

令和 5 年 5 月 9 日現在

機関番号：32519

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2022

課題番号：17K07594

研究課題名(和文) 補償的バランス反応における頭部制御能の加齢変化と脊柱形態・可動域との関連性

研究課題名(英文) Age-related changes in head control ability in the compensatory balance reaction and its relationship to spinal column morphology and range of motion

研究代表者

竹内 弥彦 (Takeuchi, Yahiko)

城西国際大学・福祉総合学部・教授

研究者番号：80609917

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：側方向への補償的バランス反応における高齢者の頭部位置制御能について、外乱負荷時の側方へのステップング動作時には、左右方向の頭部動揺量が高齢群で大きくなることを示した。加えて、頭部や体幹部重心の立ち直り角度および角速度では高齢者で有意に小さくなり、頸部の側屈モーメントとステップ脚股関節の屈曲角速度との間に有意な相関関係があることを明らかにした。また、高齢者の片脚立位時における身体各体節の質量中心動揺と骨盤・脊柱アライメントとの関連性について、骨盤部の重心動揺量と胸椎後弯角との間に有意な正の相関関係を認め、頭部重心の動揺量と骨盤傾斜角との間に有意な負の相関関係があることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で明らかとなった片脚立位姿勢や外乱負荷応答時のステップング反応において、高齢者で頭部重心の動揺量増加つまり不安定性が増したことは高齢者の転倒予測を目的としたバランス評価において、頭部の不安定性に着目する学術的な意義を示したと考える。また、外乱負荷応答時の側方向ステップング反応において、頭部や体幹部の立ち直り角度が高齢者で有意に小さくなることは、外乱負荷に対して頭部や体幹部を適切に立ち直らせる能力が高齢者で低下していること示しており、転倒予防を目的とした姿勢調節能の評価やトレーニングに応用が可能と考える。

研究成果の概要(英文)：The head position control ability of the elderly in the lateral compensatory balance response showed that the amount of head sway in the left and right directions was greater in the elderly group during lateral stepping movements during disturbance loading. In addition, the righting angle and angular velocity of the head and trunk center of gravity were significantly smaller in the elderly group, and a significant correlation was investigated between the neck lateral bending moment and the step leg hip flexion angular velocity. Also, regarding the relationship between center-of-mass sway of each body segment and pelvis/spine alignment during one-leg standing in the elderly, we found a significant positive correlation between the amount of sway of the pelvic center of mass and thoracic kyphosis angle, and a significant negative correlation between the amount of sway of the head center of mass and pelvic tilt angle.

研究分野：人間医工学

キーワード：高齢者 ステッピング反応 頭部動揺 脊柱形態 脊柱可動域

1. 研究開始当初の背景

申請者はこれまで、外乱負荷時における高齢者のステップ反応、とくに力学的な負荷が大きいステップ着地時の身体重心動揺や下肢関節が発揮する関節モーメントに関する研究を進めてきた。その結果、後方へのステップ着地時の身体重心の制御には足関節の底屈モーメントおよび外がえしモーメントが関与していることが明らかとなった(竹内弥彦・他、バイオメカニズム学会誌 2013)。一方、ステップ着地時に十分な底屈・外がえしモーメントを発揮している高齢者でも、一步のステップでは踏み止まらずに、後方や側方向へ連続したステップを出現させてバランスを回復していることが確認された(竹内弥彦・他、バイオメカニズム学会誌 2015)。これらの研究では、高齢者のステップ反応の成否要因には、着地時に発揮される足関節モーメント以外の要因も関与していることを示している。立位姿勢でバランスが崩れた際には、まず頭部の立ち直り反応が出現する。続いて体幹部の立ち直り反応が誘導され、下肢の踏みだしによる新たな支持基底面の形成にいたる。転倒が起こる際には、頭部に生じた大きな加速度を前庭器官が感知することにより、頸部の筋緊張が増加し、頭部と体幹部の一体化が起こることで、下肢のステップ反応が出現せず、支持基底面から重心が逸脱することが考えられる。つまり、立位姿勢にてバランスを崩した際にステップ反応が出現し、着地時に適切な関節モーメントを発揮することの重要性に加え、その前段階として、発生した加速度外乱に対して、頭部や体幹部を適切に立ち直らせる能力が重要と考えられる。

さらに、頭部や体幹部の立ち直りの適切な出現には、神経系の関与と併せて、運動器としての脊柱形態や可動性が関与していることが考えられる。高齢者では骨粗鬆症に起因する椎体自体の変性や、脊柱起立筋の筋力低下、前・後縦靭帯などの脊柱支持組織の加齢変化により、前述したような脊柱の後彎角増大や骨盤を含めたアライメント変化、椎体間の可動性低下が生じていることが多い(Neumann DA, Kinesiology of the Musculoskeletal system 2012)。そこで、本研究では外乱応答時の後方および側方向へのステップ反応時における頭部・体幹部の空間上の位置調整能力(立ち直り反応)と矢状面・前額面上の脊柱形態・可動性の加齢変化との関連性について明らかにする。

2. 研究の目的

前述の学術的背景およびこれまでの研究成果を基に、外乱負荷時における高齢者のステップ反応時の頭部・体幹部の立ち直り反応と脊柱形態・可動域との関連性を明らかにすることで、高齢者への転倒予防・介護予防を目的とした運動プログラムに展開するための研究を行う。

研究期間内には、以下のことを明らかにすることを目標とした。

- 1) 外乱負荷応答時における高齢者の後方・側方向へのステップ反応において、頭部と体幹部の空間上の位置変化を計測し、頭部・体幹部の立ち直りの程度(垂直線と頭部・体幹質量中心のなす角度)とその出現時期を明らかにする。
- 2) 矢状面および前額面上における高齢者の脊柱形態・可動域を計測し、若年者との比較から、その特性を明らかにする。

3. 研究の方法

被験者として地域在住の高齢者 25 名および対照群として若年成人 13 名を選定した。

(1)側方向および後方向への外乱負荷には、電磁石制御立位外乱負荷装置(竹井機器工業社製、S-17164)を用いた。本装置は被験者が装着する荷重センサと牽引ワイヤーを電磁石により連結し、牽引荷重が任意の設定を超えた時点で電磁石を消磁して連結を解除し、外乱を加える装置である(図1)。被験者は2列に設置したフォースプレート(AMTI社製、BP400600)の右列1枚に左右の足部を位置し、両側内側縁を15 cm離れた立位姿勢を保持した。視線は2m前方の指標を注視するように指示した。その姿勢から左方向へ随意的に質量中心を移動し、牽引ワイヤーから荷重センサに被験者の体重10%の荷重が加わった時点で、外乱が加わるように設定した(図1)。

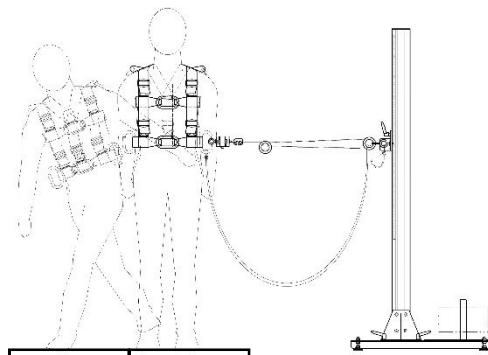


図1: 特注にて作成した外乱負荷装置(側方外乱)

ステップ反応の計測には、赤外線カメラ 8 台で構成される 3 次元動作解析装置 (Motion Analysis 社製、Mac3D system) およびフォースプレートを用いた。Helen Hayes marker set¹⁰⁾ を参考に直径 19 mm の赤外線反射マーカを計 25 ヶ所、被験者の体表に貼付し標点とした。データのサンプリング周波数は赤外線カメラ、フォースプレートともに 100 Hz とした。赤外線カメラとフォースプレートおよび外乱負荷装置からの信号は AD 変換器を介して、パーソナルコンピュータへの取り込み時に同期した。

側方への外乱が加わった時点からステップ足が着地するまでを解析対象区間とした。外乱負荷装置からの信号により外乱負荷の開始時期を同定し、着地側フォースプレートの鉛直方向床反力値からステップ足の着地時期を同定した。

データの解析には、動作解析ソフトウェア (C-motion 社製、Visual3D) を用いた。カメラから得られた標点データから、頭部と体幹部のセグメントモデルを作製し、それぞれの質量中心位置を Winter の方法¹¹⁾ を用いて算出した。解析対象区間における頭部質量中心の加速度実効値を頭部の動揺量と定義し、前後、左右、上下方向別に算出した。また、前額面上の垂直軸に対する頭部および体幹部質量中心の傾き角度と角速度を算出し、立ち直り角度および角速度と定義した (図 2)。加えて、解析対象区間における頸部の側屈モーメントおよびステップ出現時の股関節の屈曲・内転角速度を算出し、いずれも最大値を採用した。なお、頸部の側屈モーメントは第 7 頸椎部を回転中心と定義し、回転中心から床反力作用線までの距離と床反力値の積で外的モーメントを算出、その対抗力としての内的モーメントを算出した。頸部の側屈モーメントは外乱方向とは逆方向、つまり立ち直りの方向である右方向への側屈モーメントを正值とした。股関節角速度はステップ脚の股関節を対象とし、屈曲は前方を、内転は左方向 (ステップ方向) を正值とした。

統計解析は、各方向における頭部質量中心の動揺量、頭部・体幹質量中心の傾き角度と角速度、さらに頸部の側屈モーメントとステップ脚股関節の屈曲・内転角速度について、Welch の t 検定を用いて高齢群と若年群間で比較した。加えて、頸部の側屈モーメントとステップ脚股関節の屈曲・内転角速度との関係について、Pearson の積立相関係数を用いて相関分析を行った。

(2) ステップ反応の計測に加えて、静止立位時の脊柱形態と頭部重心の動揺量との関連性について計測・分析した。脊柱形態の計測には脊柱計測分析器 (Spinal Mouse; Idiag 社製) を用いた。Spinal Mouse のセンサ部を被験者の第 7 頸椎から第 3 仙椎までの脊柱棘突起脇を移動させ、各椎体間の矢状面上角度を計測した。第 1 胸椎から第 12 胸椎までの上下椎体間がなす角度の総和を胸椎後彎角とし、第 1 腰椎から第 5 腰椎までの上下椎体間がなす角度の総和を腰椎前彎角とした。加えて、骨盤の傾きとして、仙骨後面が鉛直線となす角度を骨盤傾斜角とした。

静止立位時の身体重心の計測には光学式モーションキャプチャシステムを用い、反射マーカを被験者の体表に貼付し標点とした。得られた標点データから、動作解析ソフトウェア (Visual3D、C-motion 社製) を用いて、頭部、胸郭部 (腹部含む)、骨盤部および全身のセグメントモデルを作成し、各セグメントにおける COM の加速度を前後・左右方向別に解析した。

統計処理は足位条件ごとに Pearson の積率相関係数を用いて、脊柱形態と各セグメントの COM 加速度 (動揺量) との相関関係を分析した。

4. 研究成果

(1) 本研究の結果から、高齢者の側方へのステップング反応では、頭部における側方向への動揺量が大いこと、外乱に対して頭部を空間上で立ち直らせる能力が低下していることが明らかになった (表 1)。加えて、外乱方向とは逆方向に頭部を立ち直らせるための方略として、頸部の側屈モーメントが大きく発揮されていること、さらに頸部の側屈モーメントとステップ脚の股関節屈曲角速度との間には有意な負の相関関係があることが明らかとなった (図 2)。

表 1: ステッピング反応時における頭部動揺量、立ち直り角速度、頸部モーメント (側方外乱)

	頭部重心動揺量 (m/s ²)			頭部の立ち直り		頸部モーメント
	前後	左右	上下	角度 (deg)	角速度 (deg/s)	(Nm/kg)
高齢者	0.94±0.3	1.13±0.7 *	0.72±0.3	-14.4±7.1 *	9.9±6.6 **	2.5±1.5 **
若年者	0.92±0.5	0.54±0.3	0.74±0.3	-8.3±4.5	41.2±27.7	0.7±0.4

*: p<0.05, **: p<0.01

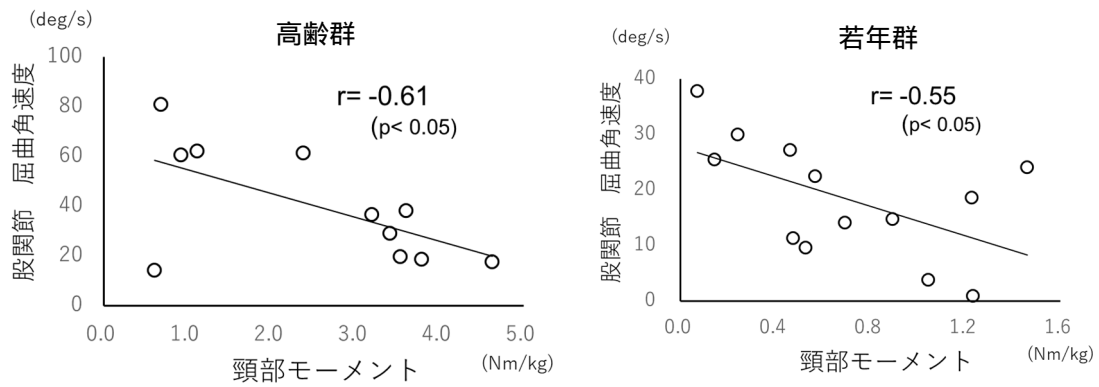


図 2 : 頸部の側屈モーメントと股関節屈曲角速度との関連性

(2) 高齢者の脊柱形態と頭部動揺との関連性について解析した結果、以下の成果が得られた。
 左右方向の支持基底面が極端に狭小化する状況下では、胸椎の後彎角増大や骨盤傾斜（前傾）角の減少といった加齢による典型的な脊柱形態の変化が、頭部の動揺増加に関連していることが明らかとなった（図 3、図 4）。本研究で得られた胸椎後彎角と頭部動揺との関連性は、胸椎後彎のアライメント変化を可動性の大きな頸椎および姿勢制御に重要な感覚器の空間的位置づけを担う頭部の位置変化により補正していたことが考えられ、それらの関連性は左右方向への支持基底面が狭小化した条件下で顕在化することが明らかとなった。

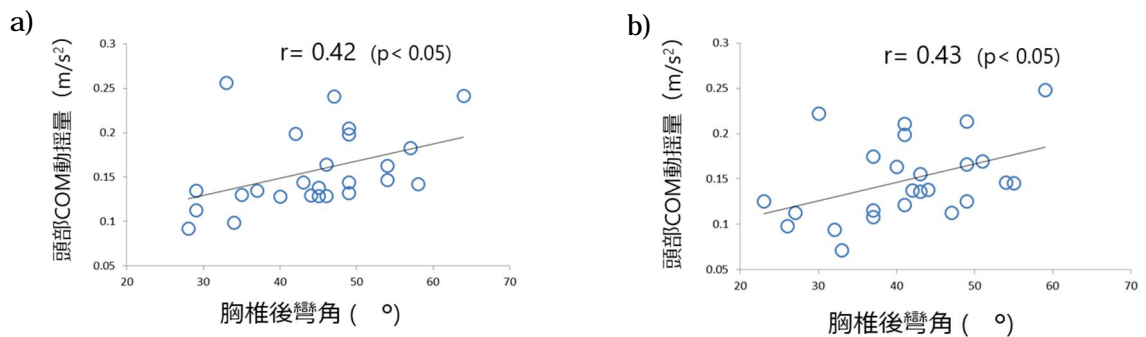


図 3 : 高齢者の胸椎後彎角と頭部動揺量との関連性 a): 前後方向 b): 左右方向

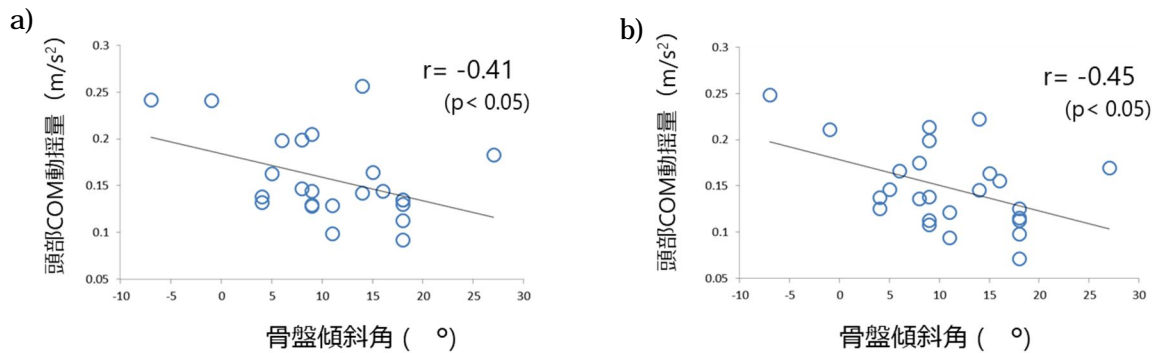


図 4 : 高齢者の骨盤傾斜角と頭部動揺量との関連性 a): 前後方向 b): 左右方向

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 0件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Fujio Kimiya, Takeuchi Yahiko	4. 巻 11
2. 論文標題 Discrimination of standing postures between young and elderly people based on center of pressure	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 11(1):195
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-020-80717-z	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 -

1. 著者名 Takeuchi Yahiko, Fujio Kimiya, Ryo Fukata	4. 巻 38
2. 論文標題 "Characteristics of Head Center of Mass Sway and Neck Flexor Activity During Compensatory Backward Stepping in the Elderly"	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biomedical Journal of Scientific & Technical Research	6. 最初と最後の頁 30394-30399
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.26717/BJSTR.2021.38.006157	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 -

1. 著者名 Takeuchi Yahiko, Fujio Kimiya, Inagaki Takeshi, Fukata Ryo, Kuroiwa Ryota, Murata Atsushi	4. 巻 32
2. 論文標題 Age-related changes in standing ability on a foam surface based on the center-of-mass acceleration of each body segment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physical Therapy Science	6. 最初と最後の頁 566 ~ 569
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1589/jpts.32.566	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12件（うち招待講演 0件／うち国際学会 2件）

1. 発表者名 藤尾公哉、竹内弥彦
2. 発表標題 下肢関節間協調にあらわれる立位制御の加齢変化
3. 学会等名 第26回日本基礎理学療法学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹内弥彦、藤尾公哉
2. 発表標題 外乱負荷時のクロスオーバーステップにおける股関節パワーとステップ長との関連性
3. 学会等名 第26回日本基礎理学療法学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹内弥彦、藤尾公哉
2. 発表標題 高齢者の側方ステップング反応における頸部モーメントと股関節角速度との関連性
3. 学会等名 第41回バイオメカニズム学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹内弥彦、藤尾公哉、深田亮
2. 発表標題 高齢者のクロスオーバーステップにおける支持脚股関節の運動力学特性
3. 学会等名 第25回日本基礎理学療法学会学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹内弥彦、藤尾公哉
2. 発表標題 高齢者の片脚立位時における身体各体節の質量中心動揺と骨盤・脊柱アライメントとの関連性
3. 学会等名 日本人間工学会第60回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹内弥彦, 藤尾公哉
2. 発表標題 高齢者の片脚立位姿勢における身体重心動揺と圧中心の逆応答距離との関連性
3. 学会等名 日本生理人類学会第80回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹内弥彦, 藤尾公哉
2. 発表標題 側方への補償的バランス反応における高齢者の頭部位置制御能の特性
3. 学会等名 第40回バイオメカニズム学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹内弥彦, 藤尾公哉
2. 発表標題 支持基底面の狭小条件下における高齢者の脊柱形態と頭部動揺との関連性
3. 学会等名 日本生理人類学会第78回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 竹内弥彦, 藤尾公哉, 江戸優裕
2. 発表標題 支持基底面の狭小条件下における高齢者の体節別質量中心動揺の特性
3. 学会等名 第24回千葉県理学療法士学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹内弥彦、藤尾公哉
2. 発表標題 高齢者の片脚立位時における身体各体節の質量中心動揺と骨盤・脊柱アライメントとの関連性
3. 学会等名 日本人間工学会第60回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yahiko Takeuchi , Kimiya Fujio
2. 発表標題 Relationship between hip joint power and step length in lateral stepping reaction of the elderly
3. 学会等名 International Conference on Slip;Trips;Falls (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kimiya Fujio , Yahiko Takeuchi
2. 発表標題 Age-related changes of intersegmental coordination in lower-limb joints during standing posture
3. 学会等名 International Conference on Slip;Trips;Falls (国際学会)
4. 発表年 2022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
研究協力者	藤尾 公哉 (Fujio Kimiya) (50778941)	国立障害者リハビリテーションセンター研究所・運動機能系障害研究部・研究員 (82404)	

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
---------	---------