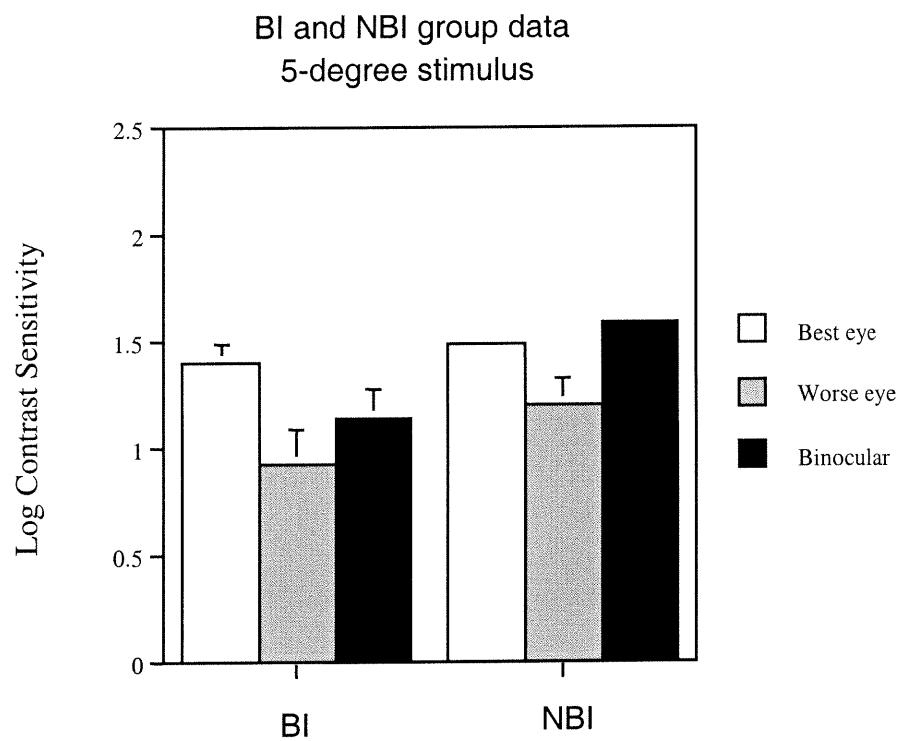
The control group consisted of 13 older participants without ocular pathologies. The 20 observers presenting ARMD were divided into two groups depending on their contrast sensitivity results. If the best monocular sensitivity was better than

the binocular response, the subject was classified in the "binocular inhibition " group (BI). If the binocular sensitivity was better or equal to the best monocular sensitivity, the observer was classified in the "non binocular inhibition " group (NBI). This categorisation was carried out for the three different stimulus sizes.

For the stimulus size of 5 degrees, 10 ARMD observers (50%) showed a BI pattern and the others (50%) presented NBI behaviour. For the 10-degree target size, 6 of the ARMD subjects (30%) fell in the BI group and the others (70%) in the NBI group. Finally, for the 20-degree stimulus size, most of the ARMD observers (90%) demonstrated NBI behaviour. Only two subjects did not. No observers in the control group showed a BI pattern for any of the conditions tested except for one. For the 5-degree stimulus, the best monocular sensitivity of one subject was slightly better than his binocular sensitivity but both results were almost identical (1.72 vs. 1.68).

**Figure 1: Contrast sensitivity for the control group**

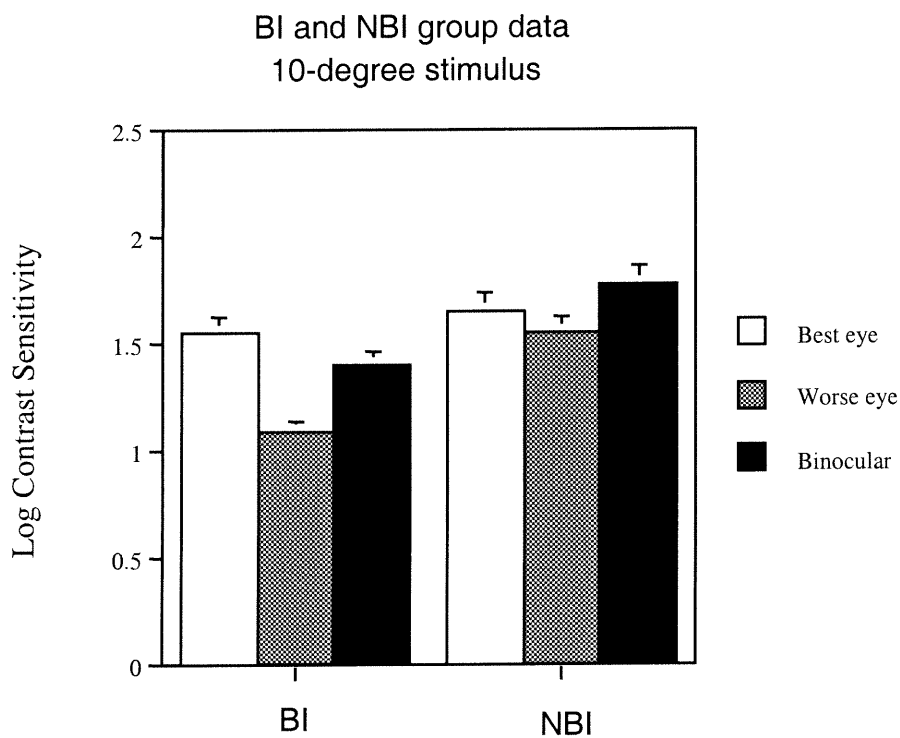
**Figure 1:** Log contrast sensitivity as a function of group category and stimulus parameters. Group data for normal observers are shown for the 5, 10 and 20 degree stimulus sizes, and for each eye condition (best eye, worse eye and binocular).

**Figure 2: Contrast sensitivity for ARMD observers****5-degree stimulus**

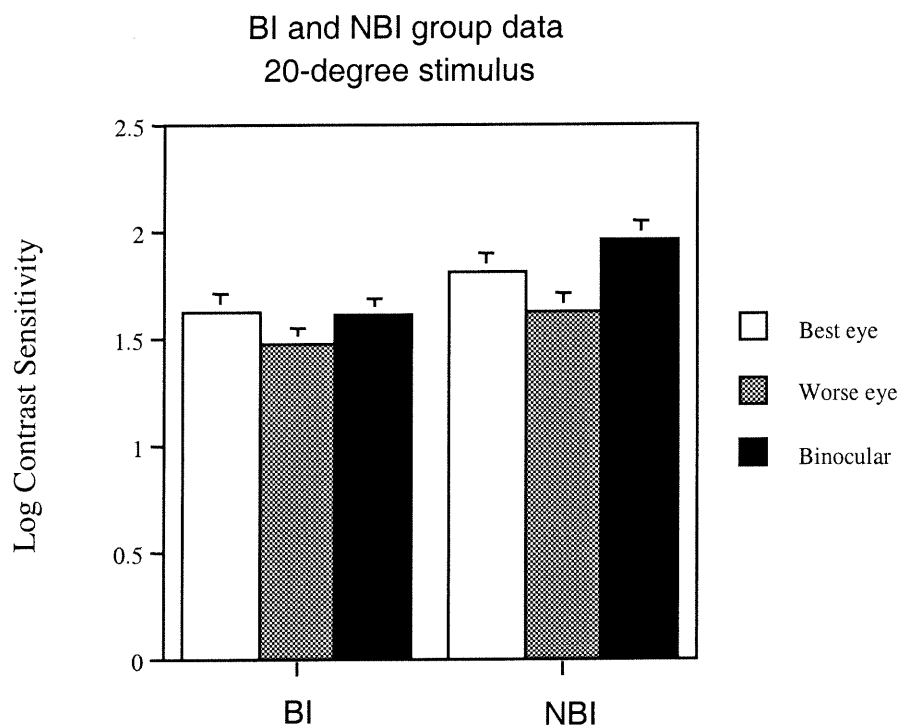
**Figure 2:** Log contrast sensitivity as a function of group category and stimulus parameters.

ARMD observers group data for the 5-degree stimulus are shown for the two categories (BI and NBI) and for each eye condition (best eye, worse eye and binocular).

**Figure 3: Contrast sensitivity for ARMD observers**  
**10-degree stimulus**



**Figure 3:** Log contrast sensitivity as a function of group category and stimulus parameters. ARMD observers group data for the 10-degree stimulus are shown for the two categories (BI and NBI) and for each eye condition (best eye, worse eye and binocular).

**Figure 4: Contrast sensitivity for ARMD observers****20-degree stimulus**

**Figure 4:** Log contrast sensitivity as a function of group category and stimulus parameters. ARMD observers group data for the 20-degree stimulus are shown for the two categories (BI and NBI) and for each eye condition (best eye, worse eye and binocular).

### **Contrast sensitivity results**

Figures 1, 2, 3 and 4 represent the mean contrast sensitivity of each eye condition for the different groups. In figure 1, the binocular sensitivities of the control group are higher than the best monocular ones for the three target sizes. Figures 2 to 4 represent the results of ARMD observers classified into two distinctive groups: NBI and BI. Figures 2 and 3 illustrate the 5 and 10-degree stimulus sizes respectively. Both graphs show that the best monocular sensitivity for the NBI and BI groups are identical while the worse and binocular sensitivities are lower for the BI group. Figure 4 demonstrates that the best and binocular results are almost identical in the BI group for the 20-degree target size. As illustrated by all the graphs and as expected, the sensitivity increases with larger target sizes<sup>14</sup>.

Separate analyses of variances (ANOVA) were carried out for the 5 and 10-degree stimulus size contrast sensitivity values of the ARMD observers. Separate calculations for the 5 and 10-degree target conditions were conducted considering the difference in the number of observers in the BI and NBI groups. A 2x3 mixed design ANOVA (group classification X eye category) was performed on the contrast sensitivity results for the ARMD observers. The between condition is the binocular pattern (BI vs. NBI) and the within condition corresponds to the eye categories related to the contrast sensitivity results (better eye, worse eye and binocular). No ANOVA was performed on the results of the 20-degree stimulus size because there were not two distinctive groups. Only two observers could have been classified in the BI group but their best and binocular contrast sensitivities



were almost identical. Those two observers are within one standard deviation of the NBI group.

The ANOVA for the 5-degree stimulus results (Fig. 2) shows significant main effects of group ( $F(1,18)=4.25$ ;  $p=0.05$ ) and of eye categories ( $F(2,36)=18.72$ ;  $p<0.0001$ ). A significant group by eye interaction was also found ( $F(2,36)=3.935$ ;  $p=0.0285$ ). Post hoc Tukey HSD pairwise comparisons were calculated on those data. The two groups (BI vs. NBI) differ in their binocular sensitivities ( $F(1,18)=10.322$ ;  $p=0.005$ ), the BI group showing lower values. For the 10-degree target (Fig. 3), the ANOVA shows significant main effects of group ( $F(1,18)=5.07$ ;  $p=0.04$ ) and eye categories ( $F(2,36)=18.68$ ;  $p<0.0001$ ). Furthermore, a significant group by eye interaction was found. Post hoc Tukey HSD pairwise comparisons were performed. The two groups were statistically different in their binocular and worse eye sensitivities ( $p<0.03$ ), both being lower for the BI group. The groups did not differ for their best eye performance.

Binocular summation ratios (BSR), defined as the binocular sensitivity divided by the best monocular sensitivity, were calculated for the different groups. Normal observers presented BSR of 1.19, 1.16 and 1.10 for the 5, 10 and 20-degree targets respectively. The NBI group showed BSR of 1.07 for the 5-degree stimulus and 1.08 for the 10 and 20-degree stimuli. The BI group had BSR of 0.80, 0.88 and 0.99 for the 5, 10 and 20-degree targets respectively.

## DISCUSSION

The present results show two different patterns of binocular interaction for ARMD observers: binocular inhibition (BI) and non binocular inhibition (NBI). These data are in agreement with two previous studies<sup>2,8</sup>: for static gratings of low spatial frequencies, some ARMD observers present behaviour of inhibition. In those two experiments, the percentage of BI was different: in the Faubert and Overbury study<sup>2</sup>, 45% of ARMD observers demonstrated BI pattern whereas only 35% in the Renaud et al. study<sup>8</sup>. The psychophysical method used was different but more importantly, the stimulus size was not the same. In the first study, the grating subtended 5 degrees of visual angle and it was of 10 degrees in the second. This difference of BI percentage in relation with the target size is confirmed in the present study where the BI group represented 50% of ARMD observers for the 5-degree target and 30% for the 10-degree stimulus size. For the 20-degree target, no ARMD subjects presented a true pattern of BI. So, the percentage of inhibitors decreases with increasing target size. The influence of the visual field stimulated could be in relation with the central scotoma. A possible explanation might be that the impact of the central scotoma decreases when the size of the stimulated visual field increases. The relative size of the scotoma would be more debilitating for a smaller target. In other words, bigger the target, less inhibition occurs.

In order to confirm the results of the Renaud et al. study<sup>8</sup>, we repeated the experiment for drifting targets (16Hz) for 5, 10 and 20-degree stimulus sizes. Even

if the NBI and BI groups didn't significantly differ for all the conditions (5, 10 and 20-degree target sizes), there is a subgroup of ARMD observers that showed true BI behaviour for the 5-degree target. Their binocular summation ratio for that condition was: 0.77, 0.77, 0.86 and 0.78. All of them also presented a BI pattern for the static 5-degree stimulus. Therefore, for small fast moving images, inhibition can occur. It reinforces the fact that target size is a major factor to consider in binocular inhibition.

Among the normal observers, the mean binocular summation ratios (BSR) decreased with increasing stimulus size (1.19 for 5 deg.; 1.16 for 10 deg. and 1.10 for 20 deg.) meaning that the difference between the best monocular sensitivity and the binocular sensitivity gets smaller for a bigger target (Fig. 1a). We performed an ANOVA for 5, 10 and 20-degree stimulus size contrast sensitivity values of the control group. It showed no significant group by eye interaction but significant main effects of size ( $F(2,24)=46.89$ ;  $p<0.0001$ ) and eye categories ( $F(2,24)=50.37$ ;  $p<0.0001$ ). Post hoc analysis was carried out on those data. The binocular and best eye sensitivities of the same size condition were significantly different for the 5 and 10-degree targets ( $p<0.01$ ) but not for the 20-degree stimulus. Those results illustrate that the gain of using both eyes is reduced for larger stimuli. We can then assume that binocular interaction is more important for small targets. It makes sense, therefore, that more binocular inhibition is present for ARMD observers with the 5-degree stimulus size and that the BSR of the BI

group increase for larger target sizes (0.80 for 5 deg.; 0.88 for 10 deg. and 0.99 for 20 deg.)

In conclusion, for some ARMD observers, there are conditions where one eye is better than two: particularly for static visual stimuli of low and medium spatial frequencies<sup>2,8</sup>. We also know that in dynamic conditions (for images moving at high temporal frequencies), BI is less likely to occur for ARMD observers<sup>8</sup>. Finally, in the present study, we have demonstrated that target size is crucial. The subgroup of BI for ARMD observers was influenced by the size of the stimulus used: the smaller the target the more inhibition occurred. Given these points, there are important factors to consider in clinical practice. First, for visual task involving small targets, there is more risk for binocular inhibition. For example, in picture drawing, ARMD inhibitors would be better served by closing their worse eye<sup>15</sup>. Secondly, dynamic stimuli reduce the likelihood of binocular inhibition. So in mobility, they may have no gain by closing one eye. Finally, there is an interaction between stimulated visual field and inhibition: the smaller the target, the more inhibition occurs. It is an important consideration to take into account when prescribing low vision aids. Often, the optical aids that offer big magnification generate small visual fields. For ARMD observers with BI behaviour, those types of aids should be preferably used monocularly.

**Table I: Demographic information of the observers**

AGE	DIAGNOSIS	LogMAR (OD)	LogMAR (OS)	LogMAR (OU)	CATEGORY (5 Degrees)	CATEGORY (10 degrees)	CATEGORY (20 degrees)
61	NORMAL	-0.1	-0.2	-0.2	NBI	NBI	NBI
63	NORMAL	0	0	-0.1	NBI	NBI	NBI
71	NORMAL	0	0	0	NBI	NBI	NBI
62	NORMAL	-0.2	-0.1	-0.2	NBI	NBI	NBI
64	NORMAL	-0.1	-0.1	-0.1	NBI	NBI	NBI
66	NORMAL	-0.1	0	-0.2	NBI	NBI	NBI
73	NORMAL	0	0	0	NBI	NBI	NBI
65	NORMAL	0	0	-0.1	NBI	NBI	NBI
65	NORMAL	-0.1	-0.1	-0.1	NBI	NBI	NBI
71	NORMAL	0	0	-0.1	NBI	NBI	NBI
70	NORMAL	0	0	-0.1	BI	NBI	NBI
68	NORMAL	-0.1	0	-0.1	NBI	NBI	NBI
74	NORMAL	0.1	0.1	0	NBI	NBI	NBI
74	ARMD	1.2	1.1	1.1	NBI	NBI	NBI
64	ARMD	0.48	0.6	0.6	BI	NBI	NBI
67	ARMD	0.48	0.8	0.48	BI	NBI	NBI
73	ARMD	0.18	0.3	0	NBI	NBI	NBI
71	ARMD	1	-0.1	-0.1	NBI	BI	NBI
77	ARMD	0.8	0.4	0.48	NBI	NBI	NBI
71	ARMD	0.4	0.1	0.1	NBI	NBI	NBI
70	ARMD	1	0.9	0.9	BI	NBI	BI
73	ARMD	0.48	1.4	0.48	BI	BI	NBI
65	ARMD	0	0.6	-0.1	NBI	NBI	NBI
75	ARMD	1	1	1	NBI	BI	NBI
69	ARMD	1.12	1.12	1.12	BI	NBI	NBI
73	ARMD	0.8	0.7	0.7	BI	BI	NBI
72	ARMD	0.82	0.52	0.6	BI	NBI	NBI
71	ARMD	0.7	0.9	0.6	BI	NBI	NBI
74	ARMD	0.82	1.03	0.92	NBI	NBI	NBI
75	ARMD	1.12	1.3	1.12	BI	BI	BI
71	ARMD	0	0.3	0	NBI	NBI	NBI
72	ARMD	0.18	0.4	0.1	NBI	NBI	NBI
73	ARMD	0.9	0.6	0.6	BI	BI	NBI

Table I: List of age, diagnosis, acuities in LogMAR, and category (BI or NBI) for the 5, 10 and 20 degree stimuli, for each subject.

**REFERENCES**

1. National Eye Institute. Vision Problems in the U.S. Prevent Blindness America. 18-21. 2002.
2. Faubert J, Overbury O. Binocular vision in older people with adventitious visual impairment: sometimes one eye is better than two. *JAGS* 2000;**48**:375-80.
3. Pardhan S, Elliott DB. Clinical measurements of binocular summation and inhibition in patients with cataract. *Clin. Vision Sci.* 1991;**6**:355-9.
4. Cruz AV, Bauer J, Held R. Inhibition of binocular contrast sensitivity in hypermetropic anisometropia. *Optometry and Vision Science* 1991;**68**:819-20.
5. Pardhan S, Gilchrist J. Binocular contrast summation and inhibition in amblyopia. *Documenta Ophthalmologica* 1992;**82**:239-48.
6. Pardhan S, Gilchrist J. The effect of monocular defocus on binocular contrast sensitivity. *Ophthal. Physiol. Opt.* 1990;**10**:33-6.
7. Pardhan S. A comparison of binocular summation in young and older patients. *Current Eye Research* 1996;**15**:315-9.

8. Renaud, J., Habak, C., Gresset, J., and Faubert, J. Inhibition of binocular contrast sensitivity in age-related macular degeneration. *Optom Vis Sci* 78(12s), 294 #109. 2001. (Abstract)
9. Faubert J. In: *Perimetry: Update 1990-1991*. Amsterdam/New York: Kugler, 1991: pp.381-90.
10. Weale R. *The ageing eye*. London: Lewis, 1963.
11. Faubert J, Diaconu V, Ptito M, Ptito A. Residual vision in the blind field of hemidecorticated humans predicted by a diffusion scatter model and selective spectral absorption of the human eye. *Vision Research* 1999;**39**:149-57.
12. Faubert J. Colour induced stereopsis in images with achromatic information and only one other colour. *Vision Research* 1995;**35**:3161-7.
13. Pentland A. Maximum likelihood estimation; The best PEST. *Perception & Psychophysics* 1980;**28**:377-9.
14. Hyvarinen L, Laurinen P, Rovamo J. Contrast sensitivity in evaluation of visual impairment due to macular degeneration and optic nerve lesions. *Acta Ophthalmologica* 1983;**61**:161-70.
15. Quillen DA. Effect of unilateral exudative age-related macular degeneration on binocular visual function. *Arch Ophthalmol* 2001;**119**:1725-6.

## *Chapitre V*

### **DISCUSSION GÉNÉRALE DES RÉSULTATS**

Les résultats ont été discutés en détail dans chaque article. Le but de cette discussion est donc de résumer les points importants et de faire les liens qui s'imposent entre les deux articles.

Ce travail trouve son origine dans l'article de Faubert et Overbury (2000). Leur étude avait démontré la présence d'inhibition binoculaire chez des sujets atteints de DMLA pour des réseaux sinusoïdaux statiques. La présence d'inhibition était principalement marquée pour des fréquences spatiales basses et intermédiaires.

Le premier article est en accord avec l'étude de Faubert et Overbury (2000), démontrant la présence d'inhibition binoculaire chez des sujets atteints de DMLA pour un réseau statique de faible fréquence spatiale. Par contre, lorsqu'une fréquence temporelle élevée est ajoutée au réseau, le phénomène d'inhibition binoculaire n'est plus présent. En effet, les seuils binoculaires et du meilleur œil étaient très comparables chez tous les sujets pour le réseau dynamique. Ces observations permettent d'estimer que, dans des situations de mobilité ou lorsque l'objet est en mouvement, les gens atteints de DMLA conservent un avantage à utiliser leur vision binoculaire. Cependant, pour un objet statique de fréquences spatiales faibles ou intermédiaires, il serait plus bénéfique pour certains d'entre



eux d'employer uniquement leur meilleur œil. La présence d'inhibition binoculaire en situation statique s'explique en partie par la différence de sensibilités monoculaires.

Le second article consistait à étudier l'effet de la dimension d'un réseau statique de faible fréquence spatiale. Pour la plus petite cible utilisée, la moitié des sujets avec DMLA ont montré une sensibilité binoculaire inférieure à celle du meilleur œil. Ce pourcentage est en accord avec l'étude de Faubert et Overbury (2000). Leurs stimuli étaient de la même dimension et il y avait 45 % d'inhibiteurs dans le groupe atteint de DMLA. Par contre, pour la plus grande cible employée dans l'étude actuelle, il n'y avait pas d'inhibition binoculaire. Le phénomène d'inhibition binoculaire serait donc grandement influencé par la taille du stimulus utilisé. Ceci serait également en lien avec la différence interoculaire de sensibilités. Pour la plus grande cible, il y avait effectivement peu de différence entre les seuils monoculaires de chaque sujet.

Considérant maintenant les résultats du groupe contrôle, le premier article montre un ratio de sommation binoculaire plus élevé pour le réseau statique que pour le réseau dynamique. En regardant les résultats individuellement, certains sujets présentent un ratio voisin de 1,4, indiquant une forme de sommation neurale. Un tel ratio de sommation binoculaire se retrouve uniquement dans la condition statique. Dans le deuxième article, le ratio de sommation binoculaire diminue avec l'augmentation de la grandeur de la cible. Ceci suggère que, pour une grande cible,

le gain supplémentaire que permet la stimulation binoculaire en comparaison de la stimulation monoculaire serait de moins grande amplitude, et il y aurait moins d'interaction binoculaire.

Il est intéressant de noter que le ratio de sommation binoculaire était plus élevé pour un réseau statique et pour une petite cible dans le groupe contrôle. En ce qui concerne le groupe de sujets atteints de DMLA, la présence d'inhibition binoculaire était plus importante pour un réseau statique et pour une petite cible. Il est normal de retrouver davantage d'inhibition binoculaire dans les situations qui semblent impliquer une plus grande interaction binoculaire.

Donc, lorsqu'une cible est petite et statique, le risque qu'un sujet avec DMLA montre un comportement d'inhibition binoculaire augmente.

## *Chapitre VI*

### **CONCLUSION**

Il a déjà été démontré que la dégénérescence maculaire liée à l'âge peut entraîner de l'inhibition binoculaire (Faubert et Overbury, 2000). Ceci s'explique en partie par l'asymétrie visuelle qu'occasionne cette maladie. La question de départ était de savoir si des facteurs, autres que la différence interoculaire de sensibilité, étaient reliés au phénomène d'inhibition binoculaire. Les résultats des deux expériences répondent à cette interrogation. En effet, les deux études démontrent que certains paramètres reliés au stimulus peuvent compromettre davantage la vision binoculaire chez les gens atteints de DMLA.

La première étude indique qu'une cible statique favorise davantage l'inhibition binoculaire. La seconde démontre qu'une cible de petite dimension met davantage en évidence le phénomène d'inhibition binoculaire. Ces deux observations sont d'une importance capitale pour le clinicien œuvrant en basse vision. Elles indiquent qu'en condition de mobilité, le sujet avec DMLA aurait intérêt à utiliser ses deux yeux. Par contre, pour des tâches de discrimination impliquant des objets statiques de petite taille, certaines personnes auraient avantage à fermer l'œil ayant la moins bonne sensibilité. Il devient donc important de tenir compte de ces

observations lors du choix des aides optiques. Par exemple, un télescope monoculaire serait à privilégier chez un inhibiteur.

Ces deux études aident à comprendre ce qui entoure le phénomène d'inhibition. La mesure des seuils de contraste dans des conditions expérimentales de recherche permet de bien identifier les inhibiteurs. Bien que l'acuité visuelle reflète bien la différence interoculaire caractéristique de la DMLA, il n'y a pas de corrélation avec l'inhibition binoculaire (Faubert et Overbury, 2000). Ceci s'explique par le fait que la mesure d'acuité correspond à des optotypes de fréquences spatiales plus élevées et de fort contraste. Il serait utile qu'un test clinique d'administration rapide et facile permette de dépister les sujets potentiellement inhibiteurs. Il y a donc place à l'innovation dans ce domaine.

Ces deux études démontrent que la vision binoculaire des sujets atteints de DMLA peut être compromise dans des situations expérimentales de bas niveau. Il serait intéressant d'analyser leurs comportements dans des situations simulées de haut niveau et qui ressemblent davantage à leurs activités quotidiennes. Cette perspective de recherche est une voie intéressante. Un appareil de réalité virtuelle tel le CAVE (chambre d'immersion pour simuler la réalité) permettrait sûrement d'élargir les connaissances dans ce domaine et de mieux comprendre l'impact visuel réel de la DMLA.

En terminant, se rappeler que pour une personne avec une dégénérescence maculaire liée à l'âge, parfois un œil vaut mieux que deux !

## BIBLIOGRAPHIE

American Academy of Ophthalmology. Preferred practice pattern: age-related macular degeneration. AAO. 1-20. 1994.

Armbrecht AM, Findlay C, Kaushal S, Aspinall P, Hill AR, Dhillon B. Is cataract surgery justified in patients with age-related macular degeneration? A visual function and quality of life assessment. *Br J Ophthalmol* 2000;**84**:1343-8.

Arundale K. An investigation into the variation of human contrast sensitivity with age and ocular pathology. *Br J Ophthalmol* 1978;**62**:213-5.

Bearse MA, Freeman RD. Binocular summation in orientation discrimination depends on stimulus contrast and duration. *Vision Research* 1994;**34**:19-29.

Beazley LD, Illingworth DJ, Greer DV. Contrast sensitivity in children and adults. *Br J Ophthalmol* 1980;**64**:863-6.

Blake R, Fox R. The psychophysical inquiry into binocular summation. *Perception & Psychophysics* 1973;**14**:161-85.

Blake R, Sloane M, Fox R. Further developments in binocular summation.

*Perception & Psychophysics* 1981;**30**:266-76.

Brilliant RL, ed. *Essentials of Low Vision Practice*. Woburn,MA: Butterworth-Heinemann, 1999, 409 p.

Campbell FW, Green DG. Monocular versus binocular visual acuity. *Nature* 1965;**208**:615-7.

Cruz AV, Bauer J, Held R. Inhibition of binocular contrast sensitivity in hypermetropic anisometropia. *Optometry and Vision Science* 1991;**68**:819-20.

Derefeldt G, Lennerstrand G, Lundh BL. Age variations in normal human contrast sensitivity. *Acta Ophthalmologica* 1979;**57**:679-90.

Elleberg D, Lewis TL, Liu CH, Maurer D. Development of spatial and temporal vision during childhood. *Vision Research* 1999;**39**:2325-33.

Elliott DB, Whitaker D, MacVeigh D. Neural contribution to spatiotemporal contrast sensitivity decline in healthy ageing eyes. *Vision Research* 1990;**30**:541-7.

Eriksen CW. Independence of successive inputs and uncorrelated error in visual form perception. *Journal of Experimental Psychology* 1966;**72**:26-35.

Faubert J, Overbury O. Binocular vision in older people with adventitious visual impairment:sometimes one eye is better than two. *JAGS* 2000;**48**:375-80.

Faye EE. *Clinical Low Vision*. Boston: Little, Brown and Company, 1976, 529 p.

Fine AM, Elman MJ, Ebert JE, Prestia PA, Starr JS, Fine SL. Earliest symptoms caused by neovascular membranes in the macula. *Arch Ophthalmol* 1986;**104**:513-4.

Frennesson C, Nilsson UL. Contrast sensitivity peripheral to an absolute central scotoma in age-related macular degeneration and the influence of a yellow or orange filter. *Documenta Ophthalmologica* 1993;**84**:135-44.

Gilchrist J, Pardhan S. Binocular contrast detection with unequal monocular illuminance. *Ophthal.Physiol.Opt.* 1987;**7**:373-7.

Ginsburg AP, Rosenthal B, Cohen J. *The evaluation of the reading capability of low vision patients using the vision contrast test system (VCTS)*. In: Woo GC, ed. *Low Vision*. New York: Springer-Verlag, 1987, pp.17-28.

Grigsby SS, Tsou BH. Grating and flicker sensitivity in the near and far periphery: naso-temporal asymmetries and binocular summation. *Vision Research* 1994;**34**:2841-8.



Harris MJ, Robins D, Dieter JM, Fine SL, Guyton DL. Eccentric visual acuity in patients with macular disease. *Ophthalmology* 1985;**92**:1550-3.

Harwerth RS, Smith EL. Binocular summation in man and monkey. *Am J Optom Physiol Opt* 1985;**62**:439-6.

Hazel CA, Petre KL, Armstrong RA, Benson MT, Frost NA. Visual function and subjective quality of life compared in subjects with acquired macular disease. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2000;**41**:1309-15.

Hennelly ML, Barbur JL, Edgar DF, Woodward EG. The effect of age on the light scattering characteristics of the eye. *Ophthal.Physiol.Opt.* 1998;**18**:197-203.

Holopigian, K., Seiple, W., Greenstein, V., Kim, D., and Carr, R. E. Relative effects of aging and aged-related macular degeneration on peripheral visual function. *Optometry and Vision Science* 1997; **74**(No.3):152-159.

Jampol LM, Tielsch J. Race, macular degeneration, and the macular photocoagulation study. *Arch Ophthalmol* 1992;**110**:1699-700.

Kelly DH. Adaptation effects on spatio-temporal sine-wave thresholds. *Vision Research* 1972;**12**:89-101.

Klein R, Klein BE, Jensen SC, Meuer SM. The five-year incidence and progression of age-related maculopathy: the Beaver Dam Eye Study.

*Ophthalmology* 1997;**104**:7-21.

Klein R, Klein BE, Linton KLP. Prevalence of age-related maculopathy: the

Beaver Dam Eye Study. *Ophthalmology* 1992;**99**:933-43.

Kleiner RC, Enger C, Alexander MF, Fine SL. Contrast sensitivity in age-related macular degeneration. *Arch Ophthalmol* 1988;**106**:55-7.

Legge G. Binocular contrast summation. Detection and discrimination. *Vision*

*Research* 1984;**24**:373-83.

Lennerstrand G, Ahlstrom C-O. Contrast sensitivity in macular degeneration and the relation to subjective visual impairment. *Acta Ophthalmologica* 1989;**67**:225-33.

Loshin DS, White J. Contrast sensitivity: the visual rehabilitation of the patient with macular degeneration. *Arch Ophthalmol* 1984;**102**:1303-6.

Lundh BL, Lennerstrand G, Derefeldt G. Central and peripheral normal contrast sensitivity for static and dynamic sinusoidal gratings. *Acta Ophthalmologica* 1983;**61**:171-82.

Marron JA, Bailey IL. Visual factors and orientation mobility performance. *Am J Optom Physiol Opt* 1982;**59**:413-26.

McClure ME, Hart PM, Jackson AJ, Stevenson MR. Macular degeneration: do conventional measurements of impaired visual function equate with visual disability? *Br J Ophthalmol* 2000;**84**:244-50.

Morrison JD, McGrath C. Assessment of the optical contributions to the age-related deterioration in vision. *Q J Exp Physiol* 1985;**70**:249-69.

Nameda N, Kawara T, Ohzu H. Human visual spatio-temporal frequency performance as a function of age. *Optom Vis Sci* 1989;**66**:760-5.

National Eye Institute. Vision research: a national plan 1999-2003. 2001.

Ref Type: Report

National Eye Institute. Vision Problems in the U.S. Prevent Blindness America. 18-21. 2002.

Owsley C, Sekuler R, Siemsen D. Contrast sensitivity throughout adulthood. *Vision Research* 1983;**23** :689-99.

Pardhan S. Binocular performance in patients with unilateral cataract using the Regan test: binocular summation and inhibition with low-contrast charts. *Eye* 1993;**7**:59-62.

Pardhan S. A comparison of binocular summation in young and older patients. *Current Eye Research* 1996;**15**:315-9.

Pardhan S. A comparison of binocular summation in the peripheral visual field in young and older patients. *Current Eye Research* 1997;**16**:252-5.

Pardhan S, Elliott DB. Clinical measurements of binocular summation and inhibition in patients with cataract. *Clin. Vision Sci.* 1991;**6**:355-9.

Pardhan S, Gilchrist J. Binocular contrast sensitivity with monocular glare disability. *Ophthal. Physiol. Opt.* 1990a;**10**:37-9.

Pardhan S, Gilchrist J. The effect of monocular defocus on binocular contrast sensitivity. *Ophthal. Physiol. Opt.* 1990b;**10**:33-6.

Pardhan S, Gilchrist J. Binocular contrast summation and inhibition in amblyopia. *Documenta Ophthalmologica* 1992;**82**:239-48.

Pardhan S, Gilchrist J, Douthwaite W. The effect of spatial frequency on binocular contrast inhibition. *Ophthalmol. Physiol. Opt.* 1989;**9**:46-9.

Pardhan S, Gilchrist J, Douthwaite W. Binocular inhibition: psychophysical and electrophysiological evidence. *Optometry and Vision Science* 1990;**67**:688-91.

Pardhan S, Whitaker A. Binocular summation in the fovea and peripheral field of anisometropic amblyopes. *Current Eye Research* 2000;**20**:35-44.

Pirenne MH. Binocular and unocular thresholds in vision. *Nature* 1943;**152**:698-9.

Princeton Nadler M, Miller D, Nadler DJ. *Glare and contrast sensitivity for clinicians*. New York: Springer-Verlag, 1990.

Proceedings of the Retina Research Foundation Symposia. *Contrast sensitivity*. Cambridge: MIT Press, 1993.

Risse J-F. *Fonctions de sensibilité au contraste de luminance*. In: Société Française d'Ophtalmologie, ed. *Exploration de la fonction visuelle*. Paris: Masson, 1999, pp.81-98.

Ross JE, Clarke DD, Bron AJ. Effect of age on contrast sensitivity function: unocular and binocular findings. *Br J Ophthalmol* 1985;**69**:51-6.

Rubin GS. *Predicting reading performance in low vision observers with age related maculopathy (ARM)*. In: Woo GC, ed. *Low Vision*. New York: Springer-Verlag, 1987, pp.323-33.

Sarks SH, Sarks JP. *Age-related macular degeneration*. In: *Retina*. 2nd ed. St.Louis: Mosby-Year Book, 1994, pp.1071-102.

Schatz H, McDonald HR. Atrophic macular degeneration:rate of spread of geographic atrophy and visual loss. *Ophthalmology* 1989;**96**:1541-51.

Scheffrin BE, Tregear SJ, Harvey LO, Werner JS. Senescent changes in scotopic contrast sensitivity. *Vision Research* 1999;**39**:3728-36.

Sjostrand J. Contrast sensitivity in macular disease using a small-field and a large-field TV-system. *Acta Ophthalmologica* 1979;**57**:832-46.

Sloane M, Owsley C, Jackson CA. Aging and luminance-adaptation effects on spatial contrast sensitivity. *J Opt Soc Am A* 1988;**5**:2181-90.

Smith W, Assink J, Klein R, Mitchell P, Klein BE, Hofman A et al. Risk factors for age-related macular degeneration: Pooled findings from three continents.

*Ophthalmology* 2001;**108** :697-704.

Stone EM, Sheffield VC, Hageman GS. Molecular genetics of age-related macular degeneration. *Human Molecular Genetics* 2001;**10**:2285-92.

Strahlman ER, Fine SL, Hillis A. The second eye of patients with senile macular degeneration. *Arch Ophthalmol* 1983;**101**:1191-3.

Sturr JF, Church KL, Taub HA. Temporal summation functions for detection of sine-wave gratings in young and older adults. *Vision Research* 1988;**28**:1247-53.

Sunness JS, Massof RW, Johnson MA, Finkelstein D, Fine SL. Peripheral retinal function in age-related macular degeneration. *Arch Ophthalmol* 1985;**103**:811-6.

Taylor RH, Misson GP, Moseley MJ. Visual acuity and contrast sensitivity in cataract: summation and inhibition of visual performance. *Eye* 1991;**5**:704-7.

The Eye Disease Case-Control Study Group. Risk factors for neovascular age-related macular degeneration. *Arch Ophthalmol* 1992;**110**:1701-8.

Tielsch J, Sommer A, Witt K, Katz J, Royall RM, the Baltimore Eye Survey Research Group. Blindness and visual impairment in an American urban population: the Baltimore Eye Survey. *Arch Ophthalmol* 1990;**108**:286-90.

Tulunay-Keesey U, Ver Hoeve JN, Terkla-McGrane C. Threshold and suprathreshold spatiotemporal response throughout adulthood. *J Opt Soc Am A* 1988;**5**:2191-200.

van der Wildt GJ, Kooijman AC, Dumbar G, Cornelissen FW. *Contrast sensitivity as part of visual assessment of visually impaired people*. In: Kooijman AC, ed. *Low vision*. Amsterdam: IOS Press, 1994, pp.93-100.

Weale R. *The aging eye*. London: Lewis, 1963, 200 p.

Wolkstein M, Atkin A, Bodis-Wollner I. Contrast sensitivity in retinal disease. *Ophthalmology* 1980;**87**:1140-9.

Wood JM, Collins MJ, Carkeet A. Regional variations in binocular summation across the visual field. *Ophthal.Physiol.Opt.* 1992;**12**:46-51.

Zhang L, Sturr JF. Aging, background luminance and threshold-duration functions for detection of low spatial frequency sinusoidal gratings. *Optom Vis Sci* 1995;**72**:198-204.