

Université de Montréal

**Mouvement biologique et entraînement perceptivo-cognitif chez les personnes
âgées**

par
Isabelle Legault

Département de psychologie
Faculté des arts et sciences

Thèse présentée à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de PhD
en psychologie
option sciences cognitives et neuropsychologie

Octobre, 2012

© Isabelle Legault, 2012

Résumé

Lorsque nous cherchons un ami dans une foule ou attendons un proche sur le quai d'une gare, l'identification de cette personne nous est souvent possible grâce à la reconnaissance de sa démarche. Plusieurs chercheurs se sont intéressés à la façon de se mouvoir de l'être humain en étudiant le mouvement biologique. Le mouvement biologique est la représentation, par un ensemble structuré de points lumineux animés, des gestes d'un individu en mouvement dans une situation particulière (marche, golf, tennis, etc.).

Une des caractéristiques du patron de mouvement biologique peu étudiée et néanmoins essentielle est sa taille. La plupart des études concernées utilisent des patrons de petite taille correspondant à une personne située à 16 mètres de l'observateur. Or les distances d'interaction sociale, chez l'humain, sont généralement inférieures à 16 mètres. D'autre part, les résultats des études portant sur la perception des patrons de mouvement biologique et le vieillissement demeurent contradictoires. Nous avons donc, dans un premier temps, évalué, dans une voûte d'immersion en réalité virtuelle, l'importance de la distance entre l'observateur et le patron de mouvement biologique, chez des adultes jeunes et des personnes âgées. Cette étude a démontré que l'évaluation de la direction de mouvement d'un patron devient difficile pour les personnes âgées lorsque le patron est situé à moins de 4 mètres, alors que les résultats des jeunes sont comparables pour toutes distances, à partir d'un mètre et au-delà. Cela indique que les gens âgés peinent à intégrer l'information occupant une portion étendue de leur champ visuel, ce qui peut s'avérer problématique dans des espaces où les distances d'interaction sont inférieures à 4 mètres.

Nombre de recherches indiquent aussi clairement que les gens âgés s'adaptent difficilement à des situations complexes. Nous avons donc cherché, dans un second temps, à minimiser ces altérations liées à l'âge de l'intégration des processus complexes, en utilisant une tâche adaptée à l'entraînement et à l'évaluation de l'intégration de ces processus : la poursuite multiple d'objets dans l'espace ou 3D-MOT (*3 Dimensions Multiple Object Tracking*). Le 3D-MOT consiste à suivre simultanément plusieurs objets d'intérêt en mouvement parmi des distracteurs également en mouvement. Nous avons évalué les habiletés de participants jeunes et âgés à une telle tâche dans un environnement virtuel en 3D en déterminant la vitesse maximale de déplacement des objets à laquelle la tâche pouvait être exécutée. Les résultats des participants âgés étaient initialement inférieurs à ceux des jeunes. Cependant, après plusieurs semaines d'entraînement, les personnes âgées ont obtenu des résultats comparables à ceux des sujets jeunes non entraînés.

Nous avons enfin évalué, pour ces mêmes participants, l'impact de cet entraînement sur la perception de patrons de mouvement biologique présentés à 4 et 16 mètres dans l'espace virtuel : les habiletés des personnes âgées entraînées obtenues à 4 mètres ont augmenté de façon significative pour atteindre le niveau de celles obtenues à 16 mètres. Ces résultats suggèrent que l'entraînement à certaines tâches peut réduire les déclin cognitivo-perceptifs liés à l'âge et possiblement aider les personnes âgées dans leurs déplacements quotidiens.

Mots-clés : *Mouvement biologique, 3D-MOT, vieillissement, CVU, distance, réalité virtuelle.*

Abstract

When searching for a friend in a crowd or waiting for a loved one at the train station, we often rely heavily on their gait to identify them. The movements of the human body have generated much research interest, and biological motion has been used to study these displacements. Biological motion is described by points at each joint and provides a representation of an individual during a particular action (walking, playing golf, tennis, etc.).

Size is one of the defining characteristics of biological motion patterns, and yet, has been overlooked. Most work has used small patterns, corresponding to a person moving at a distance of 16 m from the observer, but much of our social interactions occur at distances closer than this. Furthermore, our representations of the environment can change as we age, but studies assessing the effects of age on the perception of biological motion have yielded inconsistent results. Therefore, using a fully immersive virtual-reality environment, our first goal was to evaluate the impact of distance between observer and pattern, on biological motion perception in both young and older adults. Results indicate that identifying walking direction becomes difficult at distances closer than 4 m for older observers, whereas performance is maintained in younger participants at all distances further away than 1m. This suggests that older participants exhibit difficulty when information must be integrated across a large expanse of their visual field, which could impede them in any situation where interactions occur within a distance of 4m.

Much work has suggested further, that older participants adapt to complex environments with greater difficulty. The second goal was to minimize this age-related change to the integration of complex scenes, by using a task devised to both train and assess such integration processes: Multiple Object Tracking in 3-dimensional space, or 3D-MOT. 3D-MOT consists of tracking several moving objects of interest, among similarly moving distractors. In a 3-D virtual-reality environment, we measured the maximum speed at which the objects could travel, for younger and older observers to complete the task with no errors. Initial results indicated that older observers' performance was worse than that of younger observers. However, after several weeks of training, older observers' performance improved and became similar to that of untrained younger observers.

Finally, our third goal was to evaluate, for these 3D-MOT-trained older observers, the effect of training on biological motion perception at distances of 16 and 4m in virtual space. Findings indicate that performance at 4 m, for older observers who received 3D-MOT training, improved significantly to reach 16 m levels. This suggests that training of this type can reduce age-related perceptuo-cognitive deficits and can possibly aid the elderly in their daily travels.

Keywords : *Biological motion, 3D-MOT, aging, UFOV, distance, virtual reality.*

Table des matières

Résumé.....	ii
Abstract.....	v
Table des matières.....	vii
Liste des figures	ix
Liste des abréviations	x
Remerciements.....	xi
Chapitre 1 : Introduction.....	1
Mouvement Biologique, 3D-MOT et vieillissement	1
1.1 Mouvement biologique	1
1.2 Vieillessement	16
1.3 CVU et vieillissement	20
1.4 MOT.....	23
1.5 Présentation du projet.....	29
Chapitre 2 : Article 1	31
Healthy older observers cannot use biological motion point light information efficiently within 4 meters of themselves.	31
Chapitre 3 : Article 2	53
Healthy older observers benefit equally to young adults from perceptual-cognitive training for 3D multiple object-tracking.....	53
Chapitre 4 : Article 3	77
Perceptual-cognitive training improves biological motion.....	77
perception: evidence for transferability of training in healthy aging.....	77
Chapitre 5 : Discussion.....	96
Les patrons de mouvement biologique situés à moins de 4 mètres ne peuvent être intégrés efficacement par les personnes âgées	97

Les personnes âgées entraînées à la poursuite visuelle d'éléments en mouvement présentés en 3D obtiennent des performances semblables à celles des jeunes non entraînés.	104
L'entraînement à une tâche de 3D-MOT augmente les résultats à une mesure des habiletés de perception du mouvement biologique chez les personnes âgées: évidence de transfert	112
Chapitre 6 : Conclusion	120
Bibliographie	I

Liste des figures

Introduction

Figure 1 : Représentation schématique du mouvement biologique	2
Figure 2. Tâche de MOT en 5 phases	24

Article 1

Figure 1 : Younger and older adults tolerable noise quantity for upright and inverted (younger adults only) walking direction discrimination task.....	41
Figure 2 : Figure 2a, number of younger and 2b, number of older participants obtaining 75% correct answers for a walking direction discrimination task, in the no-noise upright and inverted conditions.....	42

Article 2

Figure 1 : MOT Illustration of the five critical phases.....	60
Figure 2 : Younger and older adults speed thresholds for three and four targets.....	62
Figure 3 : Younger and older adults speed thresholds on five consecutive weeks	65
Figure 4 : Normalized speed thresholds for younger and older adults.....	66

Article 3

Figure 1 : MOT Illustration of the five critical phases.....	85
Figure 2 : Older adults noise tolerance level at 4 and 16 meters distance.....	88

Liste des abréviations

3D : 3 dimensions

CAVE : Cave Automatic Virtual Environment

CVU : champ visuel utile

dav : degré d'angle visuel

dva : degree of visual angle

3D-MOT : 3D multiple object tracking

MOT : multiple object tracking

STS : sulcus temporal supérieur

SMT : stimulation magnétique transcrânienne

UFOV : useful field of view

Remerciements

La première personne que je veux remercier est mon directeur de recherche, Jocelyn Faubert sans qui ce projet n'aurait pas vu le jour. Jocelyn merci pour ton soutien, ton aide et ta disponibilité. Merci à tes sourcils qui sèment le doute mais qui, après tout, nous font avancer ;o)

Merci à mon amoureux, Jean-Claude, toi qui partages tous ces petits moments de ma vie. Merci d'être là, de me soutenir et de me faire rire dans les belles journées comme dans les journées plus sombres. Et merci infiniment pour tout ce temps que tu as consacré à la correction de ma «tathèse». Cette aide fut précieuse et inestimable.

Merci aux membres du laboratoire Faubert : grâce à l'énergie de chacun, il est agréable d'y être chaque jour. Je voudrais remercier plus particulièrement, Rémy Allard : pour ta collaboration, ta patience et ta grande disponibilité pour répondre à toutes mes questions... Et je sais qu'il y en a eu beaucoup. C'est aussi grâce à toi si j'ai pu embrasser la carrière de commis III. Merci à Claudine Habak : pour toutes ces conversations du quotidien, ta bonne humeur et ton écoute attentive. Merci infiniment pour ton aide.

Merci à ma famille, mes parents et mes sœurs. Maman, merci pour ton soutien moral et financier ; avoir la tête libre, ça aide à progresser.

Merci à mes amis, et plus particulièrement mes amies de longue date, Marie-Christine et Stéphanie qui m'encouragent depuis toutes ces années. Les filles, merci d'être dans ma vie !

À vous tous, en toute simplicité... MERCI

Chapitre 1 : Introduction

Mouvement Biologique, 3D-MOT et vieillissement

1.1 Mouvement biologique

Le repérage d'un individu dans une foule se fait, entre autres, grâce à l'identification de sa démarche. En effet, si la séquence des mouvements de marche est commune à tous les êtres humains, chaque individu a un schéma de locomotion qui lui est propre. Depuis plus d'une trentaine d'années, des chercheurs s'intéressent aux mouvements de l'être humain à travers l'étude du mouvement biologique. Selon certains d'entre eux, ce qui fait la particularité du mouvement biologique, outre le fait qu'il soit propre à chaque espèce animale, c'est qu'il suscite des réponses comportementales et neuronales différentes de celles suscitées par d'autres stimuli dynamiques, tels que des stimuli de mouvement aléatoire. Aussi nous aborderons, dans cette première partie, les principales caractéristiques du mouvement biologique.

Le mouvement du corps humain est une suite de changements posturaux obtenue par les mouvements coordonnés des membres, chaque membre ayant des schémas de mouvement qui lui sont propres. C'est ce phénomène que Johansson (1973) appelle « *mouvement biologique* ». Pour le mettre en évidence, il a, dans un premier temps, repéré la tête et les principales articulations du corps d'un sujet (épaules, coudes, hanches, genoux et chevilles) en y plaçant des points lumineux (Figure 1). Il a ensuite placé cet individu dans

l'obscurité et l'a filmé lors de l'exécution d'actions comme la marche ou la course. Johansson (1973) a alors défini le mouvement biologique comme étant le mouvement caractéristique de l'ensemble de ces sources lumineuses qui représente un être humain lors d'une action spécifique. Il est possible, à partir de l'enregistrement du mouvement de chacun de ces points, de créer un stimulus de mouvement biologique pour une action donnée (Cutting, 1978; Troje, 2002). Outre l'action (Dittrich, 1993; Jacobs & Shiffrar, 2005), les patrons de points peuvent révéler le sexe (Kozlowski & Cutting, 1977; Pollick, Kay, Heim, & Stringer, 2005; Troje, Sadr, Geyer, & Nakayama, 2006), l'identité (Jokisch, Daum, & Troje, 2006; Loula, Prasad, Harber, & Shiffrar, 2005; Troje et al., 2006; Troje, Westhoff, & Lavrov, 2005; Westhoff & Troje, 2007), voire la composante émotionnelle (Dittrich, Troscianko, Lea, & Morgan, 1996) de l'individu représenté.

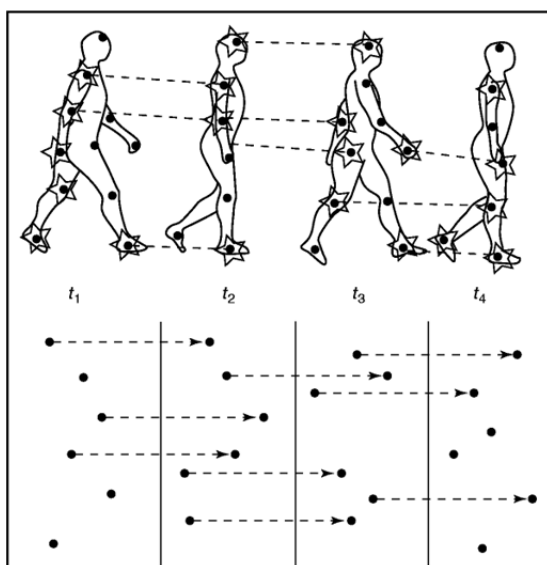


Figure 1 : Représentation schématique du mouvement biologique (Neri, Morrone, & Burr, 1998).

Pour reproduire le mouvement biologique de façon adéquate et contrôlée, deux méthodes peuvent être utilisées. La première, dont Johansson est à l'origine et qui a été reprise par d'autres chercheurs (Ahlstrom, Blake, & Ahlstrom, 1997; Johansson, 1973; Jokisch & Troje, 2003; Norman, Payton, Long, & Hawkes, 2004; Troje, 2002; Westhoff & Troje, 2007), consiste, dans un premier temps, à extraire le mouvement d'individus filmés lorsque ceux-ci exécutent diverses actions tels la marche, le saut ou encore la course, pour ensuite déterminer la trajectoire interindividuelle moyenne de chacun des points formant le patron de mouvement. La deuxième méthode consiste à créer un algorithme définissant la trajectoire de chacun des points. L'algorithme le plus utilisé à ce jour est celui de Cutting (1978). Malgré leurs différences, ces deux méthodes donnent des résultats comparables dans les diverses études dans lesquelles elles ont été utilisées.

Depuis Johansson (1973) à la fin des années soixante-dix, la recherche sur le mouvement biologique a été prolifique dans le domaine de la perception visuelle, et chaque année de nouvelles études voient le jour. L'intérêt pour cette sphère de recherche découle probablement du paradoxe qu'il y a entre la complexité du stimulus et la facilité avec laquelle l'être humain est capable d'identifier les caractéristiques de ce patron en mouvement, comme l'action exécutée ou le sexe de l'individu représenté. Ainsi, certains chercheurs se sont demandé s'il s'agissait là d'une faculté acquise ou innée. Pour répondre à cette question, ils ont étudié la perception du mouvement biologique chez de très jeunes enfants en utilisant la méthode du regard préférentiel (Freire, Lewis, Maurer, & Blake, 2006; Knoblich

& Gunther, 2006). Une image contenant un patron de mouvement biologique se déplaçant à gauche ou à droite et une seconde image contenant des points se déplaçant de façon aléatoire étaient présentées de façon simultanée à des enfants âgés de 3 mois, et le temps d'attention que l'enfant accordait à chacun des patrons était mesuré. Par cette méthode, les chercheurs ont déduit que dès l'âge de 3 mois l'enfant était capable de discriminer le mouvement aléatoire du mouvement biologique et qu'il avait une nette préférence pour ce dernier. Ces auteurs estiment donc que la perception du mouvement biologique est davantage de nature innée. D'autres auteurs (Grossman, Battelli, & Pascual-Leone, 2005; Grossman & Blake, 2002; Grossman et al., 2000; Grossman & Blake, 1999, 2001; Grossman, Blake, & Kim, 2004; Puce & Perrett, 2003; Saygin, Wilson, Hagler, Bates, & Sereno, 2004) suggèrent l'existence, au sein du système visuel, d'une structure spécialisée dans l'analyse du mouvement biologique, signifiant le caractère distinctif de ce stimulus. Pour connaître le siège neuroanatomique de ce processus, ces chercheurs ont eu recours à l'imagerie.

1.1.1 Mouvement biologique et cortex

Au cours des dernières années, plusieurs études utilisant les techniques d'imagerie fonctionnelle et de tomographie par émission de positrons ont cherché à isoler les structures cérébrales impliquées dans la perception du mouvement biologique (Bonda, Petrides, Ostry, & Evans, 1996; Grezes et al., 2001; Grossman & Blake, 2002; Grossman et al., 2000; Grossman & Blake, 2001; Grossman et al., 2004; Pelphrey et al., 2003; Puce & Perrett, 2003; Saygin et al., 2004). Pour ce faire, les activations corticales associées au stimulus de

mouvement biologique (patron debout) ont été comparées aux activations corticales associées au stimulus de mouvement biologique orienté la tête en bas (patron renversé) d'une part, et au stimulus de mouvement biologique modifié en disposant aléatoirement les points, d'autre part. Il a ainsi été découvert que la présentation d'un patron de points en mouvement, quel qu'en soit le type (modifié ou non) et l'orientation (debout ou renversée), active l'aire MT/V5 du cortex visuel. Lorsque la composante biologique (forme et mouvement du patron) était ajoutée, une activation était observée dans la région du sulcus temporal supérieur (STS). L'ensemble de ces études a montré que l'activation était importante dans cette région lorsqu'un patron de mouvement biologique était présenté, que son orientation soit debout ou renversée. En revanche, l'activation obtenue lors de la présentation d'un patron de mouvement aléatoire était faible, voire nulle (Giese & Poggio, 2003; Grossman et al., 2000; Grossman & Blake, 2001). Ces résultats illustrent la sensibilité de la région du STS au mouvement de type biologique et une dissociation face aux autres types de mouvement.

Une étude utilisant une technique d'investigation plus récente, la stimulation magnétique transcrânienne (SMT) arrive aux mêmes conclusions (Grossman et al., 2005). Cette méthode consiste, grâce à des impulsions magnétiques, à simuler une lésion cérébrale à l'endroit de la stimulation, en modifiant l'activité électrique naturelle du cerveau. La SMT permet ainsi de déterminer le rôle fonctionnel de la région soumise au champ magnétique par l'observation d'une modification dans les facultés de perception. Grossman et collaborateurs (2005) ont montré, en simulant une lésion dans la région du STS, que la

sensibilité au mouvement biologique diminuait de façon significative. De plus, leurs résultats ont démontré que la stimulation magnétique transcrânienne de l'aire MT – aire corticale habituellement essentielle à la perception du mouvement – n'affectait pas la faculté de discrimination du mouvement biologique, mais affectait la perception de patrons de mouvement aléatoire. De fait, ces résultats confirment l'importance de la région du STS dans le traitement de l'information relative à la perception du mouvement biologique.

Une des hypothèses proposées pour expliquer l'importance de la région du STS dans l'analyse du mouvement biologique est que celle-ci constitue un des points de convergence des voies ventrale et dorsale du système visuel (Baizer, Ungerleider, & Desimone, 1991; Oram & Perrett, 1994; Oram & Perrett, 1996). La voie ventrale ou voie du « *quoi ?* » participe à l'analyse de la forme, et la voie dorsale ou voie du « *où ?* » contribue à l'analyse du mouvement. La perception du mouvement biologique impliquerait la perception de la forme conjointement à celle du mouvement. Des études sur les primates ont mis en évidence que les voies ventrale et dorsale convergeaient vers l'aire poly-sensorielle située dans le lobe temporal supérieur (STPa) qui constitue la partie antérieure de la région du STS (Baizer et al., 1991; Oram & Perrett, 1994; Oram & Perrett, 1996). Plus précisément, Oram et Perrett (1994) ont démontré que deux tiers des cellules du STPa, identifiées comme étant sensibles au mouvement biologique correspondant à un humain qui marche, n'étaient pas activées lorsque seule l'information issue du mouvement était disponible (points du patron disposés aléatoirement). Cette absence de réponse des cellules du STPa à la présentation d'un patron

de mouvement biologique n'ayant pas une forme cohérente indique une sélectivité de ces cellules pour le tout que constituent la forme et le mouvement, et signifie que ces deux paramètres doivent nécessairement être présents simultanément pour évoquer une réponse. D'autre part, Oram et Perrett (1994; 1996) ont montré que les cellules du STPa ne s'activaient que lorsque l'ensemble du patron de points était présent : en l'absence de la structure complète (de la forme dans son entier), une réponse très faible était enregistrée. Ainsi, la perception du mouvement biologique serait le résultat d'une activation corticale spécifique qui requerrait une intégration globale de l'information issue du patron.

1.1.2 Caractéristiques du mouvement biologique

Le mouvement biologique est représenté, dans la vaste majorité des études, par un patron de points représentant un individu marchant sur place, comme s'il était sur un tapis roulant. Il est également possible de représenter différentes caractéristiques de l'individu exécutant le mouvement, comme son sexe ou son identité. L'orientation du patron de points peut aussi être modifiée (debout ou renversée), et un masque de bruit peut être ajouté au stimulus pour en complexifier la perception (Freire et al., 2006).

Le sexe et l'identité

Certaines études ont démontré qu'il était possible de déterminer le sexe de l'individu représenté par une série de points lumineux (Kozlowski & Cutting, 1977; Pollick et al., 2005; Troje et al., 2005). Selon ces études, la possibilité de reconnaître le sexe de l'individu

représenté par un patron de mouvement biologique serait attribuable aux différences de dynamique du mouvement entre les hommes et les femmes, c'est-à-dire aux différences de vitesse et d'amplitude des mouvements. La rotation des hanches et le mouvement des épaules contiendraient une grande partie de l'information nécessaire pour procéder à l'identification du sexe. En revanche, la forme du corps, par sa géométrie (patron statique), ne semble pas donner d'information suffisante pour permettre la discrimination de sexe. Autrement dit, il est impossible, en l'absence de mouvement, de déterminer le sexe de l'individu représenté par un patron de points.

Outre le sexe, il est possible de déterminer l'identité du marcheur. Une étude menée par Loula, Prasad, Harber et Shiffrat (2005) a démontré qu'un observateur pouvait discriminer le mouvement biologique lui correspondant de celui de ses amis et de celui de personnes lui étant étrangères. Les résultats ont révélé que les facultés de discrimination des participants, d'après la perception du mouvement biologique, étaient largement affectées lorsqu'ils devaient apprendre à reconnaître des étrangers comparativement à eux-mêmes ou à leurs amis. Il en résulte que l'identification d'un individu d'après son mouvement biologique dépend sans doute d'une combinaison d'un modèle interne inné et de l'expérience visuelle personnelle (acquise).

L'action

Le mouvement biologique peut représenter différentes actions. L'action la plus fréquemment utilisée dans les études est la marche, représentée par un marcheur se déplaçant sur un tapis roulant. Plusieurs autres actions peuvent être représentées par le patron de points, comme la course, le saut ou encore des actions un peu moins communes comme la boxe ou la danse. L'habileté des individus à identifier des actions varie en fonction de l'action représentée. Il est nettement plus facile, par exemple, d'identifier la marche que d'identifier la boxe, d'après un patron de mouvement biologique (Dittrich, 1993).

L'orientation

Créer une expérience-contrôle destinée à valider une expérience donnée nécessite un stimulus qui ressemble de près au stimulus cible. En ce qui concerne le mouvement biologique, l'expérience-contrôle la plus couramment utilisée est le patron de points renversé (Bertenthal & Pinto, 1994; Grossman et al., 2005; Pavlova & Sokolov, 2000, 2003; Pilz, Bennett, & Sekuler, 2010; Sumi, 1984; Troje, 2003; Troje & Westhoff, 2006). Ce patron correspond en tout point au patron de mouvement biologique, mais son orientation est basculée de 180 degrés : il est donc perçu comme un individu ayant la tête en bas et marchant au plafond. Puisqu'il est impossible d'observer une telle situation dans la réalité, ce patron est considéré comme étant non naturel, mais il a toutes les propriétés nécessaires pour faire un comparatif avec le patron de mouvement biologique debout (Troje, 2003; Troje

& Westhoff, 2006). La perception du mouvement biologique renversé apparaît plus complexe. Ainsi, la sensibilité associée à la perception du mouvement biologique du patron renversé est beaucoup plus basse que celle obtenue avec le patron debout (Pavlova & Sokolov, 2003; Troje, 2003; Troje & Westhoff, 2006). Les chercheurs ont ainsi déterminé que la perception du mouvement biologique relevait d'un processus spécifique à l'orientation du stimulus. Une deuxième expérience-contrôle utilisée dans les expériences de perception du mouvement biologique est le patron de points disposés de façon aléatoire (Chang & Troje, 2008; Grossman & Blake, 2001; Ikeda, Blake, & Watanabe, 2005; Troje & Westhoff, 2006). Il est constitué des points issus d'un patron de mouvement biologique (chacun des points conservant sa trajectoire propre) disposés aléatoirement dans l'image. Ce type de stimulus permet de créer une structure qui possède les propriétés de mouvement du patron de mouvement biologique sans en avoir la forme. Comparativement au patron de mouvement renversé, la complexité de perception du mouvement aléatoire est beaucoup plus grande : ce dernier ne possédant pas de structure globale, il devient difficile de percevoir l'ensemble des points le composant comme un seul et même objet, c'est-à-dire comme un tout cohérent. En revanche, il est possible de déterminer la direction de cet amas de points. Ces deux expériences-contrôles sont habituellement utilisées pour identifier les propriétés qui sont propres au mouvement biologique.

Le bruit

Dans plusieurs expériences psychophysiques, le bruit est utilisé pour évaluer le seuil de sensibilité lié à la perception d'un stimulus donné. Dans le cas du mouvement biologique, on peut mesurer un seuil de tolérance au bruit, c'est-à-dire l'habileté à percevoir le patron de mouvement lorsqu'il est masqué par des éléments de bruit. De plus, le bruit peut également être utilisé dans le but d'augmenter la difficulté de la tâche et faire émerger des différences qu'il pourrait y avoir entre deux groupes (Bertenthal & Pinto, 1994; Cutting, Moore, & Morrison, 1988; Freire et al., 2006; Ikeda et al., 2005; Pilz et al., 2010; Thornton, Pinto, & Shiffrar, 1998; Thornton, Rensink, & Shiffrar, 2002). Pour masquer le mouvement biologique, le bruit peut être, selon les études, créé de différentes façons (Cutting et al., 1988) ; ce bruit consiste en un ensemble de points identiques en taille, forme et couleur à ceux constituant le patron de mouvement biologique. Il est d'abord possible d'ajouter des points de bruit ayant un mouvement aléatoire (bruit aléatoire) par-dessus le patron de mouvement biologique ; mais habituellement, le mouvement biologique se détache facilement de ce type de bruit (Cutting et al., 1988; Thornton et al., 1998). Cette première méthode, malgré le fait qu'elle soit couramment utilisée, est donc considérée inefficace pour augmenter la difficulté de perception du mouvement biologique. Une autre méthode consiste à créer le bruit à partir de patrons de mouvement biologique : chacun des points de plusieurs de ces patrons est, pour cela, disposé aléatoirement sur le patron de mouvement biologique à brouiller. Chaque point de bruit correspond donc à un des points composant le patron ; la distinction entre les

points appartenant au marcheur et ceux appartenant au bruit devient alors plus difficile (Bertenthal & Pinto, 1994; Cutting et al., 1988; Thornton et al., 1998), et la difficulté augmente avec le nombre de points de bruit. C'est cette seconde méthode que nous avons utilisée dans nos expériences (Legault, Troje, & Faubert, 2012), et c'est donc à ce type de bruit que le terme de *bruit* fera désormais référence.

En l'absence de bruit, la discrimination de la direction de marche (droite ou gauche) d'un patron de mouvement biologique est une tâche facile à accomplir, au point que les réponses exactes avoisinent les 100%. Cela étant vrai pour la grande majorité des individus, il apparaît quasiment impossible, à l'aide d'une telle tâche, de faire la distinction entre deux populations ou deux groupes d'âge (Freire et al., 2006). En ajoutant du bruit à la scène visuelle, la perception du mouvement biologique devenant plus complexe, il est alors possible d'observer des différences, parfois subtiles, au niveau des seuils de sensibilité mesurés. De plus, l'ajout de bruit impose à l'individu de procéder de façon plus globale dans l'intégration du patron de points, car le bruit est fait de points issus du patron de mouvement biologique, ce qui élimine toute possibilité de se référer uniquement au mouvement local pour en extraire l'information nécessaire à la discrimination de la direction de marche du patron (Bertenthal & Pinto, 1994; Cutting et al., 1988).

1.1.3 Processus de perception du mouvement biologique

Différentes théories ont été proposées quant à la façon d'analyser et de comprendre le mouvement biologique. Dans l'ensemble de la littérature, il ne semble pas y avoir de

consensus sur la façon dont le système visuel humain procède ; il semblerait que les divers résultats obtenus dépendent pour une part importante du type de tâche utilisé lors de l'expérimentation.

Traitement ascendant ou descendant (« top down » ou « bottom up »)

Le processus dit « bottom up » est un traitement ascendant de l'information dans lequel l'information émane des sens. Il s'oppose au traitement descendant ou « top down » qui est guidé par les concepts ou les représentations, par les connaissances que nous avons acquises. Dans la littérature actuelle, les deux théories s'affrontent pour expliquer la nature de la perception du mouvement biologique. Certains considèrent que l'information permettant la reconnaissance du marcheur dans sa position normale serait traitée de façon automatique et spontanée : ce processus serait donc de type ascendant (Hoffman & Flinchbaugh, 1982; Thornton et al., 2002). De plus, puisque cette information peut être traitée dans un très court intervalle de temps et sans effort, ce processus est dit de bas niveau (Mather, Radford, & West, 1992). D'un autre côté, la difficulté à identifier le mouvement biologique lors de l'ajout de bruit impliquerait un traitement de type descendant, c'est-à-dire basé sur nos connaissances, et de haut niveau (Bulthoff, Bulthoff, & Sinha, 1998; Thornton et al., 2002). Ce processus requerrait, par ailleurs, un intervalle de temps plus long, ainsi qu'une attention plus soutenue qu'en l'absence de bruit. Il ne semble donc pas possible de conclure si le mouvement biologique suit systématiquement un

processus de type ascendant ou de type descendant, le genre de tâche utilisé ayant une incidence sur les conclusions envisagées. Il n'en demeure pas moins que plus la discrimination du patron de points est complexe, plus le traitement de l'information semble répondre à un processus descendant.

Intégration locale ou globale

Actuellement il n'y a pas, dans la littérature, de consensus clair concernant l'intégration du patron de points pour la perception du mouvement biologique : la plupart des auteurs proposent que l'intégration globale du patron est nécessaire (Beintema, Georg, & Lappe, 2006; Bertenthal & Pinto, 1994; Pinto & Shiffrar, 1999), les autres stipulent que seule l'intégration locale (intégration de l'information portée par quelques points) suffit (Mather et al., 1992). Les premiers assurent que l'intégration locale est non informative et non nécessaire. Pour eux, si la perception du mouvement biologique était basée sur l'intégration d'une information locale, comme la direction de l'angle formé par les points représentant la jambe, l'orientation du patron de points n'aurait aucun impact sur le jugement de direction : les habiletés de perception seraient équivalentes que l'orientation soit droite ou renversée. Or il a été clairement démontré que l'orientation d'un patron de points a une grande influence sur la détection du mouvement biologique (Bertenthal & Pinto, 1994; Pavlova & Sokolov, 2000; Sumi, 1984; Troje, 2003), la perception de patrons de points renversés étant nettement plus difficile que celle de patrons de points dont l'orientation est

droite. D'autre part, une tâche de détection de direction (gauche/droite) implique qu'il y ait deux points de vue différents du patron de points. Cette distinction est impossible lorsque l'on prend en compte seulement une partie du patron de points ; elle n'est possible qu'à un niveau de perception globale. Enfin, lorsque la seule composante locale est disponible, l'ajout de bruit (masque constitué d'un patron de points issus d'un patron de mouvement biologique et disposés aléatoirement) affecte le processus de détection du mouvement biologique, ce qui va également dans le sens de la théorie de l'intégration globale.

On peut aussi supposer que la proximité du patron de points ait une influence sur l'intégration du mouvement biologique. Ainsi, si l'hypothèse de l'intégration globale était valide, plus les patrons de points seraient projetés loin de l'observateur plus ils seraient faciles à intégrer, car ils seraient vus dans leur totalité en un seul regard. Les patrons situés à de plus courtes distances, eux, impliqueraient une somme d'intégrations locales puisqu'il serait impossible à l'observateur d'en avoir une vue d'ensemble sans avoir à les balayer du regard. D'après le modèle de l'intégration globale, l'information issue des patrons de mouvement biologique présentés à de courtes distances serait donc plus difficile à intégrer que celle issue des patrons présentés à de grandes distances. Bien que la distance semble un facteur important, aucune étude n'a évalué son incidence sur la perception du mouvement biologique.

1.2 Vieillesse

1.2.1 Vieillesse du système visuel

Lors du vieillissement normal de l'individu, c'est-à-dire même sans maladie sous-jacente, les fonctions visuelles perdent de leur efficacité (Spear, 1993). Certaines fonctions visuelles perceptives sont affectées (perception de certains types de mouvement, de la symétrie, par exemple) alors que les autres demeurent intactes (acuité visuelle, taille et forme du champ visuel, hyperacuité, par exemple) (Bennett, Sekuler, & Sekuler, 2007; Billino, Bremmer, & Gegenfurtner, 2008; Faubert, 2002; Lakshminarayanan, Aziz, & Enoch, 1992; Lakshminarayanan & Enoch, 1995; Lakshminarayanan, Raghuram, & Khanna, 2005; Legault, Allard, & Faubert, 2007). De façon générale, l'habileté des personnes âgées à effectuer certaines tâches se voit diminuée ; les personnes âgées deviennent moins sensibles que les jeunes adultes. Plusieurs auteurs ont démontré que lorsque la complexité d'une tâche augmente celle-ci requiert davantage d'intégration au niveau neuronal et que, du fait de l'altération du système nerveux central liée au vieillissement notamment, l'âge affecte l'exécution d'une telle tâche (Faubert, 2002; Habak & Faubert, 2000). En effet, lors de l'exécution de tâches complexes, de vastes réseaux de neurones sont sollicités ; avec l'âge, l'efficacité de ces réseaux est affectée et cela se traduit par une diminution des habiletés perceptives.

1.2.2 Mouvement biologique et vieillissement

De façon générale, les personnes âgées semblent moins sensibles au mouvement et moins habiles à en identifier la direction que les jeunes adultes (Bennett et al., 2007; Snowden & Kavanagh, 2006). Aussi, certaines tâches requérant la ségrégation de la figure et du fond, facilitée par le mouvement, paraissent plus difficiles à exécuter avec l'âge (Gilmore, Wenk, Naylor, & Stuve, 1992). À ce jour, en ce qui concerne la perception du mouvement biologique au cours du vieillissement, peu d'études sont disponibles, et les résultats obtenus sont contradictoires (Billino et al., 2008; Norman et al., 2004; Pilz et al., 2010). Norman et collaborateurs ont présenté des patrons de mouvement biologique à des participants jeunes et âgés qui devaient identifier chaque action représentée (marche, saut et course). Les auteurs ont observé que lorsque le temps de présentation des patrons de mouvement biologique était supérieur à 400 millisecondes, les participants des deux groupes étaient capables d'identifier les actions présentées avec la même facilité. En revanche, la différence entre les deux groupes s'accroissait avec la diminution du temps de présentation, les personnes âgées obtenant des résultats inférieurs à ceux des jeunes. Les auteurs ont ensuite présenté leurs stimuli derrière un masque fixe, de taille variable d'un essai à l'autre, de même couleur que le fond et cachant une partie du patron, avec un temps de présentation de 240 millisecondes. La perception du mouvement biologique était ainsi rendue plus complexe. Dans l'ensemble, leurs résultats indiquent que même sans masque, l'habileté des personnes âgées à identifier les actions présentées était inférieure à celle des jeunes. D'un

autre côté, les personnes âgées ont obtenu un schéma de résultats comparable à celui des jeunes, c'est-à-dire que plus le masque était grand, plus le taux de reconnaissance de l'action présentée diminuait. Malgré les différences significatives observées ici, les auteurs ont conclu que le vieillissement n'affectait pas la perception du mouvement biologique dans ce type de tâche. Pour eux, les personnes âgées ont les mêmes habiletés que les adultes jeunes à percevoir le mouvement biologique, même si elles ont besoin de plus de temps pour identifier les actions présentées. Deux autres études ont suivi celle de Norman et collaborateurs. La première a comparé la perception du mouvement biologique à celle de deux autres types de mouvement : le flux optique en expansion et le mouvement de translation (Billino et al., 2008). Cette étude révèle des différences importantes au niveau des facultés de perception des différents types de mouvement chez les sujets âgés. La perception du flux optique ne semble pas affectée par le vieillissement contrairement à la perception du mouvement de translation qui, elle, paraît sévèrement affectée ; la perception du mouvement biologique, quant à elle, est modérément altérée avec l'âge. Cette comparaison de la perception de différents types de mouvement est intéressante. Cependant, les auteurs ont choisi d'utiliser du bruit aléatoire pour assurer une continuité entre leurs différents stimuli. Or, il a été démontré précédemment que ce type de bruit s'avère inefficace pour masquer un patron de mouvement biologique et en accroître la difficulté de perception (Cutting et al., 1988). Il est donc fort probable que, dans cette étude, le faible déclin observé chez les personnes âgées pour la perception du mouvement biologique soit associé, entre

autres, à une combinaison du type de tâche utilisé et du type de bruit choisi. La seconde étude sur la perception du mouvement biologique et le vieillissement, suivant celle de Norman et collègues, a été récemment effectuée par Pilz et collaborateurs (2010). Leurs résultats ont révélé que les personnes âgées étaient capables de percevoir le patron de mouvement biologique, mais avaient plus de difficulté à en extraire l'information (identification du sens de la marche droite/gauche) lorsque celui-ci était présenté dans du bruit, appuyant ainsi les études indiquant que les habiletés à ségréger la figure du fond s'altèrent avec l'âge (Stanford & Pollack, 1984). De plus, ces auteurs ont noté que le fait de renverser un patron de mouvement biologique en affectait la perception, tant chez les jeunes que chez les personnes âgées ; cet effet du renversement du patron sur la perception du mouvement biologique étant toutefois plus marqué chez les personnes âgées.

1.2.3 La distance

Pour pouvoir apprécier la vitesse ou la direction d'un objet en mouvement, il est important d'en estimer préalablement la taille et la distance qui nous en sépare. À ce jour, aucune étude portant sur le mouvement biologique n'a abordé l'influence de la taille du patron présenté sur sa perception. La grande majorité des études utilise des patrons de mouvement d'une taille avoisinant les 6 degrés d'angle visuel, ce qui, dans la réalité, correspond à un individu d'un mètre quatre-vingt (1,80 m) distant de 16 mètres. Dans leur étude, Jokisch et Troje (2003) ont démontré que lorsque les proportions d'une scène étaient réalistes, il était possible de se servir du patron de mouvement biologique pour estimer la

taille des objets l'environnant. Mais cela ne renseigne en rien sur la façon et la facilité dont peuvent être perçus des patrons de mouvement biologique situés à des distances inférieures à 16 mètres, c'est-à-dire correspondant de façon plus réaliste à des distances d'interaction avec des objets ou d'autres individus.

La taille apparente d'un objet (nombre de degrés d'angle visuel qu'il sous-tend) varie avec sa distance à l'observateur : un objet paraît d'autant plus grand à celui qui l'observe qu'il en est proche. Cela n'est pas sans incidence sur la capacité de notre système visuel à intégrer des stimuli de taille apparente différente (comme des stimuli de même taille, mais situés à des distances différentes). Lorsque les patrons de points se trouvent à courte distance, l'information présentée occupe une plus grande partie du champ visuel, et la scène visuelle s'en trouve davantage encombrée. Or, il a été montré que les personnes âgées ont de la difficulté à intégrer l'information disponible dans une grande partie de leur champ visuel, surtout si la scène visuelle est encombrée (Sekuler, Bennett, & Mamelak, 2000). En nous basant sur ces résultats, nous pouvons présumer que les personnes âgées risquent d'avoir des difficultés à percevoir le mouvement biologique lorsque les patrons de points seront présentés à courte distance puisque la portion de champ visuel stimulé sera grande.

1.3 CVU et vieillissement

Introduit pour la première fois par Karleen Ball en 1988, le concept de « champ visuel utile » (*usefull field of view* ou UFOV dans le texte original) désigne la portion du champ

visuel dont l'individu peut extraire l'information en une seule fixation, sans bouger les yeux (Ball, Beard, Roenker, Miller, & Griggs, 1988). Avec l'âge, nous observons une décroissance de la taille du CVU, même si l'acuité visuelle est conservée (Ball et al., 1988; Fiorentino, 2008; Sekuler et al., 2000). Le CVU est la zone de détection, de localisation et d'identification des éléments présents dans notre environnement. Ses dimensions varient en fonction du nombre d'éléments présents : plus la scène est encombrée, plus l'intégration de l'information disponible devient difficile (Sekuler et al., 2000). Lorsqu'un individu doit effectuer une tâche de discrimination dans son champ visuel central tout en localisant une cible parmi des distracteurs dans son champ visuel périphérique, la complexité même de la tâche réduit significativement la taille de son CVU. Cette diminution est d'autant plus marquée que le sujet est âgé (Sekuler et al., 2000).

La réduction du CVU se définit comme la diminution de l'efficacité à extraire l'information d'une scène encombrée plutôt que comme la réduction de la taille du champ visuel en soi (Sekuler et al., 2000). Autrement dit, les adultes jeunes et les personnes âgées ont des champs visuels de taille équivalente, mais la capacité à en extraire l'information s'altère au cours du vieillissement.

1.3.1 Entraînement pour le développement du CVU

Il est possible d'entraîner des adultes jeunes et âgés dans le but d'augmenter leurs capacités à intégrer l'information contenue dans leur champ visuel, c'est-à-dire pour

accroître leur CVU. Richards et collaborateurs ont démontré qu'après quelques séances d'entraînement à l'exécution d'une tâche d'attention divisée utilisant des cibles statiques dispersées dans leur champ visuel, les jeunes et les personnes âgées voyaient leurs capacités à accomplir cette tâche augmenter de façon significative (Richards, Bennett, & Sekuler, 2006). Suite à cet entraînement, le coût associé à l'attention divisée (exécution simultanée d'une tâche en périphérie et d'une tâche dans le champ visuel central) avait complètement disparu, tant pour les personnes âgées que pour les jeunes. Par ailleurs, nous savons que l'entraînement physique est bénéfique pour la préservation des fonctions cognitives des personnes âgées (Lemaire & Bherer, 2005) ; l'entraînement perceptif donne également des résultats positifs à ce niveau-là. Des études ont montré que les personnes âgées impliquées dans un programme d'entraînement cognitif (vitesse de traitement de l'information, identification de cibles, etc.) obtenaient un net accroissement de leur CVU, et que cela avait un impact positif sur leurs habiletés dans leur quotidien, comme en situation de conduite automobile, par exemple (Ball et al., 2002; Ball et al., 1998; Ball & Sekuler, 1986; Ball et al., 1988; Edwards et al., 2009; Edwards et al., 2006).

La plupart des études précédentes concernant l'entraînement cognitivo-perceptif et le vieillissement observe de plus faibles performances chez les personnes âgées que chez les jeunes adultes, en utilisant des stimuli statiques. Mais comme nous vivons dans un monde sans cesse en mouvement, il serait davantage intéressant d'observer l'impact d'un entraînement visuel dynamique sur les facultés perceptives des personnes âgées. La

poursuite multiple d'objets dans l'espace appelée 3D-MOT (*3D Multiple Object Tracking*) est une tâche qui se prête parfaitement à l'entraînement et à l'évaluation des habiletés perceptivo-cognitives. Il a été préalablement démontré que de jeunes athlètes entraînés au 3D-MOT voyaient augmenter de façon considérable leurs habiletés à l'exécution de cette tâche (Faubert & Sidebottom, 2012). Il serait donc intéressant de voir si un tel entraînement serait aussi bénéfique chez les personnes âgées.

1.4 MOT

La tâche de poursuite multiple d'objets ou MOT (pour *Multiple Object Tracking*) (Pylyshyn & Storm, 1988) consiste à suivre simultanément plusieurs objets en mouvement parmi des distracteurs également en mouvement (Figure 2). Le MOT requiert des processus endogènes contrôlés consistant à sélectionner certains objets (cibles) et à ignorer les autres (distracteurs). C'est une composante de l'attention et de la capacité à gérer plusieurs objets à la fois qui est sollicitée pour l'exécution de nombreuses tâches quotidiennes. Cette capacité de l'observateur peut être évaluée par la mesure du nombre d'éléments suivis sans erreur (Pylyshyn, 1989).

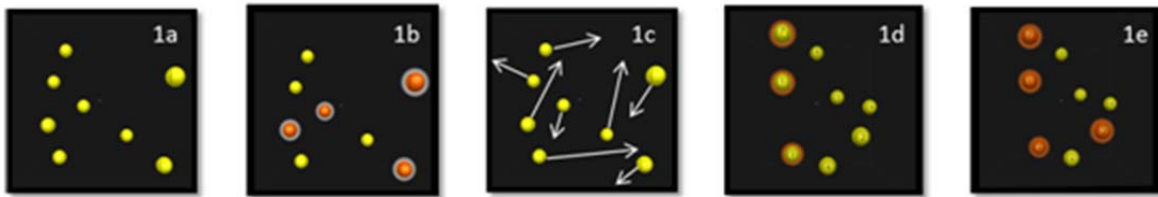


Figure 2. Tâche de MOT en 5 phases : a) Présentation des sphères positionnées de façon aléatoire dans l'espace, b) Indication des sphères-cibles à l'observateur (changement de couleur), c) Retrait des indices d'identification et mise en mouvement des sphères, d) Arrêt du mouvement et identification des sphères-cibles par l'observateur, e) La bonne réponse peut être fournie à l'observateur (indication des sphères-cibles par changement de couleur).

Le premier chercheur à s'être intéressé au MOT est Pylyshyn, en 1988. Il a élaboré le modèle FINST (pour *INSTantiation FINger*, faisant référence à l'assignation d'indexés aux objets à suivre), qui répond à un mécanisme primitif de bas niveau, pour expliquer comment notre système visuel pouvait suivre plusieurs objets à la fois. Le système visuel posséderait 4 à 5 «pointeurs» ou indexés, chacun s'associant de façon automatique à un objet à suivre. Ces indexés seraient indépendants les uns des autres, ce qui permettrait aux individus de suivre plusieurs objets à la fois. Selon ce modèle, le nombre d'objets qu'il est possible de suivre est limité par le nombre d'indexés du système visuel de chacun (soit un maximum de 4 à 5). Par la suite, Yantis a proposé une théorie différente pour expliquer comment le système visuel effectuait la poursuite multiple d'objets (Yantis, 1992). Selon lui, lorsque l'on suit plusieurs objets en même temps, notre système visuel forme un polygone virtuel ou représentation

perceptuelle de haut niveau. La poursuite serait basée sur l'habileté à maintenir le groupement perceptuel pendant le déplacement des objets. Évidemment, ce processus demande un effort soutenu d'attention pour être efficace. Le dernier modèle proposé, et de plus en plus accepté, est celui de Cavanagh et Alvarez (Cavanagh & Alvarez, 2005) ; il est basé sur le principe d'attention multifocale. Les sujets, pour effectuer la tâche de poursuite, ne bougent pas les yeux et ne fixent aucun des objets à suivre. Notre système visuel posséderait plusieurs « *foyers attentionnels* », un pour chaque cible. Il existe encore bien d'autres modèles dans la littérature (voir la revue de littérature de Cavanagh et Alvarez (2005)). Cependant, il importe peu de choisir un modèle plutôt qu'un autre, car cela n'a aucune incidence dans la mise en évidence d'altérations du système visuel liées à l'âge.

1.4.1 MOT et vieillissement

La majorité des études relatant l'effet du vieillissement sur les habiletés à effectuer une tâche de poursuite multiple d'objets en mouvement démontre que les personnes âgées obtiennent des résultats inférieurs à ceux des jeunes adultes (Kennedy, Tripathy, & Barrett, 2009; Sekuler, McLaughlin, & Yotsumoto, 2008; Trick, Perl, & Sethi, 2005). Sekuler et collaborateurs (2008) ont utilisé le MOT chez les personnes âgées, démontrant une augmentation du degré de difficulté à effectuer la tâche lorsque la vitesse de déplacement des cibles est grande et lorsque le temps de poursuite de ces cibles est long. Selon les auteurs, le déficit associé au vieillissement serait lié à la capacité limitée des aînés à

poursuivre les objets se déplaçant rapidement ou sur une longue période de temps. Dans l'étude proposée par Kennedy, Tripathy et Barrett (2009), les participants devaient suivre des trajectoires, identifier la direction et la déviation de la trajectoire des cibles. Cette étude a démontré que les habiletés de poursuite diminuaient de façon constante dès l'âge de 30 ans, à raison de 16 % par décennie. Ces altérations ne semblent pas concerner des processus de bas niveau puisque les fonctions visuelles des participants âgés, comme l'acuité visuelle et la stéréoscopie, étaient comparables à celles des participants jeunes. De plus, il a clairement été démontré que la résolution temporelle et l'identification de la direction de mouvements simples (processus de bas niveau), bien qu'elles soient intimement liées à l'habileté de poursuite d'objets, ne sont pas affectées de façon manifeste au cours du vieillissement (Andersen & Ni, 2008; Bennett et al., 2007). Les altérations observées seraient donc dues à des processus de haut niveau. Faubert (2002) propose que lorsque le traitement de l'information est plus complexe les effets du vieillissement sur les processus de haut niveau sont plus marqués. Tous les éléments du système nerveux sont affectés lors du vieillissement. Cependant, si les mécanismes neuronaux requis pour l'exécution de tâches simples s'altèrent avec l'âge, cela demeure imperceptible, car le système nerveux est en mesure de compenser ces altérations en sollicitant des réseaux neuronaux alternatifs (Faubert, 2002). Maintenant, lors de l'exécution de tâches complexes, de vastes réseaux de neurones sont sollicités ; au cours du vieillissement, la compensation de l'ensemble des

déficits affectant ces réseaux n'est alors plus possible, et cela se traduit par une diminution des habiletés perceptives (Habak & Faubert, 2000).

Trick et ses collègues ont étudié l'impact du vieillissement sur l'exécution de tâches de MOT en fonction du nombre de cibles qu'un individu peut suivre ; leurs participants avaient 3 ou 4 objets à suivre (Trick et al., 2005). Les études précédentes suggéraient que les adultes jeunes pouvaient suivre en moyenne 4 à 5 objets simultanément, comme le propose le modèle FINST exposé plus haut (Alvarez & Franconeri, 2007; Pylyshyn, 1989; Pylyshyn & Storm, 1988). Trick et collaborateurs ont observé que les personnes âgées pouvaient suivre un maximum de 3 cibles alors que les jeunes pouvaient en suivre 4. Selon eux, la différence entre les groupes est liée à la faible capacité des personnes âgées à mémoriser à court terme la position des cibles jusqu'à ce qu'elles doivent la rapporter à l'expérimentateur (Trick et al., 2005). Dans cette étude, la vitesse de déplacement des cibles était constante. La vitesse étant un facteur important dans la poursuite multiple d'objets en mouvement (Sekuler et al., 2008), les participants âgés auraient sans doute pu, comme les sujets jeunes, suivre jusqu'à 4 cibles si leur vitesse avait été réduite. Il est aussi possible de donner le même nombre de cibles à suivre à tous les participants et de déterminer la vitesse maximale à laquelle chacun est capable d'exécuter la tâche de MOT, comme cela a été fait avec de jeunes athlètes (Faubert & Sidebottom, 2012).

1.4.2 Entraînement au MOT

Certaines études ont montré qu'il était plus adéquat d'évaluer les habiletés au MOT en déterminant la vitesse maximale à laquelle il est possible de suivre un nombre d'objets fixe qu'en déterminant le nombre maximal d'objets se déplaçant à vitesse constante qu'il est possible de suivre. Les jeunes adultes peuvent suivre 4 objets assez facilement, mais la mesure du nombre maximal d'objets suivis ne permet pas d'évaluer les différences interindividuelles. Faubert et collaborateurs (Faubert & Sidebottom, 2012; Tijnjust, Allard, & Faubert, 2008), en utilisant des seuils de vitesse, ont montré qu'il était possible d'obtenir des résultats individuels plus précis que le nombre maximal d'objets suivis. Pour la présentation de la tâche aux participants, les cibles étaient présentées à une vitesse lente et constante. Chaque réponse exacte entraînait l'augmentation de la vitesse de déplacement des objets, et chaque erreur, sa diminution. La vitesse de déplacement des objets était lente au premier essai de sorte que tous les participants pouvaient les suivre ; elle augmentait progressivement avec les réponses exactes, jusqu'à atteindre une limite lorsque les réponses exactes et les erreurs se succédaient tour à tour. Ainsi, après plusieurs essais, la vitesse maximale à laquelle la poursuite pouvait être effectuée était déterminée. Une deuxième particularité de l'étude de Faubert et collaborateurs a été l'utilisation du 3D-MOT (Faubert & Sidebottom, 2012; Tijnjust et al., 2008). Contrairement à toutes les tâches précédemment effectuées, les stimuli étaient projetés dans un environnement virtuel en trois dimensions, ce qui a eu pour effet de rendre la tâche plus réaliste et donc de la faciliter (Faubert & Sidebottom, 2012; Tijnjust et al., 2008).

Faubert et Sidebottom ont montré, avec le 3D-MOT, qu'il était possible d'entraîner des athlètes de haut niveau par apprentissage perceptivo-cognitif. Ces athlètes ont été entraînés au 3D-MOT sur 15 ou 30 sessions réparties sur un ou deux mois. Il en est résulté une augmentation de leurs performances, mesurées par la vitesse maximale de déplacement des balles lors de la poursuite. De plus, cet entraînement semble avoir eu un effet positif sur leurs performances sportives, leurs entraîneurs ayant observé un jeu plus rapide et plus efficace des joueurs entraînés. S'il est possible d'améliorer les performances de jeunes athlètes à l'exécution d'une tâche perceptivo-cognitive, il doit en être de même avec des personnes âgées. D'autre part, comme l'entraînement au 3D-MOT semble avoir eu un impact positif sur les performances sportives des athlètes testés, il serait intéressant d'évaluer l'impact d'un tel entraînement chez des sujets âgés sur leurs facilités à exécuter d'autres tâches impliquant l'intégration du CVU, comme le mouvement biologique.

1.5 Présentation du projet

Le premier article traite de l'importance de la distance sur la perception du mouvement biologique chez les jeunes et les personnes âgées. Les patrons de mouvement biologiques ont été présentés à différentes distances dans l'espace virtuel. Ils occupaient donc des portions du champ visuel de tailles différentes. Il s'agissait ici de montrer que lorsque les cibles sont situées à courte distance (donc qu'une large partie du champ visuel est sollicitée), il devient difficile pour les personnes âgées de les percevoir et d'en intégrer

l'information, et davantage encore lorsque du bruit est ajouté à la scène visuelle. Aussi, cet article a évalué l'importance de la distance sur l'orientation de patrons de points (droite ou renversée) chez des personnes jeunes et âgées. On a observé un déclin, plus prononcé chez les gens âgés que chez les jeunes adultes, de la tolérance au bruit pour les patrons renversés. En revanche, la distance ne semble pas avoir eu d'incidence sur les habiletés de perception de ces mêmes patrons.

Le deuxième article cherche à montrer qu'il est possible d'augmenter les performances d'adultes jeunes et âgés après cinq semaines d'entraînement perceptivo-cognitif au 3D-MOT. Les habiletés des jeunes et des personnes âgées à suivre 3 et 4 cibles en mouvement ont été mesurées par des seuils de vitesse. Comme les jeunes adultes, les personnes âgées ont pu suivre 4 balles en mouvement, mais à plus faible vitesse.

Le mouvement biologique présenté à courte distance sollicitant un large champ visuel, et l'efficacité de perception du champ visuel utile pouvant être entraînée par une tâche de 3D-MOT, le troisième article illustre l'incidence de l'entraînement perceptivo-cognitif sur les habiletés des personnes âgées à percevoir le mouvement biologique avec des patrons présentés à différentes distances. Cet entraînement a eu un impact positif sur les habiletés des personnes âgées à percevoir des patrons de mouvement biologique situés à courte distance.

Chapitre 2 : Article 1

Healthy older observers cannot use biological motion point light information efficiently within 4 meters of themselves.

Isabelle Legault, Nikolaus F. Troje, Jocelyn Faubert (2012), *iPerception*, 3 (2) 104-111

Abstract

Healthy aging is associated with a number of perceptual changes, but measures of biological motion perception have yielded conflicting results. Biological motion provides information about a walker, from gender and identity, to speed, direction, and distance. In our natural environment, as someone approaches us (closer distances), this walker spans larger areas of our field of view, the extent of which can be under-utilized with age. Yet, the effect of age on biological motion perception in such real-world scenarios remains unknown. We assessed the effect of age on discriminating walking direction in upright and inverted biological motion patterns, positioned at various distances in virtual space. Findings indicate that discrimination is worse at closer distances, an effect exacerbated by age. Older adults' performance decreases at a distance as far away as 4 m, whereas younger adults maintain their performance as close as 1 m (worse at 0.5 m). This suggests that older observers are limited in their capacity to integrate information over larger areas of the visual field, and supports the notion that age-related effects are more apparent when larger neural networks are required to process simultaneous information. This has further implications for social contexts where information from biological motion is critical.

Keywords: aging, biological motion perception, crowd dynamic, navigation, collision avoidance

1. Introduction

Normal aging is accompanied by various age-related declines, including sensitivity to motion. For example, older adults exhibit deficits in perceiving translational motion (Billino et al., 2008) and coherent motion (Gilmore et al., 1992; Trick & Silverman, 1991); in detecting motion direction (Ball & Sekuler, 1986; Bennett et al., 2007), in speed discrimination (Norman, Ross, Hawkes, & Long, 2003), in perception of 3-D structure from motion (Andersen & Atchley, 1995), and in second-order motion perception (Habak & Faubert, 2000). However, little is known of how aging affects biological motion perception, and studies thus far report conflicting results (Billino et al., 2008; Norman et al., 2004; Pilz et al., 2010). Biological motion refers to a movement pattern characteristic to humans and animals (Johansson, 1973). Stimuli are constructed solely from points of light placed on the major joints of the body, and yet human observers can spontaneously recognize complex actions from these animations. Furthermore, observers can extract various characteristics from these point-light walkers, such as actions (Dittrich, 1993), gender (Jokisch et al., 2006; Pollick et al., 2005; Troje, 2002; Troje et al., 2006), identity (Jokisch et al., 2006; Troje et al., 2005; Westhoff & Troje, 2007) and emotion (Dittrich et al., 1996).

During our daily activities, different properties of motion must be integrated to provide us with a complete picture of our environment. When navigating through a city or walking through crowds, it is necessary to build a representation of our environment and to

anticipate the distance and motion direction of objects and people in order to avoid collision. In these cases, an important characteristic is the ability to integrate environmental information across our visual field. The visual field area over which observers can extract information while dividing attention is defined by the useful field of view (UFOV). Research has shown that the UFOV is smaller in older adults compared to younger adults (Fiorentino, 2008; Sekuler et al., 2000), and that this reduction of the visual field is associated with natural tasks such as driving vehicles. Furthermore, the UFOV appears recoverable by training (Edwards et al., 2009). Most studies of biological motion perception use patterns subtending approximately 6 degrees of visual angle (dva), which corresponds to an average-sized person located at 16 meters from the observer in real life (Bertenthal & Pinto, 1994; Billino et al., 2008; Jokisch et al., 2006; Norman et al., 2004; Troje & Westhoff, 2006). In real-world scenarios, we are confronted with walkers at all distances. Biological motion located closer to the observer has the same amount of information but is distributed over a larger spatial extent, and therefore over a larger retinal area. Consequently, the performance of younger and older adults should differ, in that older adults would be worse when the same information must be integrated over a larger area, as suggested by previous studies on visual perception and aging (Edwards et al., 2009; Faubert, 2002; Fiorentino, 2008; Sekuler et al., 2000).

It follows from these arguments to expect an age-related decline in biological motion perception at closer distances. The main purpose of the present study was to assess whether performance differs when biological motion patterns are located at different distances (in virtual space) that correspond to large differences in retinal image size, and whether these differences interact with the normal aging process.

We use a task in which younger and older adults are required to indicate the direction that point-light walkers face when shown in profile view and masked by additional moving noise dots.

2 Method

2.1 Participants

Ten younger (mean age 29 ± 4.94 , range, 20–34 years old) and ten older observers (mean age 67.8 ± 3.71 years, range, 64–74 years old) naïve to the purpose of the experiment participated in this study. All subjects had a corrected visual acuity of 20/20 with normal stereoacuity as measured by the Frisby test. Testing was binocular. For the older participants, a pair of 1 diopter lenses was added to their usual refractive correction to compensate for accommodation at the testing distance of 1 meter. Younger adults were mostly optometry students and reported that they had their most recent eye exam within the last year. Older participants underwent a complete optometric exam at the University optometry clinic less than 6 months before testing. The complete eye exam included refraction, visual fields,

tonometry and retinal exam under pupil dilatation. No ocular pathology was found and all had normal visual fields. Furthermore, older observers completed the Mini-Mental State Exam (Folstein, Folstein, & McHugh, 1975), a screening measure for cognitive impairment and dementia. All subjects' scores were within the normal range (range, 26–30/30; subject mean was 29.6/30) (Crum, Anthony, Bassett, & Folstein, 1993). Therefore, they were all considered cognitively healthy.

2.2 Hardware & Stimuli

2.2.1 Apparatus

Biological motion perception was assessed using a CAVE system, that is, a fully immersive virtual environment (Greffou, Bertone, Hanssens, & Faubert, 2008; Piponnier, Hanssens, & Faubert, 2009). It consists of a 8 x 8 x 8 feet room that includes three canvas projection walls (one frontal and two lateral) and an epoxy floor, all of which serve as surfaces for image projection. Four high-resolution projectors are synchronized and the image is updated in real time to maintain the true viewing perspective of the observer (no false parallax). The CAVE is equipped with a magnetic motion tracker system (Flock-of-Birds, Ascension Technology Corporation) capable of measuring head position and therefore correcting for the individual's viewing perspective in real-time. The CAVE was controlled by an SGI ONYX 3200 computer (two Infinite Reality 2 graphics cards) generating a stereoscopic

environment. Stereoscopic vision was made possible by the use of stereographics' LCD stereo shutter glasses (Crystal Eyes; StereoGraphics) operating at 96Hz.

2.2.2 Stimuli

Stimuli consisted of two components, a walker and a noise mask. The point-light walkers were dynamic representations of a walking human form and were made up of 15 black dots, which represented the head, shoulders, hips, elbows, wrists, knees and ankles on a white background. Each dot had a diameter of 0.1 m in virtual 3D space: for this dot size to be maintained in 3D space, 2D size varies inherently. The height of the walker was 1.80 m and was displayed at a virtual distance from the observer of 0.5, 1, 2, 4, and 16 m, subtending therefore 122, 84, 48, 25 and 6.4 degrees of visual angle (dva), respectively. For each trial, the walker's position was randomly jittered within the noise display area (see next paragraph) by 30 cm to the left or right of central presentation. Walkers were presented walking leftward or rightward. Furthermore, depending on the condition walkers were either upright or inverted. The walker stimulus was constructed using the average motion capture data of 50 male and 50 female walkers. For a full explanation of the generation and representation of the stimuli, see Troje (2008). Each gait cycle duration was 1 second and contained 30 frames. The interstimulus interval was 500 ms.

The walker was masked by noise dots, the number of which varied from trial to trial. The mask consisted of a scrambled walker that was generated by scrambling the initial spatial position of each dot; as such, the motion of individual noise dots resembled that of individual dots in the intact walker. This made for noise that was appropriate to the stimulus, as walker and noise mask could be separated only by integrating the walker's biological motion and not by differences in individual dot elements. The size and appearance of all dots (noise and walker) was identical. We created a virtual box surrounding the stimulus, within which the noise was contained. Each box volume was 3.70 m^3 ($x = 2.10 \text{ m}$, $y = 2.20 \text{ m}$ and $z = 0.80 \text{ m}$). These dimensions are in virtual space and therefore all appropriate cues changed with experimental distance conditions (i.e. size, binocular disparity and perspective cues).

2.3 Procedure

First, participants were familiarized with the virtual environment and the stimulus. They were then asked to wear the stereoscopic goggles, which allowed them to perceive the 3D characteristics of the environment. Each participant sat 1.20 m from the CAVE's central wall with eye height at 1.60 m from the ground. They were asked to look straight ahead. A practice block was then presented with 20 trials where the participant had to identify the direction of the unmasked walker. Two blocks of each orientation (upright and inverted) were completed before starting the experiment.

The number of noise dots was varied from trial to trial to obtain noise thresholds: how much noise can participants tolerate in order to discriminate the walking direction. Noise thresholds were evaluated using a 2 up 1 down staircase procedure (Levitt, 1971) that is, after two consecutive correct responses, the dependent variable (number of noise dots) was increased by 10% and decreased by the same proportion after each incorrect response, resulting in a threshold criterion of 70.7%. The staircase was interrupted after ten inversions and thresholds were estimated by the mean number of noise dots at the last six inversions. As in the practice trial, each observer's task consisted of identifying the walker's direction (right or left) by pressing the left or right key on a joystick. Conditions were presented in random order.

3 Results

Our results for younger adults revealed that performance varied with distance for the upright condition but not for the inverted one, as indicated by a significant interaction between distance (0.5, 1, 2, 4, 16 m) and condition (Upright or Inverted; $F [4,45] = 3.450$, $p=0.015$) and a weak main effect of distance ($F [4, 45] = 2.582$, $p=0.05$). The effect of distance in the upright condition was driven entirely by the half-meter condition (all p s < 0.05 for 0.5 m compared to each of the other distances, and all p s > 0.8 for the longer distances compared to each other). As per the significant interaction of distance and condition mentioned above, younger observers' performance was better for upright than for inverted

walkers at all distances except 0.5m. Older observers also exhibited this inversion effect at 16 m ($F [1,3] = 8.055, p=0.023$). We could not run any statistics at closer distances (2 and 4) for the elderly, because thresholds could not be reached in the inverted condition where performance was too poor. We did obtain, however, thresholds in the upright condition, maintaining the trend that performance is better for upright than for inverted walkers. When comparing older and younger groups, older adults generally tolerated less noise than younger adults at all distances (see Figure 1), and only 2 older observers could perform the task at distances closer than 2 m, and none at 0.5 m and 1 m. Confidence intervals (95%) for tolerable noise quantity in younger observers was 32-121 noise dots at 2 m, the two older observers who could complete the task fell outside this range (5 and 25 noise dots). As such, we compared older and younger adults who could reach criterion levels of tolerable noise quantity in the upright condition at distances of 4 and 16 m only (most older participants could complete the task in this range). We obtained a significant main effect of age ($F [1,18] = 61.30, p < 0.001$), where noise interferes more with older adults than younger adults.

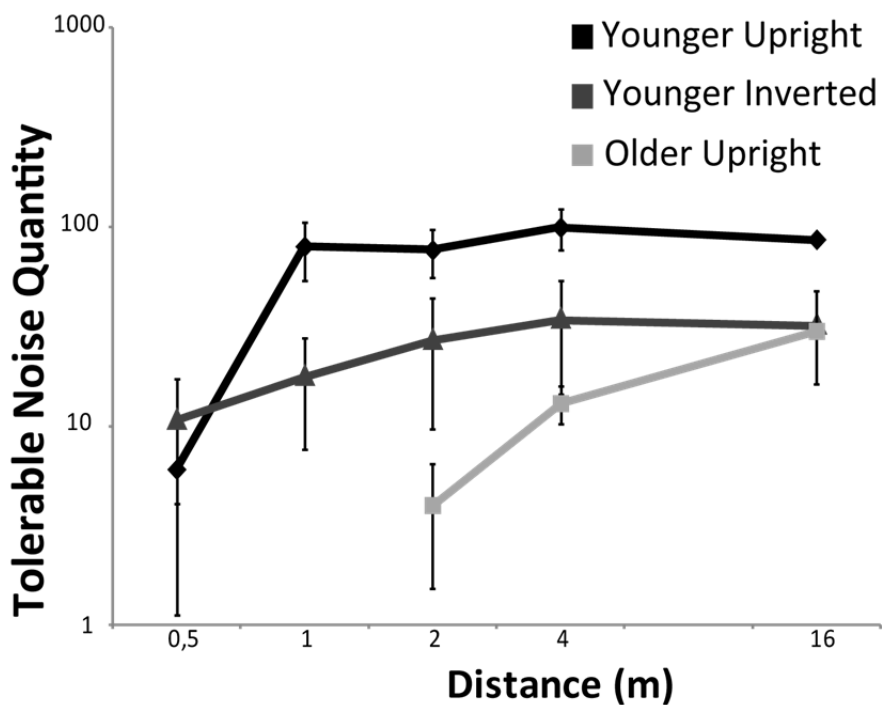


Figure 1: Younger and older adults tolerable noise quantity for upright and inverted (younger adults only) walking direction discrimination task.

Certain conditions were extremely difficult with noise: few or no older participants could complete the task with noise at the closer distances (0.5, 1, and 2 m), and many younger adults could not complete the inverted condition or the 0.5 m upright condition with noise. For this reason, we calculated the percentage of participants who obtained a 75% correct performance level when no noise was added to the image (Figure 2). Figure 2a shows that fewer younger participants obtained this minimum performance level for the closer distances (0.5, 1 and 2 m) than for the further ones (4 and 6 m). Figure 2b shows that the number of older participants who reached performance criterion, decreased with closer

distances. For the upright condition, the majority of older adults could not reach criterion performance for distances closer than 4 meters. For the inverted condition, we obtained a pattern similar to that of younger adults, where the number of observers reaching performance criterion increases with distance.

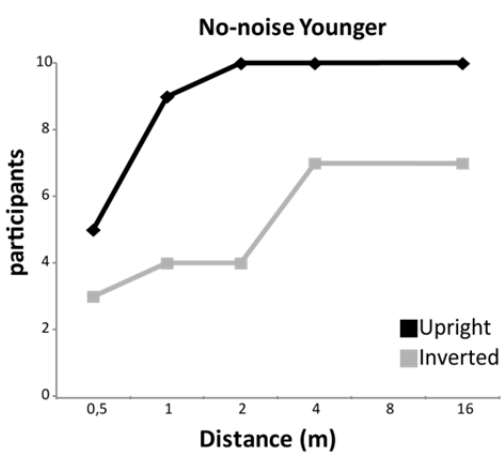


Figure 2 a

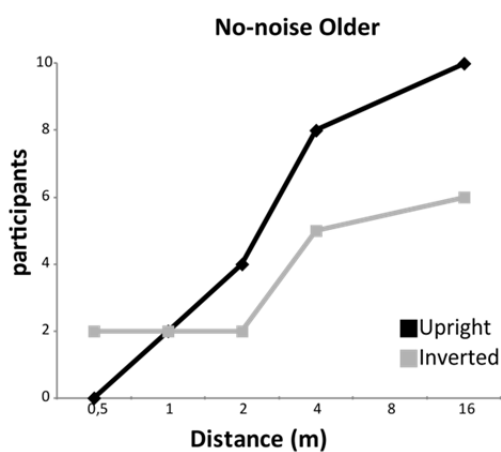


Figure 2 b

Figure 2a, number of younger and 2b, number of older participants obtaining 75% correct answers for a walking direction discrimination task, in the no-noise upright and inverted conditions.

Our results are consistent with the two hypotheses initially projected. First, the size of the retinal image, which was tested by the different distances in virtual space, is important for the integration of biological motion patterns in the upright condition. This is supported by the data at 0.5 m for the younger group and at 2 m and less for the older group, which indicate that observers could not tolerate any added noise. We obtained a significant

interaction between distance and age, revealing that distance affects older observers to a much larger degree than younger observers. The data also show that older observers have more difficulty processing biological motion in noise. Older adults' performance began to decrease at a distance of 4 m, compared to younger adults whose performance was stable down to a distance of 1 meter. Here, distance is directly related to the size of visual field stimulation. Note that the results reported here are conservative, in that the true impact of aging is even stronger than depicted in these graphs, because a number of older participants could not complete the task at near distances.

4 Discussion

In the current study, we projected our 3D stimuli at five different virtual distances. This range of distances allows for the stimulus to span varying extents of our visual field, and therefore different retinal sizes. At near distance, stimuli are large (122 dva at 0.5m) and cannot be perceived holistically: observers must rely on local information to identify the direction of the biological motion pattern embedded in the scrambled mask. Accordingly, observers exhibit less noise tolerance at closer distances. By using a scrambled walker as a mask, local cues cannot be relied upon, because the local information in the mask and in the walker is identical. In other words, at near distances observers rely on local information, but in the presence of noise, this information is insufficient to perceive the walker robustly. Furthermore, a walker's feet constitute an important cue for extracting the direction of

motion (Troje & Westhoff, 2006). In our experiment, at near distance and assuming central fixation, the feet fell in the peripheral visual field. It has been shown that peripheral vision is efficient at perceiving biological motion but is weak in the presence of noise; presumably because the visual system is poor at signal-noise segregation in the peripheral parts of the visual field. (Thompson, Hansen, Hess and Troje, (2007); see also (Gurnsey, Roddy, Ouhnana, & Troje, 2008)).

In our study, observers had to segregate the figure (biological motion pattern) from the ground (scrambled mask) for the walker to be perceived. A study by Stanford and Pollak (1984) has looked at noise segregation in aging and has reported that figure-ground segregation was severely impaired in older adults. Our data support this effect of age on signal-noise segregation. Moreover, segregating signal from noise increases the complexity of a task, which generally leads to stronger effects of age on the task (Faubert, 2002). When using scrambled masks, stimuli are processed in two steps: first, the figure is segregated from the ground, and then, motion direction is determined. The present task is a complex motion task, requiring multiple processing steps for its analysis, and this type of task is known to be impaired in aging (Habak & Faubert, 2000).

Consistent with previous studies we report that biological motion perception is orientation-specific, in that performance is better for upright than for inverted (upside down)

walkers (Bertenthal & Pinto, 1994; Pavlova & Sokolov, 2000; Sumi, 1984; Troje, 2003), and persists for older observers (Pilz et al., 2010). This inversion effect is generally attributed to global representations learned in a particular orientation, such as upright faces and the well-documented face inversion effect (first noted by Yin, 1969), and reviewed by (Valentine, 1988), which is also maintained with age (Boutet & Faubert, 2006). The advantage for upright walkers in biological motion appears to break down at very close distances (0.5 meters) however. Our data indicate that at 0.5m, the inversion effect was no longer noted, because thresholds were similar for the inverted and upright conditions. At this distance, the stimulus spanned 122 degrees of visual angle; integration of biological motion might not be possible over such an expanse, and discrimination would be constrained to local cues and analysis.

In conclusion, our results have demonstrated an age-related deficit in perceiving biological motion, which deteriorates further in the presence of noise. Older adults are less resistant to noise and tolerate significantly smaller numbers of noise dots compared to younger adults. Furthermore, older adults require more distance in virtual space between themselves and the point-light walker for them to integrate biological motion information. This suggests that older adults' deficits arise from poor spatial integration of biological motion cues over larger areas, and that an older person's use of biological motion information could be inadequate when moving through a crowd or driving in dense circulation, within 4 meters. This could explain why navigation can prove difficult for older

observers, which in turn could lead to a reduced sense of autonomy. It would be very interesting to determine whether this capacity can be trained in older observers as is the case for UFOV (Richards et al., 2006) and 3D-multiple object tracking (3D-MOT); (Legault, Allard, & Faubert, 2011).

Acknowledgements

This work was supported by the NSERC-Essilor Chair and NSERC discovery funds. We thank Claudine Habak for helpful suggestions on the manuscript.

References

- Andersen, G. J., & Atchley, P. (1995). Age-related differences in the detection of three-dimensional surfaces from optic flow. *Psychol Aging, 10*(4), 650-658.
- Ball, K., & Sekuler, R. (1986). Improving visual perception in older observers. *J Gerontol, 41*(2), 176-182.
- Bennett, P. J., Sekuler, R., & Sekuler, A. B. (2007). The effects of aging on motion detection and direction identification. *Vision Res, 47*(6), 799-809.
- Bertenthal, B. I., & Pinto, J. (1994). Global processing of biological motions. [periodic]. *Psychological science, 5*(4), 221-225.
- Billino, J., Bremmer, F., & Gegenfurtner, K. R. (2008). Differential aging of motion processing mechanisms: evidence against general perceptual decline. *Vision Res, 48*(10), 1254-1261.
- Boutet, I., & Faubert, J. (2006). Recognition of faces and complex objects in younger and older adults. *Mem Cognit, 34*(4), 854-864.
- Crum, R. M., Anthony, J. C., Bassett, S. S., & Folstein, M. F. (1993). Population-based norms for the Mini-Mental State Examination by age and educational level. *Jama, 269*(18), 2386-2391.
- Dittrich, W. H. (1993). Action categories and the perception of biological motion. *Perception, 22*(1), 15-22.

- Dittrich, W. H., Troscianko, T., Lea, S. E., & Morgan, D. (1996). Perception of emotion from dynamic point-light displays represented in dance. *Perception, 25*(6), 727-738.
- Edwards, J. D., Myers, C., Ross, L. A., Roenker, D. L., Cissell, G. M., McLaughlin, A. M., et al. (2009). The longitudinal impact of cognitive speed of processing training on driving mobility. *Gerontologist, 49*(4), 485-494.
- Faubert, J. (2002). Visual perception and aging. *Canadian journal of experimental psychology, 56*(3), 164-176.
- Fiorentino, D. D. (2008). Cognition, but not sensation, mediates age-related changes in the ability to monitor the environment. *Psychol Aging, 23*(3), 665-670.
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). "Mini-mental state". A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *J Psychiatr Res, 12*(3), 189-198.
- Gilmore, G. C., Wenk, H. E., Naylor, L. A., & Stuve, T. A. (1992). Motion perception and aging. *Psychol Aging, 7*(4), 654-660.
- Greffou, S., Bertone, A., Hanssens, J. M., & Faubert, J. (2008). Development of visually driven postural reactivity: a fully immersive virtual reality study. *J Vis, 8*(11), 15 11-10.
- Gurnsey, R., Roddy, G., Ouhana, M., & Troje, N. F. (2008). Stimulus magnification equates identification and discrimination of biological motion across the visual field. *Vision Res, 48*(28), 2827-2834.

- Habak, C., & Faubert, J. (2000). Larger effect of aging on the perception of higher-order stimuli. *Vision Res, 40*(8), 943-950.
- Johansson, G. (1973). Visual perception of biological motion and a model for its analysis. *Percept Psychophys, 14*(2), 201-211.
- Jokisch, D., Daum, I., & Troje, N. F. (2006). Self recognition versus recognition of others by biological motion: viewpoint-dependent effects. *Perception, 35*(7), 911-920.
- Legault, I., Allard, R., & Faubert, J. (2011). Trained Older Observers Are Equivalent to Untrained Young Adults for 3D Multiple-Object-Tracking Speed Thresholds. *J Vis, 11*(11), 288.
- Levitt, H. (1971). Transformed up-down methods in psychoacoustics. *J Acoust Soc Am, 49*(2), Suppl 2:467+.
- Norman, J. F., Payton, S. M., Long, J. R., & Hawkes, L. M. (2004). Aging and the perception of biological motion. *Psychol Aging, 19*(1), 219-225.
- Norman, J. F., Ross, H. E., Hawkes, L. M., & Long, J. R. (2003). Aging and the perception of speed. *Perception, 32*(1), 85-96.
- Pavlova, M., & Sokolov, A. (2000). Orientation specificity in biological motion perception. *Percept Psychophys, 62*(5), 889-899.
- Pilz, K. S., Bennett, P. J., & Sekuler, A. B. (2010). Effects of aging on biological motion discrimination. *Vision Res, 50*(2), 211-219.

- Piponnier, J. C., Hanssens, J. M., & Faubert, J. (2009). Effect of visual field locus and oscillation frequencies on posture control in an ecological environment. *J Vis*, *9*(1), 13 11-10.
- Pollick, F. E., Kay, J. W., Heim, K., & Stringer, R. (2005). Gender recognition from point-light walkers. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, *31*(6), 1247-1265.
- Richards, E., Bennett, P. J., & Sekuler, A. B. (2006). Age related differences in learning with the useful field of view. *Vision Res*, *46*(25), 4217-4231.
- Sekuler, A. B., Bennett, P. J., & Mamelak, M. (2000). Effects of aging on the useful field of view. *Exp Aging Res*, *26*(2), 103-120.
- Stanford, T., & Pollack, R. H. (1984). Configuration color vision tests: the interaction between aging and the complexity of figure-ground segregation. *J Gerontol*, *39*(5), 568-571.
- Sumi, S. (1984). Upside-down presentation of the Johansson moving light-spot pattern. *Perception*, *13*(3), 283-286.
- Thompson, B., Hansen, B. C., Hess, R. F., & Troje, N. F. (2007). Peripheral vision: good for biological motion, bad for signal noise segregation? *J Vis*, *7*(10), 12 11-17.
- Trick, G. L., & Silverman, S. E. (1991). Visual sensitivity to motion: age-related changes and deficits in senile dementia of the Alzheimer type. *Neurology*, *41*(9), 1437-1440.
- Troje, N. F. (2002). Decomposing biological motion: a framework for analysis and synthesis of human gait patterns. *J Vis*, *2*(5), 371-387.
- Troje, N. F. (2003). Reference frames for orientation anisotropies in face recognition and biological-motion perception. *Perception*, *32*(2), 201-210.

- Troje, N. F. (2008). Retrieving information from human movement patterns. In T. F. Shipley & J. M. Zacks (Eds.), *Understanding Events: How Humans See, Represent, and Act on Events* (pp. 308-334): Oxford University Press.
- Troje, N. F., Sadr, J., Geyer, H., & Nakayama, K. (2006). Adaptation aftereffects in the perception of gender from biological motion. *J Vis*, 6(8), 850-857.
- Troje, N. F., & Westhoff, C. (2006). The inversion effect in biological motion perception: evidence for a "life detector"? *Curr Biol*, 16(8), 821-824.
- Troje, N. F., Westhoff, C., & Lavrov, M. (2005). Person identification from biological motion: effects of structural and kinematic cues. *Percept Psychophys*, 67(4), 667-675.
- Valentine, T. (1988). Upside-down faces: a review of the effect of inversion upon face recognition. *Br J Psychol.*, 79, 471-491.
- Westhoff, C., & Troje, N. F. (2007). Kinematic cues for person identification from biological motion. *Percept Psychophys*, 69(2), 241-253.
- Yin, R. K. (1969). Looking at upside down faces. *J Exp Psychol* 81, 141-145.

Chapitre 3 : Article 2

Healthy older observers benefit equally to young adults from perceptual-cognitive training for 3D multiple object-tracking.

Isabelle Legault, Rémy Allard, Jocelyn Faubert

Soumis au journal : *Frontiers in Psychology (Perception Science)*

Abstract

The capacity to process complex dynamic scenes is of critical importance in real life. For instance, travelling through a crowd while avoiding collisions and maintaining orientation and good motor control requires fluent and continuous perceptual-cognitive processing. It is well documented that effects of healthy aging can influence perceptual-cognitive processes (Faubert, 2002) and that such processes can be trained to reverse aging effects (Richards et al., 2006). Here we assess the capacity of older observers to learn complex dynamic visual scenes by using the 3D multiple object tracking speed task (Faubert & Sidebottom, 2012). The results show that such capacities are significantly affected by healthy aging but that perceptual-cognitive training can significantly reduce age-related effects in the older individuals, which show an identical learning function to the young healthy adults. The data support the notion that the plasticity of the healthy older persons remains very strong for processing complex dynamic scenes and are very promising in regards to the development of interventions for reversing the impact of age-related losses on such critical abilities.

Key words: Aging, perceptual-cognitive training, 3D-MOT

Introduction

In our everyday activities, we constantly interact with our environment. This environment is dynamic and requires the integration of various objects (motion, speed, location etc.). There is ample evidence that normal aging process affects visual perceptual processing. The age-related deficits are particularly noticeable when cognitive process involved for information integration are more complex and require the simultaneous assimilation of many aspects of the environment (Faubert, 2002). For example, when we need to drive, to walk on a busy street, or a crowded shopping center, to avoid collision and be efficient in our displacements, we need to process rapid movement and react quickly. Also, we need to divide our attention, taking into account lots of elements simultaneously; for example, crossing the street requires traffic evaluation of people movement and direction while maintaining our navigational goal. To do this efficiently, we need to integrate all the information available in our visual field. Researchers report that older adults have difficulty dividing their attention throughout the visual field (Ball et al., 1988; Richards et al., 2006) and with complex motion processing (Bennett et al., 2007; Habak & Faubert, 2000; Tang & Zhou, 2009). This is generally consistent with verbal reports by older individuals that getting older has repercussions in their daily life (Kosnik, Winslow, Kline, Rasinski, & Sekuler, 1988).

A perceptual-cognitive task of particular relevance for exploring divided attention and complex motion information is multiple object tracking (MOT). MOT is a task where the observer is required to simultaneously track multiple elements among many. The ability of the observer is evaluated by the number of elements that can be successfully tracked

(Pylyshyn, 1989). Pylyshyn and Storm (1988) proposed the FINST model to explain how people tracked items. Their model based on primitive vision mechanisms suggests that visual system assigns preattentive indices to each element that works independently (Pylyshyn, 1994). On the other hand, Yantis (1992) proposed that targets are grouped together and form a higher order perceptual representation or a single virtual polygon that requires a single attentional channel. The grouping will be maintained during motion and facilitates tracking. However, recent research proposed that visual system deploys a multifocal attention mechanism to keep track of the moving items (Cavanagh & Alvarez, 2005). Regardless of the proposed models to explain how people follow several objects, MOT task has been shown to be less efficient with aging (Sekuler et al., 2008; Trick et al., 2005). Trick and al. showed that the performance of older observers declines with increasing number of objects being tracked. On average, older adults track around three items compared to younger adults who can track four. They suggest an age-related deficit in either the ability to report item position or follow the position of multiple items. On the other hand, Sekuler and al. (2008), suggested that the age-related deficit was associated with the tracking time where longer tracking time and higher speed of displacement reduce performance.

A question remains; can the training of older adults reduce their deficit? Previous studies on divided attention trained the UFOV (useful field of view) of older adults and show that they

could benefit from training (Ball et al., 2002; Edwards et al., 2009; Richards et al., 2006). However, the UFOV task, although useful for assessing dual attention task throughout the visual field, does not directly assess dynamic scene perception. Faubert and Sidebottom (2012) showed that younger adults can be trained on a 3D-MOT task with remarkable improvements. As argued by Faubert and Sidebottom, the potential for transferability of training on a perceptual-cognitive task to real-life situations like sports, navigation and driving, will depend on a number of factors including the visual field size, the necessity for tracking multiple dynamic objects, the presence or absence of stereoscopy (Tinjust et al., 2008) and the use of speed. They found that after few weeks of training, young athletes increased their 3D-MOT speed threshold performance, showing that performance on this task could be trained. The purpose of the present study was therefore twofold. First, to establish the capability limits of older observers for processing 3D-MOT as measured with speed thresholds, and second, to establish if older adults can improve their performance with training.

Experiment 1

In a classic MOT-type task where the dependent measure the maximum number of elements that could be tracked, Trick and collaborators (2005) demonstrated that older adults could track up to three items. Faubert and Sidebottom (2012) proposed that speed threshold may

be a more relevant and controllable measure of perceptual-cognitive MOT demands as it allows to distinguish between many observers that cannot be normally discriminated using the classic method mentioned above. The first experiment assessed how older observers differed from young observers on the 3D-MOT speed threshold task for tracking three versus four targets.

Participants

Ten younger adults (mean age 27 years old, range: 22-34 years old) and ten older adults (mean age 66 years old, range: 61-74 years old) participated in this study. All participants were naïve to the purpose of the experiment. All subjects had normal or corrected-to-normal vision (6/6 or better) with normal stereoacuity as measured by the Frisby test (40 sec of arc or better). Viewing was binocular. Younger adults had their more recent eye exam within the last year. Older adults were recruited at the school of optometry of Université de Montréal and had their most recent eye exam within the last six month. This eye exam included refraction, binocular vision evaluation, tonometry, visual field, retinal exam under pupil dilatation. No eye pathology or other abnormality was found. Older observers completed the Mini-Mental State Exam, a screening measure for cognitive impairment and all scores were within the normal range (range, 26–30/30; subject mean was 28/30) (Crum et al., 1993).

Therefore, they were all considered cognitively healthy. Ethical approval was obtained from the University's ethics board.

Apparatus

The 3D-MOT task was assessed using a fully immersive virtual environment: the CAVE system. The CAVE (Cave Automatic Virtual Environment) is an 8 x 8 x 8 feet room that includes three canvas walls (one frontal and two laterals) and an epoxy floor that all serve as surfaces for image projection (Faubert & Allard, 2004). Four high-resolution projectors are synchronized and the image is updated in real time to maintain the true viewing perspective of the observer (no false parallax). The CAVE is equipped with a magnetic motion tracker system (Flock-of-Birds) capable of measuring head position and therefore correcting for the viewing perspective of the observers in real-time. The CAVE was under the computer control of an SGI ONYX 3200 (two Infinite Reality 2 graphics cards) generating a stereoscopic environment. The stereoscopy was generated with Crystal Eyes 2 active shutter glasses synchronized at 96Hz (48Hz per eye). We used the 3D-MOT speed threshold protocol (Faubert & Sidebottom, 2012).

Stimuli & Procedure

Before the testing, participants were familiarized with the virtual environment and the stimulus. They were then asked to wear the stereoscopic goggles, which allowed them to perceive the 3D characteristics of the environment. Each participant sat at 1,77cm from the central wall of the CAVE with eye height set at 160 cm from the ground. They were asked to stare at the fixation point, located straight ahead.

Stimuli consisted of 9 spheres projected into a virtual cube having transparent virtual light blue walls. The anterior side of the cube measured 42° of visual angle and was seen at 57cm. The virtual size of the spheres was between 20 and 55cm (larger when they were in front of the virtual cube). The spheres followed a linear trajectory in the 3D virtual space but were bouncing on one another and on the walls when collisions occurred.

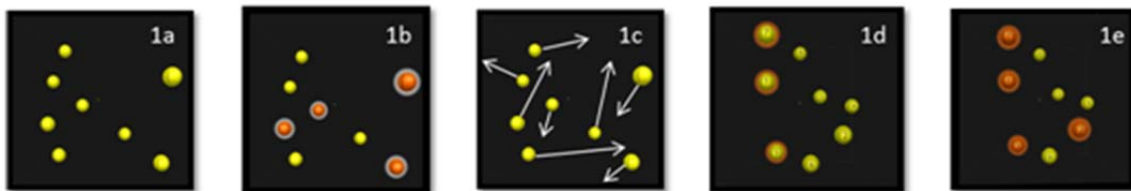


Figure 1: Illustration of the five critical phases: a) Presentation of randomly positioned spheres in a virtual volumetric space, b) Identification of the spheres to track during trial, c) Removal of identification and movement of all spheres with dynamic interactions, d) Observer's response by identifying the spheres, e) Feedback is given to the observers.

There were 2 conditions: 3 or 4 targets. Each bloc (i.e. staircase) lasted about ten minutes. In one session, participants ran three staircases per condition (3 or 4 spheres), for a total of 60 minutes. Each trial had five phases (see Figure 1). *Phase 1, presentation phase*: 9 yellow static balls were presented for 2.5s in random position. *Phase 2, indexation phase*: 3 or 4 spheres turned red for 2s for targets identification before turning back to yellow. *Phase 3, tracking phase*: all spheres started moving in a random direction at a speed defined by the staircase procedure (see below) and bounced on one another and on the virtual walls for 10s. *Phase 4, identification phase*: the spheres stopped moving and each had a unique identification label from 1 to 9. The participant task was to report, verbally, the 3 (or 4) numbers corresponding to the 3 (or 4) target spheres that were red in the indexation phase. *Phase 5: Feedback phase*: A feedback was given showing the observer the spheres that were initially indexed. Speed thresholds were then evaluated using a 1 up 1 down staircase procedure (Levitt, 1971) that is, after a correct response, the dependant variable (ball speed displacement) was increased by 0.05 log and decreased by the same proportion after each incorrect response resulting in a threshold criterion of 50%. The staircase was interrupted after eight inversions and the threshold was estimated by the mean of the speed at the last four inversions.

Result

From the ten older participants, only nine were included in the analysis. One could not perform the task even for three targets at very low speeds (e.g. 1cm/s). A 2 X 2 split-plot ANOVA on log speed thresholds revealed a significant age (between variable) X number of targets (3 or 4, within variable) interaction, $F(1,17) = 6.45$, $p = 0.021$. Subsequently, paired T-Test showed significant differences for number of targets, for both groups; younger adults: $t(1,9) = 3.480$, $p = 0.007$, older adults: $t(1, 8) = 8.204$, $p < 0.001$.

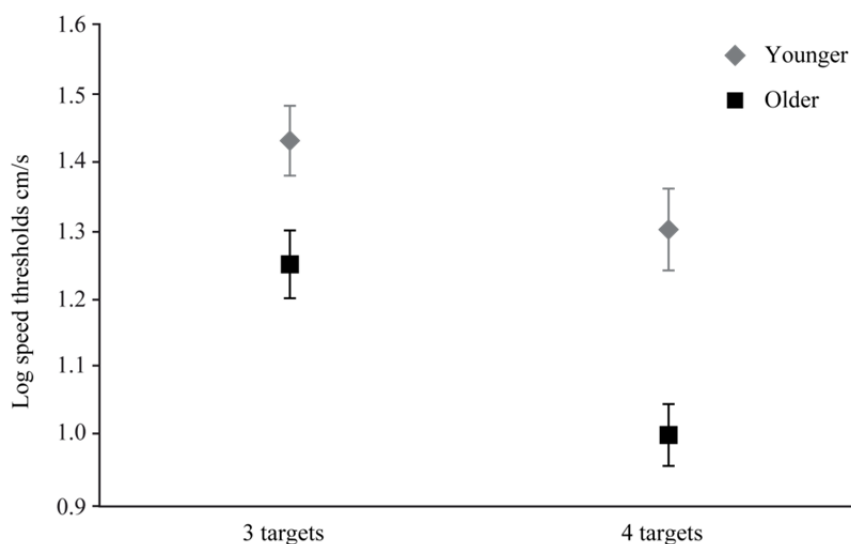


Figure 2: Younger and older adults speed thresholds for three and four targets

Results show that older adults can successfully follow both 3 and 4 targets, but at a significantly lower speeds (see Figure 2). Normal aging clearly reduces the ability for track

many dynamic objects. Performances for younger adults with 4 targets are similar to 3 targets with older adults. Furthermore, as shown by a significant interaction, performance decline between 3 and 4 spheres is more pronounced for older adults, suggesting that they have difficulty managing more information and they need more time to process it. In the next experiment we wanted to establish if a training protocol could attenuate the age-related deficit for the 3D-MOT speed task.

Experiment 2

In the second experiment we trained younger and older adults during five consecutive weeks on the 3D-MOT task to determine the performance progress for younger and older adults. As mentioned in the introduction, there is evidence that perceptual-cognitive tasks such as the UFOV is trainable in older observers (Richards et al., 2006) and that training on such tasks may result in significant benefits in the quality of life of older individuals (Edwards et al, 2009).

Participants

Two experimental groups participated in this experiment. One group was composed of 20 young observers (mean age 24 years old, range: 18-35 years old) and another consisted of 20 older observers (mean age 67 years old, range: 64-73 years old). All observers came to the

lab once a week for 5 consecutive weeks. All were naïve to the purpose of the experiment and had normal or corrected-to-normal vision (6/6 or better) with normal stereoacuity as measured by the Frisby test (40 sec of arc or better). Younger adults had their more recent eye exam within the last year. Older adults were recruited at the school of optometry of Université de Montréal and had their most recent eye exam within the last six months. This eye exam included refraction, binocular vision evaluation, tonometry, visual field, retinal exam under pupil dilatation. No eye pathology or other abnormality was found. Furthermore, older observers completed the Mini-Mental State Exam, a screening measure for cognitive impairment. All had scores within the normal range (range, 28–30/30; subject mean was 29/30) (Crum et al., 1993). Therefore, they were all considered cognitively healthy.

Method

The same setup, stimuli and procedure as experiment 1 were used. We used the 3 targets protocol and for every session, participant ran one block of 3 trials (3 thresholds) for a total of a 30-minute session per week.

Results

A-split-plot ANOVA on log speed threshold revealed a significant group effect, $F(1, 41) = 18.250$, $p < 0.001$, younger adults obtained higher thresholds compared to older adults (Figure

1). However, we did not obtain a significant interaction Age by Condition, which reveals that both groups obtained the same benefit from training. Results show that, after five consecutive weeks of training, both younger and older adults obtained higher speed thresholds compared to those obtained at their first week, $t(1,19) = -4.351, p < 0.001$ and $t(1,19) = -7.081, p < 0.001$ respectively. Figure 1 shows speed thresholds for both trained groups at week 1 and week 5. There is a similar progression for both groups. Furthermore, Figure 3 shows that trained older observers obtained similar thresholds as untrained younger adults.

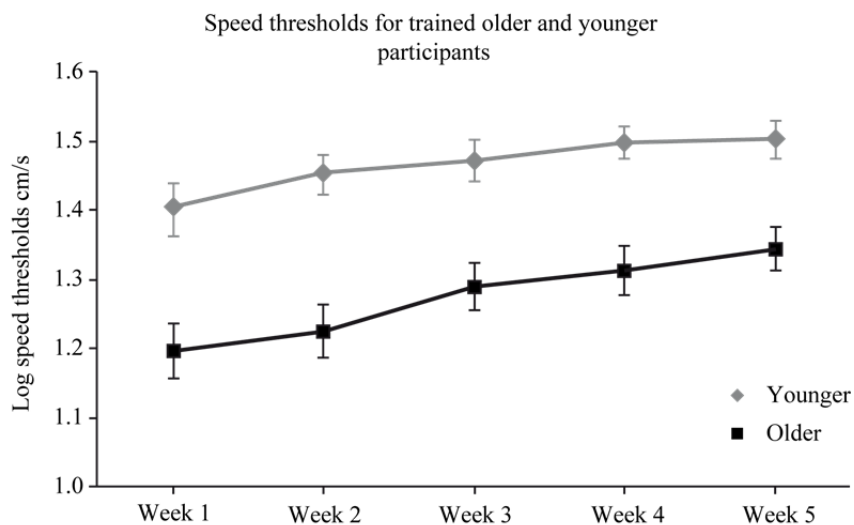


Figure 3: Younger and older adults speed thresholds on five consecutive weeks.

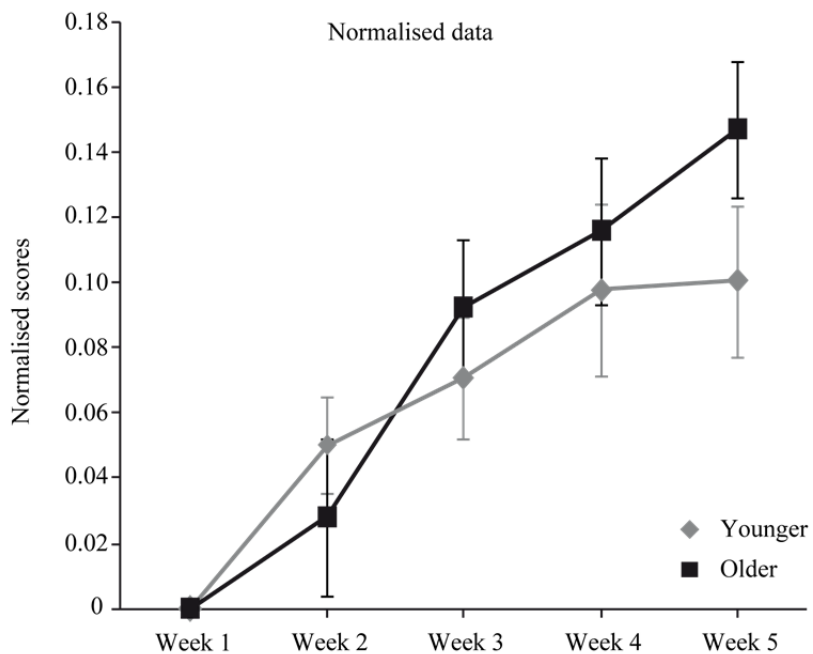


Figure 4: Normalized speed thresholds for younger and older adults.

As shown in Figure 4, representing the normalized data relative to week 1 baseline scores, younger and older adults showed the same learning growth from 3D-MOT training sessions. However, at week 5, we can see that the improvement for older observers appears still on the rise while the younger observer group scores tend to level off (see Figure 4). Interestingly, Richard and al.(2006) found that their older adults needed more practice to reach younger adult levels. It is possible that the older group perceptual improvement from training has not plateaued at five weeks.

Discussion

In this paper, we assessed 3D-MOT speed thresholds for young and older adults. In both experiments, we found a significant age-related deficit where older adults obtained lower performance scores compared to younger adults. These results would be generally consistent with previous MOT research (Kennedy et al., 2009; Sekuler et al., 2008; Trick et al., 2005).

In experiment 1, we showed that both younger and older adults obtained a significant reduction of their speed thresholds when we compare their performances for the 3-target condition with the 4-target condition. Furthermore, we demonstrated that older adults' tracking capacity was not limited to 3 targets as previously proposed (Trick et al., 2005). Older adults can track 4 items but they need a significant reduction of the speed of target movement to achieve this. Results are consequent to previous studies showing that target quantity (Alvarez & Franconeri, 2007; Pylyshyn & Storm, 1988; Yantis, 1992) and object speed (Alvarez & Franconeri, 2007; Faubert & Sidebottom, 2012; Sekuler et al., 2008), are important factors for performance.

Furthermore, the 3D-MOT task requires the activation of various mental resources and efficient integration through numerous areas of neurological function (Faubert & Sidebottom, 2012). The perceptual-cognitive demands include large field integration,

dynamic, selective, multifocal and sustained attention along with some notions of working memory (Faubert and Sidebottom, 2012) . Therefore, the age-related deficit that we found is in line with the complexity hypothesis of aging that states that the greater the neural machinery required to perform a perceptual task the more chances there is for observing an associated functional loss (Faubert, (2002). More specifically, he defined complexity as a given perceptual task where the processing requirement simultaneously solicits larger neural networks. Normal aging comes with neural losses (Spear, 1993) and modification in neural activation, less lateralized brain activity and more spread activation (Dennis & Cabeza, 2008). During simple tasks, that involve simple neural mechanisms, older adults can compensate their neural losses with alternative neural networks. However, during complex tasks that simultaneously solicit complex neural processes, compensation is not sufficient anymore and contributes to a performance deficit (Faubert, 2002).

In experiment 2, results show that both younger and older adults benefit equally from 3D-MOT training sessions. Their performance after five weeks of training was significantly improved; participants processed the 3D-MOT task with success at faster speeds. Overall, younger adults show better performance than older adults. However, no interaction was found, both groups obtaining similar benefit from training sessions. If we look at results in detail, we observe that trained older adults show similar performance than untrained

younger adults and as shown in Figure 4, after five weeks, older adults show a better progression than younger adults. These results suggest that perceptual-cognitive training could be a viable method for reducing age-related functional loss. This is consistent with previous research that has looked at training and perceptual processing performance showing similar results (Andersen, Ni, Bower, & Watanabe, 2010; Kramer, Larish, & Strayer, 1995; Richards et al., 2006). Furthermore, with training, tasks tend to become more automatic in nature reducing attentional costs (Ma et al., 2010).

In general, before or after the training sessions, younger adults obtained better performance than older adults. An element that can contribute to higher performance in younger adults is their previous exposure to motion stimuli as found in video games (Sekuler et al., 2008). Younger adults tend to be more exposed to video games, internet, television, etc. Some studies have shown that expertise can increase the ability to track multiple items (Green & Bavelier, 2006). However, video game exposition cannot explain our difference between younger and older adults because we only had one video gamer and his scores were not substantially different from the others. On the other hand, it would be reasonable to suppose that older adults are less trained by their everyday activities. It is possible that older observers engage less in certain activities because they have difficulties with processing complex visual scenes. Given the importance of visual perceptual-cognitive abilities for

navigation in crowds or other activities in complex dynamic scene environments, it would appear that regular 3D-MOT type training would be beneficial for the older population as evidenced from the improvements shown here.

In the present study, our 3D-MOT task was conducted in a virtual reality environment soliciting information integration across a large visual field. Consistent with previous research using UFOV or visual localization, we observed that both younger and older adults can be trained and increase their performance on a divided-attention task presented with a wide visual field (Richards et al., 2006). According to the study by Richards and collaborators (2006), trained younger and older adults with an UFOV task where central and peripheral vision and divided attention was required. After enough practice, older adults reduced the attentional cost to similar level as younger adults, and both groups obtained performance where there was no more divided-attention deficit. There are a number of differences between our task and the Richards et al. (2006) task. These include the scene is dynamic including the tracking of multiple moving objects and the visual field size was twice that used by Richards et al. (2006). These differences may impact on its transferability to real-life situations. In Richards and collaborator study, older adults needed more training session to reach younger adult performance levels. Figure 4 shows that older adults' progression looks like it has not peaked and maybe they still have room for increasing performance. More

training sessions would be needed to determine if results obtained at week 5 was indeed their learning peak level.

Our findings can be summed into two main points. We show that perceptual-cognitive training for a complex dynamic divided attention motion task such as 3D-MOT can be trained and, more importantly, that the training benefit for older observers is of the same magnitude as for the young healthy adults. Our results demonstrate that training 3D-MOT is a viable approach for diminishing some of the age-related perceptual cognitive differences and it would certainly be very worthwhile directing future studies on the transferability of such training to real-life tasks such as driving or other socially relevant tasks.

Conflict of Interest Statement

Isabelle Legault and Rémy Allard declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest. Jocelyn Faubert is the Chief Science Officer of CogniSens Inc., the company that produces the commercial version of the 3D-MOT task.

Acknowledgments

This work was supported by NSERC and the NSERC-Essilor Industrial Research Chair.

References

- Alvarez, G.A., and Franconeri, S.L. (2007). How many objects can you track? Evidence for a resource-limited attentive tracking mechanism. *J Vis* 7, 14 11-10.
- Andersen, G.J., Ni, R., Bower, J.D., and Watanabe, T. (2010). Perceptual learning, aging, and improved visual performance in early stages of visual processing. *J Vis* 10, 4.
- Ball, K., Berch, D.B., Helmers, K.F., Jobe, J.B., Leveck, M.D., Marsiske, M., Morris, J.N., Rebok, G.W., Smith, D.M., Tennstedt, S.L., Unverzagt, F.W., and Willis, S.L. (2002). Effects of cognitive training interventions with older adults: a randomized controlled trial. *JAMA* 288, 2271-2281.
- Ball, K.K., Beard, B.L., Roenker, D.L., Miller, R.L., and Griggs, D.S. (1988). Age and Visual-Search - Expanding the Useful Field of View. *Journal of the Optical Society of America a-Optics Image Science and Vision* 5, 2210-2219.
- Bennett, P.J., Sekuler, R., and Sekuler, A.B. (2007). The effects of aging on motion detection and direction identification. *Vision Res* 47, 799-809.
- Cavanagh, P., and Alvarez, G.A. (2005). Tracking multiple targets with multifocal attention. *Trends Cogn Sci* 9, 349-354.

- Crum, R.M., Anthony, J.C., Bassett, S.S., and Folstein, M.F. (1993). Population-based norms for the Mini-Mental State Examination by age and educational level. *Jama* 269, 2386-2391.
- Dennis, N.A., and Cabeza, R. (2008). "Neuroimaging of healthy cognitive aging," in *The handbook of aging and cognition*, eds. F.I.M. Craik & T.A. Salthouse. 3rd ed (New York, NY: Psychology Press), pp. 1-54.
- Edwards, J.D., Myers, C., Ross, L.A., Roenker, D.L., Cissell, G.M., Mclaughlin, A.M., and Ball, K.K. (2009). The longitudinal impact of cognitive speed of processing training on driving mobility. *Gerontologist* 49, 485-494.
- Faubert, J. (2002). Visual perception and aging. *Can J Exp Psychol* 56, 164-176.
- Faubert, J., and Allard, R. (2004). Effect of visual distortion on postural balance in a full immersion stereoscopic environment. 1-10.
- Faubert, J., and Sidebottom, L. (2012). Perceptual-cognitive training of athletes. *Journal of clinical sports psychology* 6, 85-102.
- Green, C.S., and Bavelier, D. (2006). Enumeration versus multiple object tracking: the case of action video game players. *Cognition* 101, 217-245.
- Habak, C., and Faubert, J. (2000). Larger effect of aging on the perception of higher-order stimuli. *Vision Research* 40, 943-950.

- Kennedy, G.J., Tripathy, S.P., and Barrett, B.T. (2009). Early age-related decline in the effective number of trajectories tracked in adult human vision. *J Vis* 9, 21 21-10.
- Kosnik, W., Winslow, L., Kline, D., Rasinski, K., and Sekuler, R. (1988). Visual changes in daily life throughout adulthood. *J Gerontol* 43, P63-70.
- Kramer, A.F., Larish, J.F., and Strayer, D.L. (1995). Training for Attentional Control in Dual-Task Settings - a Comparison of Young and Old Adults. *Journal of Experimental Psychology-Applied* 1, 50-76.
- Levitt, H. (1971). Transformed up-down methods in psychoacoustics. *J Acoust Soc Am* 49, Suppl 2:467+.
- Ma, L., Wang, B., Narayana, S., Hazeltine, E., Chen, X., Robin, D.A., Fox, P.T., and Xiong, J. (2010). Changes in regional activity are accompanied with changes in inter-regional connectivity during 4 weeks motor learning. *Brain Res* 1318, 64-76.
- Pylyshyn, Z.W. (1989). The role of location indexes in spatial perception: a sketch of the FINST spatial-index model. *Cognition* 32, 65-97.
- Pylyshyn, Z.W. (1994). Some primitive mechanisms of spatial attention. *Cognition* 50, 363-384.
- Pylyshyn, Z.W., and Storm, R.W. (1988). Tracking multiple independent targets: evidence for a parallel tracking mechanism. *Spat Vis* 3, 179-197.

- Richards, E., Bennett, P.J., and Sekuler, A.B. (2006). Age related differences in learning with the useful field of view. *Vision Res* 46, 4217-4231.
- Sekuler, R., Mclaughlin, C., and Yotsumoto, Y. (2008). Age-related changes in attentional tracking of multiple moving objects. *Perception* 37, 867-876.
- Spear, P.D. (1993). Neural bases of visual deficits during aging. *Vision Res* 33, 2589-2609.
- Tang, Y., and Zhou, Y. (2009). Age-related decline of contrast sensitivity for second-order stimuli: earlier onset, but slower progression, than for first-order stimuli. *J Vis* 9, 18.
- Tinjust, D., Allard, R., and Faubert, J. (2008). Impact of stereoscopic vision and 3D representation of visual space on multiple object tracking performance. *Journal of Vision* 8, 509.
- Trick, L.M., Perl, T., and Sethi, N. (2005). Age-related differences in multiple-object tracking. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci* 60, P102-105.
- Yantis, S. (1992). Multielement visual tracking: attention and perceptual organization. *Cogn Psychol* 24, 295-340.

Chapitre 4 : Article 3

Perceptual-cognitive training improves biological motion
perception: evidence for transferability of training in healthy aging

Isabelle Legault, Jocelyn Faubert

Legault, I., & Faubert, J. (2012), *Neuroreport*, 23(8), 469-473.

Abstract

In our everyday life, processing complex dynamic scenes such as crowds and traffic is of critical importance. Further, it is well documented that there is an age-related decline in complex perceptual-cognitive processing, which can be reversed with training. It has been suggested that a specific dynamic scene perceptual-cognitive training procedure [the three-dimensional multiple object tracking speed task (3D-MOT)] helps observers manage socially relevant stimuli such as human body movements as seen in crowds or during sports activities. Here, we test this assertion by assessing whether training older observers on 3D-MOT can improve biological motion (BM) perception. Research has shown that healthy older adults require more distance in virtual space between themselves and a pointlight walker to integrate BM information than younger adults. Their performances decreased markedly at a distance as far away as 4m (critical for collision avoidance), whereas performance in young adults remained constant up to 1m. We trained observers between 64 and 73 years of age on the 3D-MOT speed task and looked at BM perception at 4 and 16m distances in virtual space. We also had a control group trained on a visual task and a third group without training. The perceptual-cognitive training eliminated the difference in BM perception between 4 and 16m after only a few weeks, whereas the two control groups showed no transfer. This demonstrates that 3D-MOT training could be a good generic process for helping certain observers deal with socially relevant dynamic scenes.

Keywords: *Perceptual-cognitive training, transferability, 3D-MOT, Aging, Biological motion*

Introduction

Perceptual-cognitive changes with healthy aging are well documented (Bertone, Guy, & Faubert, 2011; Faubert, 2002). Furthermore, the availability of training programs for improved-cognitive or perceptual-cognitive performance of the elderly population is increasing considerably. This arises from the fact that recent research in neurosciences has demonstrated that neuroplasticity is still very much present in the aging brain, lending support to the notion that training the brain is a useful process for building compensatory neural circuitry and recovering lost capacities (Mahncke et al., 2006). However, a very important question remains: do brain-training programs transfer to socially relevant tasks? By transfer we imply that a brain-training procedure using a specific protocol does not only show improvements on the task itself but also on socially relevant functions. For instance, if a general memory-training task showed improvements for remembering socially relevant information such as chores, phone numbers etc., then we would consider that the training has shown 'transferability' and is therefore a useful exercise for the person undergoing the training program.

We wanted to test this assumption directly by using a perceptual-cognitive training procedure that we know shows improvements in aging and assess whether such training can transfer to a socially relevant task. It has been shown that training on the three-dimensional multiple object tracking (3D-MOT) speed task over several weeks generates a marked

increase in performance in high-level athletes (Faubert & Sidebottom, 2012) and healthy aging observers (Legault et al., 2011). Faubert and Sidebottom (2012) have argued that a perceptual-cognitive training procedure has to contain certain characteristics for it to successfully show transferability for sports performance or for navigation tasks such as collision avoidance in crowds or traffic. The 3D-MOT task was designed following these principles and consists of a MOT component, a relatively large stimulated visual field area, stereoscopic 3D information, and measurement of speed thresholds. The readers are referred to Faubert and Sidebottom (2012) for a detailed discussion and the underlying rationale for the importance of each element that composes the 3D-MOT speed training task.

To test transferability, we chose to assess biological motion (BM) perception for ‘life-size’ point-light walkers in a virtual environment, as it has recently been shown that the distance in virtual space makes a huge difference in how well BM is perceived by older observers but not for young adults (Legault et al., 2012) and that it is arguably a socially relevant task (Troje, 2002).

Methods

Participants

Three groups participated in this study. Fourteen were included in the experimental group (mean age 67 years, range: 64–73 years old), fourteen in the untrained group (mean

age 66 years, range: 64–72 years old), and 13 in the visual perceptual training group (mean age 66 years, range: 64–73 years old). All participants were unaware of the purpose of the experiment and had normal or corrected-to-normal vision (6/6 or better) with normal stereoacuity as measured by the Frisby test (40 s of arc or better). Viewing was binocular. Participants underwent a complete optometric exam at the University optometry clinic less than 6 months before testing. The complete eye examination included refraction, visual fields, tonometry, and retinal examination under pupil dilatation. No ocular pathology was found and all had normal visual fields. Furthermore, they completed the Mini-Mental State Examination (Folstein et al., 1975), a screening measure for cognitive impairment and dementia. All the participants' scores were within the normal range (range: 27–30/30; the mean was 29.3/30) (Crum et al., 1993) and, therefore, all were considered cognitively healthy.

Hardware and stimuli

Apparatus

All tasks were assessed using a fully immersive virtual environment: the Cave Automatic Virtual Environment (CAVE) system (Greffou et al., 2008; Pionnier et al., 2009). The CAVE is an 8_8_8 ft room that includes three canvas walls (one frontal and two laterals) and an epoxy floor that all serve as surfaces for image projection (Faubert & Allard, 2004).

Four high-resolution projectors are synchronized and the image is updated in real time to maintain the true viewing perspective of the observer. The CAVE was equipped with a magnetic motion tracker system (Flock-of-Birds) capable of measuring head position and therefore correcting for the viewing perspective of the observers in real time. The CAVE was under the computer control of an SGI ONYX 3200 (two Infinite Reality 2 graphic cards; SGI, Fremont, California, USA) generating a stereoscopic environment. Stereoscopic vision was made possible using stereographics' LCD stereo shutter glasses (Crystal Eyes; StereoGraphics RealD, Beverly Hills, California, USA) operating at 96 Hz.

Stimuli and procedure

We formed three groups of observers including one experimental group that came to the lab once a week for 5 consecutive weeks. Every week, they were trained on the 3D-MOT speed task and the BM task was presented at week 5. One control group came once and ran three blocs of 3D-MOT and the BM task. Another control group trained on a visual perceptual task; they came to the lab once a week for 5 consecutive weeks. Every week, they were trained on the contrast task and the BM task was presented at week 5.

Three-dimensional multiple object tracking speed task

Stimuli consisted of nine spheres projected into a virtual cube with transparent virtual light blue walls. The anterior side of the cube measured 42° of visual angle and was seen at 57 cm. The virtual size of the spheres was between 20 and 55 cm (larger when they were in front of the virtual cube). The spheres followed a linear trajectory in the 3D virtual space but were bouncing on one another and on the walls when collisions occurred. Each trial had three targets. Each bloc (i.e. staircase) lasted about 10 min. In one session, participants ran three staircases, for a total of 30 min. Each trial had five phases (Fig. 1). Speed thresholds were then evaluated using a 1-up 1-down staircase procedure (Levitt, 1971), that is, after a correct response, the dependent variable (speed ball displacement) was increased by 0.05 log and decreased by the same proportion after each incorrect response, resulting in a threshold criterion of 50%. The staircase was interrupted after eight inversions and the threshold was estimated by the mean of the speed at the last four inversions.

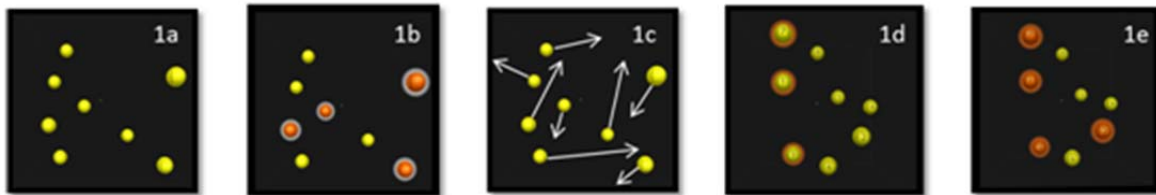


Figure 1: Illustration of the five critical phases: a) Presentation of randomly positioned spheres in a virtual volumetric space, b) Identification of the spheres to track during trial, c) Removal of identification and movement of all spheres with dynamic interactions, d) Observer's response by identifying the spheres, e) Feedback is given to the observers.

Biological motion task

Stimuli consisted of two components: a walker and a mask. The point-light walkers were dynamic representations of human form walking and were made up of 15 black dots, which represented the head, shoulders, hips, elbows, wrists, knees, and ankles on a white background. Each dot had a diameter of 0.1 m. The height of the walker was 1.80m disposed at a virtual distance from the observer of 4 and 16m subtending 25 and 6.4 degrees of visual angle, respectively. Walkers were randomly placed within the noise display area from trial to trial by 30 cm left or right from the central presentation and were presented facing left or right in an upright position. The walker stimulus was constructed using the average motion capture data; for a full explanation of the generation and representation of the stimuli (Troje, 2008). The stimulus duration was 1 s with a gait cycle at a rate of 30 frames/s followed by a

500 ms interstimuli delay. The walker was masked by a number of noise dots varying in each trial. The mask was a scrambled walker mask generated by taking walker stimuli and scrambling the initial spatial position of each dot. We designed a virtual box surrounding the stimulus within which the noise was constrained. Each box volume was 1.76m³. These dimensions are in virtual space and therefore all appropriate cues changed with experimental distance conditions (i.e. size, binocular disparity, and perspective cues). Each participant sat at 1.2m from the CAVE's central wall with eye height at 1.60m from the ground. They were asked to fixate straight ahead. A practice block trial was then presented using a constant stimuli method with 20 trials where the participant had to identify the direction of the unmasked walker and report their answers verbally. Testing was blocked for distance. Noise thresholds were evaluated using a 2-up 1-down staircase procedure (Levitt, 1971), that is, after two consecutive correct responses, the dependent variable (noise dots' density) was increased by 10% and decreased by the same proportion after each incorrect response, resulting in a threshold criterion of 70.7%. The staircase was interrupted after 10 inversions and the thresholds were estimated by the mean of the noise quantity of the last six inversions. As in the practice trial, each observer's task consisted of identifying the walker's direction (right or left).

Contrast task

Stimuli were presented in a square hard-edged patch subtending 421 in diameter (same size as the virtual cube used for the 3D-MOT task). The stimulus extended over the entire 421 patch, and consisted of static, luminance-defined, sine modulated gray-scale noise, where the envelope (sine) and carrier (noise) are added. The sine wave had a frequency of 0.5 cpd. The mean luminance was 24 cd/m². Each participant was asked to look straight ahead at the fixation point. The task consisted of identifying the orientation (vertical or horizontal) of the grating, and answers were reported verbally. Stimulus duration was 1 s and was followed by a noise mask for 1 s. Contrast thresholds were then evaluated using a 2-up 1-down staircase procedure (Levitt, 1971), that is, after two consecutive correct responses, the dependent variable (contrast) was decreased by 10% and increased by the same proportion after each incorrect response, resulting in a threshold criterion of 70.7%. The staircase was interrupted after 10 reversals and thresholds were estimated by taking the mean contrast intensity of the last six reversals.

Results

The results are presented in Fig. 2 and are immediately obvious from observing the graph. There is a clear effect of 3D-MOTspeed training on the experimental group for BM perception performance scores at 4m whereas the other two control groups show no effect. No effect is seen for the 16m condition for any group. Statistically, there is a significant

difference in 3D-MOT speed performance for trained versus untrained older adults ($F[1,25]=8.631, p=0.005$). We found that older adults did not show a significant increase in their performance on the contrast task after 5 weeks of training ($F[1,13]=1.936, p=0.187$).

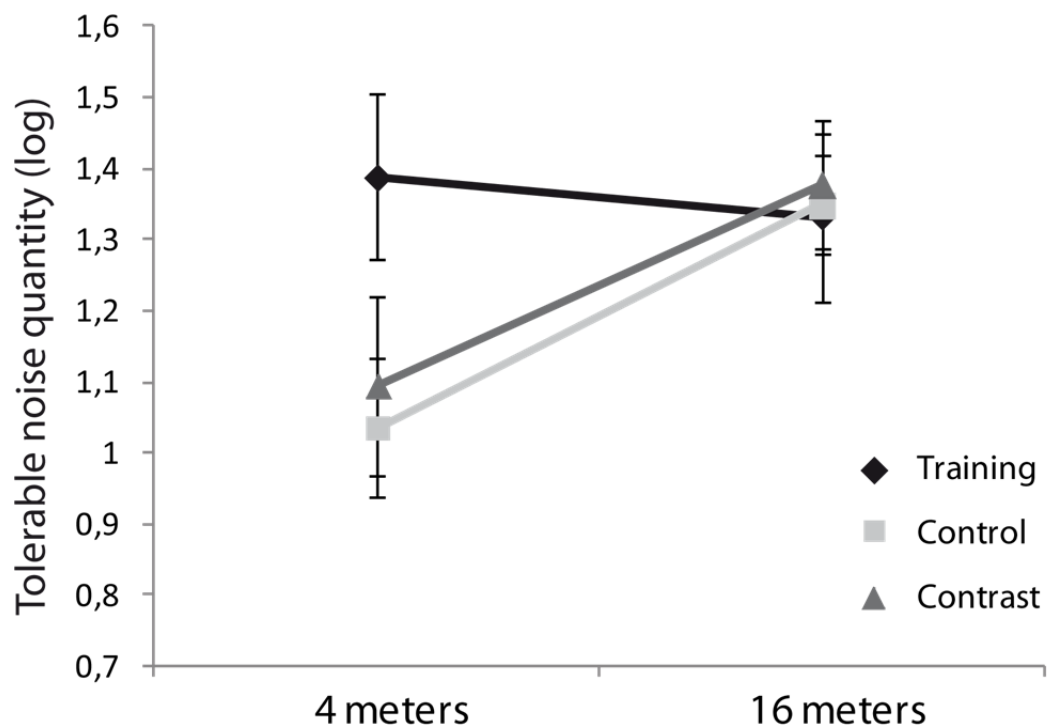


Figure 2: Older adults noise tolerance level at 4 and 16 meters distance.

A repeated measures analysis of variance showed a significant Group (trained/control/contrast) by Conditions (distances) interaction ($F[1,38]=4.621, p=0.016$). The results show that at 4m, trained participants' noise tolerance was significantly higher than the control group performance ($t[1,13]=2.538, p=0.025$). Moreover, untrained observers

obtained a significant difference between both BM distance conditions ($t[1,13]= - 3.017$, $p=0.011$), and trained older adults' noise tolerance at 4m was equivalent to 16m ($t[1,13]=0.579$, $p=0.573$) (Fig. 2). No significant difference was found with the control groups, p 's more than 0.7 in both conditions. Furthermore, there was a significant difference between control-contrast and trained older adult group for the 4m condition ($t[1,12]=2.299$, $p=0.040$), but no significant difference for the 16m condition ($t[1,12]= - 0.188$, $p=0.854$).

Discussion

The main goal of this study was to assess whether training older observers on the 3D-MOT speed task can transfer to a socially relevant task such as BM perception. The results are clear in this respect where the only effective training transfer was seen for the 3D-MOT training experimental group, whereas the control (no training) and training control (spatial contrast) showed identical results.

Relevance of the three-dimensional multiple object tracking speed task

As mentioned in the introduction, the 3D-MOT virtual reality speed task was originally developed on the basis of the rationale that a task with such high dynamic perceptual-cognitive processing demands would be quite analogous to the processing requirements required for scene dynamics such as sports and when navigating in crowds. Faubert and Sidebottom (Faubert & Sidebottom, 2012) argued that certain characteristics were essential

for a positive transfer. The stimulus needs to cover a significant visual field dimension, speed thresholds are necessary, tracking dynamic and multiple elements is essential, and stereoscopy generated the best results. The relevance of these characteristics have been made elsewhere and would require too much space to be covered in the present paper. However, visual field size and speed thresholds, two inherent components of the method proposed by Faubert and Sidebottom, have been shown to be critical factors when training older observers in other perceptual tasks. In fact, recent results obtained by Edwards and colleagues (Edwards et al., 2009; Edwards et al., 2006) have shown that training the useful field of view (which had both a visual field and a speed training component) in older observers had a positive impact on retrospective driving abilities. This is very encouraging but still represents a correlational study. Here, we were able to directly test the transferability of a complex perceptual-cognitive dynamic scene on what is generally accepted as a socially relevant task, namely BM perception.

Relevance of biological motion task

The BM task is viewed by most researchers in the field as a critical and fundamental ability of social relevance. Many characteristics of an individual can be derived just by the dynamics of the motion signals between the point lights. For instance, one can perceive demographic characteristics such as sex, body weight, emotions, and other social activities

(Dittrich, 1993; Dittrich et al., 1996; Jokisch et al., 2006; Pollick et al., 2005; Troje, 2002; Troje et al., 2006; Westhoff & Troje, 2007). It is therefore a very strong dynamic cue that can be used for collision avoidance and to even anticipate moves in sports (Breslin, Hodges, Williams, Kremer, & Curran, 2006). The fact that it was recently shown that older observers could not use this information in a context representing critical life-size conditions (such as a life-size walker at 4m) emphasizes the relevance of this age-related loss (Legault et al., 2012). It is therefore quite telling that that training on our 3DMOTspeed task actually improved this particular ability.

Conclusion

In conclusion, we have successfully shown a transfer of training from a perceptual-cognitive dynamic scene task to a socially relevant ability in the elderly, namely the capacity to process BM for life-size walkers at a critical distance of 4m.

Acknowledgements

This work was supported by NSERC and the NSERCEssilor Industrial Research Chair.

Conflicts of interest

There are no conflicts of interest.

References

- Bertone, A., Guy, J., & Faubert, J. (2011). Assessing spatial perception in aging using an adapted Landolt-C technique. *Neuroreport*, *22*(18), 951-955.
- Breslin, G., Hodges, N. J., Williams, A. M., Kremer, J., & Curran, W. (2006). A comparison of intra- and inter-limb relative motion information in modelling a novel motor skill. *Hum Mov Sci*, *25*(6), 753-766.
- Crum, R. M., Anthony, J. C., Bassett, S. S., & Folstein, M. F. (1993). Population-based norms for the Mini-Mental State Examination by age and educational level. *Jama*, *269*(18), 2386-2391.
- Dittrich, W. H. (1993). Action categories and the perception of biological motion. *Perception*, *22*(1), 15-22.
- Dittrich, W. H., Troscianko, T., Lea, S. E., & Morgan, D. (1996). Perception of emotion from dynamic point-light displays represented in dance. *Perception*, *25*(6), 727-738.
- Edwards, J. D., Myers, C., Ross, L. A., Roenker, D. L., Cissell, G. M., McLaughlin, A. M., et al. (2009). The longitudinal impact of cognitive speed of processing training on driving mobility. *Gerontologist*, *49*(4), 485-494.
- Edwards, J. D., Ross, L. A., Wadley, V. G., Clay, O. J., Crowe, M., Roenker, D. L., et al. (2006). The useful field of view test: normative data for older adults. *Arch Clin Neuropsychol*, *21*(4), 275-286.

- Faubert, J. (2002). Visual perception and aging. *Can J Exp Psychol*, 56(3), 164-176.
- Faubert, J., & Allard, R. (2004). Effect of visual distortion on postural balance in a full immersion stereoscopic environment. [periodic]. 1-10.
- Faubert, J., & Sidebottom, L. (2012). Perceptual-cognitive training of athletes. *Journal of clinical sports psychology*, 6, 85-102.
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). "Mini-mental state". A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *J Psychiatr Res*, 12(3), 189-198.
- Greffou, S., Bertone, A., Hanssens, J. M., & Faubert, J. (2008). Development of visually driven postural reactivity: a fully immersive virtual reality study. *J Vis*, 8(11), 15 11-10.
- Jokisch, D., Daum, I., & Troje, N. F. (2006). Self recognition versus recognition of others by biological motion: viewpoint-dependent effects. *Perception*, 35(7), 911-920.
- Legault, I., Allard, R., & Faubert, J. (2011). Trained Older Observers Are Equivalent to Untrained Young Adults for 3D Multiple-Object-Tracking Speed Thresholds. *J Vis*, 11(11), 288.
- Legault, I., Troje, N. F., & Faubert, J. (2012). Healthy older observers cannot use biological-motion point-light information efficiently within 4 m of themselves. *iPerception*, 3, 1-8.

- Levitt, H. (1971). Transformed up-down methods in psychoacoustics. *J Acoust Soc Am*, *49*(2), Suppl 2:467+.
- Mahncke, H. W., Connor, B. B., Appelman, J., Ahsanuddin, O. N., Hardy, J. L., Wood, R. A., et al. (2006). Memory enhancement in healthy older adults using a brain plasticity-based training program: a randomized, controlled study. [Randomized Controlled Trial]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, *103*(33), 12523-12528.
- Piponnier, J. C., Hanssens, J. M., & Faubert, J. (2009). Effect of visual field locus and oscillation frequencies on posture control in an ecological environment. *J Vis*, *9*(1), 13 11-10.
- Pollick, F. E., Kay, J. W., Heim, K., & Stringer, R. (2005). Gender recognition from point-light walkers. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, *31*(6), 1247-1265.
- Troje, N. F. (2002). Decomposing biological motion: a framework for analysis and synthesis of human gait patterns. *J Vis*, *2*(5), 371-387.
- Troje, N. F. (2008). Retrieving information from human movement patterns. In T. F. Shipley & J. M. Zacks (Eds.), *Understanding Events: How Humans See, Represent, and Act on Events* (pp. 308-334): Oxford University Press.
- Troje, N. F., Sadr, J., Geyer, H., & Nakayama, K. (2006). Adaptation aftereffects in the perception of gender from biological motion. *J Vis*, *6*(8), 850-857.
- Westhoff, C., & Troje, N. F. (2007). Kinematic cues for person identification from biological motion. *Percept Psychophys*, *69*(2), 241-253.

Chapitre 5 : Discussion

Ce projet avait d'abord pour but d'évaluer l'importance de la distance de présentation des stimuli dans la perception du mouvement biologique, chez des sujets jeunes et âgés. Cette première étude a montré que l'évaluation de la direction de déplacement d'un patron de mouvement biologique devenait difficile pour les personnes âgées lorsque celui-ci est situé à moins de 4 mètres, alors que les jeunes pouvaient facilement percevoir les patrons de points à toute distance au-delà d'un mètre. Nos résultats indiquent que les gens âgés ont de la difficulté à intégrer l'information présentée dans un champ visuel étendu. Or cela peut s'avérer problématique dans des espaces où les distances d'interaction sont inférieures à 4 mètres, ce qui est le cas le plus souvent.

Ensuite, nous avons cherché à minimiser ces altérations liées à l'âge en entraînant nos participants à exécuter une tâche perceptivo-cognitive. Nous avons évalué les habiletés de participants jeunes et âgés à une tâche de 3D-MOT (seuils de vitesse) dans un environnement virtuel en 3D. Les vitesses-seuils atteintes par les participants âgés étaient initialement inférieures à celles atteintes par les jeunes. Toutefois, après quelques semaines d'entraînement, les personnes âgées ont obtenu des résultats comparables à ceux initialement obtenus par les jeunes (non entraînés).

Enfin, nous avons évalué, l'impact de l'entraînement perceptivo-cognitif sur la perception de patrons de mouvement biologique présentés à 4 et 16 mètres dans l'espace virtuel. Nos résultats indiquent que les personnes âgées entraînées au 3D-MOT ont

augmenté leurs capacités à percevoir le mouvement biologique pour des patrons présentés à 4 mètres, et ont atteint le niveau obtenu à 16 mètres. Cela suggère donc que l'entraînement perceptivo-cognitif peut réduire les déclinés liés à l'âge et possiblement aider les personnes âgées dans la plupart de leurs activités quotidiennes.

Les patrons de mouvement biologique situés à moins de 4 mètres ne peuvent être intégrés efficacement par les personnes âgées

Le premier article illustre l'importance de la distance (virtuelle) entre le patron de points et l'observateur dans la perception du mouvement biologique. Pour ce faire, nous avons présenté des patrons de mouvement biologique composés de 15 points noirs sur fond blanc, dans une voûte d'immersion en réalité virtuelle permettant la projection en 3 dimensions de nos stimuli. La distance virtuelle du participant au patron projeté variait de 0,5 à 16 mètres ; notre patron de 1,80 mètre était donc perçu sous des angles variant respectivement de 122 à 6,4 degrés d'angle visuel (à la verticale). À chacune de ces distances, nous avons évalué les seuils de tolérance au bruit de chaque participant, soit le nombre maximal de points de bruit que l'on peut ajouter à l'image sans altérer la discrimination de la direction de marche du patron. Le bruit a été créé à partir de points issus de patrons de mouvement biologique et disposés aléatoirement dans la scène visuelle. Enfin, nous avons

évalué la tolérance au bruit des participants pour la perception de patrons de mouvement biologique renversés présentés à différentes distances.

Nos résultats démontrent que la distance est un facteur déterminant dans la perception des patrons de mouvement biologique, surtout chez les personnes âgées. Chez les jeunes, les résultats étaient constants pour les patrons de mouvement biologiques présentés à des distances supérieures ou égales à un mètre. En revanche, peu de participants ont réussi à effectuer la tâche lorsque les patrons ont été présentés à moins d'un mètre ; ces quelques participants ont obtenu des résultats nettement inférieurs à ceux obtenus pour des distances de présentation supérieures à un mètre. La tolérance au bruit des personnes âgées était quasiment nulle pour les patrons présentés à moins de 4 mètres, et celle obtenue avec des patrons situés à 4 mètres était inférieure à celle obtenue pour une distance de présentation de 16 mètres.

Ensuite, nous avons mesuré la tolérance au bruit de nos participants avec des patrons de mouvement biologique renversés. Le but ici était d'évaluer l'effet du renversement du patron en fonction de la distance sur les habiletés de perception du mouvement biologique. Les études antérieures ont démontré un effet du renversement du patron sur la perception du mouvement biologique, c'est-à-dire que lorsque le patron de points est renversé, la perception globale de la forme pour la reconnaissance du mouvement biologique est perturbée et le taux de détection chute sévèrement (Bertenthal & Pinto, 1994; Pavlova &

Sokolov, 2000; Sumi, 1984; Troje, 2003). De plus, l'effet de renversement du patron sur la perception du mouvement biologique est encore plus marqué chez les personnes âgées (Pilz et al., 2010). Nous avons donc évalué l'importance du vieillissement sur la perception du mouvement biologique en fonction de la distance et de l'orientation du patron (droite ou renversée). Avec le patron renversé, les personnes âgées ont obtenu des niveaux de tolérance au bruit faibles voir nuls, pour toutes distances utilisées. De plus, le nombre d'individus ayant réussi à percevoir le mouvement biologique avec un patron renversé, même en l'absence de bruit, est très restreint et largement inférieur au nombre de personnes ayant été capables d'identifier le mouvement biologique avec le patron debout. Cela indique que l'orientation du patron a une incidence sur la perception du mouvement biologique chez les personnes âgées. Lorsque le patron était renversé, la plupart des participants âgés n'ayant pas été en mesure d'exécuter la tâche d'identification de la direction du mouvement biologique, il ne nous est donc pas possible de conclure quant à l'incidence de la distance sur la perception du mouvement biologique de patrons renversés chez les participants âgés. Chez les jeunes, nous avons également observé un effet de l'orientation du patron sur la perception du mouvement biologique : les seuils obtenus étaient largement plus faibles lorsque le patron était renversé que lorsqu'il était debout. De plus, chez les sujets jeunes, la distance ne semble pas influencer la perception du mouvement biologique des patrons renversés puisque les seuils de tolérance au bruit qui ont

été obtenus sont relativement constants quelle que soit la distance de présentation du patron.

Lorsque les patrons de points sont situés à courte distance, le champ visuel sollicité étant très grand, il est difficile de les intégrer de façon globale en un seul regard. Pour effectuer la discrimination de direction à 0,5 mètre, l'individu doit se fier au mouvement local des points puisque l'intégration globale de l'objet est irréalisable (le patron sous-tendant alors un angle de 122 degrés). Le bruit ajouté au stimulus rendant l'information du mouvement local des points impossible à exploiter pour détecter la direction de marche du patron de mouvement biologique (Bertenthal & Pinto, 1994; Cutting et al., 1988), le participant doit alors se référer à l'intégration globale du patron pour effectuer la tâche. Cependant, à très courte distance, comme l'intégration globale est inaccessible et que l'information locale est non informative, du fait du bruit ajouté, la quantité de bruit tolérée par les participants chute considérablement.

Chez les jeunes, aucun effet du renversement du patron n'a été observé pour une distance de présentation de 0,5 mètre ; les seuils de tolérance au bruit obtenus étaient similaires quelle que soit l'orientation du patron (droite ou renversée). Par ailleurs, l'intégration des pieds du patron de points (points identifiant la position des chevilles) est un facteur important pour la perception du mouvement biologique (Troje & Westhoff, 2006). Lorsque le patron de mouvement biologique est présenté à très courte distance, l'individu

ayant pour instruction de fixer le centre du patron de points (au niveau du bassin) les pieds sont situés dans le champ visuel périphérique. Malgré le fait que l'intégration des patrons de points semble efficace en périphérie, la présence de bruit complique l'extraction de l'information (Thompson, Hansen, Hess et Troje, (2007); voir également (Gurnsey et al., 2008)), ce qui contribuerait à la piètre performance obtenue pour une distance de présentation de 0,5 m chez les sujets jeunes.

De façon générale, les participants âgés ont obtenu des niveaux de tolérance au bruit inférieurs à ceux des jeunes participants. L'effet du vieillissement sur la perception du mouvement biologique peut sans doute se décrire comme étant la difficulté à identifier les points du patron comme appartenant à un tout cohérent afin de pouvoir percevoir un seul marcheur. Cette supposition est basée sur des études antérieures qui démontrent que les personnes âgées ont plus de difficulté à intégrer les éléments contenus dans l'espace et donc à percevoir une forme globale (Andersen & Ni, 2008; Del Viva & Agostini, 2007; Roudaia, Bennett, & Sekuler, 2008; Roudaia, Bennett, Sekuler, & Pilz, 2010). L'ajout de bruit rend encore plus difficile, pour les personnes âgées notamment, le repérage des points appartenant au patron de mouvement biologique et donc l'identification de ce patron (Billino et al., 2008; Pilz et al., 2010). Aussi, lorsque le patron est présenté à courte distance, l'information globale est plus difficile à extraire et c'est l'information locale qui doit être intégrée. Puisque les personnes âgées ont davantage de difficulté à encoder efficacement les

propriétés locales du mouvement (Bennett et al., 2007; Gilmore et al., 1992; Roudaia et al., 2010), leurs habiletés de perception du mouvement biologique seraient d'autant plus affectées que le patron serait proche.

En effectuant une tâche de détection de direction dans du bruit, le système visuel doit séparer la figure du fond, c'est-à-dire distinguer le patron de mouvement biologique du nuage de points de bruit. Comme démontré précédemment par Stanford et Pollak (1984), le vieillissement affecte la capacité à ségréger la figure du fond. En outre, dégager le stimulus du bruit est une tâche d'autant plus complexe que le masque de bruit est composé d'éléments identiques à la cible. Déterminer la direction de marche du patron de mouvement biologique nécessite préalablement, dans un court intervalle de temps, de distinguer la figure du bruit ; ce processus doit donc se faire en deux étapes. Nos résultats sont en accord avec la proposition que le vieillissement s'accompagne de déclin au niveau de la perception visuelle, ceux-ci paraissant d'autant plus que la tâche à effectuer est complexe, c'est-à-dire requiert plusieurs étapes d'analyse (Faubert, 2002; Habak & Faubert, 2000).

Nos résultats démontrent qu'avec l'âge, il semble très difficile, voire impossible, d'intégrer l'information lorsqu'une large portion du champ visuel est sollicitée. Comme démontré par Sekuler et ses collègues, la taille du champ visuel utile (CVU) diminue avec l'âge, surtout lorsque celui-ci est encombré (Sekuler et al., 2000). Le CVU correspond à la

région du champ visuel dont l'individu peut extraire l'information en une seule fixation, sans bouger les yeux. En présentant le patron de mouvement biologique (1,80 m) à 4 mètres de distance, celui-ci sous-tend un angle de 24 degrés ; la scène visuelle devient alors rapidement encombrée et plus difficile à intégrer que lorsque le patron est présenté à 16 mètres (soit lorsqu'il sous-tend 6,4 dav).

Richards et ses collaborateurs ont démontré qu'à l'aide d'une tâche statique d'attention divisée, il était possible, par entraînement, d'accroître de façon significative, le CVU des personnes âgées (Richards et al., 2006). Nous nous sommes demandé s'il était possible d'entraîner les personnes âgées à l'exécution d'une tâche dynamique pour augmenter leur CVU, dans un premier temps, et pour améliorer leur perception du mouvement biologique de patrons présentés à de courtes distances (donc occupant une grande portion de leur champ visuel), dans un second temps.

Pour les expériences abordées dans les deux articles suivants, nous avons établi un protocole d'entraînement perceptivo-cognitif sur cinq semaines, dans lequel les participants jeunes et âgés devaient effectuer une tâche de 3D-MOT. Le deuxième article démontre que cet entraînement a permis une amélioration des habiletés des participants âgés au 3D-MOT, et le troisième rapporte que ces bénéfices ont été transférables à la perception du mouvement biologique.

Les personnes âgées entraînées à la poursuite visuelle d'éléments en mouvement présentés en 3D obtiennent des performances semblables à celles des jeunes non entraînés.

Avant de mettre en place notre protocole d'entraînement au 3D-MOT, nous voulions valider, chez les personnes âgées, l'utilisation de la vitesse-seuil (vitesse maximale de déplacement des objets à laquelle la poursuite des cibles peut être effectuée) comme variable dépendante. Dans les tâches classiques de MOT, la variable dépendante est le nombre maximal de cibles qui peuvent être suivies. Trick et ses collègues (2005) ont démontré que les personnes âgées ne pouvaient suivre autant d'objets que les jeunes et qu'elles étaient limitées à un maximum de 3 objets. Faubert et Sidebottom (2012) ont proposé, eux, de mesurer les habiletés de poursuite au MOT en utilisant des vitesses-seuils, pour avoir des résultats individuels plus précis que le nombre maximal d'objets suivis. Ainsi, nous voulions vérifier si, en modifiant la vitesse de présentation, nous pouvions faire suivre plus d'objets à nos personnes âgées. Les participants devaient suivre 3 ou 4 cibles en mouvement. Chacun des essais débutait très lentement. Lorsque l'individu était capable de suivre les cibles, leur vitesse de déplacement augmentait à l'essai suivant. La vitesse maximale à laquelle les cibles pouvaient être suivies a été déterminée en utilisant la méthode adaptative de l'escalier psychophysique (augmentation de la vitesse de déplacement des

balles après deux bonnes réponses consécutives et diminution de la vitesse suite à une mauvaise réponse).

Les deux groupes de sujets, jeunes et âgés, ont obtenu des vitesses-seuils pour 4 cibles inférieures à celles pour 3 cibles, cette différence étant encore plus marquée chez les personnes âgées. En outre, dans ces deux conditions, les personnes âgées ont obtenu des vitesses-seuils inférieures à celles des jeunes. Nos résultats concordent donc avec ceux d'autres études qui indiquent que deux facteurs influencent la capacité à suivre les cibles : leur vitesse de déplacement (Alvarez & Franconeri, 2007; Faubert & Sidebottom, 2012; Sekuler et al., 2008) ainsi que de leur nombre. (Alvarez & Franconeri, 2007; Pylyshyn & Storm, 1988; Yantis, 1992). Nos résultats confirment aussi que les vitesses-seuils constituent des mesures plus précises que le nombre de cibles suivies à une vitesse donnée pour mettre en évidence les différences interindividuelles. En effet, faire varier la vitesse nous a non seulement permis de montrer que les personnes âgées pouvaient suivre 4 cibles, mais également qu'il y avait des différences de vitesses-seuils entre les groupes (et entre les individus dans chaque groupe) pour le même nombre de cibles suivies.

L'utilisation du 3D-MOT requiert l'activation de plusieurs processus corticaux et donc le recrutement de plusieurs réseaux de neurones (Faubert & Sidebottom, 2012). Ces demandes perceptivo-cognitives impliquent des processus rapides d'intégration de mouvements complexes, d'attention divisée et de mémoire visuelle de travail. Le vieillissement engendre

des déclin dont l'importance est relative à la nature des tâches à effectuer : plus la tâche est complexe, plus les déficits deviennent visibles (Faubert 2002). Cela s'explique par le fait que le vieillissement normal entraîne des pertes neuronales (Spear, 1993). En effet, lorsqu'une tâche est simple, les réseaux de neurones activés sont restreints, alors qu'une tâche complexe exige le recrutement de vastes réseaux de neurones. Si des déficits sont présents au sein de réseaux destinés à l'exécution d'une tâche simple, des réseaux de neurones alternatifs sont recrutés pour en diminuer les effets. Lorsque les mêmes déficits touchent des réseaux dévolus à l'exécution de tâches complexes, du fait de l'étendue de ces réseaux, leur compensation par recrutement de réseaux neuronaux alternatifs n'est alors plus possible et cela se traduit par une diminution des habiletés perceptives (Madden et al., 2007). D'après la littérature, il existe deux types principaux de compensation neuronale chez les personnes âgées. Le premier, le modèle HAROLD (*Hemispheric Asymmetry Reduction in OLDer Adults – Diminution de l'asymétrie hémisphérique chez les adultes âgés*) élaboré à l'aide de l'IRM fonctionnelle, stipule que les activations cérébrales des personnes âgées sont plus diffuses et davantage bilatérales que celles des jeunes adultes. Le recrutement d'aires corticales supplémentaires et correspondantes dans le deuxième hémisphère permettrait de compenser le fonctionnement déficitaire des aires corticales du premier hémisphère, mais diminuerait par ailleurs l'activation spécifique de ces dernières chez les personnes âgées, affectant ainsi leur capacité à inhiber les interférences. Autrement dit, lorsque l'attention

doit être portée sur quelques éléments seulement, il est difficile pour les personnes âgées d'ignorer les éléments environnant qui deviennent ainsi des distracteurs. (Dennis & Cabeza, 2008). Le second modèle de compensation neuronale, le modèle PASA (*Posterior-Anterior-Shift in Aging – Bascule postéro-antérieure au cours du vieillissement*), suggère que l'activité normalement observée chez les jeunes dans les régions postérieures du cerveau est significativement réduite chez les personnes âgées au profit des régions antérieures. Une tâche de 3D-MOT requiert divers processus attentionnels qui sollicitent les régions antérieures du cerveau comme les cortex frontal et préfrontal, mais elle requiert également l'activation d'autres régions plus postérieures comme les cortex occipital et pariétal (Culham et al., 1998). Dans ce contexte et selon le modèle PASA, il est possible que chez les personnes âgées la sollicitation des aires corticales antérieures au cours du 3D-MOT soit si importante que la capacité de ces aires à traiter efficacement l'information soit dépassée. Ces deux modèles suggèrent qu'une redistribution de l'activité corticale se produit au cours du vieillissement, sous l'effet de la perte d'efficacité des structures normalement dévolues à telle ou telle fonction chez l'adulte jeune. Cependant, si l'activité corticale est redistribuée à travers des réseaux neuronaux plus vastes, cela permet tout juste aux personnes âgées de compenser certains déficits perceptivo-cognitifs mais pas de gagner en efficacité, ce qui se voit notamment dans les différences de résultats au 3D-MOT entre les jeunes et les âgés.

La différence observée entre les vitesses-seuils obtenues par les jeunes et celles des personnes âgées avec 3 cibles est moindre qu'avec 4. Suivre 4 cibles au lieu de 3 augmentant la complexité de la tâche, les personnes âgées n'ont pas pu l'effectuer aussi aisément que les jeunes, ce qui expliquerait la différence plus marquée dans cette condition. La quantité d'objets qu'une personne peut suivre est similaire pour les sujets âgés et les sujets jeunes. En revanche, le coût nécessaire pour effectuer la tâche est beaucoup plus élevé pour les personnes âgées, ce qui se traduit par une vitesse-seuil significativement inférieure à celle des sujets jeunes.

Nous voulions ensuite évaluer les effets de l'entraînement au 3D-MOT chez des sujets jeunes et âgés. Nous avons donc soumis nos participants à un protocole d'entraînement établi sur cinq semaines consécutives ; chaque semaine, pendant une demi-heure, les participants devaient effectuer la tâche de 3D-MOT répartie en trois blocs. Déjà, dès la deuxième semaine, les participants obtenaient des vitesses-seuils plus élevées que celles de la première semaine. Les résultats obtenus par les personnes âgées, en général, ont été inférieurs à ceux des jeunes, ce qui s'explique notamment par le fait que le 3D-MOT est une tâche complexe.

Fait intéressant, au terme des cinq semaines d'entraînement, les vitesses-seuils des personnes âgées se sont améliorées pour arriver au niveau de celles obtenues par les jeunes non entraînés. De plus, en regardant l'évolution du parcours d'entraînement des sujets

jeunes et des personnes âgées (Figure 4 de l'article 2), nous observons que les jeunes ont atteint un plateau à la quatrième semaine, alors que les personnes âgées sont toujours en pleine progression à la cinquième semaine. Richards et collaborateurs (2006) ont également entraîné des participants âgés à l'exécution d'une tâche d'attention divisée dans le but d'accroître leur CVU. Dans leur cas, les personnes âgées ont eu besoin de 9 séances d'entraînement pour obtenir des résultats similaires à ceux des jeunes qui avaient suivi, eux, 5 séances d'entraînement. Cela concorde avec nos résultats et indique que l'apprentissage des personnes âgées s'effectue à un rythme plus lent que celui des jeunes (Richards et al., 2006). Dans notre étude, il aurait fallu davantage de séances d'entraînement pour pouvoir déterminer la courbe d'apprentissage des personnes âgées : les résultats obtenus à la cinquième semaine étant en nette progression par rapport à ceux de la semaine précédente, les personnes âgées n'avaient sans doute pas encore atteint les limites de leurs capacités à accroître leurs habiletés au 3D-MOT.

D'un autre côté, les résultats obtenus suggèrent que l'entraînement perceptivo-cognitif semble une méthode efficace pour réduire le déclin fonctionnel engendré par le vieillissement. Ceci confirme les résultats d'études antérieures qui ont observé les effets positifs de l'entraînement sur les processus perceptifs (diminution du coût lié à l'attention divisée, apprentissage et traitement de l'information plus rapide) (Andersen et al., 2010; Kramer et al., 1995; Richards et al., 2006). Entre autres, Andersen et collègues ont montré

que les sujets jeunes et âgés pouvaient augmenter leurs performances à une tâche d'attention divisée. À la fin de l'entraînement, les personnes âgées avaient obtenu des seuils comparables à ceux des sujets jeunes qui n'avaient pas reçu d'entraînement, et les effets de cet apprentissage avaient persisté au-delà de 3 mois après l'entraînement. L'entraînement semble réduire le coût attentionnel que requiert une tâche complexe en en rendant les processus d'exécution plus automatiques (Ma et al., 2010). Ma et collègues, en utilisant la résonance magnétique chez des jeunes, ont démontré qu'il y avait une réorganisation des connexions liées à l'apprentissage (apprentissage moteur dans ce cas-ci) associée à l'automatisation de la tâche. Cette réorganisation permettrait une libération des ressources liées à la tâche et aurait pour conséquence d'augmenter l'efficacité d'exécution de cette tâche. Dans notre cas, cette libération de ressources aurait pour effet d'augmenter la vitesse à laquelle la tâche de 3D-MOT peut être exécutée.

Avant et après leur entraînement au 3D-MOT, les jeunes ont obtenu des résultats supérieurs à ceux des personnes âgées. Cela pourrait découler leur plus grande exposition que les personnes âgées aux récentes technologies du divertissement et de l'information (jeux vidéos, internet, télévision, etc.) (Sekuler et al., 2008). Des recherches ont démontré que l'expérience pouvait jouer un rôle important dans la poursuite d'objets (Allen, McGeorge, Pearson, & Milne, 2004; Green & Bavelier, 2006). Green de Bavelier (2006) ont démontré l'importance de la pratique des jeux vidéos dans l'exécution d'une tâche de MOT

en comparant des non-joueurs à des joueurs. Ils ont observé une augmentation du nombre de cibles suivies chez des joueurs dont l'exposition aux jeux vidéo était quotidienne ou de plusieurs fois par semaine, depuis au moins 6 mois. Dans notre expérience, l'exposition aux jeux vidéo ne peut pas expliquer les résultats, car seul un des jeunes participants était un joueur régulier, et ses résultats ne différaient pas de ceux des autres sujets jeunes. Aussi, nous pouvons supposer que les personnes âgées sont moins préparées au 3D-MOT de par leurs activités quotidiennes. D'ailleurs, il est fréquent que les personnes âgées évitent les activités plus complexes (comme la circulation automobile en période de trafic dense) notamment lorsqu'elles ont de la difficulté à les gérer (Ball et al., 1998). Il est donc probable que l'entraînement au 3D-MOT soit bénéfique pour les personnes âgées et les aide à traiter, de façon générale, l'information dynamique et complexe plus efficacement.

Une des particularités de notre étude est que nous avons effectué la tâche de 3D-MOT dans une voûte d'immersion en réalité virtuelle permettant la projection de stimuli de façon à ce qu'ils occupent la quasi-totalité du champ visuel. Comme les études antérieures sur le CVU, nous avons observé qu'il était possible pour les jeunes et les personnes âgées, après quelques séances d'entraînement, d'augmenter leur efficacité de traitement de l'information pour l'exécution de tâches de 3D-MOT projetées dans une large portion du champ visuel. L'étude de Richards et collègues a démontré que l'entraînement à une tâche d'attention divisée était suivi d'une diminution du coût attentionnel requis pour effectuer

cette tâche, tant chez les personnes âgées que chez les jeunes (Richards et al., 2006). Contrairement à Richards et collègues qui ont utilisé des scènes visuelles statiques, nous avons utilisé une tâche dynamique où les cibles et les distracteurs étaient identiques et en mouvement ; notre tâche présentait donc un degré de complexité supérieur. De plus, les stimuli utilisés dans notre tâche couvraient une portion du champ visuel deux fois plus grande (en terme de dv) que ceux utilisés par Richards et collaborateurs. La tâche que nous utilisons présentant une plus grande complexité et requérant une attention divisée sur une plus grande étendue du champ visuel, nous pensions donc qu'elle solliciterait et activerait des réseaux neuronaux plus vastes que celle utilisée par Richards et collègues. Ainsi, nous avons envisagé la possibilité d'un transfert des acquis de l'entraînement au 3D-MOT à d'autres situations comme la perception du mouvement biologique, voire des activités de la vie quotidienne.

L'entraînement à une tâche de 3D-MOT augmente les résultats à une mesure des habiletés de perception du mouvement biologique chez les personnes âgées: évidence de transfert

Le troisième article traite de l'impact de l'entraînement perceptivo-cognitif au 3D-MOT sur la perception de patrons de mouvement biologique. Avec les expériences présentées dans le premier article, nous avons démontré que lorsque les distances étaient

inférieures à 4 mètres, les personnes âgées n'étaient pas capables de percevoir le mouvement biologique si du bruit était ajouté au patron. Leur tolérance au bruit était maximale lorsque le patron était présenté à 16 mètres. L'expérience présentée dans ce troisième article a été menée sur des participants âgés. Elle consistait à entraîner les sujets du groupe expérimental à une tâche perceptivo-cognitive (3D-MOT), et, chez les sujets du groupe-témoin, à mesurer de façon répétée des seuils de sensibilité au contraste (tâche perceptivo-visuelle), à la même fréquence que les séances d'entraînement du premier groupe et dans le même environnement. Il s'agissait finalement d'évaluer l'effet de cet entraînement sur les habiletés de perception des patrons de mouvement biologique présentés à des distances de 4 et 16 mètres. Notre but était de réussir à accroître la tolérance au bruit des participants du groupe expérimental lors de la perception de mouvement biologique, pour des patrons présentés à 4 mètres, et de faire en sorte qu'elle soit semblable à celle observée pour des patrons présentés à 16 mètres.

Le groupe expérimental (groupe *3D-MOT*) a été entraîné au 3D-MOT pendant cinq semaines consécutives. Comme dans le deuxième article, les participants de ce groupe devaient suivre 3 cibles parmi les distracteurs. La vitesse-seuil de chaque participant était déterminée à l'aide de la méthode adaptative de l'escalier psychophysique. Les participants du groupe-témoin (groupe *contraste*) sont venus pour des mesures répétées de leur seuil de sensibilité au contraste ; cela a été fait, comme pour le groupe *3D-MOT*, dans

l'environnement en immersion virtuelle en 3D et en sollicitant la même portion du champ visuel. Les sujets du groupe *contraste* devaient indiquer l'orientation des barres (verticale ou horizontale) d'un réseau sinusoïdal noir et blanc obtenu par modulation de luminance. Au départ, le niveau de contraste des réseaux était élevé et il diminuait à chaque bonne réponse. Le seuil de sensibilité au contraste a ainsi été déterminé par la méthode adaptative de l'escalier psychophysique (diminution du contraste après deux bonnes réponses consécutives et augmentation du contraste suite à une mauvaise réponse).

A la cinquième semaine, nous avons mesuré le niveau de tolérance au bruit de tous nos participants lors de la perception du mouvement biologique, pour des patrons présentés à 4 et 16 mètres. Nous avons également évalué le niveau de tolérance au bruit d'un second groupe-témoin constitué de participants n'ayant pas suivi d'entraînement au 3D-MOT et n'étant pas venus pour les mesures de seuil de sensibilité au contraste. Les seuils de tolérance au bruit lors de la perception du mouvement biologique étaient similaires pour les trois groupes pour un patron présenté à 16 mètres. En revanche, pour un patron présenté à 4 mètres, les personnes âgées ayant suivi l'entraînement perceptivo-cognitif (3D-MOT) ont obtenu des seuils de tolérance au bruit comparables à ceux obtenus pour un patron présenté à 16 mètres, ce qui indique une amélioration de leurs habiletés pour la perception du mouvement biologique ; les sujets du second groupe-témoin (sans préparation) et ceux du

groupe *contraste*, eux, ont obtenu, pour cette condition, des seuils de tolérance au bruit significativement inférieurs à ceux obtenus pour un patron présenté à 16 mètres.

Nous avons créé le groupe *contraste* dans le but de valider l'effet du protocole d'entraînement perceptivo-cognitif sur les habiletés de perception du mouvement biologique. Nous voulions nous assurer que l'amélioration des seuils de tolérance au bruit des participants était directement liée à l'entraînement perceptivo-cognitif et non pas simplement à la familiarisation des participants à la voûte d'immersion virtuelle en 3D. Les participants du groupe *contraste* ont donc été reçus dans les mêmes conditions que ceux du groupe expérimental. Ils devaient se présenter au laboratoire une fois par semaine, pendant cinq semaines consécutives, pour trois mesures de seuil de sensibilité au contraste à chaque fois. Les réseaux sinusoïdaux qui leur étaient présentés étaient statiques, mais avaient les mêmes dimensions que la boîte virtuelle contenant les cibles et distracteurs de la tâche de 3D-MOT, soit 42 dav (à l'horizontale et à la verticale). Les participants du groupe *contraste* ont obtenu des seuils de tolérance au bruit pour des patrons de mouvement biologique présentés à 4 mètres identiques à ceux du second groupe-témoin (sans préparation) et largement inférieurs à ceux du groupe *3D-MOT*. Cela démontre donc l'importance de l'entraînement perceptivo-cognitif dynamique dans l'amélioration des habiletés de perception du mouvement biologique, qui se traduit par une augmentation de la tolérance au bruit.

Le but de cette étude était de mettre en évidence l'importance de l'entraînement perceptivo-cognitif et son impact sur des tâches de la vie quotidienne relatives notamment à l'interaction sociale. Nous avons démontré que les personnes âgées pouvaient améliorer leurs habiletés à percevoir le mouvement biologique de façon significative après un entraînement au 3D-MOT, réduisant ainsi les effets néfastes du vieillissement. Nos résultats viennent renforcer ceux obtenus par Faubert et Sidebottom (2012), et indiquent que l'entraînement perceptivo-cognitif pourrait aider les individus à exécuter des tâches complexes dans des situations réelles de la vie quotidienne, comme cela a été observé chez les athlètes. La perception du mouvement biologique dans du bruit est un processus d'autant plus complexe que l'information présentée couvre une large portion du champ visuel. L'entraînement au 3D-MOT a favorisé l'apprentissage de l'intégration de l'information contenue dans une large portion de champ visuel, ce qui a facilité, aux personnes âgées du groupe expérimental, l'intégration du mouvement biologique des patrons présentés à 4 mètres et permis d'augmenter leur tolérance au bruit.

Lorsqu'une scène visuelle est encombrée et occupe une grande partie du champ visuel, les personnes âgées ne semblent pas être en mesure d'en intégrer toute l'information en un seul regard (leur CVU est réduit par rapport aux dimensions de la scène). La perception du mouvement biologique pour des patrons présentés à 4 mètres est possiblement effectuée non pas globalement, mais par l'intégration de l'information locale. Or, l'intégration de

l'information locale est affectée par le vieillissement et devient inefficace en présence de bruit (Bertenthal & Pinto, 1994; Cutting et al., 1988; Pilz et al., 2010). Le 3D-MOT impose une perception de l'information environnante comme un tout. Un entraînement au 3D-MOT devait donc permettre de percevoir le mouvement biologique dans sa globalité, augmentant ainsi la résistance au bruit pour les patrons de situés à 4 mètres. Nos résultats concordent donc avec la proposition de Yantis (1992) qui stipule que le système visuel formerait un polygone virtuel pour suivre les cibles en mouvement lors d'une tâche de MOT. Ce regroupement des éléments-cibles en une image pourrait aider à percevoir le patron de mouvement biologique comme un tout et ainsi augmenter la tolérance au bruit des participants.

L'entraînement perceptivo-cognitif a permis d'augmenter la capacité des individus du groupe expérimental à traiter l'information présentée dans une grande partie du champ visuel. L'apprentissage effectué au cours de l'entraînement au 3D-MOT a manifestement un potentiel de transfert sur des tâches à caractère social comme la perception du mouvement biologique. Il est donc possible que cet entraînement facilite l'exécution d'autres tâches comme la conduite automobile ou la navigation dans une foule.

Mais quel lien y a-t-il entre l'amélioration des performances au 3D-MOT suite à un entraînement et l'amélioration de la capacité à percevoir le mouvement biologique de patrons présentés dans du bruit et à courte distance ? Autrement dit, comment expliquer le

transfert des acquis résultant de l'entraînement au 3D-MOT sur l'accroissement de la capacité à tolérer du bruit lors de la perception du mouvement biologique de patrons présentés à courte distance ? Dans le cas présent, l'amélioration de la capacité à exécuter une tâche de 3D-MOT est probablement en partie relative à l'accroissement des capacités attentionnelles des individus, la tâche de 3D-MOT requérant de l'attention multifocale, de l'attention soutenue ainsi que de l'attention sélective. Il est possible que le fait d'avoir effectué la tâche de façon répétée ait libéré différentes ressources attentionnelles et, conséquemment, amélioré les capacités de poursuite des individus, leur permettant ainsi d'effectuer la tâche à plus grande vitesse. De plus, les stimuli de 3D-MOT ont été présentés sur une grande partie de champ visuel. L'intégration de l'information visuelle sur un large champ peut avoir eu une incidence positive sur la perception du mouvement biologique puisque, suite à l'entraînement au 3D-MOT, la capacité des personnes âgées à percevoir les patrons de points à courte distance a augmenté de façon significative. En effet, la perception du mouvement biologique, lorsque le patron de points est présenté à courte distance, nécessite l'intégration de l'information sur une grande portion du champ visuel. D'autre part, la perception des patrons de mouvement biologique, lorsqu'on y ajoute du bruit, exige, comme l'exécution d'une tâche de 3D-MOT, que l'on procède à la ségrégation de la figure du bruit, c'est-à-dire que l'on distingue les cibles des distracteurs. Il existe donc probablement des mécanismes attentionnels communs à la poursuite multiple d'objet et à la perception du

mouvement biologique qui, développés par l'exécution répétée de la tâche de 3D-MOT, permettent d'améliorer la capacité de perception des patrons de mouvement biologique des personnes âgées.

Chapitre 6 : Conclusion

Nos résultats indiquent clairement que la distance est une composante importante dans la facilité de perception du mouvement biologique. L'évaluation de la direction de mouvement d'un patron devient difficile pour les personnes âgées lorsque ce patron est situé à moins de 4 mètres, alors que les jeunes présentent les mêmes habiletés à percevoir le mouvement biologique quelle que soit la distance à laquelle est présenté le patron, à partir d'un mètre et au-delà. Cela indique que les gens âgés ont de la difficulté à intégrer l'information d'une scène visuelle lorsque celle-ci occupe une portion étendue de leur champ visuel, ce qui peut s'avérer problématique au quotidien dans des espaces où les distances d'interaction sont inférieures à 4 mètres. Un déplacement dans une foule ou un centre commercial bondé, lorsque le mouvement des individus les plus proches est difficilement perceptible, devient plus laborieux et encore plus problématique lorsqu'elles avancent en âge. Souvent, les gens âgés évitent les foules ou la conduite dans les périodes d'encombrement, car ils disent avoir de la difficulté à se repérer (Ball et al., 1998). L'intégration du CVU semble être un des facteurs-clefs dans la facilité de navigation dans un environnement encombré d'éléments, surtout si ceux-ci sont en mouvement. Chose intéressante cependant, nos recherches montrent qu'il est possible d'augmenter les dimensions du CVU grâce à un entraînement au 3D-MOT (approprié quant à la portion de champ visuel sollicitée), et que cet accroissement du CVU est transférable à la perception du mouvement biologique, permettant d'en améliorer les habiletés. Plusieurs recherches ont

démontré que l'entraînement cognitif perdurait au-delà de 3 mois après l'entraînement ; il serait donc intéressant de voir si les gains acquis au cours de l'entraînement au 3D-MOT persistent dans le temps.

Enfin, il serait pertinent d'évaluer les effets, chez les personnes âgées, d'un entraînement perceptivo-cognitif utilisant le 3D-MOT sur la conduite automobile ou la navigation dans une foule. Il serait ainsi possible de faciliter aux personnes âgées les interactions avec leur environnement immédiat afin de favoriser leurs déplacements quotidiens.

Bibliographie

- Ahlstrom, V., Blake, R., & Ahlstrom, U. (1997). Perception of biological motion. *Perception*, 26(12), 1539-1548.
- Allen, R., McGeorge, P., Pearson, D., & Milne, A. B. (2004). Attention and expertise in multiple target tracking. *Applied Cognitive Psychology*, 18(3), 337-347.
- Alvarez, G. A., & Franconeri, S. L. (2007). How many objects can you track? Evidence for a resource-limited attentive tracking mechanism. *J Vis*, 7(13), 14 11-10.
- Andersen, G. J., & Atchley, P. (1995). Age-related differences in the detection of three-dimensional surfaces from optic flow. *Psychol Aging*, 10(4), 650-658.
- Andersen, G. J., & Ni, R. (2008). Aging and visual processing: declines in spatial not temporal integration. *Vision Res*, 48(1), 109-118.
- Andersen, G. J., Ni, R., Bower, J. D., & Watanabe, T. (2010). Perceptual learning, aging, and improved visual performance in early stages of visual processing. *J Vis*, 10(13), 4.
- Baizer, J. S., Ungerleider, L. G., & Desimone, R. (1991). Organization of visual inputs to the inferior temporal and posterior parietal cortex in macaques. *J Neurosci*, 11(1), 168-190.
- Ball, K., Berch, D. B., Helmers, K. F., Jobe, J. B., Leveck, M. D., Marsiske, M., et al. (2002). Effects of cognitive training interventions with older adults: a randomized controlled trial. *JAMA*, 288(18), 2271-2281.
- Ball, K., Owsley, C., Stalvey, B., Roenker, D. L., Sloane, M. E., & Graves, M. (1998). Driving avoidance and functional impairment in older drivers. *Accid Anal Prev*, 30(3), 313-322.
- Ball, K., & Sekuler, R. (1986). Improving visual perception in older observers. *J Gerontol*, 41(2), 176-182.
- Ball, K. K., Beard, B. L., Roenker, D. L., Miller, R. L., & Griggs, D. S. (1988). Age and Visual-Search - Expanding the Useful Field of View. *Journal of the Optical Society of America a-Optics Image Science and Vision*, 5(12), 2210-2219.
- Beintema, J. A., Georg, K., & Lappe, M. (2006). Perception of biological motion from limited-lifetime stimuli. *Percept Psychophys*, 68(4), 613-624.
- Bennett, P. J., Sekuler, R., & Sekuler, A. B. (2007). The effects of aging on motion detection and direction identification. *Vision Res*, 47(6), 799-809.

- Bertenthal, B. I., & Pinto, J. (1994). Global processing of biological motions. *Psychological science*, 5(4), 221-225.
- Bertone, A., Guy, J., & Faubert, J. (2011). Assessing spatial perception in aging using an adapted Landolt-C technique. *Neuroreport*, 22(18), 951-955.
- Billino, J., Bremmer, F., & Gegenfurtner, K. R. (2008). Differential aging of motion processing mechanisms: evidence against general perceptual decline. *Vision Res*, 48(10), 1254-1261.
- Bonda, E., Petrides, M., Ostry, D., & Evans, A. (1996). Specific involvement of human parietal systems and the amygdala in the perception of biological motion. *J Neurosci*, 16(11), 3737-3744.
- Boutet, I., & Faubert, J. (2006). Recognition of faces and complex objects in younger and older adults. *Mem Cognit*, 34(4), 854-864.
- Breslin, G., Hodges, N. J., Williams, A. M., Kremer, J., & Curran, W. (2006). A comparison of intra- and inter-limb relative motion information in modelling a novel motor skill. *Hum Mov Sci*, 25(6), 753-766.
- Bulthoff, I., Bulthoff, H., & Sinha, P. (1998). Top-down influences on stereoscopic depth-perception. *Nat Neurosci*, 1(3), 254-257.
- Cavanagh, P., & Alvarez, G. A. (2005). Tracking multiple targets with multifocal attention. *Trends Cogn Sci*, 9(7), 349-354.
- Chang, D. H. F., & Troje, N. F. (2008). Perception of animacy and direction from local biological motion signals. *J Vis*, 8(5), 1-10.
- Crum, R. M., Anthony, J. C., Bassett, S. S., & Folstein, M. F. (1993). Population-based norms for the Mini-Mental State Examination by age and educational level. *Jama*, 269(18), 2386-2391.
- Culham, J. C., Brandt, S. A., Cavanagh, P., Kanwisher, N. G., Dale, A. M., & Tootell, R. B. (1998). Cortical fMRI activation produced by attentive tracking of moving targets. *J Neurophysiol*, 80(5), 2657-2670.
- Cutting, J. E. (1978). A program to generate synthetic walkers as dynamic point-light displays. [periodic]. *Behavior research methods & instrumentation*, 10(1), 91-94.

- Cutting, J. E., Moore, C., & Morrison, R. (1988). Masking the motions of human gait. *Percept Psychophys*, 44(4), 339-347.
- Del Viva, M. M., & Agostini, R. (2007). Visual spatial integration in the elderly. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 48(6), 2940-2946.
- Dennis, N. A., & Cabeza, R. (2008). Neuroimaging of healthy cognitive aging. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *The handbook of aging and cognition* (3rd ed., pp. pp. 1-54). New York, NY: Psychology Press.
- Dittrich, W. H. (1993). Action categories and the perception of biological motion. *Perception*, 22(1), 15-22.
- Dittrich, W. H., Troscianko, T., Lea, S. E., & Morgan, D. (1996). Perception of emotion from dynamic point-light displays represented in dance. *Perception*, 25(6), 727-738.
- Edwards, J. D., Myers, C., Ross, L. A., Roenker, D. L., Cissell, G. M., McLaughlin, A. M., et al. (2009). The longitudinal impact of cognitive speed of processing training on driving mobility. *Gerontologist*, 49(4), 485-494.
- Edwards, J. D., Ross, L. A., Wadley, V. G., Clay, O. J., Crowe, M., Roenker, D. L., et al. (2006). The useful field of view test: normative data for older adults. *Arch Clin Neuropsychol*, 21(4), 275-286.
- Faubert, J. (2002). Visual perception and aging. *Can J Exp Psychol*, 56(3), 164-176.
- Faubert, J., & Allard, R. (2004). Effect of visual distortion on postural balance in a full immersion stereoscopic environment. 1-10.
- Faubert, J., & Sidebottom, L. (2012). Perceptual-cognitive training of athletes. *Journal of clinical sports psychology*, 6, 85-102.
- Fiorentino, D. D. (2008). Cognition, but not sensation, mediates age-related changes in the ability to monitor the environment. *Psychol Aging*, 23(3), 665-670.
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). "Mini-mental state". A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *J Psychiatr Res*, 12(3), 189-198.

- Freire, A., Lewis, T. L., Maurer, D., & Blake, R. (2006). The development of sensitivity to biological motion in noise. *Perception, 35*(5), 647-657.
- Giese, M. A., & Poggio, T. (2003). Neural mechanisms for the recognition of biological movements. *Nat Rev Neurosci, 4*(3), 179-192.
- Gilmore, G. C., Wenk, H. E., Naylor, L. A., & Stuve, T. A. (1992). Motion perception and aging. *Psychol Aging, 7*(4), 654-660.
- Green, C. S., & Bavelier, D. (2006). Enumeration versus multiple object tracking: the case of action video game players. *Cognition, 101*(1), 217-245.
- Greffou, S., Bertone, A., Hanssens, J. M., & Faubert, J. (2008). Development of visually driven postural reactivity: a fully immersive virtual reality study. *J Vis, 8*(11), 15 11-10.
- Grezes, J., Fonlupt, P., Bertenthal, B., Delon-Martin, C., Segebarth, C., & Decety, J. (2001). Does perception of biological motion rely on specific brain regions? *Neuroimage, 13*(5), 775-785.
- Grossman, Battelli, L., & Pascual-Leone, A. (2005). Repetitive TMS over posterior STS disrupts perception of biological motion. *Vision Res, 45*(22), 2847-2853.
- Grossman, & Blake, R. (2002). Brain Areas Active during Visual Perception of Biological Motion. *Neuron, 35*(6), 1167-1175.
- Grossman, Donnelly, M., Price, R., Pickens, D., Morgan, V., Neighbor, G., et al. (2000). Brain areas involved in perception of biological motion. *J Cogn Neurosci, 12*(5), 711-720.
- Grossman, E. D., & Blake, R. (1999). Perception of coherent motion, biological motion and form-from-motion under dim-light conditions. *Vision Res, 39*(22), 3721-3727.
- Grossman, E. D., & Blake, R. (2001). Brain activity evoked by inverted and imagined biological motion. *Vision Res, 41*(10-11), 1475-1482.
- Grossman, E. D., Blake, R., & Kim, C. Y. (2004). Learning to see biological motion: brain activity parallels behavior. *J Cogn Neurosci, 16*(9), 1669-1679.
- Gurnsey, R., Roddy, G., Ouhana, M., & Troje, N. F. (2008). Stimulus magnification equates identification and discrimination of biological motion across the visual field. *Vision Res, 48*(28), 2827-2834.

- Habak, C., & Faubert, J. (2000). Larger effect of aging on the perception of higher-order stimuli. [periodic]. *Vision Research*, 40, 943-950.
- Hoffman, D. D., & Flinchbaugh, B. E. (1982). The interpretation of biological motion. *Biol Cybern*, 42(3), 195-204.
- Ikeda, H., Blake, R., & Watanabe, K. (2005). Eccentric perception of biological motion is unscalably poor. *Vision Res*, 45(15), 1935-1943.
- Jacobs, A., & Shiffrar, M. (2005). Walking perception by walking observers. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 31(1), 157-169.
- Johansson, G. (1973). Visual perception of biological motion and a model for its analysis. *Percept Psychophys*, 14(2), 201-211.
- Jokisch, D., Daum, I., & Troje, N. F. (2006). Self recognition versus recognition of others by biological motion: viewpoint-dependent effects. *Perception*, 35(7), 911-920.
- Jokisch, D., & Troje, N. F. (2003). Biological motion as a cue for the perception of size. *J Vis*, 3(4), 252-264.
- Kennedy, G. J., Tripathy, S. P., & Barrett, B. T. (2009). Early age-related decline in the effective number of trajectories tracked in adult human vision. *J Vis*, 9(2), 21-10.
- Knoblich, & Gunther. (2006). *Human body perception from the inside out*. Oxford ; New York: Oxford University Press.
- Kosnik, W., Winslow, L., Kline, D., Rasinski, K., & Sekuler, R. (1988). Visual changes in daily life throughout adulthood. *J Gerontol*, 43(3), P63-70.
- Kozlowski, L. T., & Cutting, J. E. (1977). Recognizing the sex of a walker from a dynamic point-light display. *Percept Psychophys*, 21(6), 575-580.
- Kramer, A. F., Larish, J. F., & Strayer, D. L. (1995). Training for Attentional Control in Dual-Task Settings - a Comparison of Young and Old Adults. *Journal of Experimental Psychology-Applied*, 1(1), 50-76.
- Lakshminarayanan, V., Aziz, S., & Enoch, J. M. (1992). Variation of the hyperacuity gap function with age. *Optom Vis Sci*, 69(6), 423-426.

- Lakshminarayanan, V., & Enoch, J. M. (1995). Vernier acuity and aging. *Int Ophthalmol*, *19*(2), 109-115.
- Lakshminarayanan, V., Raghuram, A., & Khanna, R. (2005). Psychophysical estimation of speed discrimination. I. Methodology. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis*, *22*(10), 2262-2268.
- Legault, I., Allard, R., & Faubert, J. (2007). Normal aging and the perception of curvature shapes. *Optom Vis Sci*, *84*(12), 1087-1092.
- Legault, I., Allard, R., & Faubert, J. (2011). Trained Older Observers Are Equivalent to Untrained Young Adults for 3D Multiple-Object-Tracking Speed Thresholds. *J Vis*, *11*(11), 288.
- Legault, I., & Faubert, J. (2012). Perceptual-cognitive training improves biological motion perception: evidence for transferability of training in healthy aging. *Neuroreport*, *23*(8), 469-473.
- Legault, I., Troje, N. F., & Faubert, J. (2012). Healthy older observers cannot use biological-motion point-light information efficiently within 4 m of themselves. *iPerception*, *3*, 1-8.
- Lemaire, P., & Bherer, L. (2005). Condition physique et vieillissement cognitif. In D. B. Université (Ed.), *Psychologie du vieillissement : une perspective cognitive* (pp. 361-395). Bruxelles.
- Levitt, H. (1971). Transformed up-down methods in psychoacoustics. *J Acoust Soc Am*, *49*(2), Suppl 2:467+.
- Loula, F., Prasad, S., Harber, K., & Shiffrar, M. (2005). Recognizing people from their movement. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, *31*(1), 210-220.
- Ma, L., Wang, B., Narayana, S., Hazeltine, E., Chen, X., Robin, D. A., et al. (2010). Changes in regional activity are accompanied with changes in inter-regional connectivity during 4 weeks motor learning. *Brain Res*, *1318*, 64-76.
- Madden, D. J., Spaniol, J., Whiting, W. L., Bucur, B., Provenzale, J. M., Cabeza, R., et al. (2007). Adult age differences in the functional neuroanatomy of visual attention: a combined fMRI and DTI study. *Neurobiol Aging*, *28*(3), 459-476.

- Mahncke, H. W., Connor, B. B., Appelman, J., Ahsanuddin, O. N., Hardy, J. L., Wood, R. A., et al. (2006). Memory enhancement in healthy older adults using a brain plasticity-based training program: a randomized, controlled study. *Proc Natl Acad Sci U S A*, *103*(33), 12523-12528.
- Mather, G., Radford, K., & West, S. (1992). Low-level visual processing of biological motion. *Proc Biol Sci*, *249*(1325), 149-155.
- Neri, P., Morrone, M. C., & Burr, D. C. (1998). Seeing biological motion. *Nature*, *395*(6705), 894-896.
- Norman, J. F., Payton, S. M., Long, J. R., & Hawkes, L. M. (2004). Aging and the perception of biological motion. *Psychol Aging*, *19*(1), 219-225.
- Norman, J. F., Ross, H. E., Hawkes, L. M., & Long, J. R. (2003). Aging and the perception of speed. *Perception*, *32*(1), 85-96.
- Oram, M. W., & Perrett, D. (1994). Responses of anterior superior temporal polysensory (STPa) neurons to "biological motion" stimuli. *J Cogn Neurosci*, *6*(2), 99-116.
- Oram, M. W., & Perrett, D. I. (1996). Integration of form and motion in the anterior superior temporal polysensory area (STPa) of the macaque monkey. *J Neurophysiol*, *76*(1), 109-129.
- Pavlova, M., & Sokolov, A. (2000). Orientation specificity in biological motion perception. *Percept Psychophys*, *62*(5), 889-899.
- Pavlova, M., & Sokolov, A. (2003). Prior knowledge about display inversion in biological motion perception. *Perception*, *32*(8), 937-946.
- Pelphrey, K. A., Mitchell, T. V., McKeown, M. J., Goldstein, J., Allison, T., & McCarthy, G. (2003). Brain activity evoked by the perception of human walking: controlling for meaningful coherent motion. *J Neurosci*, *23*(17), 6819-6825.
- Pilz, K. S., Bennett, P. J., & Sekuler, A. B. (2010). Effects of aging on biological motion discrimination. *Vision Res*, *50*(2), 211-219.
- Pinto, J., & Shiffrar, M. (1999). Subconfigurations of the human form in the perception of biological motion displays. *Acta Psychol (Amst)*, *102*(2-3), 293-318.

- Piponnier, J. C., Hanssens, J. M., & Faubert, J. (2009). Effect of visual field locus and oscillation frequencies on posture control in an ecological environment. *J Vis*, *9*(1), 13-11-10.
- Pollick, F. E., Kay, J. W., Heim, K., & Stringer, R. (2005). Gender recognition from point-light walkers. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, *31*(6), 1247-1265.
- Puce, A., & Perrett, D. (2003). Electrophysiology and brain imaging of biological motion. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, *358*(1431), 435-445.
- Pylyshyn, Z. W. (1989). The role of location indexes in spatial perception: a sketch of the FINST spatial-index model. *Cognition*, *32*(1), 65-97.
- Pylyshyn, Z. W. (1994). Some primitive mechanisms of spatial attention. *Cognition*, *50*(1-3), 363-384.
- Pylyshyn, Z. W., & Storm, R. W. (1988). Tracking multiple independent targets: evidence for a parallel tracking mechanism. *Spat Vis*, *3*(3), 179-197.
- Richards, E., Bennett, P. J., & Sekuler, A. B. (2006). Age related differences in learning with the useful field of view. *Vision Res*, *46*(25), 4217-4231.
- Roudaia, E., Bennett, P. J., & Sekuler, A. B. (2008). The effect of aging on contour integration. *Vision Res*, *48*(28), 2767-2774.
- Roudaia, E., Bennett, P. J., Sekuler, A. B., & Pilz, K. S. (2010). Spatiotemporal properties of apparent motion perception and aging. *J Vis*, *10*(14), 5.
- Saygin, A. P., Wilson, S. M., Hagler, D. J., Jr., Bates, E., & Sereno, M. I. (2004). Point-light biological motion perception activates human premotor cortex. *J Neurosci*, *24*(27), 6181-6188.
- Sekuler, A. B., Bennett, P. J., & Mamelak, M. (2000). Effects of aging on the useful field of view. *Exp Aging Res*, *26*(2), 103-120.
- Sekuler, R., McLaughlin, C., & Yotsumoto, Y. (2008). Age-related changes in attentional tracking of multiple moving objects. *Perception*, *37*(6), 867-876.
- Snowden, R. J., & Kavanagh, E. (2006). Motion perception in the ageing visual system: minimum motion, motion coherence, and speed discrimination thresholds. *Perception*, *35*(1), 9-24.

- Spear, P. D. (1993). Neural bases of visual deficits during aging. *Vision Res*, 33(18), 2589-2609.
- Stanford, T., & Pollack, R. H. (1984). Configuration color vision tests: the interaction between aging and the complexity of figure-ground segregation. *J Gerontol*, 39(5), 568-571.
- Sumi, S. (1984). Upside-down presentation of the Johansson moving light-spot pattern. *Perception*, 13(3), 283-286.
- Tang, Y., & Zhou, Y. (2009). Age-related decline of contrast sensitivity for second-order stimuli: earlier onset, but slower progression, than for first-order stimuli. *J Vis*, 9(7), 18.
- Thompson, B., Hansen, B. C., Hess, R. F., & Troje, N. F. (2007). Peripheral vision: good for biological motion, bad for signal noise segregation? *J Vis*, 7(10), 12 11-17.
- Thornton, I. M., Pinto, J., & Shiffrar, M. (1998). The visual perception of human locomotion. [periodic]. *Cognitive neuropsychology*, 15, 535-552.
- Thornton, I. M., Rensink, R. A., & Shiffrar, M. (2002). Active versus passive processing of biological motion. *Perception*, 31(7), 837-853.
- Tinjust, D., Allard, R., & Faubert, J. (2008). Impact of stereoscopic vision and 3D representation of visual space on multiple object tracking performance. *Journal of Vision*, 8(6), 509.
- Trick, G. L., & Silverman, S. E. (1991). Visual sensitivity to motion: age-related changes and deficits in senile dementia of the Alzheimer type. *Neurology*, 41(9), 1437-1440.
- Trick, L. M., Perl, T., & Sethi, N. (2005). Age-related differences in multiple-object tracking. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*, 60(2), P102-105.
- Troje, N. F. (2002). Decomposing biological motion: a framework for analysis and synthesis of human gait patterns. *J Vis*, 2(5), 371-387.
- Troje, N. F. (2003). Reference frames for orientation anisotropies in face recognition and biological-motion perception. *Perception*, 32(2), 201-210.
- Troje, N. F. (2008). Retrieving information from human movement patterns. In T. F. Shipley & J. M. Zacks (Eds.), *Understanding Events: How Humans See, Represent, and Act on Events* (pp. 308-334): Oxford University Press.

- Troje, N. F., Sadr, J., Geyer, H., & Nakayama, K. (2006). Adaptation aftereffects in the perception of gender from biological motion. *J Vis*, *6*(8), 850-857.
- Troje, N. F., & Westhoff, C. (2006). The inversion effect in biological motion perception: evidence for a "life detector"? *Curr Biol*, *16*(8), 821-824.
- Troje, N. F., Westhoff, C., & Lavrov, M. (2005). Person identification from biological motion: effects of structural and kinematic cues. *Percept Psychophys*, *67*(4), 667-675.
- Valentine, T. (1988). Upside-down faces: a review of the effect of inversion upon face recognition. *Br J Psychol.* , *79*, 471-491.
- Westhoff, C., & Troje, N. F. (2007). Kinematic cues for person identification from biological motion. *Percept Psychophys*, *69*(2), 241-253.
- Yantis, S. (1992). Multielement visual tracking: attention and perceptual organization. *Cogn Psychol*, *24*(3), 295-340.
- Yin, R. K. (1969). Looking at upside down faces. *J Exp Psychol* *81*, 141-145.