

令和 2 年 6 月 3 日現在

機関番号：33938

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16K01481

研究課題名（和文）眼球運動測定とNIRSの同時計測による新たな転倒予防介入に関する基礎的研究

研究課題名（英文）A basic study utilizing simultaneous measurement of eye motion measuring system and NIRS on new fall prevention strategy

研究代表者

山田 和政（Yamada, Kazumasa）

星城大学・リハビリテーション学部・教授

研究者番号：20367866

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、歩行時の環境状況の把握に必要な視覚情報と高齢者が早期から低下する前頭葉機能との関連を調査し、高齢者の転倒発生機序について検討した。結論として、考え事をしながらの歩行では、考え事に注意が向き、「視線は大きく動くものの実際は見えていない」といった現象が生じ、障害物の発見が遅れ、歩き方にも影響を及ぼし、足元の障害物につまずきやすくなることで転倒が起こることが考えられた。そのため、周辺情報を瞬時かつ正確に捉え、“つまずき”に対して確実に転倒回避できる「ステップ動作」の獲得が必要といえる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高齢者の転倒は要介護状態に陥る原因のひとつとされ、転倒予防として下肢筋力の強化や身体バランス機能の向上を目的とした取り組みが行われてきた。しかし、今後、高齢者数の急増を考えると、これまでの取り組みだけでは転倒発生率を減少させることは難しい。本研究では、これまで着目されてこなかった環境状況の把握に必要な視覚と老年早期から低下するとされる前頭葉機能との関連を明らかにし、バランスを崩さないための新たな転倒予防方略を検討する基礎的資料となるものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to investigate the relationship between the visual information necessary to get surrounding situations during walking and attention function that declines due to premature aging, and to examine the mechanism of falls in the elderly. During walking while thinking, the attention was paid to the thought, and thus causing the phenomenon such as "Eyes move a lot but not actually seeing". Thereby it was thought that falls may occur because an obstacle is found late, the walking pattern changes, and more likely to trip over an obstacle. Therefore, it is necessary to acquire "stepping reaction" that can catch neighboring information instantaneously and accurately and can surely avoid falls against "stumbling".

研究分野：健康支援学

キーワード：転倒予防 視覚情報 眼球運動 前頭葉機能 NIRS

## 1. 研究開始当初の背景

歩行時のバランスを維持するには、視覚情報を利用することでその先の環境情報を前もって把握して咄嗟の危険をいち早く察知する予期機構、事前にバランスを崩さないよう調整・修正を行う予測機構、バランスが崩れるような状況になった際は反射的にそれを維持しようとする反応機構があり、これら3つの機構に基づいて動的に制御されている(Huxham et al, 2001 / Patla et al, 2003)。「視覚」は、これら3つの機構のいずれにも関与する重要な感覚機能であるが、特に、予期機構の情報源として際立って重要な役割を果たしている。それにも関わらず、転倒予防は、下肢筋力の強化や身体バランス機能の向上を目的とした取り組みがほとんどである。つまり、これまでの転倒予防では、反応機構に対する介入のみを実践しており、視覚情報に基づく予期機構に対する取り組みはほとんどされていない。

高齢者において早期から低下する脳機能に注意機能がある。近年、注意機能を中心とする前頭葉機能の低下が歩行に影響するといった先行研究は多い。その要因は、注意資源における注意配分機能の影響が挙げられ、他の事象へ注意が強制されると歩行への注意量が減少し、歩行速度の低下や姿勢動揺の増大として観察される。当然、予期機能にも注意機能は関連すると推察されるが、予期機構における注意配分機能の影響を報告した先行研究はほとんどない。

我々は、先行研究において眼球運動測定システム(TalkEye Lite, 竹井機器, 以下; アイカメラ)を用いて二重課題歩行(課題を課しながらの歩行)時の眼球運動を計測し、分析を試みている。若年者を対象に行った結果では、二重課題によって視覚に向けられる注意量が減少し、視覚による情報収集が減少した可能性が示唆された。このような状態は、突然の環境変化に対応できず、歩行時の転倒リスクが高まることが推察された。加齢に伴い、注意機能を司る前頭葉機能が減衰している高齢者では、この傾向はより顕著となることが容易に推測できる。そこで、アイカメラと近赤外分光法(NIRS)を使用して眼球運動と前頭葉機能を同時に計測できれば、両者の関連を明らかにすることが可能となり、これまでほとんど検証されていない転倒に対する予期機構の関与におけるメカニズムが検証でき、バランスを崩さないための転倒予防方略を提示することができる。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、環境状況を前もって把握し咄嗟の危険をいち早く察知する「予期機構」に着目し、バランスを崩さないための方略を検討することである。方法として、歩行時に、環境状況の把握に必要な視覚情報と高齢者が早期から低下する前頭葉機能との関連をアイカメラとNIRSにて同時計測し、転倒リスクを察知するために、視覚情報と前頭葉機能が予期機構としてどのように関与するのかを明らかにすることである。

## 3. 研究の方法

本研究計画では、アイカメラと光イメージング脳機能測定装置(OEG16, Spectratech, 以下; NIRS)を用いて、転倒に予期機構が関与するメカニズム、前頭葉機能と予期機構との関連を明らかにする計画である。これらの計測機器を使用することで、二重課題歩行時に

ける眼球運動と注意機能との関連についての検討，二重課題における眼球運動と前頭葉血流量からみた転倒リスクに関する若年健常者を対象とした予備的研究，高齢者の眼球運動と前頭葉血流量からみた二重課題時の転倒発生機序に関する一考察，高齢者の二重課題歩行時における眼球の動きに関する検討の4つ分析をサブテーマとして推進した。

#### 4. 研究成果

##### 1) 二重課題歩行時における眼球運動と注意機能との関連についての検討

本研究では，二重課題歩行時における眼球運動と注意機能との関連について検討することを目的とした。

対象は，若年健常人15名(年齢 $21.3 \pm 0.5$ 歳，男性3名・女性12名)とした。対象者には本研究の趣旨を口頭にて十分に説明し同意を得た。方法は，室内の左右に机が並んだ幅1.5mの通路を単一課題歩行(通常歩行)と二重課題歩行(計算課題を課しての歩行)させ，その際の眼球の動きをアイカメラにてそれぞれ計測した。歩行は，普通の歩き方，普通で，まっすぐに前を見て歩くよう指示し，歩行距離は5mとした。計算課題は2桁×1桁の掛け算とした。計測データは両眼の合成運動角度とし，上下・左右方向最大眼球角度範囲平均と上下・左右方向総眼球運動角度平均を算出し，対応のあるt検定を用いて比較した。

結果，上下方向最大眼球角度範囲平均は，単一課題歩行で $17.4 \pm 18.4$ 度，二重課題歩行で $34.9 \pm 23.9$ 度であり，二重課題歩行において有意に大きかった( $p < 0.01$ )。以下，単一課題歩行 vs. 二重課題歩行の結果(p値)で示す。左右方向最大眼球角度範囲平均は $19.2 \pm 17.2$ 度 vs.  $37.9 \pm 24.8$ 度( $p < 0.01$ )，上下方向総眼球運動角度平均は $59.9 \pm 64.2$ 度 vs.  $113.3 \pm 89.5$ 度( $p < 0.01$ )，左右方向総眼球運動角度平均は $60.3 \pm 52.5$ 度 vs.  $126.1 \pm 100.2$ 度( $p < 0.01$ )であり，いずれも二重課題歩行において有意に大きかった。

本結果では，単一課題歩行時と比較して二重課題歩行時で眼球運動が有意に増大することが確認された。二重課題歩行では計算課題処理に注意の配分を必要とするため，歩行への注意の配分量が減少することに加えて，視覚情報の取得のための眼球運動制御への注意配分も減少し，眼球運動が増大したと考えられた。

##### 2) 二重課題における眼球運動と前頭葉血流量からみた転倒リスクに関する若年健常者を対象とした予備的研究

本研究は，疑似歩行(その場足踏み)時に環境状況の把握に必要な視覚情報と高齢者が早期から低下する前頭葉機能との関連を調査し，高齢者の転倒発生メカニズムの解明のための基礎データを得ることを目的とした。

対象は，若年健常女性20名とした。尚，対象者には本研究の趣旨を口頭および書面にて説明し同意を得た。前方スクリーンに投影した映像を見ながら，単一課題(足踏みのみ)，二重課題(2桁×1桁の計算をしながらの足踏み)，対照課題(意識して前方を見るよう指示しながらの足踏み)を実施し，眼球の動き，前頭葉の血流量，足踏み状態をそれぞれ計測し比較した。眼球の動きは，アイカメラにてそれぞれ30秒間の両眼合成運動角度を計測し，上下・左右方向総眼球運動角度を算出した。前頭葉の血流量は，NIRSにて酸素化ヘモ

グラビン濃度の変化を計測した。足踏み状態は、筋電計(MYOTRACE400, NORAXON)にて足踏みの回数と足踏み周期のバラツキを計測した。本研究は星城大学研究倫理委員会の承認を得て実施した。

結果、眼球の動き(上下方向総眼球運動角度, 左右方向総眼球運動角度)は、二重課題(876.7±367.9度, 745.4±345.3度)が、単一課題(646.2±231.5度, 524.8±220.6度)と対照課題(655.7±211.4度, 466.0±172.1度)と比較して有意に大きかった(ともに $p < 0.05$ )。前頭葉の血流量(Z-score)は、単一課題(2.5145±6.2517)と比較して二重課題(-2.8172±9.3395)では低下がみられた。足踏み状態は、3条件間でいずれも違いはなかった。

我々は、普段の歩行中に、物事を考えたり、会話をしたりすることが多い。これらは、歩行と同時に別のことをする、いわゆる「二重課題歩行」である。本研究結果を踏まえると、若年者は、単一課題歩行では注意を歩行に向け、進行方向の一定範囲に視点を定めて環境状況を把握し、歩行の安全性を無意識に確認しているが、二重課題歩行では眼球運動は増大するにも関わらず、注意の中央制御系として機能する前頭葉活動は低下した状態となり、「眼球は動いているものの、実は見ているようで見ていない」といった現象が生じ、事前に危険を察知することが疎かとなり、転倒リスクが高まるといったことが考えられた。

### 3) 高齢者の眼球運動と前頭葉血流量からみた二重課題時の転倒発生機序に関する一考察

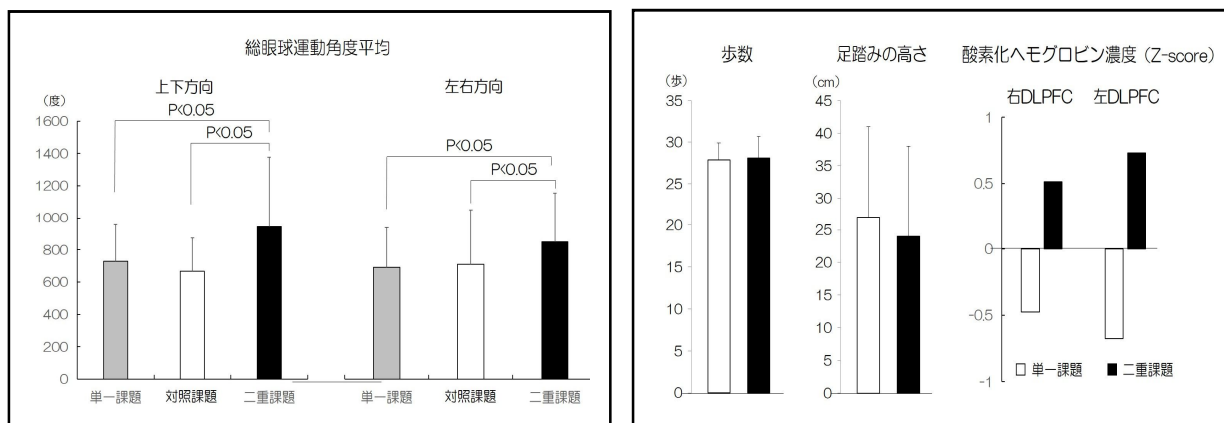
本研究では、疑似歩行(その場足踏み)時に環境状況の把握に必要な視覚情報と高齢者が早期から低下する前頭葉機能を調査し、高齢者の転倒発生機序について検討した。

対象は、本研究に同意が得られた健常高齢女性14名とした。前方スクリーンに投影した映像を見ながら、単一課題(足踏みのみ)、二重課題(2桁×1桁の計算をしながらの足踏み)、対照課題(意識して前方を見るよう指示しながらの足踏み)を実施し、眼球の動き、前頭葉血流量、足踏み状態をそれぞれ計測し比較した。眼球の動きは、アイカメラにてそれぞれ30秒間の両眼合成運動角度を計測し、上下・左右方向総眼球運動角度を算出した。前頭葉血流量は、NIRSにて対照課題を基準とした単一課題と二重課題の左右前頭前野背外側領域(DLPFC)における酸素化ヘモグロビン濃度の変化を加算平均し、標準化したスコアで解析した。足踏み状態は、加速度計(DSP ワイヤレス 9 軸モーションセンサ, スポーツセンシング)にて右下肢の動きを計測し、足踏み回数と足踏みの高さを算出した。本研究は星城大学研究倫理委員会の承認を得て実施した。

結果、眼球の動き(上下方向総眼球運動角度, 左右方向総眼球運動角度)は、二重課題(943.2±432.7度, 851.6±304.5度)が、単一課題(729.2±228.2度, 693.7±246.0度)と対照課題(665.9±207.6度, 710.7±340.6度)と比較して有意に大きかった(ともに $p < 0.05$ )。前頭葉血流量のパラメータである酸素化ヘモグロビン濃度(右DLPFC, 左DLPFC)は、単一課題(-0.475±2.010, -0.542±3.007)と比較して二重課題(0.513±7.218, 0.584±7.635)で高かった。足踏み状態は、単一課題と比較して二重課題では、歩数に違いはないものの足踏みの高さが有意に小さかった(27±14cm vs 24±14cm;  $p < 0.05$ )。

高齢者の二重課題歩行時は、眼球の動きが大きくなるが、ひとつの課題に集中して、視覚

による注意探索が疎かになるとともに、足上げが小さく“つまずく”危険性が高くなることで、転倒が起こるものと推察された。そのため、周辺情報を瞬時かつ正確に捉え、“つまずき”に対して確実に転倒回避できる「ステップ動作」の獲得が必要といえる。



#### 4) 高齢者の二重課題歩行時における眼球の動きに関する検討

本研究では、実歩行での二重課題時の眼球の動きを明らかにすることを目的とした。

対象は、本研究に同意が得られた健常高齢者 15 名(男性：4 名，女性：11 名)とした。計測環境は、幅 2.0m、高さ 2.4m、長さ 15m の廊下とした。10m の 単一課題歩行(前方を見ながらの歩行)と 二重課題歩行(2 桁×1 桁の計算をしながらの歩行)を実施し、その際の眼球の動き、歩行所要時間および歩数をそれぞれ計測し比較した。眼球の動きは、アイカメラを用いて、課題毎に、10m 歩行中の両眼合成運動角度を計測し、単位時間当たりの上下・左右方向眼球運動角度(単位：度/秒)を算出した。歩行所要時間と歩数は、ストップウォッチと数取器を用いて計測した。2 群間の比較には、Wilcoxon 符号付き順位検定を用い、有意水準は 5%とした。本研究は星城大学研究倫理委員会の承認を得て実施した。

結果、単位時間当たりの上下方向眼球運動角度(中央値(25-75%タイル))は、二重課題歩行(37.9(27.0-61.8)度/秒)が、単一課題歩行(29.8(14.6-41.2)度/秒)と比較して有意に大きかった(p=0.034)。単位時間当たりの左右方向眼球運動角度は、二重課題歩行(47.9(22.1-72.0)度/秒)が、単一課題歩行(27.7(18.4-37.4)度/秒)と比較して大きい傾向を認めた(p=0.075)。10m 歩行所要時間は、二重課題歩行(12.7(9.9-16.0)秒)が、単一課題歩行(12.0(9.3-13.6)秒)と比較して有意に長く(p=0.002)、歩数についても二重課題歩行(21(18-30)歩)が、単一課題歩行(20(18-25)歩)と比較して有意に多かった(p=0.007)。

我々は、これまでの研究において足踏みに付加された課題が眼球運動制御機構を抑制し、二重課題時には必要以上に眼球の動きが増大するものの、入手する視覚情報量が減少している状態にあると推察した。これは、「眼球を動かして見ている様だが、実は見えていない」状態が生じていると解釈できる。実歩行においても二重課題時の眼球の動きは大きくなり、歩容(歩行速度・歩幅)にも影響を及ぼし、疑似歩行であるその場足踏みと同結果が確認された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Daisuke Kimura, Taro Ohtoshi, Hiroki Bizen, Aiko Imai, Masako Notoya, Kazumasa Yamada	4. 巻 9
2. 論文標題 A study on visual search during the Trail Making Test: Analysis using an eye tracker	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Neuroscience and Medicine	6. 最初と最後の頁 116-122
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4236/nm.2018.93012	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Daisuke Kimura, Ken Nakatani, Masako Notoya, Aiko Imai, Hiroki Bizen, Minoru Toyama, Kazumasa Yamada	4. 巻 7
2. 論文標題 Differences of neglect in peripersonal space and extrapersonal space in a patient with unilateral spatial neglect	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Case Reports in Clinical Medicine	6. 最初と最後の頁 513-525
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4236/crcm.2018.710045	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 山田和政, 千原壮智, 木村大介, 古川公宣, 渡邊和子	4. 巻 33
2. 論文標題 ながら歩行時の注意分散機能が視覚情報に与える影響	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 理学療法科学	6. 最初と最後の頁 141-144
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 横山真也, 早矢仕宇理, 海光拓磨, 宮原雄太, 古川公宣, 木村大介, 山田和政
2. 発表標題 高齢者の二重課題歩行時における眼球の動きに関する一考察
3. 学会等名 日本転倒予防学会第6回学術集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横山真也, 早矢仕宇理, 海光拓磨, 宮原雄太, 古川公宣, 木村大介, 山田和政
2. 発表標題 高齢者の眼球運動と前頭葉血流量からみた二重課題時の転倒発生機序に関する一考察
3. 学会等名 日本転倒予防学会第5回学術集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 横山真也, 古川公宣, 木村大介, 山田和政
2. 発表標題 二重課題における眼球運動と前頭葉血流量からみた転倒発生機序に関する一考察
3. 学会等名 日本転倒予防学会第4回学術集会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 千原壮智, 木村大介, 横山真也, 古川公宣, 山田和政
2. 発表標題 アイカメラとNear-infrared spectroscopy (NIRS) の同時測定を用いて
3. 学会等名 リハ・ケア合同研究大会 in 久留米2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 立岩慧土, 木村大介, 山田和政
2. 発表標題 眼球運動から見たTrail Making Test part Aの視覚探索課題としての適性に関する検討
3. 学会等名 第17回東海北陸作業療法学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 千原壮智, 山田和政, 木村大介, 古川公宣, 渡邊和子
2. 発表標題 二重課題歩行時における眼球運動と注意機能との関連についての検討
3. 学会等名 日本転倒予防学会 第3回学術集会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	古川 公宣  (Furukawa Kiminobu)  (30460629)	星城大学・リハビリテーション学部・教授    (33938)	