

Université de Montréal

La stéréoperception chez les enfants microstrabiques

Par

Mariline Pageau

Département de Sciences Biomédicales

Faculté de Médecine

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures
En vue de l'obtention du grade de
Maître ès Sciences
En Sciences Biomédicales

Avril, 2012

© Mariline Pageau, 2012

Université de Montréal

Université de Montréal
Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé :
La stéréoperception chez les enfants microstrabiques

Présenté par :

Mariline Pageau

A été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Dre Michelle Mckerral
Présidente-rapporteuse

Dr Dave Saint-Amour
Directeur de recherche

Dre Danielle de Guise
Codirectrice

Dre Julie-Andrée Marinier
Membre du jury

RÉSUMÉ

La stéréopsie est souvent présente, bien qu'altérée, chez les sujets microstrabiques. Cependant, leur seuil de stéréopsie serait différent selon que le test utilisé contient (stéréopsie locale) ou non (stéréopsie globale) des contours définis. Peu d'études ont évalué empiriquement la différence de performance selon le type de tests utilisé.

Le premier article est une étude rétrospective de 26 enfants microstrabiques. La majorité des enfants (73 %) possédaient un seuil de stéréopsie locale normal ou légèrement inférieur à la normale. Une absence de stéréopsie locale a été observée chez les 7 autres enfants (27 %). Aucune stéréopsie globale n'était mesurable chez 25 des 26 enfants étudiés. La stéréopsie locale est donc présente chez les enfants microstrabiques, mais ceux-ci montrent généralement une absence de stéréoperception globale.

La seconde étude avait pour objectif d'étudier le rôle du scotome de suppression dans la perception stéréoscopique de sujets microstrabiques. Trois tâches psychophysiques de stéréopsie locale et globale ont été effectuées chez 9 enfants microstrabiques et 9 enfants contrôles appariés, en utilisant deux grandeurs de cible (4° et 12°). Aucune amélioration des performances n'a été notée chez les sujets microstrabiques pour la tâche de stéréopsie locale, mais les seuils de stéréopsie globale étaient inférieurs avec la cible de 12° . La zone de suppression semble jouer un rôle dans le déficit de stéréopsie globale des sujets microstrabiques.

Le scotome de suppression pourrait être partiellement responsable du déficit stéréoscopique puisque même avec l'augmentation de la taille angulaire des stimuli stéréoscopiques, la stéréoperception des microstrabiques demeurent inférieure à celle des sujets normaux.

Mots-clés : Microstrabisme, microtropie, stéréopsie, stéréopsie locale, stéréopsie globale, strabisme, amblyopie, stéréogramme à points aléatoires

ABSTRACT

Stereopsis is often present, although decreased, in subjects with microstrabismus. However, their threshold would differ depending on whether the test contains (local stereopsis) or not (global stereopsis) defined contours. Few studies have evaluated empirically the performance difference depending on the type of tests used.

The first article is a retrospective study of 26 microstrabismic children. Majority of the children (73 %) had a normal local stereopsis threshold or slightly lower than normal. An absence of local stereopsis was observed in the 7 other children (27 %). No global stereopsis was measured on 25 of the 26 children. Local stereopsis is present, although reduced, among microstrabismic children, but they generally show a lack of global stereoperception.

The objective of the second study was to examine the potential role of the suppression in the stereoscopic perception. Three psychophysical tasks of local and global stereopsis were performed on 9 microstrabismic children and 9 matched controls children using two size of stimulus (4° and 12°). No performance improvement has been noted in microstrabismic subjects for the local stereopsis task, but their global stereopsis thresholds were lower with the target of 12° . The suppression scotoma seems to play a role in global stereopsis deficits noted in subjects with microstrabismus.

The area of suppression might be partly responsible for the stereoscopic deficits present in microstrabismic subjects since even with the increase of the angular size of the stereoscopic stimuli, the stereoperception of microstrabismic subjects remain lower than in normal subjects.

Keywords: Microstrabismus, microtropia, stereopsis, local stereopsis, global stereopsis strabismus, amblyopia, random dot stereogram

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	<i>i</i>
ABSTRACT.....	<i>ii</i>
TABLE DES MATIÈRES.....	<i>iii</i>
REMERCIEMENTS.....	<i>vi</i>
Chapitre 1. Le microstrabisme.....	<i>1</i>
1.1 Contexte historique	<i>1</i>
1.2 Caractéristiques du microstrabisme	<i>1</i>
1.2.1 Prévalence	<i>1</i>
1.2.2 La déviation.....	<i>2</i>
1.2.3 L'amblyopie	<i>2</i>
1.2.4 La correspondance rétinienne.....	<i>3</i>
1.2.5 La vision stéréoscopique.....	<i>4</i>
1.2.6 Suppression centrale	<i>5</i>
1.2.6.1 Test d'Irvine	<i>6</i>
1.2.6.2 Points de Worth	<i>6</i>
1.2.6.3 Lentilles de Bagolini	<i>7</i>
1.2.7 Amplitudes fusionnelles	<i>7</i>
1.2.8 Fixation	<i>7</i>
1.3 Types	<i>8</i>
1.3.1 Avec ou sans identité	<i>8</i>
1.3.2 Primaire ou secondaire	<i>8</i>
1.4 Causes.....	<i>9</i>
1.4.1 Origine oculomotrice	<i>9</i>
1.4.2 Origine sensorielle	<i>9</i>
Chapitre 2. La stéréopsie.....	<i>10</i>

2.1 Stéréopsie locale et globale	10
2.1.1 Stéréopsie locale.....	10
2.1.1.1 Définition	10
2.1.1.2 Évaluation clinique	10
2.1.2 Stéréopsie globale	11
2.1.2.1 Définition	11
2.1.2.2 Évaluation clinique	11
2.2 Codage neuronal de la stéréopsie	12
2.3 Stéréoacuité	14
<i>Chapitre 3. Objectif et hypothèses.....</i>	16
3.1 Article 1.....	16
3.2 Article 2.....	16
<i>Chapitre 4.....</i>	17
4.1 Article 1.....	17
4.2 Article 2.....	30
<i>Chapitre 5. Discussion</i>	50
5.1 Comparaison avec les études antérieures	51
5.2 Quelles sont les causes possibles de l'amélioration des performances avec les stimuli de grande taille?	52
5.2.1 Scotome central	52
5.2.1.2 Correspondance rétinienne normale en périphérie	53
5.2.1.3 Aire de Panum.....	53
5.2.2 Pourquoi les seuils des sujets microstrabiques ne sont-ils pas normaux malgré l'utilisation de grands stimuli?.....	53
5.2.2.1 Codage de la voie ventrale inadéquat	54
5.2.2.2 Correspondance rétinienne anormale	54
5.2.2.3 Strabisme	55
5.3 Perspectives	55

Conclusion 56

Bibliographie 57

REMERCIEMENTS

Je voudrais adresser mes remerciements aux personnes qui m'ont aidée dans la réalisation de ce mémoire.

Le Dr Dave Saint-Amour, mon directeur de recherche pour son aide et pour tout le temps qu'il m'a consacré.

Dre Danielle de Guise, ma codirectrice qui m'a guidée dans mon travail et m'a aidée à trouver des solutions pour avancer et également pour son support durant les hauts et les bas de cette maîtrise.

Je désire aussi remercier le fonds de recherche en ophtalmologie (FROUM) pour leur soutien financier.

Et finalement, un merci tout spécial à Guillaume qui m'a encouragée pendant toutes ces années.

Chapitre 1. Le microstrabisme

1.1 Contexte historique

Le microstrabisme est une déviation oculaire de faible amplitude associée à une vision binoculaire généralement de qualité inférieure à celle retrouvée chez un sujet présentant un bon alignement oculaire. Les premières descriptions remontent au début des années cinquante. Jampolsky s'est particulièrement intéressé aux sujets présentant un strabisme convergent de petit angle avec zone de suppression centrale et fusion périphérique (Jampolsky, 1956b). Plusieurs observateurs ont tenté de décrire cette anomalie. Gittoes-Davies (1953), Levinge (1953), Cashell (1954), et Boardman (1955) ont suggéré qu'il ne s'agissait pas vraiment de strabisme, mais plutôt de disparité de fixation, théorie qui a été rapidement réfutée (Gittoes-Davies, 1951; Parks, 1969). Pour Lyle et Foley (1955), il s'agissait de vision binoculaire subnormale (Lyle & Foley, 1955). En 1961, Parks introduit pour la première fois le terme *monofixational phoria* puis le *monofixation syndrome* (Parks, 1969). Près de cinq ans plus tard, lors du premier symposium international sur le strabisme, Lang critique cette appellation qu'il jugeait trop restrictive (Lang, 1969, 1981). Il recommande alors le terme microtropie ou microstrabisme. En 1967, Helveston et von Noorden décrivent un désordre de la vision binoculaire identique au microstrabisme, mais sans déviation oculaire évidente à l'examen visuel (Rowe, 2004a). Étant donné les similitudes entre leurs observations et la microtropie décrite par Lang, ils conservent la même appellation. Parks était en désaccord, et une controverse de plusieurs décennies a divisé les deux hommes à propos de l'appellation exacte du phénomène. De nos jours, la majorité des auteurs utilisent les termes microstrabisme ou microtropie, même si l'appellation syndrome de monofixation reste largement répandue.

1.2 Caractéristiques du microstrabisme

1.2.1 Prévalence

La prévalence du microstrabisme dans la population générale serait d'environ 1 % (Lang, 1981). Bon nombre de sujets atteints sont inconscients de leur problème, puisque c'est un

trouble de la vision binoculaire sans symptômes importants qui passe généralement inaperçu sans un examen visuel approfondi.

1.2.2 La déviation

Le microstrabisme est par définition, un défaut d'alignement oculaire. Cette anomalie est habituellement diagnostiquée à l'aide de la procédure du test écran. Ce test consiste essentiellement à couvrir un œil puis l'autre à l'aide d'un écran opaque ou translucide. Chaque œil est couvert environ deux secondes alors que le sujet a pour consigne de fixer un petit objet placé à la distance testée. Lorsqu'un œil est strabique, un mouvement de refixation de cet œil est observé au moment de l'occlusion de l'œil sain. Le sens du mouvement permet de diagnostiquer le type de strabisme. Cliniquement, l'évaluation se fait en vision éloignée (6 m) et en vision rapprochée (40 cm). Chez plusieurs sujets avec microstrabisme, la déviation oculaire est partiellement contrôlée, une portion latente s'ajoutant à la déviation manifeste (Clarke & Noel, 1979; Lang, 1974; Parks, 1969). La procédure du test écran permet également d'en faire le diagnostic. Si des prismes sont interposés devant un œil ou les deux yeux pendant la procédure, la déviation peut être quantifiée.

Un microstrabisme est un strabisme dont la portion manifeste est inférieure à 10 dioptries prismatiques (Δ) (5° d'angle visuel) (Harwerth & Fredenburg, 2003; Houston, Cleary, Dutton, & McFadzean, 1998; Lang, 1983; Parks, 1969; von Noorden & Burian, 1996). La majorité (90%) des microtropies sont des microésotropies (convergentes), mais des exotropies (divergentes) sont également possibles (10%) (Choi & Isenberg, 2001; Lang, 1974; Parks, 1969). Il est également possible de diagnostiquer des microtropies verticales bien que ces atteintes soient extrêmement rares (Arnoldi, 2001).

1.2.3 L'amblyopie

Une amblyopie est une perte d'acuité visuelle, plus souvent unilatérale, qui ne peut être expliquée par une pathologie oculaire (Rowe, 2004a). Elle est généralement la conséquence d'une anisométrie, d'un strabisme ou d'une combinaison des deux. L'anisométrie est une

différence de réfraction entre les deux yeux supérieure à 1.00D d'hypermétropie, 1.50D d'astigmatisme et de 4.00D de myopie (Cleary, Houston, McFadzean, & Dutton, 1998; Cotter et al., 2006). L'anisométrie est diagnostiquée chez 30 à 75 % des sujets microstrabiques. (Cleary, et al., 1998; Helveston & Von Noorden, 1967; Houston, et al., 1998; Lang, 1974; Tomac, Sener, & Sanac, 2002) L'amblyopie apparaît dans l'œil strabique ou le plus amétrope, pendant la phase critique du développement visuel, avant l'âge de 7-9 ans (Duckman, 2006; Stidwill & Fletcher, 2010). Il n'y a pas de consensus quant au niveau d'acuité visuelle constituant cliniquement une amblyopie. Pour certains, la mesure d'une acuité visuelle de 6/9 (20/30) est suffisante pour en faire le diagnostic (Scheiman & Wick, 2008), alors que d'autres considèrent que la différence d'acuité entre les deux yeux doit être supérieure ou égale à deux lignes (Wright & Spiegel, 2006). Plusieurs considèrent l'amblyopie comme toute différence mesurable d'acuité visuelle entre les deux yeux, pourvu qu'un prodrome cohérent y soit associé (von Noorden & Burian, 1996). À noter que la très grande majorité des sujets atteints de microstrabisme présente une amblyopie (Helveston & Von Noorden, 1967; Parks, 1969). Habituellement, la perte d'acuité visuelle est légère et se situe entre 6/7,5 (20/25) et 6/15 (20/50) (Clarke & Noel, 1979; Houston, et al., 1998; von Noorden & Burian, 1996).

1.2.4 La correspondance rétinienne

Lorsqu'un sujet présentant un bon alignement oculaire fixe un objet, une image centrée sur les fovéas se forme simultanément sur chacune des rétines. Chaque élément rétinien d'un œil est jumelé à un élément rétinien de l'autre œil de façon à permettre la superposition corticale, ou fusion, des images reçues. Ce jumelage est appelé correspondance rétinienne. Les deux fovéas forment, chez le sujet avec vision binoculaire normale, une paire de points rétiens correspondants. Chez un sujet strabique, les images de l'objet fixé ne se forment pas sur des points correspondants (points disparates) et entraînent par conséquent de la diplopie. La correspondance rétinienne anormale (CRA) est une adaptation sensorielle qui se développe en conséquence d'un strabisme apparu durant la phase critique du développement visuel. La fovéa d'un œil est alors jumelée avec un point autre que la fovéa de l'autre œil (Evans &

Doshi, 2001; Lang, 1981; Rowe, 2004b). Cette adaptation permet au sujet strabique de fusionner les images provenant de chaque œil et ainsi éliminer la diplopie causée par la déviation (Herzau, 1996; Hugonnier & Clayette-Hugonnier, 1981; Sirereanu & Fronius, 1989). Cette fusion est toutefois moins précise et moins stable que celle procurée par une correspondance rétinienne normale (Hugonnier & Clayette-Hugonnier, 1981).

Chez les microstrabiques, on note une correspondance rétinienne anormale harmonieuse (CRAH), c'est-à-dire que l'angle d'anomalie (entre la fovéa et son nouveau point correspondant), est égal à l'angle de la déviation du strabisme (Helveston & Von Noorden, 1967; Lang, 1974). L'anormalité motrice est donc parfaitement compensée par le système sensoriel.

En 1858, Panum a établi que la correspondance rétinienne ne s'établissait pas selon un principe point par point, mais bien d'aire à aire (Ogle, 1950). Il a été démontré, plus de 90 ans plus tard, que les aires mesuraient entre 5 et 20 minutes d'arc en vision centrale et qu'elles s'élargissaient en périphérie. (Cameron, 1982; Ogle, 1950; Stidwill & Fletcher, 2010; von Noorden & Burian, 1996) Cependant, ces valeurs ont été obtenues avec des stéréogrammes linéaires, elles seraient plus de deux fois supérieures lorsque des stéréogrammes à points aléatoires sont utilisés (Poggio & Poggio, 1984).

1.2.5 La vision stéréoscopique

La capacité de percevoir une différence de profondeur entre deux objets repose sur une série d'indices. Certains, tels la perspective linéaire, l'occlusion, la taille relative, les variations d'ombre et de lumière sont présents en vision monoculaire (Wong, Woods, & Peli, 2002) tandis que d'autres indices sont essentiellement binoculaires (Howard & Rogers, 1995; Long & Siu, 2005). Parmi ces derniers, figure la parallaxe binoculaire causée par la séparation horizontale de l'œil droit et de l'œil gauche. Elle est à l'origine de la stéréopsie, soit la perception binoculaire de l'espace tridimensionnel et la sensation de relief. Bien qu'il soit admis que la stéréopsie résulte habituellement de la stimulation simultanée de points rétiniens disparates situés à l'intérieur d'aires de Panum correspondantes, elle peut également se

produire à l'extérieur de l'aire de Panum, c'est-à-dire malgré la présence de diplopie. (Blakemore, 1970; Fender & Julesz, 1967)

L'acuité stéréoscopique est une évaluation du seuil de discrimination de la disparité rétinienne, où un sujet est tout juste en mesure de percevoir une différence de profondeur entre deux objets (Dengler & Kommerell, 1993). Elle est mesurée en terme angulaire, généralement en secondes d'arc. Afin d'être en mesure de bien percevoir la stéréopsie, les yeux doivent être parfaitement alignés. Le jugement stéréoscopique peut alors être extraordinairement précis, pouvant atteindre 2 secondes d'arc (Adler & Moses, 1975).

Malgré la déviation oculaire, la correspondance rétinienne anormale harmonieuse permet de conserver une certaine stéréopsie chez les sujets microstrabiques. Les types de stéréopsie et les caractéristiques reliées au microstrabique seront approfondis dans le chapitre 2.

1.2.6 Suppression centrale

La présence d'un scotome central dans l'œil non fixateur est une autre caractéristique commune des sujets microstrabiques. La zone de suppression gênerait la vision binoculaire dans cette portion du champ visuel. Parks décrit ce scotome comme étant absolu et facultatif (Parks, 1969). Le terme absolu signifie que cette zone rétinienne ne perçoit aucun stimulus visuel, qu'aucune perception lumineuse n'est possible alors que le terme facultatif signifie que la suppression serait présente seulement en situation binoculaire; lorsque l'œil sain est couvert, le champ visuel monoculaire de l'œil strabique serait complet (Hahn, Cadera, & Orton, 1991; Mehdorn, 1989). La taille de la zone de suppression est variable selon les individus et les méthodes d'évaluation (Hahn, et al., 1991; Mehdorn, 1989). Cliniquement, trois procédés d'examen sont fréquemment utilisés pour établir la présence ou l'absence d'un scotome maculaire chez un patient microstrabique : le test d'Irvine (4^{Δ} BE), les points de Worth et les lentilles de Bagolini.

1.2.6.1 Test d'Irvine

L'utilisation d'un prisme isolé pour évaluer la qualité de la vision binoculaire est connue depuis le début du siècle dernier. Alors que Worth favorisait un prisme de 12 dioptries (Δ) base externe, Irvine a plutôt suggéré, au milieu des années 1940, l'utilisation d'un prisme de 4^Δ afin de discriminer les sujets présentant une suppression d'un œil en situation binoculaire (Hardman Lea, Snead, Loades, & Rubinstein, 1991). Fréquemment appelé le test du 4^Δ base externe à cause du grand nombre de microésotropies, ce test consiste à placer le prisme base externe tour à tour devant l'œil droit puis devant l'œil gauche et à observer les mouvements oculaires réflexes qui en résultent. La réponse normale au test est un mouvement de version vers l'apex du prisme suivie d'une vergence de l'œil sans le prisme (Hardman Lea, et al., 1991). Si le prisme est placé devant l'œil présentant un scotome central, aucun mouvement ne sera observé, car l'image sera déplacée sur une zone rétinienne supprimée et non perçue par le sujet (Frantz, Cotter, & Wick, 1992; Tomac, 2005).

1.2.6.2 Points de Worth

L'utilisation des points de Worth est une autre méthode pour détecter la présence d'une suppression centrale. Le test peut être effectué à différentes distances. Le test consiste à présenter quatre petites sources lumineuses, disposées en losange, distantes d'environ 2 cm (test en vision de près). Deux des sources lumineuses sont couvertes d'un filtre vert, une d'un filtre rouge et aucun filtre coloré n'est placé devant la quatrième (lumière blanche). Le sujet, portant des lunettes rouge-verte, doit indiquer le nombre de points colorés perçu. Une suppression correspond à la perception de 2 points rouges ou de 3 points verts, une fusion est présente lorsque les 4 points lumineux sont repérés alors que la perception de 5 points indique une diplopie (Tomac, et al., 2002). Plus la lampe de Worth est près du sujet, plus le diamètre de la cible projetée est grand. Le diamètre de l'ensemble des points à 40 cm est généralement supérieur à 10^Δ et devient inférieur à 4^Δ à 6 m pour la majorité des lampes de Worth utilisées en clinique.

Une réponse typique d'un sujet microstrabique est une fusion sensorielle en vision de près, puisque l'angle sous-tendu par les points est plus grand que le scotome central, alors qu'une suppression de l'œil strabique est présente en vision plus éloignée selon la taille de la zone de suppression (Tomic, et al., 2002).

1.2.6.3 Lentilles de Bagolini

Généralement utilisée afin d'évaluer la correspondance rétinienne, il est également possible de déterminer la présence d'une zone de suppression maculaire en utilisant les lentilles striées de Bagolini. Des verres neutres présentant de fines striations à 45° dans un œil et à 135° dans l'autre transforment la perception d'une source lumineuse punctiforme en une raie lumineuse. Le sujet fixe la cible lumineuse présentée à 40 cm et doit indiquer ce qu'il voit. Chez les sujets microstrabiques, étant donné la présence d'une correspondance rétinienne anormale de type harmonieuse, le sujet perçoit habituellement une croix inclinée formée par les deux raies centrées sur la cible lumineuse (Mehdorn, 1989; Tomic, et al., 2002) . Si un scotome central est présent, le sujet remarquera une interruption dans une des deux raies lumineuses près du point central (Helveston & Von Noorden, 1967; Tomic, et al., 2002).

1.2.7 Amplitudes fusionnelles

Les amplitudes fusionnelles des sujets strabiques sont habituellement très faibles et anormales (Carniglia & Cooper, 1992; Parks, 1969). Malgré une vision binoculaire subnormale en vision centrale, les sujets microstrabiques présentent fréquemment des amplitudes fusionnelles horizontales semblables à celles retrouvées chez un sujet normal (Hahn, et al., 1991; Parks, 1969).

1.2.8 Fixation

En situation monoculaire, lorsqu'un sujet normal fixe une cible, il utilise la zone la plus précise de la rétine soit la fovéa. En présence d'un microstrabisme, il est fréquent qu'un point extrafovolaire soit favorisé pour la fixation (Tomic, et al., 2002). Ce phénomène, appelé fixation excentrique, survient chez environ 35-50 % des sujets microstrabiques (Lang, 1974; Tomic, et al., 2002). L'angle de fixation excentrique peut être plus petit ou égal à l'angle

d'anomalie de la correspondance rétinienne (Noorden & Campos, 2002). La présence d'une fixation excentrique peut augmenter le niveau d'amblyopie dans l'œil strabique (Hahn, et al., 1991; Lang, 1981).

1.3 Types

1.3.1 Avec ou sans identité

Les microstrabismes peuvent être divisés en deux catégories selon leurs caractéristiques oculaires : les microstrabismes avec et sans identité (Evans & Doshi, 2001; Hardman Lea, et al., 1991; Rowe, 2004b; Tomac, et al., 2002). Le microstrabisme avec identité se distingue par la présence d'une fixation excentrique qui est toujours présente et qui est utilisée autant en condition monoculaire qu'en condition binoculaire (CRAH). L'angle d'anomalie est donc égal à l'angle de fixation excentrique, ce qui explique l'absence de refixation au test écran (Cleary, et al., 1998; Hardman Lea, et al., 1991; Noorden & Campos, 2002). Une fixation excentrique peut également être présente avec un microstrabisme sans identité, mais dans ce cas, l'angle d'anomalie est supérieur à l'angle de fixation excentrique et un point rétinien différent est utilisé en condition binoculaire rendant ainsi la déviation visible au test écran (Noorden & Campos, 2002). Un microstrabisme sans identité est retrouvé dans environ 60-70 % des cas (Houston, et al., 1998; Parks, 1969; Tomac, et al., 2002).

1.3.2 Primaire ou secondaire

Lorsqu'une histoire de strabisme de grand angle, corrigé par une orthèse ophtalmique ou une chirurgie, est connue, le microstrabisme est d'origine secondaire (Houston, et al., 1998). Dans le cas contraire, le microstrabisme est dit primaire (Houston, et al., 1998). Selon Lang, la prévalence de microstrabisme primaire serait d'environ 45 % (Lang, 1983) alors que Parks estime qu'un microstrabisme sur cinq (20 %) serait d'origine primaire (Parks, 1969).

1.4 Causes

1.4.1 Origine oculomotrice

Il est généralement accepté qu'un déséquilibre oculomoteur présent durant la phase critique du développement visuel favorise le développement d'adaptations sensorielles causant ainsi une anomalie de la vision binoculaire (Hugonnier & Clayette-Hugonnier, 1981). Selon plusieurs observateurs, l'origine du microstrabisme pourrait être liée à une microdéviation des axes visuels apparue en bas âge. Par la suite, les adaptations sensorielles, telles que la suppression, la correspondance rétinienne anormale (CRA) et la fixation excentrique apparaîtraient comme conséquence à ce désalignement oculaire. (Harwerth & Fredenburg, 2003; Tomac, et al., 2002).

1.4.2 Origine sensorielle

Pour d'autres, le scotome central et la CRA associés aux microtropies seraient davantage causés par l'amblyopie anisométrique (Lang, 1974). En effet, l'embrouillement provoqué par une correction ophtalmique inadéquate ou absente de l'un des deux yeux durant l'enfance pourrait avoir diminué le pouvoir fixateur de la fovéa de cet œil au profit d'une zone rétinienne avec une meilleure acuité visuelle (Noorden & Campos, 2002).

Chapitre 2. La stéréopsie

2.1 Stéréopsie locale et globale

Deux types de stéréopsie permettent de juger la capacité d'un sujet à coder la disparité binoculaire. Les deux types sont divisés selon qu'ils impliquent ou non des contours définis (Clarke & Noel, 1990). Les processus sous-jacents à ces types de stimuli stéréoscopiques, avec et sans contours, ont respectivement été nommés stéréopsie locale et stéréopsie globale par Bela Julesz (Adler & Moses, 1975; Julesz, 1972).

2.1.1 Stéréopsie locale

2.1.1.1 Définition

La stéréopsie locale implique des stéréogrammes à contours définis, c'est-à-dire que la forme de l'objet en relief est évidente et peut clairement être perçue avec un seul œil. Ainsi, la perception du relief est uniquement tributaire de la disparité binoculaire locale. La perception de profondeur peut toutefois être accentuée grâce à plusieurs indices monoculaires. La discrimination de la profondeur relative dépend de la présence d'objets adjacents servant de cadre de référence.

2.1.1.2 Évaluation clinique

Le test de *Titmus*[©] et le *Randot Stereotest*[®] sont les tests les plus utilisés par les cliniciens pour évaluer la vision stéréoscopique de leurs patients. Ces deux tests permettent d'évaluer la stéréopsie locale à partir d'un livret et d'une paire de lunettes polarisées. Les tests présentent des disparités variant de 3600 à 20 secondes d'arc. Ces tests sont toutefois susceptibles de surestimer les seuils mesurés puisque le décalage d'une portion de l'image, nécessaire pour créer l'effet stéréoscopique, est facilement visible de façon monoculaire (jusqu'à 140 secondes d'arc) (Fawcett & Birch, 2003).

2.1.2 Stéréopsie globale

2.1.2.1 Définition

Avant les années 1960, il était généralement admis qu'une forme identifiable était nécessaire pour établir la relation entre des images légèrement disparates provenant de chaque œil et construire la stéréoperception. Au milieu du siècle dernier, Bela Julesz créait les stéréogrammes à points aléatoires (RDS) (Julesz, 1963; Julesz, Papathomas, & Phillips, 2006). Lorsqu'inspectés avec un seul œil, les stéréogrammes à points aléatoires ne contiennent aucune information visuelle structurée. Par contre, lorsque les stimuli sont observés dichoptiquement, une forme tridimensionnelle émerge et devient perceptible (Long & Siu, 2005). Les RDS, puisqu'aucun indice monoculaire n'est présent, démontrent que la perception stéréoscopique de la profondeur ne dépend pas de la perception de la forme (Kulp & Mitchell, 2005). Par contre, puisque chaque point perçu par un œil peut être apparié avec n'importe quel point provenant de l'autre œil, le système visuel doit alors résoudre une tâche complexe de correspondance rétinienne afin de pouvoir extraire le relief en absence d'objet identifiable (Harris & Parker, 1994; Poggio & Poggio, 1984). La résolution du problème de la correspondance se fait en deux étapes : la première étape consiste à établir l'appariement entre les images provenant de chaque œil (*matching computation*) et la seconde est de reconstruire l'image globale selon la corrélation des patrons (*correlation computation*) (Doi, Tanabe, & Fujita, 2011).

2.1.2.2 Évaluation clinique

Plusieurs tests mesurant les performances de stéréopsie globale sont utilisés cliniquement : le *Random dot E*[®], le *Frisby Test*, le *Randot Preschool Stereoacuity Test*[®], le Test de *Lang*, le *TNO* et le *Randot Stereotest*[®]. La stimulation dichoptique peut se faire à l'aide de lunettes polarisées (*Random dot E*[®], le *Randot Preschool Stereoacuity Test*[®], *Randot Stereotest*[®]), de lunettes rouge-verte (*TNO*) ou même, selon la construction du test, sans qu'aucune paire de lunettes ne soit nécessaire (*Frisby Test*, Test de *Lang*). La disparité varie selon le test ou la distance à laquelle le test est effectué.

Certains tests exigent une reconnaissance de la forme (*Randot Preschool Stereoacuity Test*[®], Test de *Lang* et *Randot Stereotest*[®]) alors que le *Random dot E*[®] et le *Frisby Test* n'évalue que la capacité à déterminer la profondeur relative du stimulus. Le *TNO* permet d'évaluer ces deux aspects.

2.2 Codage neuronal de la stéréopsie

La disparité binoculaire est la différence entre les images reçues par l'œil droit et l'œil gauche résultant de la séparation horizontale des yeux (Poggio & Poggio, 1984). Chaque œil possède donc un champ visuel distinct avec une partie centrale commune aux deux yeux. Les images provenant de chaque œil sont transmises, séparément, jusqu'au cortex visuel primaire (V1) via le chiasma et le corps genouillé latéral (Bear, Connors, & Paradiso, 2002). Ce n'est que dans V1 que les cellules provenant de l'œil droit et de l'œil gauche sont réunies et que la perception des profondeurs s'amorce. La figure 1 illustre les différentes régions corticales mentionnées dans cette section. Plus de 80 % des cellules de V1 répondraient à la disparité binoculaire (Hubel & Wiesel, 1962; Poggio & Poggio, 1984).

La disparité binoculaire peut être divisée en deux sous-catégories : la disparité absolue et la disparité relative. La disparité absolue d'un objet est définie par la différence entre les deux images rétiniennes suscitées par cet objet lorsqu'un autre objet est fixé (Parker, 2007). La différence entre les disparités absolues de deux objets est appelée la disparité relative (Parker, 2007). Le point de fixation correspond alors à une disparité absolue nulle puisque les images de l'œil droit et gauche stimulent des points rétiens correspondants (Poggio, Gonzalez, & Krause, 1988; Westheimer, 2009). L'humain est très sensible à la disparité relative alors qu'un grand changement dans la disparité absolue d'un seul objet peut passer complètement inaperçu (Neri, 2005; Parker, 2007).

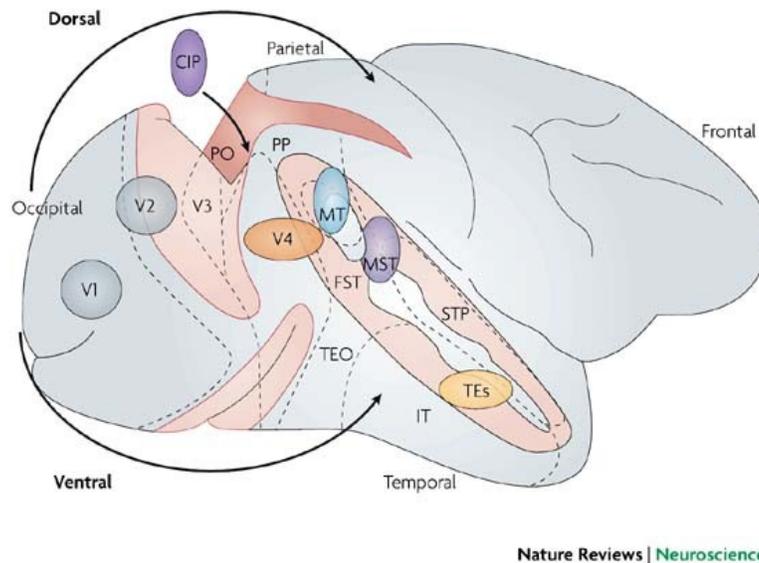
Lorsqu'un objet est situé plus près que le point de fixation (plan frontal) la disparité créée par cet objet est appelée disparité croisée. À l'inverse, une disparité décroisée (ou homonyme) est produite par un objet placé au-delà du point de fixation. Certains types de cellules corticales

codent pour une disparité croisée (*near*) alors d'autres cellules ne répondent qu'à la disparité décroisée (*far*)(Poggio & Poggio, 1984).

Certaines études ont rapporté que le cortex visuel primaire serait sensible à la disparité rétinienne absolue (Freeman, 1999; Westheimer, 2009). Les cellules de V2 répondraient plutôt à la disparité relative (Westheimer, 2009). La formation de mécanismes complexes de la vision stéréoscopique proviendrait donc d'aires visuelles supérieures au cortex strié. En effet, une lésion à V2 cause une diminution de performance stéréoscopique plus importante qu'une lésion au cortex visuel primaire. Très peu d'auteurs ont étudié le cortex préstrié V3 mais ceux-ci affirment qu'une majorité des cellules de V3 répondraient de façon sélective à certaines disparités croisées (Adams & Zeki, 2001). V3, identifié comme un site important pour la reconnaissance de la forme, serait utile pour la détection d'une forme tridimensionnelle. Près de la zone V3, les cellules du système visuel peuvent prendre deux chemins soit la voie dorsale et la voie ventrale.

La voie dorsale passe par l'aire MT (*medial temporal*) pour continuer sa course dans le MST (*medial superior temporal*) et ultimement le cortex pariétal. Les neurones de MT, un site qui répond surtout au mouvement, répondraient également à un large éventail de grandes disparités rétinienne (croisées et décroisées) et semblent être en mesure de coder préférentiellement la disparité absolue, c.-à-d. indépendamment du regard (DeAngelis, Cumming, & Newsome, 1998; Neri, 2005). La zone MST serait utile afin d'établir des mouvements correctifs de vergence suite à la détection de disparité rétinienne supérieure aux limites des aires de Panum (Parker, 2007; Poggio & Poggio, 1984). En plus de contrôler certains mouvements oculaires, la voie dorsale apparaît donc comme une voie importante pour la stéréopsie grossière (Neri, 2005; Parker, 2007). Ces caractéristiques appuient la notion selon laquelle la voie dorsale est essentielle pour le déplacement et l'orientation dans notre environnement (Parker, 2007). La voie ventrale est plutôt considérée comme le sentier de la perception visuelle qui débute au cortex visuel primaire et aboutit dans le cortex inféro-temporal (IT) (Wilson, Pearson, Matheson, & Marotta, 2008). Ce dernier joue un rôle majeur

dans la résolution du problème de correspondance rétinienne inhérent au codage de la stéréopsie globale (Parker, 2007). L'IT serait davantage lié à la discrimination de la disparité fine ainsi que dans la perception de forme en trois dimensions (Parker, 2007; Uka, Tanabe, Watanabe, & Fujita, 2005). Davantage d'études sont nécessaires concernant le codage neuronal de la stéréopsie, car peu d'informations sont disponibles concernant les rôles spécifiques de chaque aire visuelle dans la perception de la stéréopsie.



Nature Reviews | Neuroscience

Figure 1(Parker, 2007)

2.3 Stéréoacuité

Généralement, les seuils de stéréopsie globale des sujets normaux sont légèrement supérieurs aux seuils de stéréopsie locale. Ils varient entre 15 et 50 secondes d'arc pour la stéréopsie locale et entre 50 et 100 secondes d'arc lorsqu'ils sont évalués à l'aide de stéréogrammes à points aléatoires (Parks, 1969; Yildirim, Altinsoy, & Yakut, 1998). Par ailleurs, les performances des sujets microstrabiques varient énormément selon le type de stéréopsie. Aucune norme n'a pu être établie concernant leur seuil de stéréopsie locale puisque la variance des résultats est très importante. Les performances varient entre 20 et plus de 3000 secondes d'arc (Helveston & Von Noorden, 1967; Pageau, de Guise, & Saint-Amour, 2011;

Parks, 1969) lorsqu'elles sont évaluées à l'aide de tests cliniques. Près de 40 % des sujets microstrabiques auraient un seuil inférieur à 200 secondes d'arc (Lang, 1988; Pratt-Johnson & Barlow, 1975). La majorité des auteurs s'accordent toutefois pour affirmer que la stéréopsie globale des sujets atteints de microstrabisme est très déficiente, voire inexistante (Cooper & Feldman, 1978; Garzia & Richman, 1985; Lang, 1988; Pageau, de Guise, & Saint-Amour, 2008; Parks, 1969).

Chapitre 3. Objectif et hypothèses

L'objectif principal de ce mémoire est d'étudier la stéréoperception des enfants atteints de microstrabisme, tout d'abord en examinant les différences entre la stéréopsie locale et globale chez les enfants microstrabiques (article 1) puis en tentant d'établir le rôle du scotome de suppression dans les déficits marqués en stéréopsie globale (article 2).

3.1 Article 1

L'objectif de cette étude consistait à comparer la stéréopsie locale et globale d'enfants microstrabiques telle que mesurée à l'aide d'un test clinique (*Randot Stereotest*[®]) habituellement utilisé lors d'un examen visuel. Nous avons postulé que la stéréopsie locale des sujets microstrabiques présenterait de légers déficits alors que la stéréopsie globale serait réduite de façon importante. Les stéréoacuités de 26 enfants microstrabiques examinés à la Clinique universitaire de la vision de l'Université de Montréal ont été comparées. Les résultats ont été publiés dans le Journal Canadien d'Ophtalmologie (Pageau, et al., 2011).

3.2 Article 2

L'objectif de cette étude était d'évaluer les seuils de stéréopsie locale et globale de sujets normaux et microstrabiques et de déterminer le rôle du scotome de suppression centrale dans le déficit de stéréopsie globale noté chez les sujets atteints de microstrabisme. Ce scotome affecterait davantage la perception tridimensionnelle de la forme globale que la détection du relief en soi. Ainsi, la stéréopsie locale serait moins touchée que la stéréopsie globale. En augmentant la taille de la cible stéréoscopique afin qu'elle excède la zone de suppression et augmente la corrélation interoculaire, nous avons postulé que la stéréoacuité des sujets microstrabiques s'améliorerait alors qu'aucune différence ne devrait être notée chez les sujets normaux. Une étude psychophysique en trois étapes a été effectuée afin de vérifier cette hypothèse. L'article a été soumis à la revue Journal of Vision.

Chapitre 4.

4.1 Article 1

Stéréopsies locale et globale chez l'enfant microstrabique

Publié dans le Journal Canadien d'Ophtalmologie
Local and global stereopsis in children with microstrabismus
Can J Ophthalmol, 46(3), 271-275.

Stéréopsies locale et globale chez l'enfant microstrabique

Pageau, Mariline O.D.^{1,2,3}, de Guise, Danielle O.D.,M.Sc.¹ & Saint-Amour, Dave Ph.D.^{2,3,4*}

¹École d'optométrie, Université de Montréal, Montréal, Québec, Canada

²Département ophtalmologie, Université de Montréal, Montréal, Québec, Canada

³CHU Sainte-Justine, Montréal, Québec, Canada

⁴Département de psychologie, Université du Québec à Montréal, Québec, Canada

Résumé

Objet. Bien qu'altérée, il est généralement admis cliniquement que la vision stéréoscopique est présente chez les personnes atteintes de microstrabisme. Cette conception, cependant, repose principalement sur l'évaluation de la stéréopsie locale, laquelle implique la présence d'indices visibles. Or, les sujets microstrabiques présentent beaucoup plus de difficulté à percevoir le relief lorsqu'évalués à l'aide de stéréogrammes à points aléatoires (stéréopsie globale). La présente étude vise à vérifier l'hypothèse selon laquelle la stéréopsie locale des enfants microstrabiques est supérieure à la stéréopsie globale. **Nature.** L'étude est de type rétrospective. **Participants.** Un échantillon de 26 enfants microstrabiques, âgés entre 6 et 14 ans, diagnostiqués à la Clinique Universitaire de la vision de l'Université de Montréal, a été recueilli. **Méthode.** Les seuils de stéréopsie locale (avec contours visibles) et globale (stéréogrammes à points aléatoires) ont été déterminés à l'aide d'un test clinique standard (*Randot Stereotest*[®]). **Résultats.** Dix-neuf enfants microstrabiques (19/26, 73 %) possédaient un seuil de stéréopsie locale normal ou légèrement inférieur à la normale avec une stéréoacuité pouvant parfois atteindre 20 secondes d'arc. Une absence complète de stéréopsie locale a été observée chez les 7 autres enfants (27 %). Cependant, aucune stéréopsie globale n'était mesurable à l'aide des stéréogrammes de points aléatoires chez tous les sujets microstrabiques étudiés, à l'exception d'un seul sujet. **Conclusion.** La stéréopsie locale est présente, bien qu'altérée, chez les enfants microstrabiques, mais ceux-ci montrent en général une absence de stéréoperception globale.

Objectif

Le terme microstrabisme a été utilisé pour la première fois par Joseph Lang au premier symposium international sur le strabisme en 1966 (Espinasse-Berrod, 2004; Evans & Doshi, 2001; Parks, 1969). Au début des années 1960, Parks qualifiait cette condition de « phorie de monofixation » (*monofixation phoria*) alors que von Noorden et Helveston, quelques années plus tard, proposaient le terme syndrome de monofixation (*monofixation syndrome*) (Hardman Lea, et al., 1991; Noorden & Campos, 2002; Parks, 1969; Rowe, 2004b), lequel est encore présent dans la littérature. Ce strabisme de petite amplitude est rarement diagnostiqué à cause de la difficulté à bien identifier tous les aspects cliniques qui le caractérise, difficulté qui peut être particulièrement importante chez l'enfant. Cette déviation est, dans la plupart des cas, convergente bien qu'une microexotropie ou une microhypertropie soit également possible (Baker & Davies, 1979; Evans & Pickwell, 2002; Lang, 1981). Cette condition affecterait entre 1 et 3 % de la population générale (Lang, 1983; Rowe, 2004b). La petite déviation oculaire est sans doute le principal signe clinique. En effet, par définition, l'angle de déviation d'un microstrabisme se situe entre zéro et cinq degrés d'angle visuel (0-10 dioptries prismatiques) (Lang, 1981; Noorden & Campos, 2002; Parks, 1969). Cette déviation est subtile ou complètement imperceptible et peut donc facilement passer inaperçue lors d'un examen visuel (Espinasse-Berrod, 2004; Lang, 1981). L'œil dévié présente habituellement une amblyopie. Celle-ci peut être d'origine strabique uniquement, mais également associée à une anisométrie (hypermétrie ≥ 1 dioptrie et/ou $\geq 1,5$ dioptrie cylindriques) et/ou à une fixation excentrique, lesquelles sont susceptibles d'accentuer le déficit d'acuité visuelle (Hahn, et al., 1991; Lang, 1981, 1983). Cette baisse de vision, remarquée uniquement si l'œil sain est couvert, est souvent l'unique symptôme présent. L'examen de base montre également une diminution de la vision stéréoscopique. Une évaluation plus approfondie de la vision binoculaire révèle une zone de suppression centrale dans l'œil strabique ainsi qu'une correspondance rétinienne anormale qui permet une fusion malgré la déviation oculaire (Lang, 1981; Noorden & Campos, 2002). Les microstrabismes se divisent en deux catégories : avec ou sans identité (Evans & Doshi, 2001; Hardman Lea, et al., 1991; Rowe, 2004b; Tomac, et al., 2002). Le microstrabisme avec identité se distingue par la présence

d'une fixation excentrique qui est utilisée autant en condition monoculaire qu'en condition binoculaire (CRAH), ce qui explique l'absence de refixation au test écran (Hardman Lea, et al., 1991). Cette dernière forme de strabisme est parfois appelée syndrome de monofixation (Noorden & Campos, 2002; Parks, 1969). Une fixation excentrique peut également être présente avec un microstrabisme sans identité, mais dans ce cas, un point rétinien différent est utilisé en condition binoculaire rendant ainsi la déviation visible au test écran.

La vision stéréoscopique, ou tridimensionnelle, résulte du codage précis par le cerveau des indices de disparités rétiniennes horizontales et constitue ainsi un excellent indicateur de la qualité de la vision binoculaire. Cliniquement, deux types de tests sont utilisés pour déterminer les seuils de vision stéréoscopique selon qu'ils impliquent ou non des contours. Les tests sans contours définis sont composés d'une multitude de points disposés aléatoirement (stéréogrammes à points aléatoires). Lorsqu'inspectés monoculairement, les stéréogrammes à points aléatoires ne contiennent aucune information visuelle structurée. Par contre, lorsque les stimuli sont observés dichoptiquement, une forme tridimensionnelle émerge et devient perceptible. L'observateur reconnaît alors une forme en relief, et peut éventuellement déterminer sa profondeur relative. Dans le cas des stéréogrammes à contours définis, la forme de l'objet en relief est évidente et peut clairement être perçue avec un seul œil. Ainsi, la perception du relief est uniquement tributaire de la disparité binoculaire locale. La discrimination de la profondeur relative dépend alors de la présence d'autres objets adjacents servant de cadre de référence. Les processus sous-jacents à ces types de stimuli stéréoscopiques sans et avec contours ont respectivement été nommés par Bela Julesz stéréopsie *globale* et stéréopsie *locale* (Adler & Moses, 1975; Julesz, 1972).

En présence d'une déviation oculaire et ce peu importe l'angle, une perte de vision binoculaire est habituellement notée. Cependant, le microstrabisme est associé à une adaptation du système visuel afin de récupérer une partie de cette binocularité perdue (Harwerth & Fredenburg, 2003). Bien que plusieurs études aient mis en évidence la présence de capacités stéréoscopiques, peu d'entre elles ont systématiquement comparé les deux types

de stéréopsie chez les mêmes sujets. De plus, ces études ont été réalisées uniquement chez l'adulte (Cooper & Feldman, 1978; Garzia & Richman, 1985; Harwerth & Fredenburg, 2003; M. Hill, J. Perry, & I. C. J. Wood, 1976; Reinecke & Simons, 1974). La présente étude vise à comparer les seuils de stéréopsie locale et globale mesurée à l'aide du *Randot Stereotest*[®] chez l'enfant microstrabique et à vérifier l'hypothèse selon laquelle la vision tridimensionnelle des microstrabiques est supérieure en présence de contours visibles.

Méthode

Cette étude rétrospective a été effectuée à partir d'une population clinique de 26 sujets microésotropes diagnostiqués à la Clinique universitaire de la vision de l'Université de Montréal entre le 1er juin 2007 et le 31 mai 2008. Le diagnostic était basé sur le test écran, la présence d'une amblyopie monoculaire (différence d'une ligne ou plus d'acuité visuelle entre les deux yeux), d'un résultat positif au test du prisme de Irvine (4^Δ base externe), d'une fusion sensorielle à l'aide des points de Worth et d'une baisse de stéréopsie locale ou globale. Chez certains sujets, une évaluation de la correspondance rétinienne a également été effectuée. Le microstrabisme sans identité était confirmé par un test écran positif de moins de 10 dioptries prismatiques alors qu'un test écran négatif et une fixation excentrique permettaient de diagnostiquer le microstrabisme avec identité. Cette étude a été approuvée par le comité d'éthique de recherche du Centre hospitalier universitaire Sainte-Justine, Montréal, Canada (approbation #2921).

Les patients étaient âgés entre 6 et 14 ans (moyenne = 9,0 ans) lors du dernier examen clinique. Les mesures d'acuité visuelle ont été prises avec les échelles d'*Allen* ou les symboles de *Lea*[®] chez les enfants de 6 et 7 ans et avec les échelles Snellen ou ETDRS chez les autres. Un examen approfondi de la réfraction avec cycloplégie (cyclogyl 1 %) a été effectué pour évaluer si l'amblyopie était d'origine strabique seulement ou combinée à l'anisométrie. Le *Randot Stereotest*[®] a été utilisé pour l'évaluation des seuils de stéréopsie locale et globale. Ce test permet à lui seul de mesurer les deux types de stéréopsie à partir d'un seul livret et d'une paire de lunettes polarisées. Sur la page de gauche, 10 séries de trois cercles (400 à 20

secondes d'arc) et trois rangées de cinq animaux (400, 200 et 100 secondes d'arc) permettent d'estimer le seuil de stéréopsie locale. La tâche du sujet est d'indiquer quelle cible est perçue en relief. La page de droite est composée de huit stéréogrammes à points aléatoires dont deux ne contiennent pas de forme tridimensionnelle. Ces stéréogrammes permettent d'estimer la stéréopsie globale. Le sujet doit identifier la forme tridimensionnelle contenue dans chaque stéréogramme dont la disparité varie entre 500 et 250 secondes d'arc.

Résultats

Tous les sujets portaient leur meilleure correction optique lors de l'examen de la vision binoculaire. Aux épreuves de stéréopsie locale, un seuil de 40 secondes d'arc est généralement considéré normal (Harwerth & Fredenburg, 2003; Parks, 1969). Le tableau 1 illustre les caractéristiques visuelles et les performances au *Randot Stereotest*[®] pour chaque sujet. Parmi les 26 sujets évalués, 18 d'entre eux (69 %) ont manifesté une vision stéréoscopique locale grossière (Moyenne = 207; Écart type = 153) sans aucune stéréopsie globale. Afin de comparer statistiquement la stéréopsie locale des sujets microstrabiques à la normale, une valeur de 400 secondes d'arc, soit la disparité maximale du test, a été arbitrairement assignée aux enfants pour lesquels aucune vision stéréoscopique locale n'était mesurable. Malgré cette manipulation, qui réduit nécessairement l'écart réel par rapport à la normale, une différence hautement significative a été observée (test-t à échantillon unique, $p < 0.0001$). Par ailleurs, 7 sujets parmi notre échantillon (27 %) ne percevaient aucune stéréopsie qu'elle soit locale ou globale, alors qu'un seul sujet (CP) a réussi toutes les tâches de stéréopsie locale en plus de discriminer les formes en condition de stéréopsie globale.

L'acuité visuelle de l'œil amblyope de tous nos sujets n'était pas corrélée à leur capacité de stéréopsie locale ($p = 0,48$). Ce résultat est intéressant, car contrairement à l'idée parfois véhiculée dans la littérature, la relation entre le degré d'amblyopie réelle et la vision stéréoscopique n'est pas clairement établie. Bien qu'il soit accepté que l'amblyopie profonde ($< 20/100$) affecte considérablement la vision stéréoscopique (Weakley, 2001), beaucoup d'études qui se sont penchées sur le lien entre acuité et stéréopsie ont en fait examiné des

sujets non amblyopes dont l'information visuelle à un œil avait été artificiellement embrouillée (Donzis, Rappazzo, Burde, & Gordon, 1983; Goodwin & Romano, 1985; Lang, 1988; Weakley, 2001). L'absence de corrélation entre l'acuité de l'œil amblyope et la stéréopsie locale observée dans notre étude est d'ailleurs en accord avec d'autres (Lang, 1988; Weakley, 2001). De plus, aucune corrélation n'a été identifiée entre l'âge des sujets et leur stéréopsie locale ($p = 0,43$). Ces résultats concordent avec plusieurs données empiriques qui montrent que la vision stéréoscopique atteint sa maturité entre 24 mois et 5 ans (Birch & Petrig, 1996; Simons, 1981; Tomac & Altay, 2000; Yildirim, et al., 1998).

Conclusion

Bien que certains sujets montraient un seuil de stéréopsie locale inférieur à 40 secondes d'arc, la majorité d'entre eux présentait un net déficit. Un seul enfant a réussi à discriminer les formes contenues dans les stéréogrammes à points aléatoires. Celui-ci a été vu à neuf reprises lors d'examens de suivi et aucune stéréopsie globale n'avait été mesurée avant le dernier examen de contrôle. Afin de confirmer ce résultat, une nouvelle mesure de stéréopsie globale a été effectuée à l'aide du *Randot[®] Preschool Stereoacuity Test*. Un résultat de 200 secondes d'arc a été obtenu alors que le seuil normal de stéréopsie globale chez l'enfant se situe autour de 100 secondes d'arc (Yildirim, et al., 1998). La présence de stéréopsie globale chez un sujet microstrabique aurait également été observée par Garzia et Richman (Garzia & Richman, 1985). Il n'en demeure pas moins que les évidences de stéréopsie globale chez les sujets microstrabiques dans la littérature, incluant la présente étude, sont à toutes fins pratiques, inexistantes. Ceci nous renvoie donc à la question suivante : pourquoi la stéréopsie globale serait-elle absente chez les enfants microstrabiques alors que leur stéréopsie locale est généralement préservée, bien qu'inférieure à celle d'un individu possédant une vision binoculaire normale? Deux hypothèses explicatives peuvent être émises. La première repose sur l'idée selon laquelle la zone de suppression fovéale affecte la corrélation des points entre les images rétinienne diminuant ainsi la qualité du traitement de l'information binoculaire. Ainsi, la suppression présente dans l'œil dévié empêcherait de percevoir l'ensemble des points aléatoires formant le stéréogramme. Il a été suggéré que si la corrélation interoculaire

(œil droit vs œil gauche) est inférieure à 80 %, l'observateur devient incapable de discriminer la forme tridimensionnelle, bien qu'une perception de profondeur demeure possible (Garzia & Richman, 1985). Cette hypothèse expliquerait pourquoi plusieurs sujets microstrabiques sont capables de repérer correctement les deux stéréogrammes sans cible stéréoscopique alors qu'ils sont incapables d'identifier les formes en saillie dans les autres stéréogrammes du *Randot Stereotest*[®].

On pourrait supposer que la zone de suppression du microstrabique est également nuisible pour la détection du relief en stéréoscopie locale. Cependant, les tests utilisés en clinique pour mesurer la stéréopsie locale ne requièrent pas la reconnaissance de la cible, mais seulement un effet de profondeur. Il suffit donc d'être en mesure de percevoir l'effet tridimensionnel sur une portion de l'image et non sur la totalité de celle-ci pour être capable de réussir la tâche. De plus, en stéréopsie locale, le cerveau arrive plus facilement à établir une correspondance binoculaire puisque la forme est localement disponible. En effet, la mise en correspondance stéréoscopique, laquelle consiste à associer les éléments de l'image gauche aux éléments correspondants de l'image droite, est une étape fondamentale pour la perception de la tridimensionnalité. Ce processus est régi par un ensemble de principes (gradient, contraste/luminance, segment, géométrie, unicité, etc.), souvent appelés « contraintes », qui limitent l'ambiguïté et les fausses correspondances (Howard & Rogers, 1995). La continuité des contours, laquelle est maximale en stéréoscopie locale, figure parmi les principes les plus importants (Marr & Poggio, 1976). Sa grande influence a été soulignée il y a plusieurs décennies. Par exemple, la perception du relief d'un stéréogramme de points aléatoires devient plus rapide lorsque les régions disparates sont délimitées par l'ajout d'une ligne continue (Julesz, 1960).

La seconde hypothèse proposée pour expliquer cette dissociation entre la stéréopsie locale et globale associée au microstrabisme concerne les circuits neuronaux impliqués. En effet, des études suggèrent que les voies neuronales sous-jacentes aux deux types de stéréopsie diffèrent. Bien que l'ensemble des aires visuelles du cerveau contienne des cellules

spécialisées dans le codage de la disparité binoculaire, il semble que la voie ventrale des aires occipito-temporales soit particulièrement importante pour la perception stéréoscopique globale (Ptito, Zatorre, Larson, & Tosoni, 1991). Alors que l'intégrité des régions postérieures du cortex occipital serait suffisante pour la perception de la stéréoscopie locale, un traitement supplémentaire, et plus complexe, impliquant la voie ventrale serait nécessaire pour la stéréoscopie globale (Rose & Price, 1995). Aucune recherche n'a pourtant confirmé que la voie ventrale pourrait être compromise en présence d'un microstrabisme et ainsi causer un déficit important de la stéréoscopie globale.

Cette étude rétrospective confirme donc la présence de stéréopsie locale, bien qu'inférieure à la normale, chez les sujets microstrabiques alors que la stéréopsie globale serait généralement absente. Ainsi, en présence d'amblyopie, lorsqu'un défaut de la vision binoculaire est soupçonné, ou plus généralement lors d'un examen visuel de base, nous pouvons avancer que l'évaluation de la stéréoscopie globale semble un outil extrêmement efficace pour détecter les sujets atteints de microstrabisme, condition souvent difficile à diagnostiquer.

Références

1. Evans, B.J.W. and S. Doshi, *Binocular vision and orthoptics : investigation and management*. 2001, Oxford ; Boston: Butterworth-Heinemann/Optician. 147.
2. Parks, M.M., *The monofixation syndrome*. Trans Am Ophthalmol Soc, 1969. **67**: p. 609-57.
3. Espinasse-Berrod, M.-A., *Strabologie : approches diagnostique et thérapeutique*. Atlas en ophtalmologie,. 2004, Paris: Elsevier. xix, 306 p.
4. Rowe, F.J., *Clinical orthoptics*. 2nd ed. 2004, Oxford ; Malden, MA: Blackwell Publ. x, 357 p.
5. Hardman Lea, S.J., et al., *Microtropia versus bifoveal fixation in anisometropic amblyopia*. Eye (Lond), 1991. **5 (Pt 5)**: p. 576-84.
6. Noorden, G.K.v. and E. Campos, *Vision and ocular motility*. 6th ed. 2002: Mosby. Chapitre 14.
7. Lang, J., *Strabisme : diagnostic, formes cliniques, traitement*. 1981, Paris: Maloine. 191.
8. Evans, B.J.W. and D. Pickwell, *Pickwell's binocular vision anomalies : investigation and treatment*. 4th ed. 2002, Oxford ; Boston: Butterworth-Heinemann. x, 450 p.
9. Baker, J.D. and G.T. Davies, *Monofixational intermittent exotropia*. Arch Ophthalmol, 1979. **97**(1): p. 93-5.
10. Lang, J., *Microtropia*. Int Ophthalmol, 1983. **6**(1): p. 33-6.
11. Hahn, E., W. Cadera, and R.B. Orton, *Factors associated with binocular single vision in microtropia/monofixation syndrome*. Can J Ophthalmol, 1991. **26**(1): p. 12-7.
12. Tomac, S., E.C. Sener, and A.S. Sanac, *Clinical and sensorial characteristics of microtropia*. Jpn J Ophthalmol, 2002. **46**(1): p. 52-8.
13. Adler, F.H. and R.A. Moses, *Adler's physiology of the eye : clinical application*. 6th ed. 1975, Saint Louis: C. V. Mosby Co. xiv, 702.
14. Julesz, B., *Cyclopean perception and neurophysiology*. Invest Ophthalmol, 1972. **11**(6): p. 540-8.
15. Harwerth, R.S. and P.M. Fredenburg, *Binocular vision with primary microstrabismus*. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2003. **44**(10): p. 4293-306.
16. Garzia, R.P. and J.E. Richman, *Stereopsis in an amblyopic small angle esotrope*. J Am Optom Assoc, 1985. **56**(5): p. 400-4.
17. Cooper, J. and J. Feldman, *Random-dot stereogram performance by strabismic, amblyopic, and ocular-pathology patients in an operant-discrimination task*. American journal of optometry and physiological optics 1978. **55**(9): p. 599-609.
18. Hill, M., J. Perry, and I.C.J. Wood, *Stereoacuity in microtropia*. Orthoptics: Past, Present, Future, ed. S.I.M.B. Corp. 1976, New York: S. Moore J.Mein L.Stockbridge.
19. Reinecke, R.D. and K. Simons, *A new stereoscopic test for amblyopia screening*. Am J Ophthalmol, 1974. **78**(4): p. 714-21.
20. Weakley, D.R., Jr., *The association between nonstrabismic anisometropia, amblyopia, and subnormal binocularity*. Ophthalmology, 2001. **108**(1): p. 163-71.

21. Lang, J., *Anomalous retinal correspondence update*. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol, 1988. **226**(2): p. 137-40.
22. Goodwin, R.T. and P.E. Romano, *Stereoacuity degradation by experimental and real monocular and binocular amblyopia*. Invest Ophthalmol Vis Sci, 1985. **26**(7): p. 917-23.
23. Donzis, P.B., et al., *Effect of binocular variations of Snellen's visual acuity on Titmus stereoacuity*. Arch Ophthalmol, 1983. **101**(6): p. 930-2.
24. Simons, K., *A comparison of the Frisby, Random-Dot E, TNO, and Randot circles stereotests in screening and office use*. Arch Ophthalmol, 1981. **99**(3): p. 446-52.
25. Yildirim, C., H.I. Altinsoy, and E. Yakut, *Distance stereoacuity norms for the mentor B-VAT II-SG video acuity tester in young children and young adults*. J AAPOS, 1998. **2**(1): p. 26-32.
26. Tomac, S. and Y. Altay, *Near stereoacuity: development in preschool children; normative values and screening for binocular vision abnormalities; a study of 115 children*. Binocul Vis Strabismus Q, 2000. **15**(3): p. 221-8.
27. Birch, E. and B. Petrig, *FPL and VEP measures of fusion, stereopsis and stereoacuity in normal infants*. Vision Res, 1996. **36**(9): p. 1321-7.
28. Howard, I.P. and B.J. Rogers, *Binocular vision and stereopsis*. Oxford psychology series. 1995, New York, NY Oxford: Oxford University Press ; Clarendon Press. 736 p.
29. Marr, D. and T. Poggio, *Cooperative computation of stereo disparity*. Science, 1976. **194**(4262): p. 283-7.
30. Julesz, B., *Binocular depth perception of computer-generated patterns*. Bell Labs Technical Journal 1960. **39**: p. 1125-1162.
31. Ptito, A., et al., *Stereopsis after unilateral anterior temporal lobectomy. Dissociation between local and global measures*. Brain, 1991. **114**(3): p. 1323-33.
32. Rose, D. and E. Price, *Functional separation of global and local stereopsis investigated by cross-adaptation*. Neuropsychologia, 1995. **33**(3): p. 269-74.

Tableau 1 : Seuils de stéréopsies locale et globale.

	SMM	RL	VL	MH	NMN	GC	NRE	SK	MC	AC	EL	CL	ARBS
Âge (ans)	6	8	9	10	9	12	8	8	10	6	14	10	9
AV OD	20/30+	20/60	20/30	20/20	20/30+	20/20-	20/40-	20/15	20/20	20/20	20/40	20/40	20/40-
AV OS	20/20	20/20	20/20	20/25	20/15	20/15-	20/20-	20/50	20/40	20/30	20/15	20/25	20/20
Anisométrie	-	+	+	-	-	+	-	+	-	+	-	-	-
Déviaton (dioptries)	E	X	E	E	E	0	X	6ET _{os}	8ET _{os}	8ET _{os}	4ET _{od}	4ET _{od}	6ET _{od}
Stéréopsie locale (sec arc)	25''	100''	20''	300''	40''	70''	>400''	25''	200''	>400''	>400''	70''	70''
Stéréopsie globale (sec arc)	>500''	>500''	>500''	>500''	>500''	>500''	>500''	>500''	>500''	>500''	>500''	>500''	>500''
	JC	JM	DT	RA	RP	CP	HC	FWP	TEG	IS	BC	WR	AL
Âge (ans)	9	11	7	9	9	7	9	12	7	9	10	6	10
AV OD	20/40	20/25-	20/30	20/20	20/40	20/30	20/20+	20/20	20/25	20/50	20/20	20/20	20/100
AV OS	20/15	20/20	20/25	20/50	20/20	20/50	20/40	20/15	20/30-	20/25	20/15	20/30+	20/20
Anisométrie	+	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	+
Déviaton (dioptries)	6ET _{od}	10ET _{od}	8ET _{od}	2ET _{os} 2HT _{os}	6ET _{od}	8ET _{os}	8ET _{os}	2ET _{od}	6ET _{os}	2ET _{od}	6ET _{od}	4ET _{os}	8ET _{od}
Stéréopsie locale (sec arc)	300''	80''	100''	300''	>400''	20''	>400''	>400''	200''	300''	60''	300''	>400''
Stéréopsie globale (sec arc)	>500''	>500''	>500''	>500''	>500''	250''	>500''	>500''	>500''	>500''	>500''	>500''	>500''

AV : Acuité visuelle ;

Anisométrie: $\geq 1,00$ dioptrie hypermétropie ou $\geq 1,50$ dioptries cylindriques (+ : présente, - : absente)

4.2 Article 2

Role of central suppression in stereopsis impairment in children with
microstrabismus

Soumis en avril 2012 au *Journal of Vision*

Role of central suppression in stereopsis impairment in children with microstrabismus

Pageau, Mariline O.D.^{1,2,4}, de Guise, Danielle O.D., M.Sc.² & Saint-Amour, Dave Ph.D.^{3,4,5*}

¹Département de sciences biomédicales, Université de Montréal, Montréal, Québec, Montréal

²École d'optométrie, Université de Montréal, Montréal, Québec, Canada

³Département ophtalmologie, Université de Montréal, Montréal, Québec, Canada

⁴Centre de recherche, CHU Sainte-Justine, Montréal, Québec, Canada

⁵Département de psychologie, Université du Québec à Montréal, Québec, Canada

Abstract

A majority of children with microstrabismus are able to discriminate some levels of local stereopsis when evaluated clinically, although severe impairments are observed using random dot stereograms. By decreasing interocular correlation, the central suppression present in the deviated eye may play an important role in stereopsis impairment with microstrabismus. To test this hypothesis, local depth discrimination, global depth discrimination and global shape depth discrimination were obtained in nine microstrabismic children compared with controls. For each task, stereoscopic stimuli of 4° and 12° diameter were used to differentially solicit the contribution of the central suppression area. Performance for local stereopsis was very similar for both sizes of targets. On the other hand, stereoacuity was significantly increased for both global stereopsis tasks by nearly 50% with large targets in which the interocular correlation disruption was negligible. In all experiments, only coarse stereopsis could be measured in microstrabismic children regardless the stimulus size. Global stereopsis could not be measured in one third of the sample with small stimuli but this proportion fall to 1 out of 9 with large stimuli. Although our findings suggest that central suppression plays a role in the deficits of stereopsis in microstrabismus, other altered processes such as retinal correspondence are likely to be involved as well.

Keywords

Microstrabismus, microtropia, stereoacuity, stereopsis, global, local, strabismus, amblyopia, random dot stereograms

Introduction

Microstrabismus (also called microtropia) is a strabismus of small amplitude that affects between 1 and 3% of the general population (Lang, 1983; Rowe, 2004b). It is rarely diagnosed because of the difficulty in identifying all clinical aspects that characterizes it, a difficulty that may be particularly important in children. The angle of deviation of microstrabismus is, by definition, between zero and five degrees of visual angle (0-10 prism diopters) (Lang, 1981; Noorden & Campos, 2002; Parks, 1969). The deviation is subtle or completely invisible and can easily go unnoticed during a visual examination (Espinasse-Berrod, 2004). The deviation is convergent in most cases, although microexotropia or vertical microtropia are also possible (Baker & Davies, 1979; Evans & Pickwell, 2002; Lang, 1981). The deviated eye usually presents amblyopia, which can be a strabismic-only origin. The deficit in visual acuity can be increased by anisometropia and/or eccentric fixation (Hahn, et al., 1991; Lang, 1981, 1983). Visual examination also shows a decrease in stereoscopic vision and an abnormal retinal correspondence that allows fusion despite the ocular deviation (Lang, 1981; Noorden & Campos, 2002).

Stereoscopic vision results from encoding of retinal disparity and it is the gold-standard indicator of binocular vision integrity. Two types of tests are clinically used to determine stereothresholds depending if they involve or not visible contours. Tests without defined contours are typically composed of a multitude of dots arranged randomly called random dot stereograms. When random dot stereograms are viewed with only one eye, they contain no structured visual information but, under dichoptic viewing, a three-dimensional form emerges and becomes perceptible. Regarding stereograms with defined contours, the

shape of the object is visible *per se* and depth computation depends on local binocular cues. These two types of stereoscopic processing, i.e., when it depends or not of visible contours, are classically known as local and global stereopsis (Julesz, 1972).

In the presence of strabismus, regardless of the magnitude of the deviation, a loss of binocular vision is usually noticed. However, microstrabismus is often associated with an adaptation of the visual system, known as anomalous retinal correspondence (Lang, 1988), to avoid diplopia and allow binocular fusion. In fact, a majority of subjects with microstrabismus seems able to discriminate some levels of depth from local stereopsis although they have much more difficulty in depth perception when they are evaluated using random dot stereograms. Using the Randot Stereotest[®], a standard clinical test to measure local and global stereoscopic capacities with polarized glasses, Pageau and coworkers (2011) have reported that almost 70% of subjects with microstrabismus can perceive local stereopsis (although their stereothresholds were about five times higher than normal) while only 3.8% of them are able to perceive global stereopsis. This observation, which is in accordance with previous studies (e.g., Garzia & Richman, 1985; Matsuo, Kawaishi, Kuroda, Ohtsuki, & Watanabe, 2003), suggests that global stereopsis may be particularly affected by the eye-deviated central scotoma (corresponding approximately to the angle of deviation) typically seen in microstrabismic subjects. Indeed adequate point-by-point correlation between the two eyes is mandatory to correctly perceive stereopsis in random dot stereograms (Laframboise, 2006). The microstrabismic central suppression may interfere with interocular correspondence and therefore stereoperception. It has been estimated in microstrabismic adult subjects that an

interocular correlation of at least 80% was necessary to discriminate global stereo depth (Garzia & Richman, 1985).

One intriguing question is why microstrabismic subjects are able of some form of local stereopsis when tested with standard tests. For example, the local task of the Randot Stereotest[®] involves depth discrimination of a circle relative to two others located on the frontal plane used as reference. This suggests that the brain succeeds, despite the area of central suppression, to establish sufficient binocular correspondence to perform local depth discrimination. Such a residual stereoscopic capacity may be due, at least in part, to stimulus contour. Indeed, stereoscopic matching, which consist to link elements of the left image to the corresponding elements of the right one, is a fundamental and mandatory step for depth perception. This process is dependent of a set of 'constraints' (e.g., gradient, contrast/brightness, segment geometry, uniqueness, etc.) that limit the ambiguity and false matches (Howard & Rogers, 1995). The continuity of contours, which is maximal in local stereoscopy, is one of the most important principles (Marr & Poggio, 1976). For instance, depth perception of random dot stereogram is faster when the disparate regions are delimited by the addition of a continuous line (Julesz, 1960).

To date, few studies have systematically compared local and global depth discrimination in the same microstrabismic subjects, and the available data come almost exclusively from the adult (Adler & Moses, 1975; Cooper & Feldman, 1978; Garzia & Richman, 1985; Harwerth & Fredenburg, 2003; Hill, Perry, & Wood, 1976; Reinecke & Simons, 1974). As such, one cannot assume that the pattern of stereoscopic performance aforementioned in adults is necessary the same in children. For instance, one could

hypothesize that local stereopsis capacities result from some kind of adaptation during development and are not necessarily present in young children. The goal of the present psychophysical study was twofold. First, similarly to the adult, we aimed to test the hypothesis that local depth discrimination is present in microstrabismic children at school age whereas global stereopsis is severely impaired. Second, given the potential adverse role of the central zone of suppression in stereoperception, we aimed to assess the performance of microstrabismic subjects when the size of the stimuli exceeded largely the area of suppression. Because this would inherently increase the interocular correlation, the prediction was a significant increase of global stereopsis performance.

General methods

Subjects. Nine children with microesotropia (mean age = 10 years \pm 2.6) and 9 children with normal acuity and stereopsis (mean age = 11.8 years \pm 2.6) participated in the study, which was approved by the research ethic committee of the Centre Hospitalier Universitaire Sainte-Justine (approval #2921). Microstrabismus diagnosis was based on the cover test, the presence of low to moderate monocular amblyopia (visual acuity of at least 20/60), a positive test result from the prism of Irvine (4Δ base-out test), a spontaneous sensory fusion using the Worth's dots and an altered stereopsis as measured by standard clinical tests. A thorough examination of refraction with cycloplegia (Cyclogyl 1%) was also performed to assess whether amblyopia was strabismic alone or in combination with anisometropia (anisohyperopia \geq 1 diopter and / or anisoastigmatism \geq 1.5 diopters). Details of the visual examination of subjects with microstrabismus are described in Table 1. For all subjects,

measurements of visual acuity were obtained from the Lea[®] symbols, Snellen scale or ETDRS scale and stereopsis from Randot Stereotest[®].

Stimuli. For each experiment described below, two stimulus sizes were used: 4° and 12° of diameter. These sizes were chosen to indirectly manipulate interocular correlation. For example, if a stimulus of 4° diameter is presented centrally to an observer with a right-eye microesotropia of 2° of visual deviation or more, half of the stimulus information (left side from the fixation point) will not be available to the deviated eye because of central suppression or scotoma. Note that this size of the scotoma might be even larger considering the possibility that, in some cases, suppression can cross the midline to the ipsilateral visual field (Hugonnier & Clayette-Hugonnier, 1981; Lang, 1981). As a consequence, the interocular correlation of dichoptic viewing in microstrabismus is 50% or less. On the other hand, the impact of suppression on binocular correspondence becomes negligible with a stimulus size of 12° diameter, that is, 97% of correlation. Here it was possible to estimate suppression and interocular correlation only in subjects with a microstrabismus with identity (6 out of 9) using their ocular misalignment as measured with the cover test. For 4° stimuli, interocular correlation for all subjects was minimal (i.e., 50%) except for subject #1 that had a very small deviation. Because his performance to the Randot Stereotest[®] did not differ from the others (Z-score, $p > 0.05$), this subject was kept in the sample. For 12° stimuli, the interocular correlation increases substantially from 83% to 99%, i.e., above the critical threshold of 80% reported by Garzia & Richman (1985).

Procedure. Each stimulus was presented for 1 second and the subject did not have limited time to respond. Stereothresholds were obtained using a 2-up-1-down staircase procedure in which the disparity of the target increased by 25% with each incorrect response and decreased by 12.5% after two consecutive correct responses (threshold criterion = 70.7%). The staircase was interrupted after eight inversions and thresholds were estimated from the last six inversions. Data were analyzed using a mixed analysis of variance (ANOVA) with Group and Stimulus size as factors. Dichoptic visual presentation was achieved using a Z800 dual pro head-mounted display (eMagin Corp., Bellevue, WA). It can be fitted over existing spectacles and the centre-to-centre distance between the left and right eye screens can be adjusted to match the interpupillary distance of each subject. The resolution of each monocular OLED (organic light emitting diodes) screen was 800 x 600 with a simultaneous refresh rate of 60 Hz in each eye. The head-mounted display was driven by a MAC Desktop with an NVIDIA graphs card (GeForce 9400M, Santa Clara, CA).

Experiment 1

Stimuli and Method. Dichoptic circles of 4° and 12° diameter with defined white contours over a gray background were presented to subjects. A small horizontal reference line in the center (0.15° x 0.4°) was used to determine the relative depth of the circles. Subjects were instructed to indicate whether the circle was above (crossed disparity) or behind (uncrossed disparity) the frontal plane. Local stereopsis thresholds were measured for each target size.

Results. ANOVAs revealed no main effect of stimulus size ($F(1, 16) = 0.54, p = 0.47$) and a

main effect of group ($F(1, 16) = 18.22, p = 0.001$). As such, regardless of the size of the stimuli, stereothresholds of the microstrabismic subjects were significantly ($p = 0.0002$) higher than those of the control group, namely 1826'' (SD: 1000, Range: 204-3762'') vs. 152'' (SD: 94, Range 33-376'') for the small stimuli and 2222'' (SD: 1872, Range = 220-5557'') vs. 224'' (SD: 189, Range: 48-688'') for the large stimuli ($p = 0.009$) (Figure 1A). No significant interaction between the two factors (Size x Group) was found ($p > 0.05$). Interestingly, no correlation was found between microstrabismic subjects' performances to this task and those measured with the Randot Stereotest[®] ($r_s = 0.103, p = 0.79$).

Discussion. This experiment involved a task in which stimulus presentation was relatively brief with a subtle reference cue relative to the frontal plane. This procedure was designed to minimize ceilings effects but, as a result, stereothresholds measured in both groups were higher than those reported in previous studies. As such, normal stereopsis discrimination threshold is usually found at 40 arc-seconds or better (Heron, Dholakia, Collins, & McLaughlan, 1985; Parks, 1969); this is about five times better than thresholds measured in the present experiment. Interestingly, even with such a difficult task, local stereopsis in most of our microstrabismic children was quite similar to the findings of Harwerth et al. (2003) obtained in adults. When respect to the clinical Randot Stereotest[®], however, the local stereo deficit of the microstrabismic children is drastically attenuated compared to controls (see also Pageau et al., 2011). In the Randot stereotest[®], there is no time limit to complete the task and the stimulus is surrounded by two adjacent circles of the same size that may facilitate determining the relative depth of the target (Noorden & Campos, 2002). Such characteristics,

contrarily to the psychophysical test used here, may favor biases such as monocular cues that overestimate stereoscopic ability or, even worse, give a false impression of quasi-normal local stereopsis in observers that are actually enable of efficient binocular disparity coding (Cooper and Warshowsky 1977; Heron, Dholakia et al. 1985; Hoffman, Girshick et al. 2008). The lack of correlation between the Randot Stereotest[®] and the present experiment supports this possibility.

Unexpectedly, the increase of the stimulus size, and therefore of the interocular correlation, did not improve performance in the microstrabismic group. One factor that may explain this result is that visual information available from the unsuppressed part of the stimulus was sufficient to perform the task in both size conditions. Alternatively, the increase of interocular correlation using large stimuli may had improved stereopsis but this effect was masked by the larger difficulty to perform the task due to the larger distance between the frontal plane reference (fixation point) and the stimuli contour. This hypothesis is supported by the fact that threshold for large stimuli tended to be higher also in the control group.

Experiment 2

Stimuli and Method. This experiment aimed at assessing depth discrimination by controlling for local/monocular cues. To this end, dichoptic circles of 4° and 12° diameter embedded in random dots stereogram were presented to subjects. As in Experiment 1, subjects were instructed to indicate whether the circle was above (crossed disparity) or behind (uncrossed disparity) the frontal plane. Stereopsis thresholds were obtained for each target size.

Results. Because 3 out of 9 microstrabismic subjects showed a complete absence of global stereopsis, a value of 6000 arc-seconds was arbitrary assigned to them for statistical analysis, which is twice of the highest disparity used in clinics. This imputation technique allows the inclusion of the stereoblind subjects without overestimating the differences between the two groups or losing power. ANOVAs revealed a main effect of Stimulus Size ($F(1, 16) = 4.518, p = 0.049$) and a strong effect of Group ($F(1, 16) = 15.554, p = 0.001$). A significant interaction was found between these two factors. No improvement in the global stereopsis threshold was observed in subjects in the control group when increasing the size of the target (86 vs. 80 second in average) while performance in microstrabismic subjects was about twice better with large targets (2798 vs. 1312 second in average) (Figure 1B).

Discussion. This experiment aimed at assessing global depth discrimination in two stimulus size conditions. No matter the size of the target, the performance of the control observers was comparable and similar to previous studies (Heron, et al., 1985; Yildirim, et al., 1998; Zaroff, Knutelska, & Frumkes, 2003). On the other hand, the very low ability of microstrabismic observers to discriminate global depth for small stimuli was significantly improved by presenting stereoscopic targets outside of their area of central suppression (threshold decrease of 47%), although their performance was still abnormal ($p < 0.05$). Note that because of the imputation technique we used (see above), it is possible that the actual gain by using large targets was even greater. Interestingly, many microstrabismic observers reported at the end of the task having seeing partial ring-like or doughnut-like during the experiment. In other

words, their shape perception of the circles was incomplete due to the central suppression but sufficient to have some depth discrimination ability. Indeed, although the area of central suppression has prevented the perception of the whole shape, this was not mandatory to perform the task and some depth discrimination was possible. To test the hypothesis that depth performance measured in Experiment 2 was not based on a truly global discrimination, a third experiment was conducted.

Experiment 3

Stimuli and Method. Stimuli of 4° and 12° diameter were embedded in random dots stereogram. Subjects were instructed to perform a global form discrimination task by indicating whether the stimulus in crossed-disparity depth was a circle or a square. Global stereopsis thresholds were measured for each stimulus size.

Results. As expected, performance of microstrabismic observers was about twice worse for this task in comparison to Experiment 2, regardless of the stimulus size (4492 vs. 2434 seconds in average) (Figure 1C). In fact it was impossible to measure any threshold for 4 out of the 9 tested observers with small targets and for 1 observer for both small and large stimulus size. As a consequence, the same imputation technique employed in Experiment 2 was used for statistical analysis. ANOVAs showed a significant main effect of Stimulus Size ($F(1, 16) = 24.947, p < 0.001$) and a significant main effect of Group ($F(1, 16) = 32.241, p < 0.001$). A significant interaction was found between these two factors. No difference between stimulus sizes was found in the control group (92 vs. 90 seconds in average). This

performance based on shape discrimination was actually almost identical than the one observed in Experiment 2. By contrast, a significant improvement was noticed in the microstrabismic group for large stimuli with a gain of more than 45% of stereoscopic sensitivity.

Discussion. This experiment aimed at assessing global shape depth discrimination. For both groups, threshold was slightly higher for this task compared to simple depth discrimination (Experiment 2). Stereoscopic sensitivity of control observers was identical between both stimulus size conditions. However, performance of microstrabismic observers was greatly improved when most of the stereoscopic target exceeded the central scotoma (12° stimulus size). Their stereoperception, however, remains abnormal.

General discussion

Stereopsis of the control group was about the same regardless of the type of target (local and global) or the size of target in all experiments. However, stereothresholds of microstrabismic subjects differed drastically according to the condition. In Experiment 1 (local stereopsis), the size of the target was not a critical factor to improve the performance while in Experiments 2 and 3 (global stereopsis) the thresholds were nearly two times better with large stimuli. In all experiments, for both local and global stereopsis, only coarse disparities could be measured in children with microstrabismus.

Thresholds using random dots stereogram were lower when the task involved a discrimination of depth (above vs. behind) instead of shape (circle vs. square). This effect, which is not surprising considering that the latter truly requires global processing, was significant in the microstrabismic subjects and negligible in the controls. This result is in agreement with the common clinical observation that microstrabismic patients are often able to correctly identify the stereograms of the Randot Stereotest[®] containing no disparity (2 out of 8) while they are totally unable to identify the shapes in relief in the other crossed-disparity stereograms (unpublished personal communication).

Our results suggest that the impairment of global stereopsis may be caused, at least in part, by the area of central suppression that affects the correlation between the two retinal images, thus reducing binocular correspondence processed by the brain. However, the fact that performance was still abnormal under viewing condition of maximal interocular correlation (94% in average) suggests that other disrupting processes were involved. Anomalous retinal correspondence (ARC), i.e., a shift of space coordinates of the deviated eye in which an extramacular element adopts the visual direction of the fovea of the fellow eye, was present in all of our microstrabismic subjects. While ARC allows retrieving binocular single vision, including stereopsis, such a sensory adaptation is clearly not as efficient as in normal observers (von Noorden & Burian, 1996). An important question for our purposes is whether or not the ARC in central and peripheral are the same. While early studies suggested that ARC involved a uniform shift throughout the retina (e.g., Kretschmar, 1955), the current consensus points to differences of correspondence between different parts of the

visual field of strabismic subjects. The debate regarding the magnitude of the ARC as a function of eccentricity is not new (Bredmeyer & Bullock, 1968; Jampolsky, 1956a; Parks, 1969; Wooler, 1969) and not yet resolved. While it has been more recently reported that microstrabismic subjects demonstrated normal retinal correspondence with peripheral binocular stimuli and anomalous retinal correspondence with central fusion stimuli (Harwerth & Fredenburg, 2003), other data suggest that correspondence tended to be closer to normal in the central field and more anomalous in the periphery with other types of strabismus (Sirereanu & Fronius, 1989). The abnormal performances of microstrabismic subjects observed in the present study under experimental condition that minimized the effect of central suppression on binocular perception suggest that correspondence is not normal at least up to 12° of eccentricity.

Références

- Adler, F. H., & Moses, R. A. (1975). *Adler's physiology of the eye : clinical application* (6th ed.). Saint Louis: C. V. Mosby Co.
- Baker, J. D., & Davies, G. T. (1979). Monofixational intermittent exotropia. *Arch Ophthalmol*, 97(1), 93-95.
- Bredmeyer, H., & Bullock, K. (1968). A case of co-existing normal and abnormal retinal correspondence. *Br Orthopt J*, 25, 94.
- Cooper, & Feldman. (1978). Random-dot stereogram performance by strabismic, amblyopic, and ocular-pathology patients in an operant-discrimination task. *American journal of optometry and physiological optics* 55(9), 599-609.
- Espinasse-Berrod, M.-A. (2004). *Strabologie : approches diagnostique et thérapeutique*. Paris: Elsevier.
- Evans, & Pickwell. (2002). *Pickwell's binocular vision anomalies : investigation and treatment* (4th ed.). Oxford ; Boston: Butterworth-Heinemann.
- Garzia, R. P., & Richman, J. E. (1985). Stereopsis in an amblyopic small angle esotrope. *J Am Optom Assoc*, 56(5), 400-404.
- Hahn, E., Cadera, W., & Orton, R. B. (1991). Factors associated with binocular single vision in microtropia/monofixation syndrome. *Can J Ophthalmol*, 26(1), 12-17.
- Harwerth, R. S., & Fredenburg, P. M. (2003). Binocular vision with primary microstrabismus. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 44(10), 4293-4306.
- Heron, G., Dholakia, S., Collins, D. E., & McLaughlan, H. (1985). Stereoscopic threshold in children and adults. *Am J Optom Physiol Opt*, 62(8), 505-515.
- Hill, Perry, & Wood. (1976). *Stereoacuity in microtropia*. New York: S. Moore J.Mein L.Stockbridge.
- Howard, I. P., & Rogers, B. J. (1995). *Binocular vision and stereopsis*. New York, NY Oxford: Oxford University Press ; Clarendon Press.
- Hugonnier, R., & Clayette-Hugonnier, S. (1981). *Strabismes, hétérophories, paralysies oculomotrices : les déséquilibres oculo-moteurs en clinique* (4e éd. entièrement refondue et mise à jour. ed.). Paris: Masson.
- Jampolsky, A. (1956). Differential diagnosis and management of small degree esotropia and convergent fixation disparity. *Am J Ophthalmol*, 41(5), 825-833.
- Julesz. (1960). Binocular depth perception of computer-generated patterns. *Bell Labs Technical Journal* 39, 1125-1162.
- Julesz. (1972). Cyclopean perception and neurophysiology. *Invest Ophthalmol*, 11(6), 540-548.
- Kretschmar, S. (1955). La fausse correspondance retinienne. *Doc Ophthalmol Proc Ser*, 9(1), 46-208.
- Laframboise, d. G., Faubert (2006). Effet of aging on stereoscopic interocular correlation. *Optometry Vision Science*, 8(August;83), 589-593.
- Lang. (1981). *Strabisme : diagnostic, formes cliniques, traitement*. Paris: Maloine.
- Lang. (1983). Microtropia. *Int Ophthalmol*, 6(1), 33-36.

- Lang. (1988). Anomalous retinal correspondence update. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 226(2), 137-140.
- Marr, D., & Poggio, T. (1976). Cooperative computation of stereo disparity. *Science*, 194(4262), 283-287.
- Matsuo, T., Kawaishi, Y., Kuroda, R., Ohtsuki, H., & Watanabe, Y. (2003). Long-term visual outcome in primary microtropia. *Jpn J Ophthalmol*, 47(5), 507-511.
- Noorden, V., & Campos. (2002). *Vision and ocular motility* (6th ed.): Mosby.
- Parks, M. M. (1969). The monofixation syndrome. *Trans Am Ophthalmol Soc*, 67, 609-657.
- Reinecke, R. D., & Simons, K. (1974). A new stereoscopic test for amblyopia screening. *Am J Ophthalmol*, 78(4), 714-721.
- Rowe, F. J. (2004). *Clinical orthoptics* (2nd ed.). Oxford ; Malden, MA: Blackwell Publ.
- Sirereanu, & Fronius. (1989). Different Patterns of Retinal Correspondence in the Central and Peripheral Visual Field of Strabismics. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, Vol. 30(No. 9), 2023-2033.
- von Noorden, G. K., & Burian, H. M. (1996). *Binocular vision and ocular motility : theory and management of strabismus* (5th ed.). St. Louis ; Toronto: Mosby.
- Wooler. (1969). Another case of co-existing abnormal retinal correspondence and normal retinal correspondence. *Br Orthopt J*, 26, 111.
- Yildirim, C., Altinsoy, H. I., & Yakut, E. (1998). Distance stereoacuity norms for the mentor B-VAT II-SG video acuity tester in young children and young adults. *J AAPOS*, 2(1), 26-32.
- Zaroff, C. M., Knutelska, M., & Frumkes, T. E. (2003). Variation in stereoacuity: normative description, fixation disparity, and the roles of aging and gender. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 44(2), 891-900.

Figures

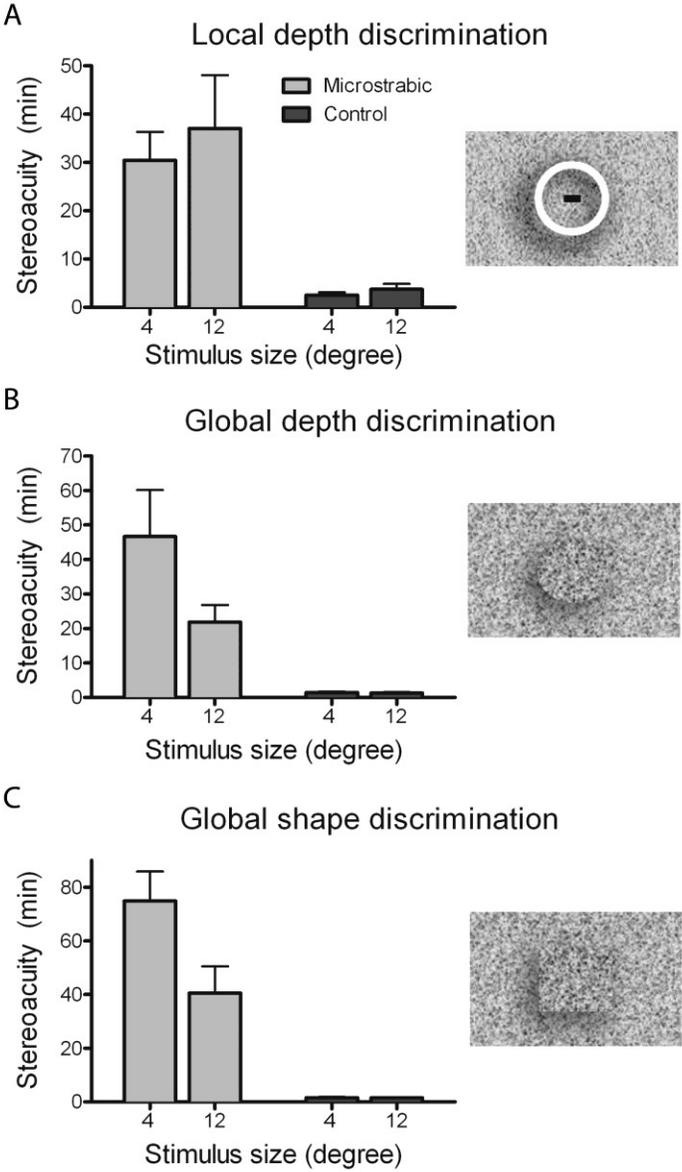


Table 1: Visual examination characteristics of the microstrabismic subjects

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Age	7	12	10	11	10	14	12	7	7
VA RE	20/25	20/20	20/40	20/15	20/20	20/20	20/20	20/25	20/40
VA LE	20/20	20/80	20/15	20/40	20/30	20/30	20/25	20/40	20/20
CT at near (diopter)	0	2 LET	4 RET	6 LET	10 LET	0	4LHT 4 LET	0	6 RET
Anisometropia	-	+	+	+	-	-	+	+	+
Rx RE	+5.50/ -300 x172	pl	+5.00/ -0.50 x165	+1.75/ -0.25 x180	+2.25	+5.00/ -3.00x010	+7.00/ -2.00x150	+1.75/ -0.25x180	+6.00/ -1.00x180
Rx LE	+5.00/ -2.25x180	+4.25/ -1.00x10	+2.75	+3.00/ -0.50 x180	+2.25	+5.00/ -3.00x010	+8.00/ -2.00x040	+2.75/ -0.25 x180	+4.00
Global stereopsis (arc sec)	>500	>500	>500	>500	>500	>500	>500	>500	>500
Local stereopsis (arc sec)	20 (10/10)	50 (6/10)	200 (3/10)	50 (6/10)	> 800	> 800	70 (5/10)	70 (5/10)	70 (5/10)
IC 4° (%)	NA	96	50	50	50	NA	50	NA	50
IC 12° (%)	NA	99	97	94	83	NA	97	NA	94

VA: Visual Acuity, RE: Right Eye, LE: Left Eye, CT: Cover Test, LET: Left Esotropia, RET: Right Esotropia, LHT: Left Hypertropia, Rx:

Optical Prescription, IC: Interocular correlation for two stimulus sizes (4 and 12°).

Anisometropia: hyperopia ≥ 1 diopter and/or astigmatism ≥ 1.5 diopter

Chapitre 5. Discussion

Dans l'article 1, nous avons trouvé que la stéréoaucuité des enfants microstrabiques au *Randot Stereotest*[®] est inférieure à celle retrouvée dans une population normale. Une vision stéréoscopique locale était mesurable chez 73 % des enfants examinés alors que 27 % d'entre eux étaient incapables de percevoir l'effet de profondeur même lorsque le stimulus avec la plus grande disparité (400 secondes d'arc) était présenté. Cinq enfants (19 %) présentaient un seuil normal de stéréopsie locale, soit inférieur à 40 secondes d'arc. À l'exception d'un sujet, aucun des enfants microstrabiques n'était en mesure de discriminer les formes en relief présentes dans les stéréogrammes à points aléatoires. Ce résultat est surprenant puisque 19/26 enfants avaient un seuil de stéréopsie locale largement inférieur à 500 secondes d'arc soit la disparité globale maximale du *Randot stereotest*[®]. Il existe donc une différence importante entre les performances de stéréopsie locale et globale des enfants microstrabiques.

Dans l'article 2, nous avons montré que la stéréoperception locale des sujets microstrabiques était près de 10 fois inférieure à celle des sujets normaux. L'augmentation de taille angulaire des stimuli stéréoscopiques (4 degrés vs 12 degrés) n'a eu aucun effet sur les seuils de tous les sujets, microstrabiques ou contrôles. La deuxième tâche impliquait la perception de profondeur en stéréopsie globale. Les seuils de stéréopsie des sujets atteints de microstrabisme étaient significativement plus élevés que les seuils des sujets normaux. Toutefois, la performance des sujets microstrabiques était deux fois meilleure lorsque la cible de 12° de diamètre était utilisée alors qu'aucun changement n'était noté sur les seuils moyens des sujets normaux. Dans la tâche de stéréopsie globale de discrimination de forme (carré vs cercle), les seuils moyens des sujets microstrabiques ont presque diminué de moitié lorsque la grandeur angulaire de la cible était supérieure à la zone de suppression centrale alors que les seuils des sujets normaux restaient les mêmes pour les deux grandeurs de cible. La zone de suppression semble donc jouer un rôle important dans les déficits de stéréopsie globale des enfants atteints de microstrabisme en diminuant la corrélation interoculaire. Cependant, les seuils locaux et globaux demeurent anormalement élevés, et ce peu importe la grandeur du

stimulus stéréoscopique. Cela implique donc que le scotome central n'est pas seul responsable des déficits majeurs de stéréopsie des sujets microstrabiques.

5.1 Comparaison avec les études antérieures

Certains auteurs ont étudié seulement les performances de stéréopsie locale des sujets microstrabiques. Les seuils obtenus à l'aide du *Titmus*[®] variaient de 20'' à 3000'' d'arc (Helveston & Von Noorden, 1967; Parks, 1969). Lang a évalué la stéréopsie locale (*Titmus*[®]) et globale (*TNO*) chez 45 sujets microstrabiques. Il observa que 42 sujets (93 %) présentaient une stéréoacuité locale supérieure à 400'' alors qu'aucune stéréopsie globale n'était mesurable chez 43 sujets (96 %) (Lang, 1988). Tomac et al ont observé que seulement 2 de leurs 20 sujets présentaient une stéréopsie au *TNO* de 120'' et 1980'' respectivement alors que 50 % de ceux-ci démontraient une stéréopsie locale grossière à l'aide du *Titmus*[®] (Tomac, et al., 2002). Cooper et Feldman ont évalué la stéréopsie globale de 6 sujets microstrabiques à l'aide de stéréogrammes à points aléatoires (RDS) de 660'' de disparité; aucun des sujets n'a réussi à percevoir la cible stéréoscopique (Cooper & Feldman, 1978).

Dans notre étude, les performances psychophysiques de stéréopsie locale sont largement inférieures à celles retrouvées dans la littérature pour les deux groupes de sujets. Ceci pourrait s'expliquer par le choix des stimuli complètement exempts d'indice monoculaire. En effet, il a déjà été mentionné qu'avec les tests habituellement utilisés en clinique, la forme en relief est adjacente et de même dimension que les formes de référence, si bien que même avec un seul œil, il est facile de percevoir le déplacement latéral d'une partie de l'image, particulièrement lorsque les disparités sont supérieures à 140 secondes d'arc (Fawcett & Birch, 2003). Pour notre étude, un petit tiret au centre des cercles de 4 et 12 degrés était l'unique point de référence pour établir la profondeur relative. De plus, le stimulus n'était présenté que pendant 1 seconde alors que cliniquement aucune contrainte de temps n'est imposée aux sujets lors de l'évaluation. Les seuils de stéréopsie locale sont environ 10 fois supérieurs à ceux attendus, et ce, autant pour les sujets microstrabiques que pour les contrôles. À notre connaissance, aucune étude publiée n'a mesuré les seuils de stéréopsie globale de sujets microstrabiques à

l'aide de tests psychophysiques. Il est donc impossible de comparer nos résultats de stéréopsie globale avec la littérature actuelle.

5.2 Quelles sont les causes possibles de l'amélioration des performances avec les stimuli de grande taille?

Il existe une différence importante entre les performances stéréoscopiques locales et globales chez les enfants microstrabiques. Ceux-ci semblent être en mesure de percevoir un certain effet de profondeur en stéréopsie locale alors que la stéréopsie globale est pratiquement inexistante. L'utilisation de cible stéréoscopique de 12 degrés de diamètre permet cependant d'améliorer considérablement les seuils des sujets microstrabiques en stéréopsie globale alors que cette manipulation n'a aucun effet sur la stéréopsie locale. Plusieurs hypothèses peuvent être émises afin d'expliquer ce résultat.

5.2.1 Scotome central

Le déficit de stéréopsie globale pourrait être, en partie, attribuable au scotome central de suppression présent chez les sujets microstrabiques. Lorsque des stimuli stéréoscopiques dont la taille est supérieure au scotome central sont utilisés, les sujets microstrabiques perçoivent davantage de points dans les stéréogrammes à points aléatoires ce qui leur permet de discerner plus facilement l'effet stéréoscopique (Garzia & Richman, 1985). En effet, lors des tâches psychophysiques de stéréopsie globale (article 2), certains sujets ont remarqué une forme de beigne (ou anneau) plutôt qu'un grand cercle puisque la portion centrale de la cible de 12 degrés n'était pas perçue en relief. En stéréopsie locale, cet effet pourrait être moins présent pour les petites cibles (4°) puisque la forme de la cible est visible monoculairement et qu'il y a suffisamment d'informations locales pour discriminer la profondeur relative. Seule une portion de l'image doit être vue en relief pour être en mesure d'établir sa profondeur. Pour les grandes cibles (12°), puisque la zone de suppression se situe complètement à l'intérieur du contour de cercle, celle-ci n'a aucun effet sur la capacité des sujets microstrabiques à percevoir la profondeur.

5.2.1.2 Correspondance rétinienne normale en périphérie

Déterminer l'état de la correspondance rétinienne en vision centrale, près de la fovéa, est une tâche relativement simple et fait partie d'un examen approfondi de la vision binoculaire. Cependant, l'évaluation de la correspondance rétinienne en périphérie est plus laborieuse et rarement effectuée. Certains auteurs affirment que la correspondance rétinienne des sujets microstrabiques pourrait être anormale en vision centrale, mais normale en vision périphérique (Jampolsky, 1956b; Parks, 1969; von Noorden & Burian, 1996). Cette correspondance rétinienne normale permettrait d'obtenir une fusion périphérique plus stable et ainsi améliorer l'acuité stéréoscopique des sujets microstrabiques lorsqu'une cible de plus grande dimension est utilisée.

5.2.1.3 Aire de Panum

L'aire de Panum pourrait également jouer un certain rôle dans l'amélioration de la stéréopsie en périphérie. En effet, il est généralement admis que ces zones de correspondance sont assez étroites en vision centrale, mais que celles-ci s'élargissent en périphérie (Ogle, 1950; von Noorden & Burian, 1996). L'agrandissement de l'aire de Panum pourrait favoriser une perception améliorée de la stéréopsie en diminuant la disparité entre les images rétiniennes des deux yeux. Certains auteurs sont aussi d'avis que la fusion périphérique serait facilitée par cet élargissement de l'aire de Panum et qu'il permettrait aux sujets microstrabiques d'obtenir une fusion plus stable en périphérie rétinienne (Jampolsky, 1956a; Parks, 1969). La stéréopsie serait donc améliorée grâce à cette fusion périphérique.

5.2.2 Pourquoi les seuils des sujets microstrabiques ne sont-ils pas normaux malgré l'utilisation de grands stimuli?

Malgré l'augmentation de la taille des cibles stéréoscopiques, les seuils de stéréopsie locale et globale des sujets microstrabiques n'atteignent pas les niveaux normaux. Plusieurs hypothèses peuvent être émises pour expliquer les performances stéréoscopiques des sujets microstrabiques.

5.2.2.1 Codage de la voie ventrale inadéquat

Comme mentionnées dans le chapitre 2, plusieurs aires corticales sont impliquées dans la perception de la profondeur. La voie dorsale semble être privilégiée dans les disparités grossières ainsi que dans l'orientation et la navigation dans notre environnement. La voie ventrale serait surtout favorisée en présence de fines disparités et serait le siège de la prise de conscience d'un objet tridimensionnel. En plus d'être une zone très importante pour la reconnaissance de la forme d'un objet, le cortex inféro-temporal (IT) serait indispensable à la résolution du problème de correspondance rétinienne, lequel est particulièrement important pour les stéréogrammes à points aléatoires (RDS)(Orban, 2008). L'utilisation de RDS anticorrélé a mis en évidence l'implication du cortex IT dans la résolution du problème de correspondance rétinienne. Ces stéréogrammes éliminent la corrélation entre les deux images puisque le contraste a été inversé (les points noirs deviennent blancs et vice-versa) dans une des deux images (Parker, 2007). Le codage de la disparité dans IT était aboli avec l'utilisation de ces stimuli ce qui indique que la construction de l'image globale en fonction de la corrélation entre les deux images s'effectuerait dans cette aire (Doi, et al., 2011; Orban, 2008; Parker, 2007). Le trajet neuronal via la voie ventrale et le cortex inféro-temporal pourrait donc être affecté chez les sujets microstrabiques ce qui expliquerait, d'une part, les performances plus basses en stéréopsie globale, comparativement à la stéréopsie locale et, d'autre part, la stéréoacuité grossière (*coarse stereopsis*) des sujets microstrabiques, peu importe le type.

5.2.2.2 Correspondance rétinienne anormale

L'état de la correspondance rétinienne en périphérie fait l'objet d'une certaine controverse. Plusieurs auteurs ont étudié la correspondance rétinienne à divers degrés d'excentricité chez des sujets strabiques afin d'établir une relation entre la correspondance rétinienne centrale et périphérique. Certains affirment qu'une correspondance rétinienne anormale (CRA) dans le champ visuel central indique qu'une CRA égale et uniforme est également présente sur l'ensemble de la rétine (*en-bloc shift*) (Kretzschmar, 1955). Toutefois, plusieurs études ont réfuté cette affirmation en démontrant que le patron de correspondance rétinienne anormale varie considérablement selon la position rétinienne, mais qu'elle demeure anormale

(Bredmeyer & Bullock, 1968; Sirereanu & Fronius, 1989; Wooler, 1969). La CRA périphérique serait toutefois moins perturbatrice pour la vision binoculaire puisque les champs récepteurs périphériques sont plus larges et se chevauchent davantage, ce qui permet d'améliorer la qualité de la vision binoculaire bien qu'elle demeure déficiente. La CRA périphérique pourrait donc expliquer les performances anormales des sujets microstrabiques malgré l'utilisation de cible de grand diamètre.

5.2.2.3 Strabisme

La perception stéréoscopique repose principalement sur la stimulation de points rétiniens horizontalement disparates à l'intérieur d'aires de Panum correspondantes. En présence d'une déviation oculaire, même de faible amplitude, une telle situation est impossible. Les adaptations sensorielles des sujets microstrabiques (suppression, CRA) permettent de retrouver un certain niveau de vision stéréoscopique sans toutefois atteindre une performance normale.

5.3 Perspectives

La suppression centrale présente chez les sujets microstrabiques diminue les performances stéréoscopiques de ces sujets. Cependant, le scotome de suppression ne semble pas être le seul responsable du déficit de stéréopsie locale et globale puisque les seuils mesurés ne sont pas normaux, peu importe le diamètre de la cible. Afin de tester l'hypothèse d'un codage neuronal inadéquat de la voie ventrale, il serait intéressant d'évaluer les réponses neuronales du cortex inféro-temporal à l'aide de potentiels évoqués visuels ou d'autres techniques de neuro-imagerie. En effet, en effectuant des mesures avec des stimuli locaux et globaux chez des sujets normaux et microstrabiques, nous pourrions avoir une meilleure compréhension du rôle de la voie ventrale dans la perception de la profondeur et par conséquent obtenir une indication concernant l'intégrité de celle-ci chez des sujets atteints de microstrabisme.

Conclusion

Cliniquement, la stéréopsie locale est présente chez les sujets microstrabiques, bien qu'inférieure à la normale, alors que la stéréopsie globale serait généralement absente. Cependant, lorsque des stéréogrammes à points aléatoires sont utilisés (stéréopsie globale), aucune perception de profondeur n'est possible. La zone de suppression pourrait être en partie responsable. En augmentant la taille angulaire des stimuli stéréoscopiques, l'implication de la zone de suppression est diminuée et la stéréoacuité globale des sujets microstrabiques est augmentée de façon importante. Malgré cette manipulation, les seuils de stéréopsie n'atteignent pas les niveaux normaux. Le codage neuronal dans la voie ventrale pourrait jouer un rôle puisqu'elle semble être impliquée dans la résolution du problème de correspondance rétinienne.

Bibliographie

- Adams, & Zeki. (2001). Functional organization of macaque V3 for stereoscopic depth. *J Neurophysiol*, 86(5), 2195-2203.
- Adler, F. H., & Moses, R. A. (1975). *Adler's physiology of the eye : clinical application* (6th ed.). Saint Louis: C. V. Mosby Co.
- Arnoldi, K. (2001). Monofixation with eso-, exo-, or hypertropia: is there a difference? *Am Orthopt J*, 51, 55-66.
- Baker, J. D., & Davies, G. T. (1979). Monofixational intermittent exotropia. *Arch Ophthalmol*, 97(1), 93-95.
- Bear, M. F., Connors, B. W., & Paradiso, M. A. (2002). *Neurosciences : à la découverte du cerveau* (2e éd. ed.). Paris: Éditions Pradel.
- Birch, E., & Petrig, B. (1996). FPL and VEP measures of fusion, stereopsis and stereoacuity in normal infants. *Vision Res*, 36(9), 1321-1327.
- Blakemore, C. (1970). The range and scope of binocular depth discrimination in man. *J Physiol*, 211(3), 599-622.
- Bredmeyer, H., & Bullock, K. (1968). A case of co-existing normal and abnormal retinal correspondence. *Br Orthopt J*, 25, 94.
- Cameron. (1982). The Effect of Fixation Disparity on the Size of Panum 's Fusional Area. *The Australian Journal of Optometry*, 65(1), 12-15.
- Carniglia, P. E., & Cooper, J. (1992). Vergence adaptation in esotropia. *Optom Vis Sci*, 69(4), 308-313.
- Choi, D. G., & Isenberg, S. J. (2001). Vertical strabismus in monofixation syndrome. *J AAPOS*, 5(1), 5-8.
- Clarke, W. N., & Noel, L. P. (1979). Amblyopia and the monofixation syndrome. *Can J Ophthalmol*, 14(4), 239-242.
- Clarke, W. N., & Noel, L. P. (1990). Stereoacuity testing in the monofixation syndrome. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus*, 27(3), 161-163.
- Cleary, M., Houston, C. A., McFadzean, R. M., & Dutton, G. N. (1998). Recovery in microtropia: implications for aetiology and neurophysiology. *Br J Ophthalmol*, 82(3), 225-231.
- Cooper, & Feldman. (1978). Random-dot stereogram performance by strabismic, amblyopic, and ocular-pathology patients in an operant-discrimination task. *American journal of optometry and physiological optics* 55(9), 599-609.
- Cotter, S. A., Edwards, A. R., Wallace, D. K., Beck, R. W., Arnold, R. W., Astle, W. F., et al. (2006). Treatment of anisometropic amblyopia in children with refractive correction. *Ophthalmology*, 113(6), 895-903.
- DeAngelis, G. C., Cumming, B. G., & Newsome, W. T. (1998). Cortical area MT and the perception of stereoscopic depth. *Nature*, 394(6694), 677-680.
- Dengler, B., & Kommerell, G. (1993). Stereoscopic cooperation between the fovea of one eye and the periphery of the other eye at large disparities. Implications for anomalous retinal correspondence in strabismus. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 231(4), 199-206.

- Doi, T., Tanabe, S., & Fujita, I. (2011). Matching and correlation computations in stereoscopic depth perception. *J Vis*, 11(3), 1.
- Donzis, P. B., Rappazzo, J. A., Burde, R. M., & Gordon, M. (1983). Effect of binocular variations of Snellen's visual acuity on Titmus stereoacuity. *Arch Ophthalmol*, 101(6), 930-932.
- Duckman, R. H. (2006). *Visual development, diagnosis, and treatment of the pediatric patient*: Lippincott Williams & Wilkins.
- Espinasse-Berrod, M.-A. (2004). *Strabologie : approches diagnostique et thérapeutique*. Paris: Elsevier.
- Evans, & Doshi. (2001). *Binocular vision and orthoptics : investigation and management*. Oxford ; Boston: Butterworth-Heinemann/Optician.
- Evans, & Pickwell. (2002). *Pickwell's binocular vision anomalies : investigation and treatment* (4th ed.). Oxford ; Boston: Butterworth-Heinemann.
- Fawcett, S. L., & Birch, E. E. (2003). Validity of the Titmus and Randot circles tasks in children with known binocular vision disorders. *J AAPOS*, 7(5), 333-338.
- Fender, & Julesz. (1967). Extension of Panum's fusional area in binocularly stabilized vision. *J Opt Soc Am*, 57(6), 819-830.
- Frantz, K. A., Cotter, S. A., & Wick, B. (1992). Re-evaluation of the four prism diopter base-out test. *Optom Vis Sci*, 69(10), 777-786.
- Freeman, R. D. (1999). Stereoscopic vision: Which parts of the brain are involved? *Curr Biol*, 9(16), R610-613.
- Garzia, R. P., & Richman, J. E. (1985). Stereopsis in an amblyopic small angle esotrope. *J Am Optom Assoc*, 56(5), 400-404.
- Gittoes-Davies. (1951). An Examination of the Aetiology and Treatment of small convergent deviations, associated with a low degree of hypermetropia with a new approach to the treatment of this condition. *The British Orthoptic Journal*, 8, 71.
- Goodwin, R. T., & Romano, P. E. (1985). Stereoacuity degradation by experimental and real monocular and binocular amblyopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 26(7), 917-923.
- Hahn, E., Cadera, W., & Orton, R. B. (1991). Factors associated with binocular single vision in microtropia/monofixation syndrome. *Can J Ophthalmol*, 26(1), 12-17.
- Hardman Lea, S. J., Snead, M. P., Loades, J., & Rubinstein, M. P. (1991). Microtropia versus bifoveal fixation in anisometropic amblyopia. *Eye (Lond)*, 5 (Pt 5), 576-584.
- Harris, J. M., & Parker, A. J. (1994). Constraints on human stereo dot matching. *Vision Res*, 34(20), 2761-2772.
- Harwerth, R. S., & Fredenburg, P. M. (2003). Binocular vision with primary microstrabismus. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 44(10), 4293-4306.
- Helveston, E. M., & Von Noorden, G. K. (1967). Microtropia. A newly defined entity. *Arch Ophthalmol*, 78(3), 272-281.
- Heron, G., Dholakia, S., Collins, D. E., & McLaughlan, H. (1985). Stereoscopic threshold in children and adults. *Am J Optom Physiol Opt*, 62(8), 505-515.
- Herzau, V. (1996). How useful is anomalous correspondence? *Eye (Lond)*, 10 (Pt 2), 266-269.

- Hill, Perry, & Wood. (1976). *Stereoacuity in microtropia*. New York: S. Moore J.Mein L.Stockbridge.
- Hill, M., Perry, J., & Wood, I. C. J. (1976). *Stereoacuity in microtropia*. New York: S. Moore J.Mein L.Stockbridge.
- Houston, C. A., Cleary, M., Dutton, G. N., & McFadzean, R. M. (1998). Clinical characteristics of microtropia--is microtropia a fixed phenomenon? *Br J Ophthalmol*, 82(3), 219-224.
- Howard, I. P., & Rogers, B. J. (1995). *Binocular vision and stereopsis*. New York, NY Oxford: Oxford University Press ; Clarendon Press.
- Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1962). Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex. *J Physiol*, 160, 106-154.
- Hugonnier, R., & Clayette-Hugonnier, S. (1981). *Strabismes, hétérophories, paralysies oculomotrices : les déséquilibres oculo-moteurs en clinique* (4e éd. entièrement refondue et mise à jour. ed.). Paris: Masson.
- Jampolsky, A. (1956a). Differential diagnosis and management of small degree esotropia and convergent fixation disparity. *Am J Ophthalmol*, 41(5), 825-833.
- Jampolsky, A. (1956b). Esotropia and convergent fixation disparity; of small degree: differential diagnosis and management. *Am J Ophthalmol*, 41(5), 825-833.
- Julesz. (1960). Binocular depth perception of computer-generated patterns. *Bell Labs Technical Journal* 39, 1125-1162.
- Julesz. (1963). Stereopsis and Binocular Rivalry of Contours. *J Opt Soc Am*, 53, 994-999.
- Julesz. (1972). Cyclopean perception and neurophysiology. *Invest Ophthalmol*, 11(6), 540-548.
- Julesz, Pappathomas, & Phillips. (2006). *Foundations of cyclopean perception*: MIT Press.
- Kretzschmar, S. (1955). La fausse correspondance retinienne. *Doc Ophthalmol Proc Ser*, 9(1), 46-208.
- Kulp, M. T., & Mitchell, G. L. (2005). Randot stereoacuity testing in young children. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus*, 42(6), 360-364.
- Laframboise, d. G., Faubert (2006). Effet of aging on stereoscopic interocular correlation. *Optometry Vision Science*, 8(August;83), 589-593.
- Lang. (1969). Microstrabismus. *Brit. orthopt. J.* , 26, 30.
- Lang. (1974). Management of microtropia. *Br J Ophthalmol*, 58(3), 281-292.
- Lang. (1981). *Strabisme : diagnostic, formes cliniques, traitement*. Paris: Maloine.
- Lang. (1983). Microtropia. *Int Ophthalmol*, 6(1), 33-36.
- Lang. (1988). Anomalous retinal correspondence update. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 226(2), 137-140.
- Long, J., & Siu, C. (2005). Randot stereoacuity does not accurately predict ability to perform two practical tests of depth perception at a near distance. *Optom Vis Sci*, 82(10), 912-915.
- Lyle, T. K., & Foley, J. (1955). Subnormal binocular vision with special reference to peripheral fusion. *Br J Ophthalmol*, 39(8), 474-487.
- Marr, D., & Poggio, T. (1976). Cooperative computation of stereo disparity. *Science*, 194(4262), 283-287.

- Matsuo, T., Kawaishi, Y., Kuroda, R., Ohtsuki, H., & Watanabe, Y. (2003). Long-term visual outcome in primary microtropia. *Jpn J Ophthalmol*, 47(5), 507-511.
- Mehdorn, E. (1989). Suppression scotomas in primary microstrabismus--a perimetric artefact. *Doc Ophthalmol*, 71(1), 1-18.
- Neri, P. (2005). A stereoscopic look at visual cortex. *J Neurophysiol*, 93(4), 1823-1826.
- Noorden, V., & Campos. (2002). *Vision and ocular motility* (6th ed.): Mosby.
- Ogle, K. N. (1950). *Researches in binocular vision*. Philadelphia,: Saunders.
- Orban, G. A. (2008). Higher order visual processing in macaque extrastriate cortex. *Physiol Rev*, 88(1), 59-89.
- Pageau, de Guise, D., & Saint-Amour. (2008). Comparaison de la stéréopsie locale et globale chez l'enfant microstrabique. . *Journée annuelle du réseau vision FRSQ*.
- Pageau, de Guise, D., & Saint-Amour. (2011). Stéréopsies locale et globale chez l'enfant microstrabique. *Canadian Journal of Ophthalmology*.
- Parker, A. J. (2007). Binocular depth perception and the cerebral cortex. *Nat Rev Neurosci*, 8(5), 379-391.
- Parks, M. M. (1969). The monofixation syndrome. *Trans Am Ophthalmol Soc*, 67, 609-657.
- Poggio, G. F., Gonzalez, F., & Krause, F. (1988). Stereoscopic mechanisms in monkey visual cortex: binocular correlation and disparity selectivity. *J Neurosci*, 8(12), 4531-4550.
- Poggio, G. F., & Poggio, T. (1984). The analysis of stereopsis. *Annu Rev Neurosci*, 7, 379-412.
- Pratt-Johnson, J. A., & Barlow, J. M. (1975). Stereoacuity and fusional amplitude in foveal suppression. *Can J Ophthalmol*, 10(1), 56-60.
- Ptito, A., Zatorre, R., Larson, W., & Tosoni, C. (1991). Stereopsis after unilateral anterior temporal lobectomy. Dissociation between local and global measures. *Brain*, 114(3), 1323-1333.
- Reinecke, R. D., & Simons, K. (1974). A new stereoscopic test for amblyopia screening. *Am J Ophthalmol*, 78(4), 714-721.
- Rose, D., & Price, E. (1995). Functional separation of global and local stereopsis investigated by cross-adaptation. *Neuropsychologia*, 33(3), 269-274.
- Rowe, F. J. (2004a). *Clinical orthoptics* (2nd ed.). Oxford ; Malden, MA: Blackwell Publ.
- Rowe, F. J. (2004b). *Clinical orthoptics* (2nd ed.). Oxford ; Malden, MA: Blackwell Publ.
- Scheiman, M., & Wick, B. (2008). *Clinical management of binocular vision : heterophoric, accommodative, and eye movement disorders* (3rd ed.). Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins.
- Simons, K. (1981). A comparison of the Frisby, Random-Dot E, TNO, and Randot circles stereotests in screening and office use. *Arch Ophthalmol*, 99(3), 446-452.
- Sireteanu, & Fronius. (1989). Different Patterns of Retinal Correspondence in the Central and Peripheral Visual Field of Strabismics. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, Vol. 30(No. 9), 2023-2033.
- Stidwill, D., & Fletcher, R. (2010). *Normal Binocular Vision: Theory, Investigation and Practical Aspects*: John Wiley & Sons.
- Tomac, S. (2005). The irvine prism test: does the positive response indicate suppression scotoma? *Int Ophthalmol*, 26(1-2), 67-72.

- Tomac, S., & Altay, Y. (2000). Near stereoacuity: development in preschool children; normative values and screening for binocular vision abnormalities; a study of 115 children. *Binocul Vis Strabismus Q*, 15(3), 221-228.
- Tomac, S., Sener, E. C., & Sanac, A. S. (2002). Clinical and sensorial characteristics of microtropia. *Jpn J Ophthalmol*, 46(1), 52-58.
- Uka, T., Tanabe, S., Watanabe, M., & Fujita, I. (2005). Neural correlates of fine depth discrimination in monkey inferior temporal cortex. *J Neurosci*, 25(46), 10796-10802.
- von Noorden, G. K., & Burian, H. M. (1996). *Binocular vision and ocular motility : theory and management of strabismus* (5th ed.). St. Louis ; Toronto: Mosby.
- Weakley. (2001). The association between nonstrabismic anisometropia, amblyopia, and subnormal binocularity. *Ophthalmology*, 108(1), 163-171.
- Westheimer, G. (2009). The third dimension in the primary visual cortex. *J Physiol*, 587(Pt 12), 2807-2816.
- Wilson, K. R., Pearson, P. M., Matheson, H. E., & Marotta, J. J. (2008). Temporal integration limits of stereovision in reaching and grasping. *Exp Brain Res*, 189(1), 91-98.
- Wong, B. P., Woods, R. L., & Peli, E. (2002). Stereoacuity at distance and near. *Optom Vis Sci*, 79(12), 771-778.
- Wooler. (1969). Another case of co-existing abnormal retinal correspondence and normal retinal correspondence. *Br Orthopt J*, 26, 111.
- Wright, K. W., & Spiegel, P. H. (2006). *Handbook of pediatric strabismus and amblyopia*. New York ; London: Springer.
- Yildirim, C., Altinsoy, H. I., & Yakut, E. (1998). Distance stereoacuity norms for the mentor B-VAT II-SG video acuity tester in young children and young adults. *J AAPOS*, 2(1), 26-32.
- Zaroff, C. M., Knutelska, M., & Frumkes, T. E. (2003). Variation in stereoacuity: normative description, fixation disparity, and the roles of aging and gender. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 44(2), 891-900.

