

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：11501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26560300

研究課題名(和文) 足圧中心追従課題を利用した中高齢者の立位バランス能力評価法の提案と試作

研究課題名(英文) Proposal of a device for evaluating postural control ability using CoP tracking task in the anteroposterior direction in elderly adults

研究代表者

新関 久一 (NIIZEKI, KYUICHI)

山形大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：00228123

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：Force platform上で足圧中心(CoP)をanteroposterior方向へ周期的に動く目標へ合わせる課題を行い，若年者と中高年者で比較した。目標へ追従する正確性を位相コヒーレンス()とCoPの瞬時振幅の平均値(G)ならびにこれらの変動係数で評価した。若年者と比較して中高年者は およびGが有意に小さく，変動係数が大きかった。中高年者では反応速度の低下により迅速に調節できず，前後方向の安定性限界が縮小していると推察された。 とGおよびこれらの変動係数を用いて若年者と中高年者を判別する関数を提案した。本手法は加齢に伴うバランス能力を評価する上で有用な指標になり得ると考えられた。

研究成果の概要(英文)：The accuracy of targeted center of foot pressure (CoP) movement in anteroposterior (AP) direction was evaluated in young and elderly adults to determine whether the phase coupling between the CoP and target is predictive of age-related changes in postural control ability. Subjects tracked target displacement at a frequency of either 15, 10, or 7.5 cycle/min. The analytical signals of CoP and target were obtained by Hilbert transform, and the degree of the phase synchronization () and the amplitude of the CoP (G) were quantified. The mean values of and G decreased in elderly and their coefficient variations (CVs) were greater than those in young adults, suggesting that the ability to accurately perform CoP tracking deteriorates in elderly. We proposed a linear function that discriminate between young and elderly adults by using , G, and their CVs. The phase synchronization analysis during AP-CoP tracking task appears to be a tool to assess age-related AP balance ability.

研究分野：生体生理工学

キーワード：足圧中心 位相同期 加齢 足関節角度

1. 研究開始当初の背景

日常生活を営む上で、ヒトが安定した直立姿勢を維持することは不可欠な能力である。しかし、立位状態では身体重心の位置は腰部にあり、重心から降ろした垂線の支持基底面の位置 (CoP) は両足支持部の狭い範囲にとどめなければならないため、立位を維持することはヒトにとって複雑な課題である。その調節には前庭系、体性感覚、視覚系が関連し、中枢神経系による制御を受けながら筋骨格系に出力される。

ヒトは年齢とともに足首や膝関節、腰の stiffness が増加し、身体姿勢を安定に制御する能力が低下して転倒の危険性が増すと言われている。超高齢社会に突入している我が国において、高齢者の転倒による骨折を防ぎ、「寝たきり」を予防することは、医療・保健分野の重要で喫緊な課題となっている。そのためには日頃から自己の身体特性を把握し転倒を予防する心構えが必要である。これまで姿勢の安定性に関する多くの研究が行われており、立位時の CoP 変動は姿勢保持能力を表す一つの指標であると言われている。静止起立時の CoP 時系列変動の特徴を捉えることで、起立制御の質 (立位バランス能力) を評価しようとする試みが散見されるが、立位バランス能力を定量的に評価できる指標は確立されてはならず、また、中高年者や高齢者が自ら立位バランス能力を評価できる民生用の装置や器具はないのが現状である。

2. 研究の目的

本研究では、一般の人が簡便に利用できる立位バランス能力評価システムを構築することを目的とした。具体的には自分の足圧中心を周期的に動く target に合わせることでゲーム感覚で立位バランス能力を評価できるようなシステムの開発を行う。この方法が実現できれば、風呂上りに体重計に乗る感覚で、自分の立位バランス能力を評価できるようになり、ホームケア支援の一助となることが期待される。

3. 研究の方法

CoP 計測装置：重心を計測する force platform はすでに研究用には市販されているが、高価であり一般家庭に導入できるようなものではない。本研究ではセンサとして force sensing resistor を用いた。48×48 のセンサマトリクスを構成することによって 5mm 四方の分解能で足圧分布を計測した。各センサの位置と負荷荷重の積を平均して CoP の座標をリアルタイムで PC 上のモニターに表示した。PC モニターには同時に半径 1 cm の円 (target) を表示し、予め設定した周期と振幅でセンサマトリクスの中心部から anteroposterior 方向に動かした。

被験者：若年健常者 15 名 (平均年齢 22.5 ± 0.7, 女性 2 名) と中高年者 15 名 (平均年齢 62.0 ± 5.4, 女性 3 名) を対象とした。また、

若年者と中高年者の判別関数の検証のために、若年者 37 名 (平均年齢 22.4 ± 1.0, 女性 5 名) と中高年者 34 名 (47 ~ 72 歳, 平均年齢 62.1 ± 5.1, 女性 6 名) の異なる被験者グループをリクルートした。

被験者は実験前に実験内容の説明を十分に受け、インフォームドコンセントに同意した。研究計画は山形大学工学部倫理審査委員会の承認を得た。

実験手法：被験者は force platform 上にソックスを履いて乗り、両手を体側におろして起立した。被験者の前方約 1 m に PC モニターが設置され、被験者はモニター上で前後方向に動く target マークに CoP を合わせる課題を 3 分間遂行した。target が動く周期は 4 秒 (T4)、6 秒 (T6)、8 秒 (T8) の 3 種類で行い、それぞれの振幅はセンサ幅 (33 cm) の 15%、20%、25% に設定した。被験者右体側部の足首、膝、腰、肩関節部に反射マーカを貼付しビデオ撮影を行った。

解析：CoP を Hilbert 変換することにより解析信号 $\zeta(t) = G_{CoP}(t)e^{i\phi_{CoP}(t)}$ を得た。ここで G_{CoP} は CoP の瞬時振幅、 ϕ_{CoP} は瞬時位相である。また同様に target 信号から瞬時位相 (ϕ_T) を求め、 ϕ_{CoP} との位相差 $\Psi(t)$ から位相コヒーレンス λ を求めた。

$$\lambda(t) = \left| \frac{1}{N} \sum_{j=k-N/2}^{k+N/2} e^{i\Psi(t)_j} \right|^2 \quad (1)$$

また、矢状面における足首、膝、腰、肩の各関節の座標を動作解析ソフトウェア (Frame-Dias) により算出し、足関節および腰関節の揺動角度を求めた。

と G_{CoP} の各タスク中の平均値およびこれらの変動係数を指標に主成分分析を行い、2 次元データに縮約した。また、判別分析を行い若年者群と中高年者群を判別する線形関数を求めた。解析には Matlab (Math works) を用いた。

4. 研究成果

図 1 に若年者 (22 歳) 及び中高年者 (62 歳) の位相同期と関節角度の解析例を示す。CoP は target の振幅で ±1.0 に正規化している。中高年者では若年者に比べ、 λ と G_{CoP} が低下し、腰関節角度の変化が大きく、足関節角度の変化が小さい傾向が認められる。

全被験者のタスク 3 分間の平均の λ (λ_m) と G_{CoP} (G_m) ならびに足関節 (θ_{ankle}) と腰関節 (θ_{hip}) の変動幅を図 2 に示す。 λ_m はどのタスクでも中高年者群で低く、その変動係数 λ_{CV} は有意に増加した。中高年者群では target に CoP を追従させる時の位相差の変動が大きいことを示唆する。また、 G_m も同じ傾向を示し、中高年者群で低下し、その変動係数 G_{CV} は増加した。中高年者では anteroposterior 方向の安定性限界が狭まっていることが示唆される。 θ_{ankle} に有意差は認められないが中高年者群で低下する傾向が認められた。 θ_{hip} は T8 タスクで有意に中高年者で増加した。

若年者群では G_m と θ_{ankle} 間および G_m と θ_{hip} 間に相関が認められなかったが、中高年者群では T6 と T8 課題において、 G_m と θ_{ankle} 間に正の相関が認められ、一方、 G_m と θ_{hip} 間には負の相関が認められた。これは θ_{ankle} が小さい被験者ほど target の振幅に追従できず、 θ_{hip} を変化させてタスクを遂行していることを窺わせる。

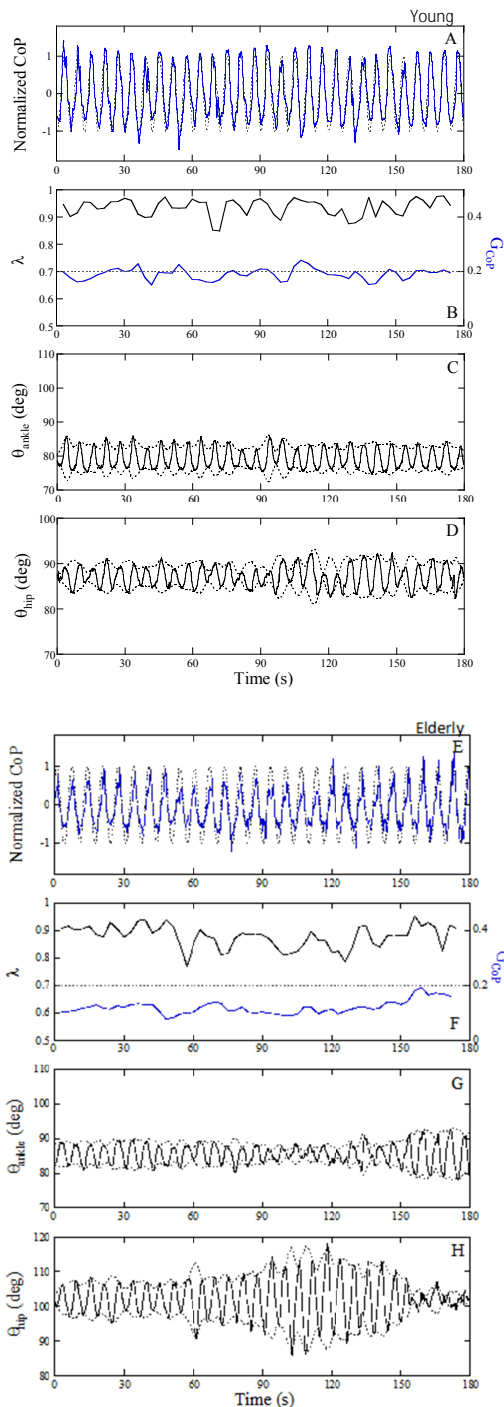


図1. T6 タスクにおける若年者(A,B,C,D)と中高年者(E,F,G,H)の解析例。A,E: CoP の変化, B,F: λ と G_{CoP} , C,G: 足関節角度の変化, D,H: 腰関節角度の変化。

G_m を target の振幅で正規化し、 λ_m と G_m ならびにこれらの変動係数 λ_{CV} と G_{CV} の4指標

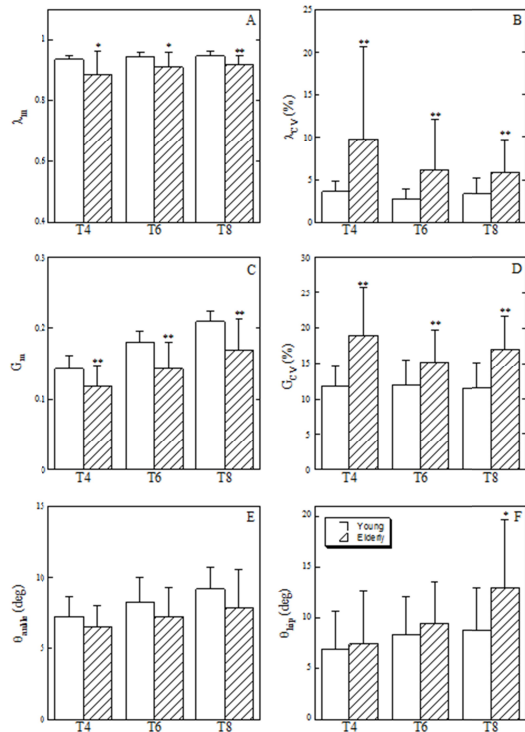


図2. 全被験者の λ_m および G_m と変動係数 (λ_{CV} と G_{CV}) ならびに足関節 (θ_{ankle}) と腰関節 (θ_{hip}) の変化幅

を用いて主成分分析を行い、2次元データに縮約した。4指標はセンタリングは行わず生データを使用した。その結果、第一主成分(PC1)の寄与率は98.6%、第二主成分(PC2)の寄与率は1%であり、第2主成分までで99.6%の情報量が得られることがわかった。図3Aに各被験者のPC1とPC2スコアの散布図を示す。ここでPC1とPC2は下記式で表され、

$$PC1 = 0.74 \cdot \lambda_m + 0.66 \cdot G_m + 0.04 \cdot \lambda_{\text{CV}} + 0.11 \cdot G_{\text{CV}} \quad (2)$$

$$PC2 = -0.62 \cdot \lambda_m + 0.74 \cdot G_m - 0.1 \cdot \lambda_{\text{CV}} - 0.25 \cdot G_{\text{CV}} \quad (3)$$

PC1は λ_m と G_m が大きければ正の方向へ、PC2は変動係数が大きければ負の方向へシフトする。若年者はPC1とPC2は双方とも大きくなる方向へ、中高年者はPC1は小さくなり、PC2は負の方向へ集まる傾向が認められた。判別分析の結果、若年者群と中高年者群を判別する線形判別関数は下記式となった。

$$PC2 = 2.37 \cdot PC1 - 2.94 \quad (4)$$

この判別関数を検証するため、新たに若年者37名と中高年者34名をリクルートし、T6タスクにおけるPC1とPC2を求めてプロットしたのが図3Bである。図3Bの線形判別関数は図3Aと同じである。この判別式で若年者の94.6%、中高年者の82.4%が分別された。

PC1の寄与率が高いことから中高年者のPC1と年齢の関係をプロットしたのが図4である。年齢が高いほどPC1スコアが有意に低下することが明らかとなった ($P=0.0012$)。

周期的に前後方向に動くtargetにCoPを合

わせる追跡課題を行い，位相同期解析から CoP と target 間の位相コヒーレンスと CoP の瞬時振幅ならびにこれらの変動係数から，年齢に依存した立位バランス能力を推定できる可能性が示唆された。

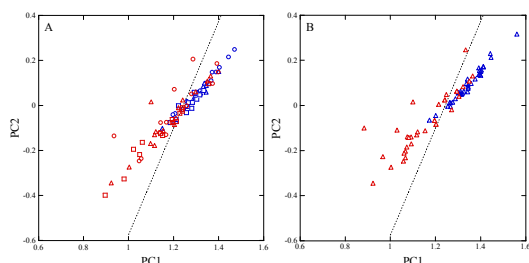


図 3 A: 若年者(n=15)と中高年者(n=15)の λ_m , G_m , λ_{CV} , G_{CV} を用いた主成分分析および判別分析結果。青は若年者，赤は中高年者，○は T4，△は T6，□は T8 課題を示す。B: 若年者(n=37)と中高年者(n=34) の異なる被験者群における判別関数の検証結果

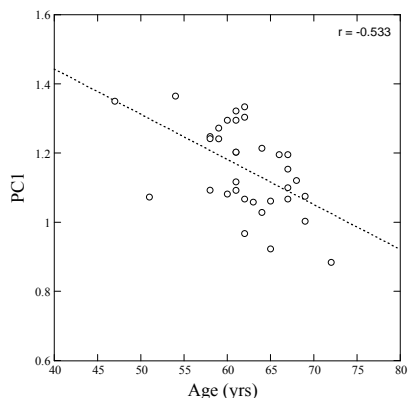


図 4 . 中高年者(n=34)の PC1 スコアの年齢依存性

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Niizeki K, Kouhata K, Gotoh A, Saitoh T, Analyzing postural control during voluntary sway in the anteroposterior axis in young and elderly adults, Proceedings of Life Engineering Symposium 2014, 査読無, CDRom 論文集 432-433, 2014.

〔学会発表〕(計 3 件)

池ノ上陽菜, 鶴川成美, 齊藤 直, 新関久二, 位相同期解析を用いた足圧中心移動課題時の立位バランス評価, 第 55 回日本生体医工学会大会 4 月 26 日~4 月 28 日 2016, 富山国際会議場(富山県富山市)

Niizeki K, Ikenoue H, Saitoh T, Evaluation of postural control ability during targeted CoP movement in the anteroposterior direction in young and elderly subjects, 第 93 回日本生理学会大会 3 月 22 日~3 月 24 日 2016, 札幌コンベンションセンター(北海道札幌市).

Niizeki K, Kouhata K, Gotoh A, Saitoh T, Analyzing postural control during voluntary sway in the anteroposterior axis in young and elderly adults, Life Engineering Symposium 2014 9 月 17 日~9 月 19 日 2014, 金沢大学鶴間キャンパス(石川県金沢市).

〔その他〕

ホームページ等

<http://belab-yzscsc.yz.yamagata-u.ac.jp>

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

新関 久一 (NIIZEKI, Kyuichi)

山形大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号: 00228123