

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：11401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500641

研究課題名(和文)高齢者の転倒防止を目的とした座位バランス能力評価・訓練装置の開発

研究課題名(英文)Evaluation of sitting balance ability for the prevention of falls in elderly people

研究代表者

巖見 武裕(iwami, takehiro)

秋田大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：10259806

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、姿勢を崩す外乱として座面の角度を揺動させることで、体幹機能を強調したバランス能力を安全に評価する座位バランス能力評価装置を開発した。そして、装置に組み込んだセンサにより身体運動と座面反力ベクトルを計測することで、従来の圧力中心点の軌跡の評価に加えて身体重心や姿勢の変動、脊椎などの関節トルクの評価を行った。45歳以下を若年者、65歳以上を高齢者と定義して2群に分け、若年者は73名、高齢者群は58名の身体運動を計測した結果、高齢者は外乱刺激に伴うCOPの動揺が有意に大きく、姿勢保持能力が低いことが示された。また、活性型ビタミンD3製剤によるバランス能力の改善効果の評価した。

研究成果の概要(英文)：This research presents a system for evaluating sitting balance in elderly people to prevent their falls. The proposed system comprises a position sensor for measuring the upper body joint position, a stabilometer for measuring the center of pressure (COP) trajectory and the seat reaction force, and a one-degree-of-freedom platform for producing seat perturbation. The seat reaction force and joint position of the upper body were used to calculate the joint torque of the 3rd lumbar vertebra. During the experiments, 73 young and 58 older healthy adults tried to maintain a sitting posture relative to the seat perturbation. The root mean square of the COP trajectory and the joint torque of the 3rd lumbar vertebra in elderly people were significantly higher than those in young subjects. Results suggest that the sitting balance ability of elderly people is inferior and that a large physical load is necessary for them to maintain a sitting posture.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：Sitting Balance Fall Prevention Elderly people Biomechanics Motion Analysis

1. 研究開始当初の背景

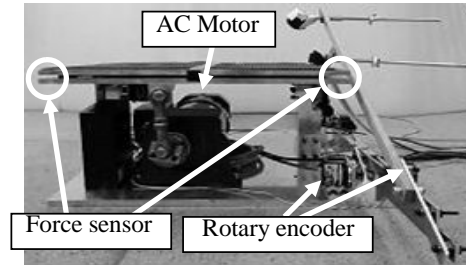
高齢者の転倒は、感覚障害、脳機能障害、筋力低下、バランス機能低下、歩行機能低下などと有意に関連がある。その中でも、バランス能力や歩行機能の低下は、転倒リスクが1.6～5.4倍増加することから、転倒の主要因とされ、視覚・前庭器・体性感覚のフィードバックによる総合的なバランス能力の向上や、下肢機能の向上が転倒防止に有効と考えられている。一方、身体機能の低下した高齢者は、内在的に高度の転倒リスクを抱えており、疾患の有無や服薬状況によってもそのリスクの大きさは異なるため、立位バランス評価に伴う、めまいや膝折れなどによる転倒には、細心の注意が必要である。この問題に対する一つの解決策として、検査時の安全性を考慮した座位でのバランス評価がある。座位バランス評価は、人間の姿勢制御に必要な体幹と下肢機能のうち、体幹機能に着目したバランス評価を行うものである。これまで、高齢者を対象とした座位バランス評価の研究はあまり多くないが、静的座位での重心動揺が加齢とともに増加することや、側方重心移動検査での重心の移動量が若年者と比較して有意に減少することなどの報告があり、座位においても高齢者のバランス能力の特徴を抽出できることが示されている。しかし、支持基底面が広い座位でのバランス能力は、立位時と比較して有意差が現れ難いという問題もあり、臨床現場での実用的な評価法として利用できるよう、より体幹機能を強調した負荷の高い検査法の確立が求められていた。

2. 研究の目的

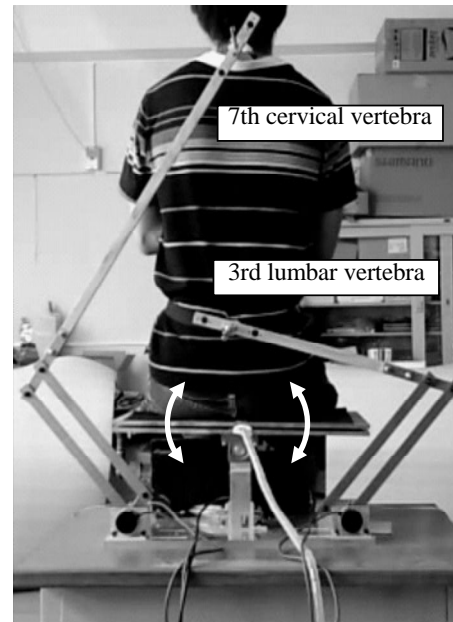
(1) 本研究では、高齢者の転倒に関する予後予測や転倒リスクを軽減するため、座位という安全面でのメリットを確保した状態でのバランス能力の評価と、個人の身体能力に応じたバランス訓練を可能にするバイオフィードバック型の座位バランス評価・訓練装置の開発を最終的な目的としている。そのために、製作した座位バランス評価装置を用いて、高齢者と若年者の座位バランス能力の違いを比較検討する。

(2) 生体の座位姿勢におけるバランス保持メカニズムについて検討する。姿勢保持が何らかの制御によって行われていると仮定し、その制御パラメータをシステム同定の手法によって求める。求められたパラメータ値を用いて、座位バランス保持能力の個人差や、加齢による劣化をこれらの制御パラメータの差や変化によって示すことができるかという問題を考える。

(3) 本学医学部附属病院と共に、活性型ビタミン D3 製剤によるバランス能力の改善効果を評価する。



(a) Sagittal plane



(b) Experiment scenery

Fig.1 System for evaluating sitting balance ability.

3. 研究の方法

(1) 開発した座位バランス評価装置の概略を図1に示す。本装置は、身体運動および座面反力(重心動揺)を検出する計測装置と、座面の側方傾斜角を制御する外乱刺激装置で構成される。このうち、身体運動計測には、取り扱い容易な機械式の位置計測装置を採用し、平行リンク機構に組み込んだ合計4個のロータリー・エンコーダ(E6B2-CWZ6C; Omron Co.)の検出角度から第7頸椎と第3腰椎の位置を算出する。また、座面反力の計測には、座面下3カ所に配置した3軸力覚センサ(USL06-H5; Tec Gihan Co.)を用い、各点のセンサ出力から、座面の反力と圧力中心点(Center of pressure; COP)を算出する。一方、座面への外乱刺激には、電磁ブレーキ付きACモータ(BHM62MT-G2, Oriental motor Co.)を用い、クランク機構を介して、最大角度 ± 3 deg, 最大周波数0.6 Hzでの側方傾斜を実現する。

座位バランス能力の評価指標には、COPの動揺の大きさを二乗平均として表した実効値(Root mean square; RMS)と、第3腰椎回りの関節トルクを用いた。関節トルクとは、

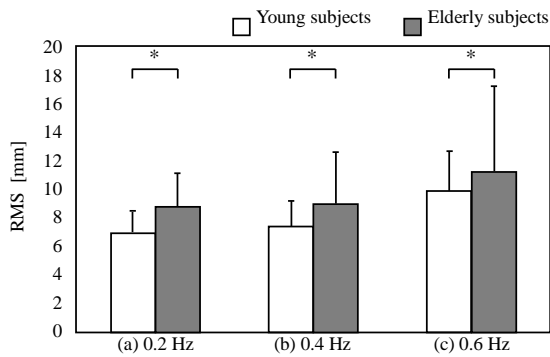


Fig.2 The root mean square (RMS) of the center of pressure (COP) trajectory (Mean \pm SD, * $p < 0.05$).

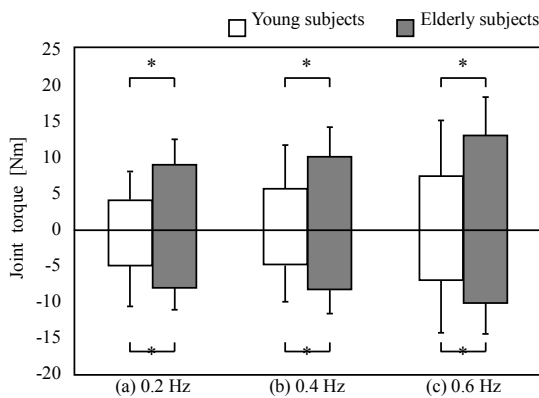


Fig.3 Joint torque of the 3rd lumbar vertebra (Mean \pm

筋の収縮・弛緩により生じる筋張力の変化が骨格のリンク機構を介して関節の回転力(トルク)に変換されたものである。本研究では、上半身を第3腰椎で分割した2次元剛体リンクモデルを作成し、その運動方程式に身体運動と座面反力の計測値を代入することで、第3腰椎の関節トルクを逆動的に算出した。逆動力学計算に必要なモデルパラメータ(質量, 重心, 慣性テンソル)は、阿江らの回帰式を参考にした。なお、各評価指標の計算結果は、被験者全員に対する mean \pm SD で示し、t 検定により統計学的な有意差が認められた場合には、図中に*印を示した($p < 0.05$)。

被験者は、若年者73名と高齢者58名とした。実験では、上肢の保護伸展反応が出現することなく、被験者が安心して実験を遂行できるように、最大傾斜角 3 deg, 周波数 0.2, 0.4, 0.6 Hz の3種類で座面を反復的に側方傾斜させ、その際の身体運動と COP, 座面反力を1分間計測した。被験者には、姿勢調整の影響を統一できるように、胸部前面で腕組みをしてもらい、2 m 先に設置された視線高さの目印を注視しながら、できるだけ頭部を動かさないように予め指示を行った。また、体幹機能をより強調した検査を実施できるように、被験者の足部が床から離れるような座面高さにそれぞれ調整した。なお、本実験は、

倫理委員会での審査・承認ならびに被験者に対するインフォームド・コンセントの後に、医師の指導・監視のもと、細心の注意を払いながら実施した。

図2に若年者群と高齢者群の COP 軌跡の実効値を示した。これより、高齢者の重心動揺は、若年者と比較して有意に大きく、外乱刺激に対するバランス能力が低いことが確認された。また、両群とも、座面への外乱周波数の増加に伴う実効値の増加がみられた。

図3には、若年者群と高齢者群の第3腰椎の関節トルクのピーク値を示した。プラスの符号は右側屈、マイナスの符号は左側屈を表す。この結果、高齢者の関節トルクは、若年者と比較して有意に大きく、バランス維持のために、より大きな体幹筋力を要することが確認された。また、両群とも、外乱周波数が増すにつれて、関節トルクは有意に増大するが、側屈方向による有意差は認められない結果となった。

(2) 個々人のバランス能力を感覚系と姿勢制御系のゲインパラメータによって数値化するため、座位における姿勢保持を行う機構として、図4のブロック線図で表されるような制御系を考える。本制御モデルは、感覚器または体性感覚によって検知される身体の揺動に基づくフィードバック制御部と、座面揺動角のフィードフォワード制御部から構成されている。そして、LMI を用いてフィードバック制御要素、フィードフォワード制御要素それぞれについてパラメータであるフ

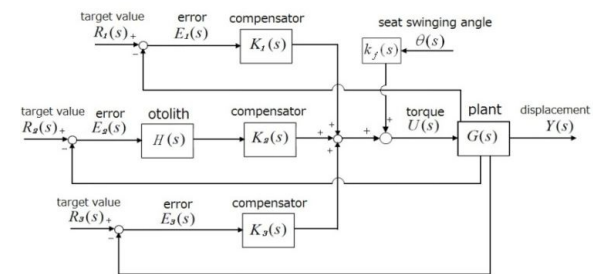


Fig.4 Block diagram of the balancing control system.

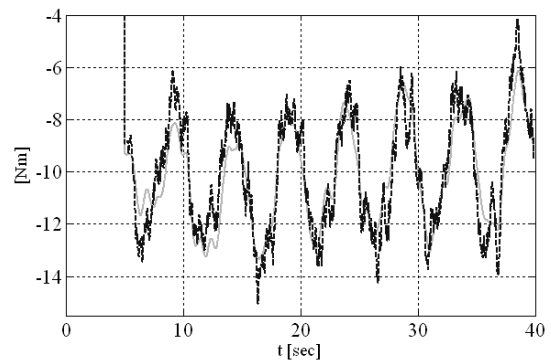


Fig.5 Joint torque of Experimental data and Identified data

ィードバックゲインの同定を行った。同定したゲインパラメータを用いた運動シミュレーションの結果(実線)と実験値(波線)を図5に示す。

(3)本研究に参加することに同意を得た60歳以上の未治療閉経後骨粗鬆症患者31名、平均年齢74歳(63-85歳)を対象とした。アレンドロネート(35 mg/週)を単独投与したビスホスホネート単独群(BP単独群, n=14)、エルデカルシトール(0.75 µg/日)とアレンドロネート(35 mg/週)を併用投与したエルデカルシトール併用群(ELD併用群, n=17)の2群に無作為に分けて6ヵ月間治療した。治療前後で、本装置を用いた動的座位バランス、静的立位バランス、握力、腸腰筋力、背筋力、Functional reach test、Timed up and go testを測定した。

4. 研究成果

(1)静的座位での重心動揺は、立位と同じように、加齢により増加することがこれまでに報告されているが、支持基底面の広い座位でのバランス能力は、安全な評価を可能にする反面、立位時と比較して有意差が現れ難いという問題もあった。これに対して、本研究では、座面に動的な外乱刺激を加え、より体幹機能を強調したバランス評価法を確立することで、若年者と高齢者のバランス能力の違いを定量的に評価できることを示した。また、座面の外乱周波数を増加させるほど、重心動揺やバランス維持に要した関節トルクが大きくなることから、本提案装置をバランス訓練に応用する際には、個人に適した負荷決定の一つの指標として、これらの評価結果を利用できる可能性が示唆された。

本装置を用いて、若年者と高齢者のバランス能力を評価した結果、高齢者は、外乱に伴う身体動揺とCOPの変動が有意に大きく、座面傾斜に対して姿勢を維持できずに身体を振られていることがわかった。また、固有受容器の微細な姿勢制御機能が劣り、座面変動に対する反応も遅いことから、姿勢保持のためにより大きな体幹の筋力(関節トルク)を必要としていることが示された。さらに、座面揺動の周波数の違いによる評価結果への影響は見られないことから、高齢者を対象とした座位バランス評価の実施には、より安全な0.25Hzの周波数を選択した方が良いという知見が得られた。

(2)バランス保持制御が、いくつかのフィードバックおよびフィードフォワード制御要素によって行われていると仮定し、LMIに基づく同定手法を用いてそれぞれの制御要素のゲインを求め、実験データをよく近似するゲインを求めることが出来た。さらに、同定された制御則の特徴を調べるために、誤差や座面角度に対するモーメント値(比例制御の要素)と、それらの微分値に対するモー

メント値(微分制御的要素)において、顕著な被験者間の差が現れた。

(3)活性型ビタミンD3製剤はわが国で開発され、すでに20年間以上わが国では骨粗鬆症治療薬として最も多く用いられている。また、新たに骨折抑制、筋力、平衡感覚改善、転倒予防、など新しい作用や知見が報告されている。エルデカルシトールは2011年に臨床応用された新しい活性型ビタミンD3製剤であり、ビタミンDの転倒抑制作用あるいは筋力改善などを介する身体バランス改善作用を有する可能性が指摘されている。しかし、これまでの臨床試験ではいずれについても検討されていない。本研究では、開発した動的座位バランス計測装置を用いて、エルデカルシトールが筋力、バランス能力に及ぼす影響を定量的に評価し検討した。その結果、エルデカルシトールは動的バランス能力、外乱負荷応答、近位筋力を改善することで転倒予防効果を発現する可能性が示唆された。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 6件)

佐々木誠, 巖見武裕, 宮脇和人, 大日方五郎, 三澤晶子, 松永俊樹, 島田洋一, 特発性側弯症における動的座位バランスの評価, 日本機械学会論文集C編, 査読有り, Vol.77 No.775, 2011, pp.980-988
佐々木誠, 巖見武裕, 宮脇和人, 島田洋一, 高齢者の座位バランス能力の評価, 臨床バイオメカニクス, 査読有り, Vol.33, 2012, pp.95-99

Saito K, Shimada Y, Matsunaga T, Iwami T, DYNAMIC TRUNK STABILITY DURING SITTING IN YOUNG AND ELDERY INDIVIDUALS, Akita J Med, 査読有り, Vol.40, 2013, pp.137-161

齊藤公男, 宮腰尚久, 本郷道生, 粕川雄司, 島田洋一, 高齢者における座位バランスの検討. 日本脊髄障害医学会雑誌, 査読有り, 26巻, 2013, pp.60-61

Saito K, Shimada Y, Matsunaga T, Iwami T, Evaluation of trunk stability in the sitting position using a new device, Biomed Res, 査読有り, 35巻2号, 2014, pp.127-131

齊藤公男, 宮腰尚久, 松永俊樹, 本郷道生, 粕川雄司, 巖見武裕, 島田洋一, エルデカルシトールが閉経後骨粗鬆症患者の体幹筋力と静的・動的バランスに与える影響. Osteoporosis Japan, 査読有り, 22巻1号, 2014, pp.72-75

[学会発表](計 14件)

富樫龍飛, 平元和彦, 巖見武裕, 松永俊樹, 島田洋一, 生体座位バランス機構の同定と解析, 日本機械学会福祉工学シンポジウム2011, 2011年11月, 神戸
佐々木誠, 巖見武裕, 宮脇和人, 島田洋

二, 高齢者の座位バランス能力の評価,
第 38 回臨床バイオメカニクス学会, 2011
年 11 月, 神戸

工藤翔平, 巖見武裕, 三浦弘樹, 島田洋
二, 三次元筋骨格モデルによる低負荷背
筋運動の動作解析, 第 38 回臨床バイオメ
カニクス学会, 2011 年 11 月, 神戸

斉藤公男, 島田洋二, 宮腰尚久, 松永俊
樹, 高齢者における座位バランスの検討.
第 49 回日本リハビリテーション医学会
学術集会, 2012 年 5 月, 福岡

渡部裕樹, 巖見武裕, 島田洋二, 松永俊
樹, 斉藤公男, 座位姿勢におけるバラ
ンス能力訓練装置の開発・評価, 日本機械
学会東北支部第 48 期秋期講演会, 2012
年 9 月, 八戸

斉藤公男, 島田洋二, 宮腰尚久, 松永俊
樹, 高齢者における座位バランスの検討.
第 47 回日本脊髄障害医学会, 2012 年 10
月, 静岡

Saito K, Matsunaga T, Iwami T, Shimada Y
(2013) Evaluation of trunk stability in sitting
position using a new device, 18th Annual
Conference of the International Functional
Electrical Stimulation Society(IFESS 2013),
May, San Sebastian

Saito K, Matsunaga T, Iwami T, Shimada Y
(2013) Evaluation of sitting balance in
elderly persons, 2013 World Congress of the
International Society for Posture and Gait
Research(ISPGR 2013), June, Akita

前田泰弘, 平元和彦, 巖見武裕, 島田洋
二, 画像データのみを用いた座位バラ
ンス保持機構のモデル化, LIFE2013, 2013
年 9 月, 山梨

斉藤公男, 宮腰尚久, 松永俊樹, 本郷道
生, 粕川雄司, 巖見武裕, 島田洋二, エ
ルデカルシトールが閉経後骨粗鬆症患者
の体幹筋力と静的・動的バランスに与え
る影響. 第 15 回骨粗鬆症学会, 2013 年
10 月, 大阪

斉藤公男, 宮腰尚久, 松永俊樹, 本郷道
生, 粕川雄司, 巖見武裕, 島田洋二, 座
位バランス計測装置を用いた体幹バラ
ンスの検討. 第 28 回日本整形外科学会基礎
学術集会, 2013 年 10 月, 千葉

斉藤公男, 宮腰尚久, 松永俊樹, 本郷道
生, 粕川雄司, 巖見武裕, 島田洋二, 座
位バランス計測装置を用いた体幹バラ
ンスの検討. 第 48 回日本脊髄障害医学会,
2013 年 11 月, 福岡

斉藤公男, 宮腰尚久, 松永俊樹, 本郷道
生, 粕川雄司, 巖見武裕, 島田洋二, 座
位バランス計測装置を用いた体幹バラ
ンスの検討. 第 40 回日本臨床バイオメカ
ニクス学会, 2013 年 11 月, 神戸

鈴木海太, 巖見武裕, 斉藤公男, 佐々木
誠, 高齢者における座位バランス能力の
評価, 第 28 回リハ工カンファレンス in
いわて, 2013 年 8 月, 盛岡

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)
取得状況(計 0 件)

〔その他〕
特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

巖見武裕 (IWAMI Takehiro)
秋田大学・工学(系)研究科(研究院)・
准教授
研究者番号: 10259806

(2) 研究分担者

平元和彦 (HIRAMITO Kazuhiko)
新潟大学・自然科学系・准教授
研究者番号: 00261652

宮脇和人 (MIYAWAKI Kazuto)
秋田工業高等専門学校・その他部局・教授
研究者番号: 00390906

佐々木誠 (SASAKI Makoto)
岩手大学・工学部・助教
研究者番号: 80404119

島田洋一 (SHIMADA Yoichi)
秋田大学・医学(系)研究科(研究院)・
教授
研究者番号: 90162685