

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：17501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K12889

研究課題名（和文）転倒リスクのバイオマーカーを検出するための脳と運動のカップリング機構の解明

研究課題名（英文）Elucidation of the brain-motor coupling mechanism for detecting fall risk biomarkers

研究代表者

川上 健二（KAWAKAMI, Kenji）

大分大学・福祉健康科学部・客員研究員

研究者番号：00756380

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：易転倒性を特定するために、若年者群と高齢者群に分けて開眼、閉眼およびバーチャルリアリティ（VR）を用いた立位保持時の重心動揺（COP）と脳波および筋電の周波数カップリングを調べた。結果、(1)COPについて、高齢者群は脳波および筋電ともに若年者群に比べ高い周波数帯域で同期性を認めた。(2)脳波について、高齢者群は開眼で幅広い周波数帯域でCOPと同期性を認めた。(3)筋電について、高齢者群は閉眼とVRで幅広い周波数帯域でCOPと同期性を認めた。これらの事から高齢者は姿勢反射や視覚機能の低下などによりCOPの振幅が増大し、若年者とは異なる姿勢制御機構でバランスを維持していることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

直立姿勢で安定した静止立位を保持するためには、あらかじめ認知された情報を基にしたフィードフォワード制御と感覚によるフィードバック制御があり、運動情報と感覚情報が統合されなければならない。しかし、高齢者の姿勢制御では加齢変化により姿勢反射の低下、視覚機能の低下、前庭覚の低下、深部感覚の低下、運動速度の低下など姿勢制御機能が低下する。本研究では、同様の課題でも高齢者は若年者と異った姿勢制御機構でバランス維持させていることを示した。しかし、追跡調査では転倒者がいなかったためバイオマーカーの特定には至らなかった。今後、転倒前後の測定を行うことで易転倒性のバイオマーカーが特定できる可能性があると考えられる。

研究成果の概要（英文）：We evaluated the frequency coupling among center of pressure (COP), sway, electromyogram, and electroencephalograph during static standing under three conditions: eyes open, eyes closed, and visual stimulation using virtual reality. We compared the results between young and older adults to identify fall risks in the latter. The following results were obtained: cortico-muscular coupling in the high-frequency band, cortico-COP coupling in both the low- and high-frequency bands while standing with the eyes open, and COP-muscular coupling in both the low- and high-frequency bands while standing with eyes closed and during visual stimulation using virtual reality were significantly more synchronized in older adults than in the younger group. These results suggest that older adults adopt different postural control strategies than young adults because of a decline in postural reflexes and visual sensory processing.

研究分野：理学療法

キーワード：転倒 姿勢制御 重心動揺 脳波 筋電 周波数カップリング

1. 研究開始当初の背景

現在、我が国では転倒予防のために多くの対策が積極的に取り組まれている。転倒の危険因子には加齢変化や疾患などの内的因子と環境や衣服などの外的因子があるとされている。転倒発生数を減少させるために早期に転倒リスクを見出すことが重要であると思われるが、未だに転倒発生数の著明な減少はみられない。

ヒトの動きは脳と運動が相互に影響し合っている。その中でも直立姿勢では、一見静止しているように見えるが、微視的に見ると重心移動が絶え間なく生じている。安定した静止立位を保持するためには、過去の経験に基づきあらかじめ認知された情報を基にしたフィードフォワード制御と視覚、前庭、体性感覚によるフィードバック制御があり、運動情報と感覚情報が上手く統合されなければならない。

立位姿勢制御に関する研究は、床反力計 (force-plate) を用いて立位時の center-of-pressure (COP) の変位や COP の変化に伴う下腿の筋活動についての研究が多い¹⁾。また、高齢者の転倒のしやすさやバランス能力を示す評価方法として、等尺性筋力測定や Time up & Go が有効な評価方法として用いられている²⁾。さらに、足関節の等尺性運動時の大脳皮質と筋の皮質筋間、ステップ動作での前脛骨筋とヒラメ筋の筋間の同期性についてコヒーレンス解析を用いた神経生理学的研究が徐々に行われている。そして、近年 Virtual reality (VR) を用いた研究が盛んに行われている。リハビリテーション分野では、脳卒中患者の機能改善やパーキンソン病のバランス能力の改善に VR が用いられ、VR ゲームによるバランス能力、リアクションタイム、下肢筋力、転倒への恐怖心への効果³⁾などの研究が挙げられる。しかし、VR を用いて立位姿勢時の COP と筋電図および脳波を統合した報告は見当たらない。このような姿勢調整のメカニズムについての研究は健康若年者を対象とした研究においても不明なままである。

2. 研究の目的

本研究では、上述の学術的な「問い」を解決するために、健康若年者群と健康高齢者群のデータを比較することで転倒しやすい状態であるかどうかを示すバイオマーカーの特定を試みる。バイオマーカーを特定する方法として、健康若年者と健康高齢者の3つの課題時の COP と下肢筋電図および脳波を同時に計測し、近年脳科学分野で注目されている位相振幅カップリング (Phase Amplitude Coupling : PAC) を用いる。PAC は異なった周波数の脳波が相互に関連性をもって活動することから、この現象が脳内情報処理の重要な機能を担っているといわれている。前述のように、ヒトの運動方式は常に「脳 運動」という閉ループ構造を持つため脳波信号間のみならず、脳波と筋電図あるいは重心動揺との間に何らかのカップリング現象が存在しても不思議ではない。このような脳波以外の生体信号と組み合わせた解析は大変挑戦的な試みである。これにより、我が国の高齢者対策としての「健康寿命の延伸」へ繋がることを目指す。

3. 研究の方法

本研究では、以下の実験を行った。

対象は、健康若年者 30 名 (平均年齢 22.3 歳 ± 5.0 歳)、70 歳以上の健康高齢者 11 名 (平均年齢 78.5 歳 ± 8.5 歳) とした。参加者全員が、本研究の目的およびリスクに関する詳細な説明を行い、書面にて同意を得た。また本研究は所属機関の医学部倫理委員会で承認を得た上で実施した。

方法は、対象者を重心動揺計上で足長の中心が重心動揺計の中央に位置するようにし、閉脚直立姿勢をとらせて脳波と重心動揺を同時に計測した。開眼・閉眼・VR の3条件で各5分間の計測を行った。開眼時は1.5m先の1点を凝視するように指示し、VR時はVRゴーグル(oculus rift)を装着し、図1のような映像の中で景色が後方移動し、被験者には歩いているような足音が聞こえる状態で計測を行った。それぞれの計測間には5分間の休憩を挟んだ。



図1 VR映像

COP は force-plate (Sports Sensing)、筋電と脳波はワイヤレス生体計測装置 Polymate Mini (ミユキ技研) を使用し測定した。COP は前後方向 (Y 軸)、筋電は姿勢保持に関する筋である前脛骨筋 (TA) とヒラメ筋 (Sol)、脳波は国際 10-20 法に基づき、C3、Cz、C4、Pz の4箇所計測した。また、高齢者群は転倒の有無について1年間の追跡調査を行った。

解析は、COP と筋電および脳波の異なった周波数の同期性を調べるために MATLAB、BRAINSTORM を用いて、Phase-Amplitude Coupling (PAC) 解析を用いた。

4. 研究成果

【筋電と脳波と同期性の高い COP の周波数】

筋電との同期性については健常若年者群は TA、Sol とともに 3 条件すべて 0.2~0.5Hz、健常高齢者群では健常若年者群に比べて TA、Sol とともに 3 条件すべて 0.2~1.4Hz の高い周波数において同期性が高かった (図 2 と 3)。脳波との同期性については、健常若年者群 (図 4)、健常高齢者群 (図 5) とともに 3 条件すべて 0.2~0.6Hz において同期性が高かった。田口らの研究によると若年健常者の 53% の重心動揺は peak が 0.1~0.6Hz の周波数帯に存在する⁴⁾と報告されている。本研究では筋電については健常高齢者群は健常若年者群に比べ 3 条件ともに高い周波数であった。これは高齢者では重心動揺軌跡距離や重心動揺面積が増加する⁵⁾ためであると考えられる。

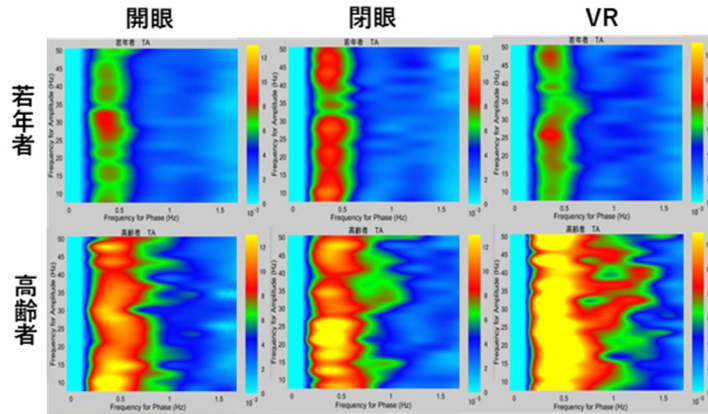


図 2 COP-TA の同期性 (黄色に近いほど同期性が高い)
縦軸が筋電の周波数 (0~50Hz)、横軸が COP の周波数 (0~1.5Hz)

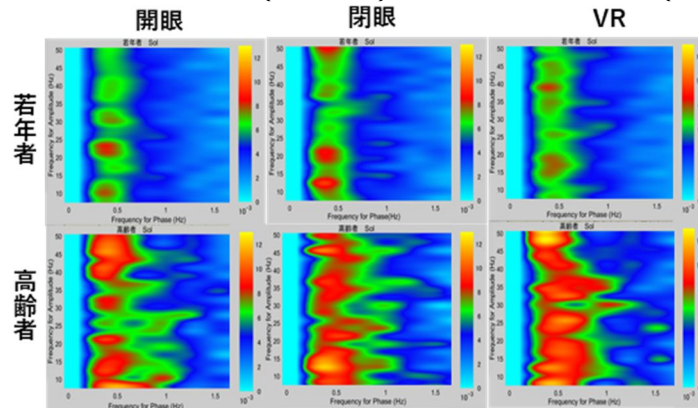


図 3 COP-Sol の同期性 (黄色に近いほど同期性が高い)
縦軸が筋電の周波数 (0~50Hz)、横軸が COP の周波数 (0~1.5Hz)

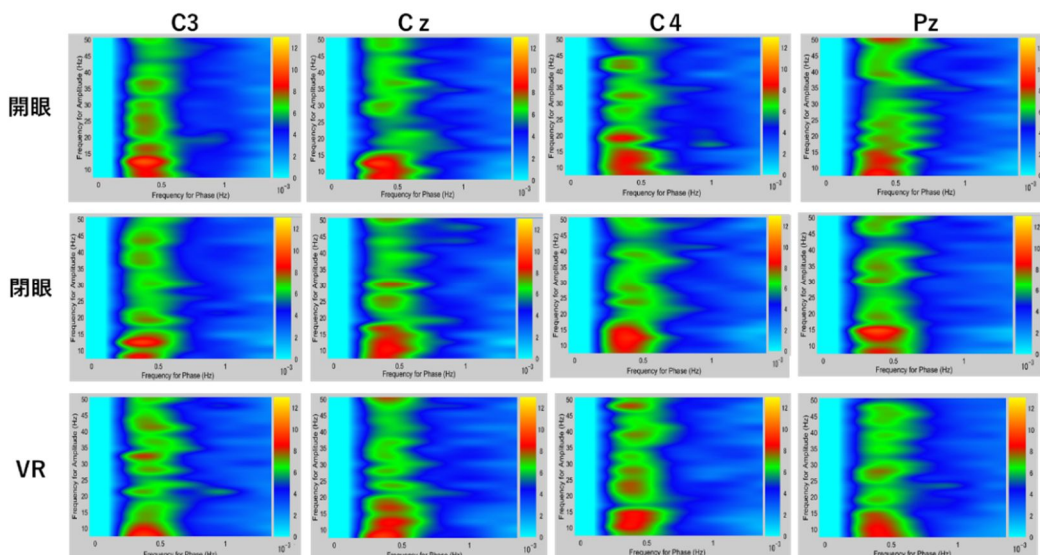


図 4 健常若年者における COP-脳波の同期性 (黄色に近いほど同期性が高い)
縦軸が筋電の周波数 (0~50Hz)、横軸が COP の周波数 (0~1.5Hz)

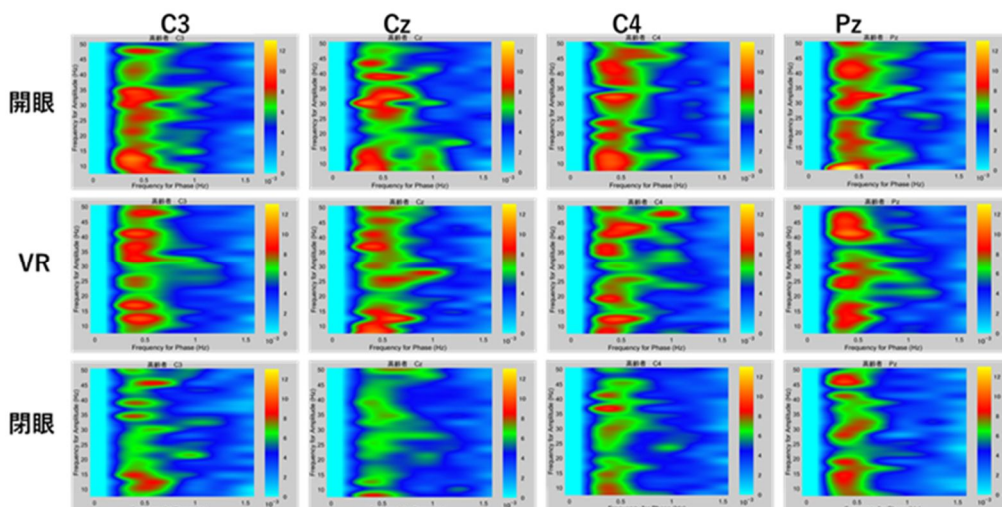


図5 健常高齢者における COP-脳波の同期性（黄色に近いほど同期性が高い）
縦軸が筋電の周波数（0～50Hz）、横軸が COP の周波数（0～1.5Hz）

【筋電と COP の同期性について】(図2、図3)

健常高齢者群は健常若年者群に比べて、TA、Solともに幅広い周波数帯域で同期性が高かった。加齢により視力の低下、視覚情報の減少、体性感覚の低下も生じる。また、立位姿勢制御において ankle strategy が重要な役割を果たしており⁶⁾、TA と Sol が求心性・遠心性収縮を使い分けながら協調的な働きで姿勢制御を行うと考えられている。しかし、高齢者では姿勢制御機構の機能低下による重心動揺軌跡距離や重心動揺面積が増加すること⁵⁾や視覚的制御が失われることにより重心の前後移動が増加すること⁷⁾が報告されている。さらに、姿勢変化による重心位置の変位を防ぐため骨盤や下肢を協調させるといった報告もある⁸⁾。そのため、高齢者では協調的な働きではなく同時収縮による筋活動が生じ、幅広い周波数帯域で同期性が認められたと考える。

【脳波と COP の同期性について】(図4、図5)

高齢者では開眼や VR 条件の（14～30Hz）や（30Hz～）帯域において高い同期性がみられた。高齢者の姿勢制御では加齢変化により姿勢制御機能が低下する⁹⁾。中枢神経系では神経細胞の変性、反応時間の延長、姿勢反射の低下が、感覚器系では視覚機能の低下、前庭覚の低下、深部感覚の低下が、運動器系では最大筋力の低下や運動速度の低下が生じると言われている。このような加齢変化が生じることで高齢者にとっては5分間の立位保持が難しい課題であったと考える。脳波の帯域は集中しているときや運動時に出現し、思考状態との関連が高く、帯域は記憶や視覚処理に関与し、高次精神活動との関連が高いと言われている¹⁰⁾。本研究では課題に集中したことで帯域の同期性がみられ、安全に課題を遂行するために注意や判断といった高次精神活動が行われたことで帯域の同期性がみられたと考える。また、頭頂・後頭葉領域における帯域は感覚や運動の統合に関与するとされており¹¹⁾、本研究でも感覚や運動の統合が生じたことで両帯域において同期性が高いという結果が得られたと考える。

<引用文献>

- 1) Jung Joong Yoon, M.D., et al: Factors Affecting Test Results and Standardized Method in Quiet Standing Balance Evaluation. Ann Rehabil Med 2012; 36: 112-118
- 2) Pedro L Valenzuela, et al: Isometric Strength Measures are Superior to the Timed Up and Go Test for Fall Prediction in Older Adults: Results from a Prospective Cohort Study. Clinical Interventions in Aging 2020;15 2001-2008
- 3) Silvia GR Neri, et al: Do virtual reality games improve mobility skills and balance measurements in community dwelling older adults? Systematic review and meta-analysis. Clinical Rehabilitation 2017; Vol. 31(10) 1292 -1304
- 4) 田口喜一郎, 飯島美千穂, 他: 重心動揺の周波数分析 周波数スペクトルと平均周波数. 耳鼻臨床. 1997; 70 : 9: 825-831.
- 5) 後藤昭信, 宮下善和, 他: 高齢者の直立重心動揺の特徴について. 日本めまい平衡医学会. 1989; 48(2): 138-143.
- 6) 長谷公隆: 立位姿勢の制御. リハビリテーション医学. 2006; 43: 542-553.
- 7) Raymond K, et al: Spatial orientation during eyes closed versus open in the dark: Are they the same? World Journal of Neuroscience. 2012; 2: 126-132.
- 8) 樋口貴広, 建内宏重, 他: 姿勢と歩行協調からひも解く. 三輪書店. 2015.
- 9) 奈良勲, 内山靖: 姿勢調節障害の理学療法(第二版). 医歯薬出版. 東京, 2012, pp.382-383
- 10) 平井章康, 吉田幸二, 他: 簡易脳波計による記憶作業における脳波状況フィードバック

学習システムの試作. 分散協調とモバイルシンポジウム 2014 論文集. 2014. 633-638 .

11) Chun-Ju Chang, Tsui-Fen Yang, et al.: Cortical Modulation of Motor Control Biofeedback among the Elderly with High Fall Risk during a Posture Perturbation Task with Augmented Reality. *Frontiers in Neuroscience*. 2016 Apr 28.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔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	阿南 雅也 (ANAN Masaya) (10517080)	大分大学・福祉健康科学部・准教授 (17501)	
研究分担者	松下 光次郎 (MATUSITA Koujiro) (30531793)	岐阜大学・工学部・准教授 (13701)	
研究分担者	菅田 陽怜 (SUGATA Hisato) (30721500)	大分大学・福祉健康科学部・准教授 (17501)	
研究分担者	河上 敬介 (KAWKAKAMI Keisuke) (60195047)	大分大学・福祉健康科学部・教授 (17501)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関