



2013年6月6日 心理学系のジャーナル『Frontiers in Psychology』掲載論文

*Isabelle Legault* 視覚心理物理学・知覚研究所、カナダ モントリオール大学

*Rémy Allard* フランス ピエールエマリーキュリー大学

*Jocelyn Faubert* 教授 & NSERC-エシロール産業研究委員長 カナダ モントリオール大学

翻訳者: Chris W (ジェイ・ワンプロダクツ株式会社)

論文: 知覚・認知 MOT トレーニングを受けた健康的な高齢者には、若い世代の被験者と  
同じレベルのベネフィットを得られる事を示すことができた。

複雑・動的なシーンにおいての情報処理能力は、実際の生活の中では非常に重要である。  
例えば、衝突を回避し、方向性を維持しながら、人の間をすり抜ける能力。運動を制御  
するには知覚・認知能力を維持する事及び連続性のある情報処理力である。

高齢化(健やかに年をとること)は知覚認知への影響に関する研究はすでにたくさん発  
表されている。(Faubert, 2002)、高齢者が有効なトレーニングを受け、知覚・認知  
能力を改善する事は可能だと証明されている。(Richards et al., 2006)。当論文は、  
高齢者が動的・仮想立体環境における追跡速度の閾値はどれくらいを向上させることが  
できるのかを観察した。結果として、高齢化(健やかに年をとること)改善度に大きな  
影響を与え認知・知覚トレーニングは大幅に、老化への影響を減らす事ができる。「高  
齢者たちが複雑な動的なシーンにおいての学習機能は若い世代と同様に維持すること  
は可能である」収集したデータはこの観点を裏付けた。

## はじめに

私たち日常的な生活・活動で、常に環境とインタラクトする環境は動的であり、様々な  
物、動き、速度、場所などの統合感覚が必要である。自然な老化過程は視覚知覚処理に  
影響を与えるという現象において沢山の証拠が存在している。認知メカニズムがより複  
雑な環境で、同時に複数の環境局面を処理・統合する際、老化関連の障害は特に目立つ  
ようになる。(Faubert, 2002) 例えば、繁華街や混雑したショッピングセンターで移  
動する時、衝突を回避する為また運転で効率的に方向転換するため、我々は急な動きに  
迅速な処理・反応を行わなければならない。

また、私たちの注意メカニズムは同時に多数要素の包容に分配されている。例えば、道  
を横断するため、目標の方向性を維持しながら、交通状況や歩行者の動態を判断する事。

効率的に行道を横断するため、視野範囲内、すべての利用可能の情報を統合しなければならない。

研究者たちによって、複雑な動作の処理に伴って (Habak and Faubert, 2000; Bennett et al., 2007; Tang and Zhou, 2009) 高齢者が視野範囲内の主要刺激物と周辺視野に写る他の刺激物に注意力を分割する事は困難だ (Ballet et al., 1988; Richards et al., 2006) と報告している。

分散注意および複雑で、動的な情報の探究には特に関連性ある知覚・認識の作業を複数対象追跡 (MOT) と呼ばれている。MOT は、被験者が同時に多くの移動球体を追跡する作業である。被験者の能力は、正しく物体を追跡できるか否かという要素で評価される。(Pylyshyn, 1989), また、追跡すべき物体の数を増やせば、被験者の処理能力が下がる。(Pylyshyn and Storm, 1988; Yantis, 1992). さらに、最近の研究では、物体の速度は一番重要な要素であり、目標間の衝突やデコイの数やターゲットとデコイの距離などの事象と無関係だと示した。(Feria, 2013). Pylyshyn and Storm (1988) 彼らは物体追跡メカニズムを説明するために最も有効な研究モデルを提供している。彼らの研究モデルは原始的な視覚メカニズムに基づいて、視覚システムが独立で動作し、各要素に前注意指標を割り当て処理する事を示唆している。一方、Yantis (1992) 複数のターゲットから一つの高次的な知覚表象に組成される (或いは仮想多角形) シングル注意チャンネルが必要とされる。またのグループの組分けが動態で維持される状態で追跡能力を促進するという理論を提唱した。しかし、より新しい研究では視覚システムは多焦点的な注意を分配して移動中の物体を追跡するという理論を提唱している (Cavanagh and Alvarez, 2005) 物体追跡機能に関する。複数の理論と関係なく、高齢者は比較的効率よく複数物体を追跡できない。(Trick et al., 2005; Sekuler et al., 2008). Trick et al. (2005) によって、高齢被験者が物体の数の増加によって、能力が低下すると示した。特定の状態で、高齢被験者が最大3つの物体までしか追跡できなかった。一方、若い世代の被験者は物体を4つまで追跡できた。この現象は物体位置確認、或いは複数の物体追跡能力が老人性障害によって低下している事を示唆した。

一方、Sekuler et al. (2008) によって、複数物体追跡における老人性障害は追跡の時間と関係があり、長い追跡時間、また高い変位度が被験者の能力に副影響を与えるという。しかし、高齢者の知覚/認知能力に対し、理解されていない問題はいくつか存在している。その一つ問題としては、高齢被験者は若い世代の被験者と同じ学習能力または同じ学習の進捗率があるかどうかという問題である。以前、有効視野内 (UFOV) の分割注意力に関する研究では、トレーニングから高齢者がよい効果を得られると証明されている。(Ball et al., 2002; Richards et al., 2006; Edwards et al., 2009)。有効視野内 (UFOV) のタスクは可視範囲内の二重注意力を査定できるが、直接的な動的な場面の処理力を査定はできない。Faubert and Sidebottom (2012) 若い世代の被験者を 3D MOT

トレーニングで比較的短時間の訓練を受けさせたところ、顕著な能力上昇が実証できた。Faubert と Sidebottom 氏が主張したように、トレーニングはスポーツ、操縦・運転など現状況に移転性の可能性については、視野領域を含む多くの要因に依存する。例えば、立体視の有無(Viswanathan and Mingolla, 2002; Tinjust et al., 2008)、また速度の使用。最近の研究では、MOT 3D トレーニングが衝突回避に必要とする能力であるバイオロジカルモーションに知覚な交換性(移転性)を有していることを証明できた。我々は以前の研究で高齢被験者の仮想空間における歩行距離は、方向の判断力に影響を及ぼす事を証明されている。(Legault et al., 2012)。(Legault and Faubert, 2012)の研究では、高齢被験者が3つのグループに分けられた。一つのグループは3D-MOT トレーニングを受け、もう一つのグループは同じ期限の視覚の訓練を受けた。3番目の対照グループにトレーニングは受けなかった。後に3つのグループにバイオロジカルモーション作業を受けさせ、3D-MOT のトレーニングを受けたグループだけは改善を示した。本研究では実験2つを行った。第一の実験の目的は、若い世代のグループに比較した場合、高齢者グループが複数の移動物体を追跡する能力において下限を持っているかどうかを確かめる事であった。(Trick et al., 2005)。第二の実験は高齢者の比較的な練習能力(若い世代と対比)を研究する為に行った。高齢化の学習機能が低下すると想定すれば、高齢者が若い世代と同じ進捗で進捗できない。一方、高齢者の学習機能が維持されている場合、若い世代と似ているような練習能力及び進捗速度が観測されるであろう。まだ第三の結果を得ることも可能で、トレーニングによって加齢に関わる障害を逆転させることをでき、高齢者グループがより高い学習率を示すことができるかもしれない。

## 実験 1

MOT 作業の依存指標は最大のターゲット追跡数である。Trick et al. (2005) によって、高齢者の追跡能力は若い世代より低いかもしれないと示唆した。(彼らの状態で最大追跡能力3つ)。Faubert and Sidebottom (2012) Faubert and Sidebottom (2012)は物体数を MOT の依存尺度として使用するより、速度の閾値の方が関連性は高く、制御できる尺度として有用だと提案した。提案した高齢者が3つの物体しか追跡出来ないという制限を解消するために、実験1では、3つと4つの物体を追跡させ、高齢者と若い世代の閾値を比較した。速度の要素と関係なく、もし高齢者が本当に4つの物体を同時追跡できない場合、我々は速度の閾値を測る事が出来ない。しかしながら、被験者は3つか4つの物体を追跡でき、3つと4つの物体はただ数量的な差だと認定される場合、物体の相互作用条件で組分けする事が出来なくなる。一つの物体の相互作用条件グループをすれば、高齢者が複数の物体追跡を追跡する能力を有しながら、相対的に困難だと観察できる。

## 方法

### 被験者

比較的若い成人10名（平均年齢27歳、22歳~34歳）。比較的年寄りの成人10名（平均年齢66歳、61歳-74歳）当研究に参加した。被験者達が当研究の目的に対しては無理解であった。すべての被験者の視力が正常かもしくは正常視力に補正された（視力6/6以上）。正常な立体視（フリスビーテスト点数40s弧長以上）(Sasieni, 1978; Frisby, 1980) 実験は両眼で行った。若い世代のグループは去年内で最後の視力検査を行った。高齢者グループはモントリオール大学の検眼大学院で募集さえ、最後の視力検査は6ヶ月以内で行った。当視力検査は、屈折検査、両眼視機能評価、眼圧測定、視野、瞳孔拡張状態での網膜試験が含まれている。眼の病理または他の異常のない被験者が研究対象になった。高齢被験者にミニメンタルステート検査（認知障害者用のスクリーニング審査）を受けさせた。高齢被験者は全員正常範囲内だった（範囲26-30/30; 被験者の平均は28/30だった）。(Crum et al., 1993). したがって、すべての被験者の認知機能が健康的だと認定されている。当研究はモントリオール大学倫理委員会から許可を貰った。

### 研究器具

3D-MOT 作業が完全に臨場感あふれる仮想環境を使用して行った。所謂、ケーブル自動仮想環境 (CAVE) システムである。CAVE は2.4384メートル x 2.4384メートル x 2.4384メートルの部屋で、3つの壁がある（正面の壁1つ側面壁2つ）。また、エポキシ製の床は画像投影の為に設けてある。(Faubert and Allard, 2004). 4つの高解像度プロジェクターが同期化され、被験者がリアルタイムで更新された画像を視聴できる（偽視差のない状態）。頭の位置を測定、またリアルタイムで被験者の視点を補正するために磁気モーション追跡システム（フロックオブバーズ）が使用された。CAVE 立体的な効果は SGI ONYX 3200 によって制御された（インフィニティ リアル グラフィックカード x 2台が搭載されている）。立体視覚は、Crystal Eyes II 96Hz のアクティブシャッター 両眼メガネによって生成された（片目48Hz）

## 刺激の実行とその手順

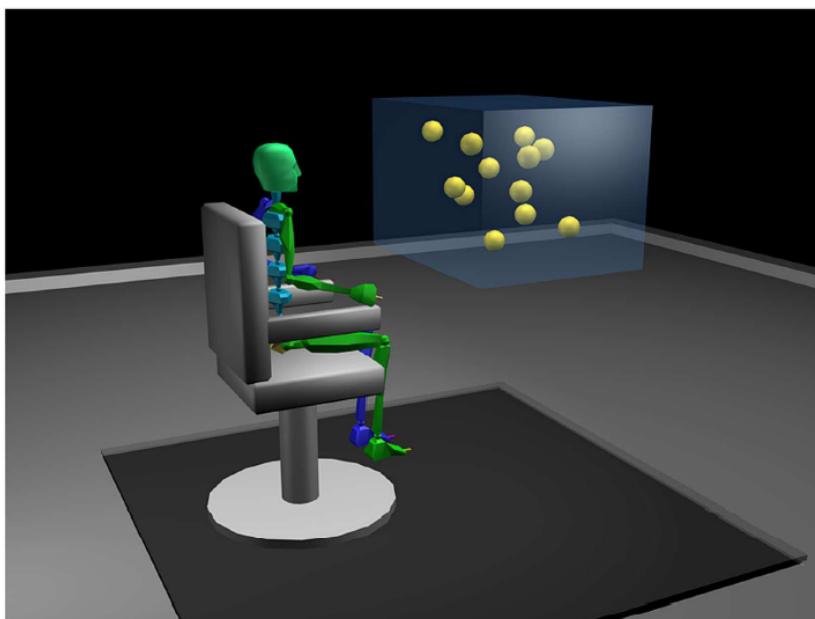


図1 CAVE環境における3D-MOT実験の設定イラスト。

（仮想立方体の壁は説明のために示されています。彼らは、実際のセットアップには表示されませんでした）。

試験前に、被験者は仮想環境と刺激物に慣れさせた。そして、立体環境を可視化するため、3Dメガネを掛ける事を求めた。各被験者に設定した目の高さは160センチメートルで、CAVEの中央壁から177センチメートル離れている場所で座らせた。被験者の真正面にある固定点を凝視するように求めた。ボール9つで構成された刺激物は透明な仮想立方体内で投影された（水色の立方体）。キューブの前方側との視覚42度になり、57センチメートル離れている場所から観察される。球体は3次元仮想空間で直線的に移動するが、球体が互いに衝突したり、壁によって跳ね返されたりした。（図1.参照）

我々は、3D-MOT速度閾値プロトコル（FaubertとSidebottom、2012）を使用した。3つか4つの球体を追跡するという2つの条件があって、（すなわち、適応階段法）各条件の実験約10分間続いた。

1つのセッションでは、被験者は合計60分間、条件は（3つまた4つの球体）1つのセッションごとに3つ適応階段で行った。各トライアルは5つの段階があった。（図2.参照）。

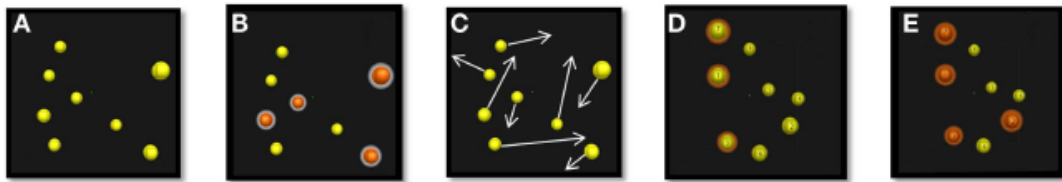


図2 3D-MOT 試験の5つの重要段階 (A) 仮想容積空間内にランダムに配置された球体が現れる。(B) 実験中で追跡すべき球体の印付け (C) 印が除去され、動的な相互作用を持ちながらすべての球体が動く (D) 被験者は球体を識別し、回答する。(E) 被験者にフィードバックを与える。

**段階1. プレゼンテーション フェーズ**-9つ黄色の静的な球体がランダムな位置に置かれ、2.5秒提示された。**段階2. 指数化フェーズ**-識別のため、ターゲット球体3また4個が赤色に変わり、2秒後、ターゲットが黄色に戻り、再びすべての球体が同色となった。**段階3. 追跡フェーズ**-すべての球体が適応段階の手順で定義された速度で10秒間にわたって、ランダムな方向に移動し始めた。互いに衝突したり、仮想壁跳ね返した。**段階4. 識別フェーズ**-球体の移動が停止、それぞれに番号が付けられた(1から9)3つか4つの球体の正しい番号を被験者が口頭で回答した。**段階4. フィードバック フェーズ**-フィードバックは、最初にインデックスされた球体が明らかにされ、答えを被験者に伝えた。(速度の閾値は、適応階段法(トライアルごと)に一段上り・下り)を用いて評価した。Levitt, 1971)。つまり、正解の後、球体速度の変位が0.05対数単位で上がり、閾値基準値の50%が得られた。誤った答えが同じ割合で速度を下げる。階段伸び率8回の逆転の後、いったん中断され、閾値は最後の4つの反転の幾何平均速度によって推定される。最初の仮想速度3.75センチ/秒に固定された。正解を得るためには、被験者が正しくすべてのターゲットを報告しなければならなかった。

## 結果と考察

10人の高齢被験者のうち、9人のデータが当研究に含められた。うちの一人は、1cmの/秒の速度で(非常に低速)3つのターゲットを追いかける事さえできなかった、従って実験を完了できなかった。(実験2で20人を含む)30人からわずか1人だったので、当被験者から得たデータが異常値だと見した。30名のうちの一人だけ実験を行えなかった。(実験2に参加した20名の被験者を含め)対数速度閾値 $2 \times 2$ の分散分析からかなりの年齢を明らかにした(変数の間)  $x$  (ターゲット数)  $x$  (3また4, 変数内)  $F(1, 17) D6.45, p D0.021$ . 続いて、ターゲット数の変動によって、大きな数



値の差が出た。Paired  $t$ -test (P 値) 若い世代  $t(1, 9)D3.480, p D0.007$ , older adults:  $t(1, 8)D8.204, p < 0.001$ .

結果は、高齢被験者が正常に3つと4つのターゲットを追跡できるが、しかし速度値はかなり低いと示している。(図3)。

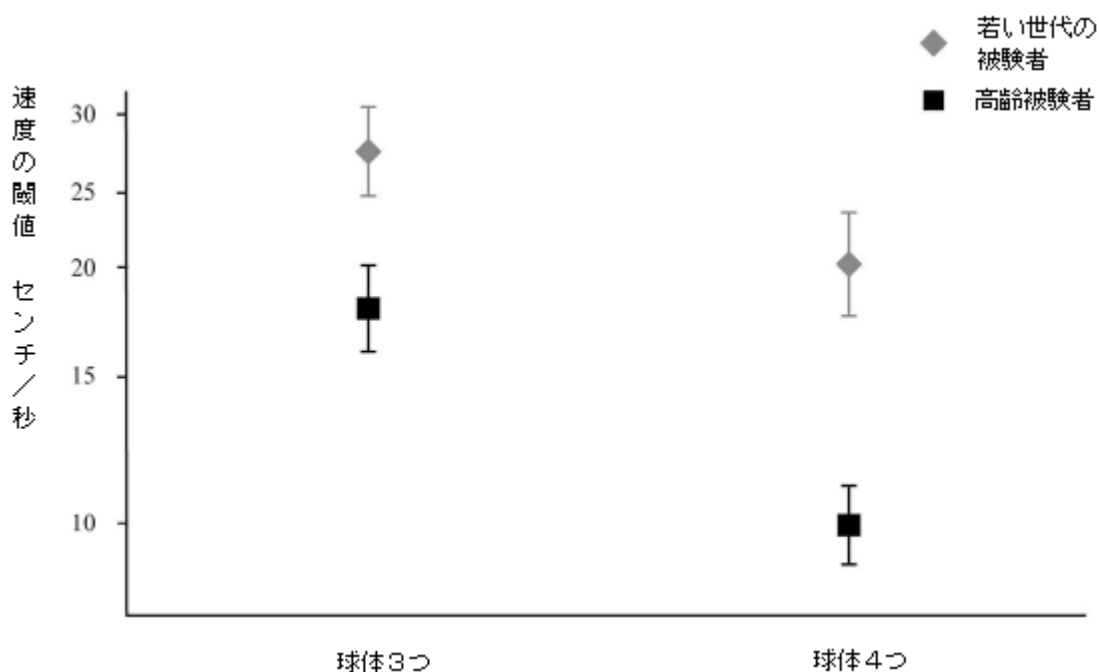


図3 高齢者9人・若い世代10人球体3つ・4つの閾値 ((平均値の標準誤差))

健康的な(通常)の老化が明らかに複数物体追跡の能力を低下させる。4つのターゲットを追跡した若い世代グループのパフォーマンスが3つのターゲットを追跡した高齢被験者とのほぼ同じである。さらに、球体3つと4つ間のパフォーマンスの低下率が高齢被験者グループで顕著である。相互関係で示されたのは、高齢被験者にとって多くの情報を同時に処理することは困難で、情報を処理するために多くの時間が必要だと示唆した。当研究の結果としては、高齢者の追跡能力が3つ物体に限られてない事を示している。

一方、我々の研究結果はTrick氏(及びTrickの同僚たち)との結論に部分的に一致している:健康な高齢被験者には4つのターゲットを追跡する事が困難である。

## 実験2

第二の実験では、若い世代と高齢被験者のパフォーマンス進捗状況を測定するため、3D-MOT作業の5週間続いて訓練を受けさせた。3つの可能性の中から1つの結果を望んでいた(1)お年寄り若い世代より学習能力が低い(2)若い世代と同じ学習能力を

持っています。(3) MOT トレーニングによって、2つの年齢グループの差（老人性記憶障害の影響）を減らす果がある。

## 方法

### 被験者

二つの未経験者で構成された実験群が本実験に参加しました。1つのグループは20の若い世代の被験者で構成され（平均年齢24歳、年齢範囲：18-35歳）、もう一つのグループは（平均年齢67歳、年齢範囲：64から73歳）で構成されていた。すべての被験者が5週間の実験を受けさせ、週に一回モントリオール大学の研究室に来た。（実験1と同じ基準及び除外基準が使用された）。被験者のミニメンタル状況検査の点数がすべて正常範囲内であった。（範囲は29/30で、平均点数は28~30/30）。（Crum et al., 1993）したがって、すべての被験者は認知的に健康だと考えられた。被験者全員にビデオゲームの習慣に関する簡単なアンケートを書かせた。調査質問は以下のとおりである。

ゲームの名前

ゲーム機の名称

1セッションあたりの時間の長さ

月ごとのセッション数

### 刺激物・方法

実験1と同様の設備や刺激や及び実験の手順で行った。このたび、すべて被験者に（球体3つ）の実験プロトコルを使用した、被験者は週30分、3ブロックに分けた3つのセッション（一週間で3つの閾値）を測った。

### 結果と考察

最初の速度閾値点数（1週目）とトレーニング後状況（5週目）を比較すると速度閾値（週）のスプリットプロット分散分析、 $F(1, 41) D18.250, P<0.001$  有意なトレーニング効果を明らかになった。 $F(1, 41) D65.747, P<0.001$ 。具体的に、若い世代グループが高齢者グループより比較的高い閾値を貰った。（図4）



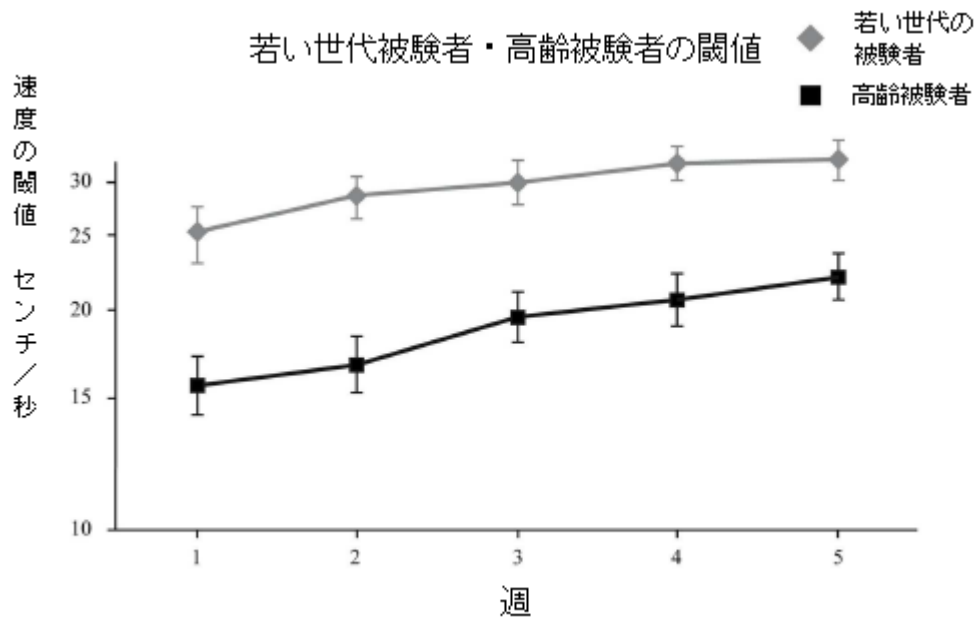


図4 高齢者20人・若い世代20人から計量した5週間の閾値（(平均値の標準誤差)

しかし、私たちは有意な年齢のトレーニング相互作用  $F(1, 41)D2.615, p D0.114$  を観察できなかった、両グループは、トレーニングから同様のベネフィットを得られることが明白である。両群とも類似なトレーニング進捗がある。図4で示されているようにトレーニングを受けた高齢者グループが訓練を受けていない若い世代グループと似ている閾値を得た。(一週間目)  $[t(1, 19)D0.495, p D0.626]$ .

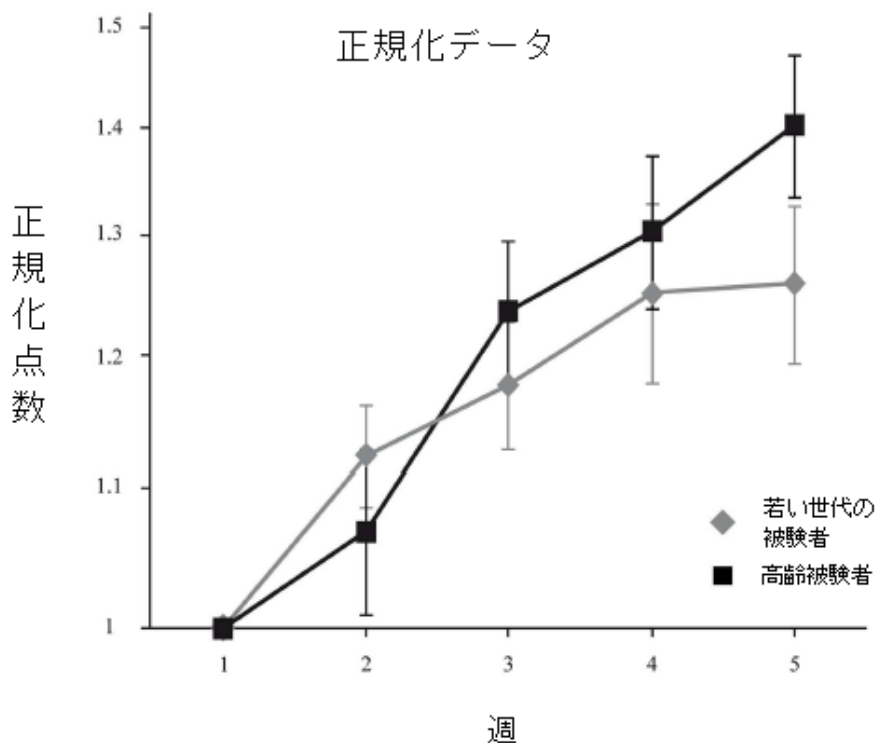


図5 高齢者20人・若い世代20人から計量した正規化閾値（週1の速度閾値の比率）」

+/- 平均値の標準誤差

図5は、週1のベースラインスコアに正規化データの相対を表し、若い世代と高齢者同じラーニングによって能力上昇の傾向が示されている。

若い世代グループのスコアは横ばい傾向があるが、5週目でも高齢者グループが依然として上昇の傾向が示されている。Richards et al. (2006) によって、高齢者が、若い世代の能力レベルに到達するまでもっと訓練の必要性があるという面白い結論を付けた。

### 総合討論

本論文では、3D-MOT において、若い世代と高齢者のパフォーマンスを査定した。2つの実験では、高齢者が若い成人に比べて、比較的低いパフォーマンス スコアを得たため、老化関連の障害が見受けられた。本論文は以前行った MOT 関連の研究結果（高齢者のパフォーマンスが低い）とほぼ一致している。(Trick et al., 2005; Sekuler et al., 2008; Kennedy et al., 2009).。具体的には、実験1で、3つと4つの物体を追跡する実験条件を比較した結果、若い世代と高齢者グループの閾値が、3つの物体追跡に比べ

4つの物体追跡能力が著しく低下した現象が示されている。Trick et al. (2005) によって、高齢者が刺激条件下で約3つの動的な球体しか追跡できないと主張したが、本研究の結果は、「被験者が偶然にもう1つの球体を追いかけられた」という仮説を証明できない。もしこの仮説が事実であれば、第4の球体が6回のうち1回しか正しく識別されず（約17%の確率）、全体的に球体の速度を減少させるであろう。さらに、適応階段メカニズムがボールの平均速度を減少させる。しかし、全ての閾値が3.75センチメートル/秒である初期階段速度値より高かった。適応階段メカニズムが初期速度から球体を加速させるために、被験者が4つの球体を正しく追跡する正解率は50%に到達しなければならなかった。従って、低速度条件で高齢被験者は4つの物体を追跡できると証明された。

高齢者は4つの項目を追跡することができますが、彼らはこれを達成するために、ターゲットの移動速度の低下を必要としています。本研究の結果は、以前の物体数に関する研究の結果とほぼ一致している、更に、(Pylyshyn and Storm, 1988; Yantis, 1992; Alvarez and Franconeri, 2007) 物体の速度 (Alvarez and Franconeri, 2007; Sekuler et al., 2008; Faubert and Sidebottom, 2012) はパフォーマンスには重要な因子である。(Trick et al. (2005) によると、高齢者にとって、4つの球体の追跡能力において、

ワーキングメモリの中で球体の表象を維持する難度と関連性があると示唆した。

もし被験者の年齢が速度の閾値に影響を与えた4つの物体の追跡能力であれば、低速度状況のパフォーマンスも影響されるべきであるが、しかし、4つの球体が最も遅い速度では、（すなわち、3.75センチメートル/秒—適応階段の初期値）高齢者グループの正解率は（89%）で、若い世代グループの（90%）に似ていた。したがって、群間の差はワーキングメモリだけの差異である可能性は低いと見受けられる。

また、3つと4つの物体の間に存在している差異を球体の衝突の回数で説明することはできない。球体8つのうち、3つと4つの球体を追跡する際、ターゲット球体と非標的のターゲットとの間で発生した衝突率は、それぞれ、平均、0.5357 ( $2 \times 3 \times 5 / 8 \times 7$ ) と 0.5714 ( $2 \times 4 \times 4 / 8 \times 7$ ) であり、3つの球体の代わりに、4つの球体を追跡する際には、唯一の変化は球体間の衝突率が1.0666倍となることである。衝突回数と被験者のパフォーマンスを測定すれば、依然として、3つと4つの球体の間には両群の有意差が存在している。[若い世代:  $t(1, 9) D \square 1.099, p D 0.024$ , 高齢者:  $t(1, 8) D \square 7.275, p < 0.001$ ]. したがって、3つの物体の代わりに4の物体を追跡する際に低下した閾値の原因を、衝突回数だけでは説明できない。本研究はFeria's (2013)の結論(MOTのパフォーマンスが衝突数で説明できない)と一致している。それにもかかわらず、3D-MOTは、立体視、衝突、および閉塞を追跡、注意を分割に関連する多くの要因に関連性のある複雑な作業である。したがって、さらなる実験が老化によって影響を受ける機能を特定するために必要とされる。

実験 2 の結果は、若い世代と高齢者群が 3D-MOT から同様のベネフィットを得られることを示されている。5 週間のレーニングを受けた後、パフォーマンスが両世代大幅に向上した。被検者たちは正常に早い速度で 3D-MOT の作業を行えた。全体的に、若い世代グループが高齢者グループより優れたパフォーマンスを示しているが、データには、有意な相互作用が欠如している為、両群で同様な進捗度を見受けられる。図 5 は、明白な傾向を示している。本調査結果は、3D-MOT トレーニングを受けた被験者たちに知覚処理の改善性が示された。以前の研究結果と一致している (Kramer et al., 1995; Richards et al., 2006; Andersen et al., 2010)。具体的に、作業の注意力の消費量が削減され、タスクへの反応がより自発的になった。(Ma et al., 2010)。

予想されたように、本論文の結果は、若い世代が高齢者に比べて、比較的高いパフォーマンスを得られることを示している。ビデオゲームの経験から得た刺激物は (Sekuler et al., 2008) 当研究の結果に影響を与えた可能性がある。若い世代は比較的ビデオゲームやインターネット、テレビなどの使用率が高い傾向がある。いくつかの研究は、専門知識が複数物体追跡能力を増加させることができることを示した。(Green and Bavelier, 2006) しかし、当研究で行ったビデオゲーム調査アンケートの結果は若い世代と高齢者グループの差異を説明できない。なぜなら、今回の被検者のうち、一週間 1 回以上ビデオゲームをする被検者は一人しかいなかった。その一名の被検者の速度閾値が他の被検者に比べて、実質的に異ならなかった。(Green and Bavelier, 2006 の基準に基づく)。一方、高齢者がより日常活動で複雑な動的な場면을体験する機会が少ないと考えられ、複雑・動的な場面を処理するには困難あるので、特定の活動を従事する頻度が比較的小さい可能性がある。

本研究の 3D-MOT 作業は、広い視野領域を使用し、情報統合の脳訓練を誘発するため、リアルな仮想環境で行った。以前使用された UFOV 訓練に一致している。(Richards et al., 2006), 広い視野領域内で表した集中力の関連作業 (attention related task presented over a wide visual field) のパフォーマンスが両群では改善することができることを見受けられた。Richards et al. (2006), (Richards et al., 2006 の図 4 に参考してください) 十分な練習を受けた後、高齢者が若い世代と同様のレベルの注意消費量まで減少できた。両実験グループは分割注意によってハンディキャップをなくした状態に達成できた一方、3D-MOT の条件では同じ状態に達成できなかった。Richards et al. (2006) の UFOV 作業は 3D-MOT といくつかの相違点がある。3D MOT の刺激物は動的で、視野領域の広さは Richards et al. (2006) の二倍であった。(2006)。これらの相違点が現実的な状況への移転性に影響を与える可能性がある。以前の研究データでは、高齢者が若い世代のパフォーマンスレベル

に達するために、より多くのトレーニング期間が必要である。(Salthouse, 1990; Kramer and Willis, 2002; Richards et al., 2006).

我々のデータ(図5)は、高齢者の進展が、まだピークに達していなかったと見受けられ、まだ改善の余地があるかもしれないことを示している。週5で得られた結果はピークの学習レベルを反映するかどうかを決定するためにより多くのトレーニング期間が必要とされるかもしれない。この問題を解決するために、実験2と同じ条件下で(若い世代8人・高齢者8人)に5セッションの代わりに10セッションの予備研究を行った。予備研究の結果として、決定的に高齢被検者と若い世代の間の差を縮める事はできなかった。5週から10週目に、若い成人、より高速のしきい値を維持したが、学習の進展は、両群とも同じであった。分散分析(ANOVA)は、有意な群効果を示しているが effect [ $F(1, 41)D22.871, p < 0.001$ ] 有意な相互作用はなかった。

[ $F(4, 164)D1.967, p D0.102$ ]]. さらに、我々は、直線を計算し [ $F(1, 41)D3.342, p D0.075$ ]及び二次傾向線 [ $F(1, 41)D0.896, p D0.349$ ]結果は両群では類似した学習率を示した。(すなわち、相互作用なし)。

相互関係が欠如しているため、高齢者グループが訓練によって、コンピュータに精通になったと推測できるが、いくつかの原因でそうではない事だと理解されている。第一に、最近の研究で実証されたように(プロスポーツ選手、エリートアマチュアや大学生の実験群の対照で(Faubert, 2013))、同じ基本的なテクニックでもさまざまな学習レベルに非常に敏感であることが示されている。第二に、注意すべき所は被検者のコンピュータ使用は受動的で、球体の識別だけを行った。実質的に運動制御活動やコンピュータでの二重タスクをトライアル時間内で行わなかった。受動的な視力追跡作業では、被検者が学習・改善できるのは追跡能力だけである。第三に、高齢被検者(本研究と同じ歳)と同じ場所(CAVE)で、空間弁別作業の訓練を受けさせたが、バイオロジカルモーション様な他の動的な作業に学習進捗度が少なく、移転性が全くないと以前の研究で証明された。(Legault and Faubert, 2012)一方、3D MOT 実験群が4メートル離れた場所で見た事のないバイオロジカルモーションタスクに移転できた事が証明された。(Legault and Faubert, 2012 に参考してください)。上記の点をまとめると、コンピュータ設備への習慣度が高齢実験者の結果に影響を与える可能性が低いと考えられる。日常作業への移転性(交換性)を示すために、研究者が他の研究パラダイムを使用した事に注意してください。(Tucker-Drob, 2011)。能力の高い高齢者が、日常生活の作業を高性能的に従事できるというさらなる証拠がある。(Nunes and Kramer, 2009)。したがって、今後の研究における3D-MOT 作業と専門知識と訓練を組み合わせた効果を研究することは非常に興味深いものになるかもしれない。我々の調査結果は主に2つの点に要約することができる。複雑な動的な多焦点注意動的な作業(complex dynamic multi-focal attention motion task)が3D MOTのような知覚・認知トレーニングで訓練できる。

より重要なのは、高齢被験者の訓練のベネフィットは、若い健康な成人と同じ大きさである。したがって、今後、運転や社会的に関連性のある作業に 3D-MOT の訓練の移転効果について、更なる研究を実施する価値がある。

## 謝辞

本研究は、NSERC と NSERC-エシロール産業研究委員長にサポートを受けた。

## 文献

### 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, 1–10. doi:10.1167/7.13.14
- 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. doi:10.1167/10.13.4
- 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, 2271–2281. doi:10.1001/jama.288.18.2271
- 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. *J. Opt. Soc. Am. A* 5, 2210–2219. doi:10.1364/JOSAA.5.002210
- 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. doi:10.1016/j.visres.2007.01.001
- Cavanagh, P., and Alvarez, G. A. (2005). Tracking multiple targets with multifocal attention. *Trends Cogn. Sci. (Regul. Ed.)* 9, 349–354. doi:10.1016/j.tics.2005.05.009
- 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. doi:10.1001/jama.1993.03500180078038
- 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, 485–494. doi:10.1093/geront/gnp042
- Faubert, J. (2002). Visual perception and aging. *Can. J. Exp. Psychol.* 56, 164–176. doi:10.1037/h0087394
- Faubert, J. (2013). Professional athletes have extraordinary skills for rapidly learning complex and neutral dynamic visual scenes. *Sci. Rep.* 3, 1154. doi:10.1038/srep01154
- Faubert, J., and Allard, R. (2004). “Effect of visual distortion on postural balance in a full immersion stereoscopic environment,” in *Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems XI, Proceedings of SPIE-IS&T Electronic Imaging*, Vol. 5291, eds A. J. Woods, J. O. Merrit, S. A. Benton, and M. T. Bolas (San Jose: SPIE), 5491–5500.
- Faubert, J., and Sidebottom, L. (2012). Perceptual-cognitive training of athletes. *J. Clin. Sports Psychol.* 6, 85–102.
- Feria, C. S. (2013). Speed has an effect on multiple-object tracking independently of the number of close encounters between targets and distractors. *Atten. Percept. Psychophys.* 75, 53–67. doi:10.3758/s13414-012-0369-x
- Frisby, J. P. (1980). The Frisby stereotest: amended instructions. *Br. Orthopt. J.* 37, 108–112.
- Green, C. S., and Bavelier, D. (2006). Enumeration versus multiple object tracking: the case of action video game players. *Cognition* 101, 217–245. doi:10.1016/j.cognition.2005.10.004
- Habak, C., and Faubert, J. (2000). Larger effect of aging on the perception of higher-order stimuli. *Vision Res.* 40, 943–950. doi:10.1016/S0042-6989(99)00235-7
- 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, 21.1–21.10. doi:10.1167/9.2.21
- Kosnik, W., Winslow, L., Kline, D., Rasinski, K., and Sekuler, R. (1988). Visual changes in daily life throughout adulthood. *J. Gerontol.* 43, 63–70. doi:10.1093/geronj/43.3.P63
- 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. *J. Exp. Psychol. Appl.* 1, 50–76. doi:10.1037/1076-898X.1.1.50
- Kramer, A. F., and Willis, S. L. (2002). Enhancing the cognitive vitality of older adults. *Curr. Dir. Psychol. Sci.* 11, 173–177. doi:10.1111/1467-8721.00194
- Legault, L., and Faubert, J. (2012). Perceptual-cognitive training improves biological motion perception: evidence for transferability of training in healthy aging. *Neuroreport* 23, 469–473. doi:10.1097/WNR.0b013e328353e48a
- Legault, L., Troje, N. F., and Faubert, J. (2012). Healthy older observers cannot use biological-motion point-light information efficiently within 4 m of themselves. *Iperception* 3, 1–8. doi:10.1068/i0485
- Levitt, H. (1971). Transformed up-down methods in psychoacoustics. *J. Acoust. Soc. Am.* 49(Suppl. 2), 467. doi:10.1121/1.1912375
- 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. doi:10.1016/j.brainres.2009.12.073
- Nunes, A., and Kramer, A. F. (2009). Experience-based mitigation of age-related performance declines: evidence from air traffic control. *J. Exp. Psychol. Appl.* 15, 12–24. doi:10.1037/a0014947

- Pylyshyn, Z. W. (1989). The role of location indexes in spatial perception: a sketch of the FINST spatial-index model. *Cognition* 32, 65–97. doi:10.1016/0010-0277(89)90014-0
- Pylyshyn, Z. W. (1994). Some primitive mechanisms of spatial attention. *Cognition* 50, 363–384. doi:10.1016/0010-0277(94)90036-1
- Pylyshyn, Z. W., and Storm, R. W. (1988). Tracking multiple independent targets: evidence for a parallel tracking mechanism. *Spat. Vis.* 3, 179–197. doi:10.1163/156856888X00122
- 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. doi:10.1016/j.visres.2006.08.011
- Salthouse, T. A. (1990). Influence of experience on age differences in cognitive functioning. *Hum. Factors* 32, 551–569.
- Sasient, L. S. (1978). The Frisby stereotest. *Optician* 176, 7–10.
- Sekuler, R., McLaughlin, C., and Yotsumoto, Y. (2008). Age-related changes in attentional tracking of multiple moving objects. *Perception* 37, 867–876. doi:10.1068/p5923
- 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. doi:10.1167/9.7.18
- Tinjust, D., Allard, R., and Faubert, J. (2008). Impact of stereoscopic vision and 3D representation of visual space on multiple object tracking performance. *J. Vis.* 8, 509. doi:10.1167/8.6.509
- Trick, L. M., Perl, T., and Sethi, N. (2005). Age-related differences in multiple-object tracking. *J. Gerontol. B. Psychol. Sci. Soc. Sci.* 60, 102–105. doi:10.1093/geronb/60.2.P102
- Tucker-Drob, E. M. (2011). Neurocognitive functions and everyday functions change together in old age. *Neuropsychology* 25, 368–377. doi:10.1037/a0022348
- Viswanathan, L., and Mingolla, E. (2002). Dynamics of attention in depth: evidence from multi-element tracking. *Perception* 31, 1415–1437. doi:10.1068/p3432
- Yantis, S. (1992). Multielement visual tracking: attention and perceptual organization. *Cogn. Psychol.* 24, 295–340. doi:10.1016/0010-0285(92)90010-Y
- Conflict of Interest Statement:** Isabelle Legault and Remy 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., a company that has signed a licensing agreement for four technologies from the Université de Montréal and produces the NeuroTracker™ system, the commercial version of the 3D-MOT speed task.

Received: 27 November 2012; accepted: 17 May 2013; published online: 06 June 2013.

Citation: Legault I, Allard R and Faubert J (2013) Healthy older observers show equivalent perceptual-cognitive training benefits to young adults for multiple object tracking. *Front. Psychol.* 4:323. doi:10.3389/fpsyg.2013.00323

This article was submitted to *Frontiers in Perception Science*, a specialty of *Frontiers in Psychology*.

Copyright © 2013 Legault, Allard and Faubert. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in other forums, provided the original authors and source are credited and subject to any copyright notices concerning any third-party graphics etc.