

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24650346

研究課題名(和文)高齢者・障害者用新型体性感覚刺激付き立位バランス検査・訓練装置の開発研究

研究課題名(英文) A study of new evaluation and training devices of standing balance ability with sensory stimulation for the elderly and the disabled persons

研究代表者

田中 敏明 (Tanaka, Toshiaki)

東京大学・先端科学技術研究センター・特任教授

研究者番号：40248670

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

研究成果の概要(和文)：本研究は、立位荷重時の高齢者の足趾・足底触感覚および足関節における固有感覚の各閾値の変化を定量的に評価する装置を開発し、その評価に基づきバランス能力を改善するための足底・足関節へ振動感覚刺激および固有感覚刺激を介して呈示する方法の研究を実施した。結果として、本装置により、立位時の足関節感覚が測定可能となり、高齢者と若年者の感覚の違いを明らかにした。今後は検査方法の改良により測定精度を向上するとともに、本装置を応用したバランストレーニング技術を確立し、高齢者・障害者のバランス能力向上と転倒予防に貢献したい。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed a device that quantitatively evaluates the changes in threshold values for tactile sensation in the toes and soles and proprioception of the ankle joints in elderly adults while standing. Furthermore, we analyzed the effectiveness that the device can be utilized for improving a poor balance by using vibratory and proprioceptive sensory stimulation to the soles and ankle joints. The results showed the great difference in tactile sense of feet and proprioceptive sense of ankle joint between the young and elderly groups. The device has made it possible to measure tactile and proprioceptive sensation of the lower extremities while standing. In the future, we intend to contribute to improve poor balance and prevent falls of the elderly and the disabled persons by using our device.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：高齢者・障がい者 健康・福祉工学 リハビリテーション 立位バランス検査・訓練 感覚検査

1. 研究開始当初の背景

高齢者の転倒による外傷・骨折は日常生活活動を著しく低下させることから保健・医療・福祉行政において大きな問題となっている。総務省の2008年人口動態調査によると、65歳以上の高齢者人口は全人口の21%であり、今後も増加することが予想されている。厚生労働省の人口動態調査では、2005年度における65歳以上の高齢者の家庭内事故死は9728名で、そのうち約20%が転倒および転落が原因である。このような高齢者の転倒の原因として、加齢に伴うバランス能力の低下や障害が大きな因子となっている。ヒトのバランス保持には、床・地面と足趾および足底面（支持基底面）との接触から得られる触感覚および下肢筋・関節から得られる関節運動としての固有感覚（運動覚・位置覚）の情報が重要である。高齢者のバランス能力低下は、筋力などの運動機能の衰えだけでなく、足趾・足底・足関節部位の感覚機能の衰えによる影響が指摘されている。しかしながら、現状においては、運動と感覚の両機能からのバランストレーニングアプローチ方法は確立しておらず、体性感覚刺激を利用したバランス保持のための感覚増強フィードバックトレーニングおよび歩行などより動的条件下を考慮したバランス支援機器の開発研究は皆無である。

2. 研究の目的

本研究は、従来の触圧覚感覚検査に加え既存にない立位荷重時の高齢者の足趾・足底触感覚および足関節における固有感覚（運動覚・位置覚）の各閾値の変化を定量的に評価する装置を開発し、その評価に基づきバランス能力を改善するための最適な立位・歩行時重心移動軌跡を足底・足関節へ振動感覚刺激および固有感覚刺激を介して呈示する方法の研究を実施する。最終的には、転倒の危険を回避する注意喚起可能な新型体性感覚刺激付き立位バランス検査・訓練装置の開発研究を実施する。

3. 研究の方法

方法1) 振動刺激装置による足底感覚評価装置の開発および本装置による振動感覚評価の検証

本研究では、本件代表者らが開発した振動刺激装置を応用し、かつ振動周波数を変調可能な装置とし感覚閾値の精度を高め、高齢者および若年者を被験者として足底振動感覚検査を実施した。被験者（若年者10名、高齢者11名）の足底部に、「刺激なし」、「1点刺激」を4箇所、「2点同時刺激」を4箇所の、計9項目の振動刺激をランダムに与えた。振動刺激の手段には、振動子内にある振動モータ（FM34F;東京パーツ製:直径12mm,厚さ3.4mm,駆動電圧3.0V,回転数13000rpm,振動周波数217Hz）(図1)とした。振動子24個を縦6×横4の配置で埋設した2枚のゴムシート(図2)を床上に置いた。任意の個数の



図1 振動子

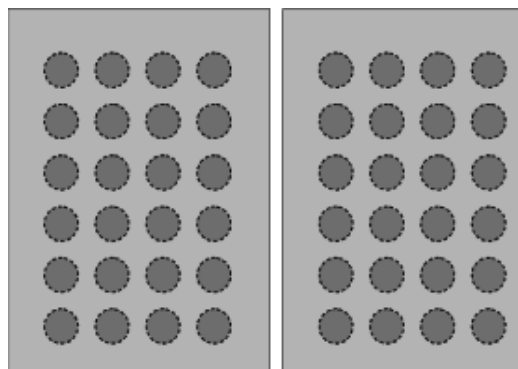


図2 振動用マット

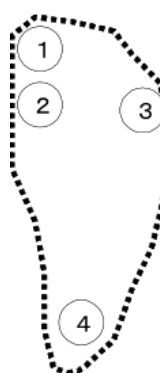


図3 1点刺激部位

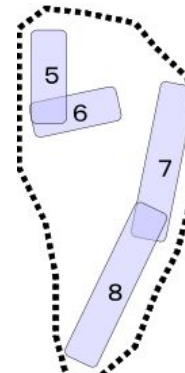


図4 2点刺激部位

振動子を、振動モータの出力を制御するプログラムで、任意のタイミング、時間で振動することを可能とした。「1点刺激」は、1.足底の母趾、2.母趾球、3.小趾球、4.踵の計4箇所とした(図3)。また「2点刺激」は、5.足底の母趾-母趾球、6.母趾球-第3中足骨頭、7.第5中足骨頭-第5中足骨底、8.踵-第5中足骨底間の計4箇所とした(図4)。

足底感覚評価の方法としては、「刺激なし」、 「1点刺激」4箇所、「2点刺激」4箇所の9項目の振動刺激について、各項目あたり5回の試技とし、計45回の試技数を設定した。振動モータの制御プログラムで、45回の試技の順番をランダムに設定した。振動モータの出力パターンは、1回の試技で振動子を0.5秒間振動し、20秒間休止し、また振動子を

0.5 秒間振動した。足底感覚の評価は、被験者は与えられた振動刺激が、「刺激なし」か、「1点刺激」か、「2点刺激」かを振動モータが休止しているときに口頭で答え、検者はその正答数を記録した。その評価は左右足について実施した。なお、採点方法は、一つの刺激方法に関して、5回試行したなかで、5回正当で満点であり、4回正当で8割、3回で6割、2回で4割、1回で2割、0回は正当無しという採点化した。

方法2) 足関節固有感覚(運動覚・位置覚)検査装置の製作および本装置による固有感覚評価の検証

本装置は足関節における背屈・底屈運動および複合運動である外反・内反運動での運動覚・位置覚を評価・訓練する装置の製作を実施した(図5)。機能として、内外反・底背屈2軸の足関節固有感覚検査が可能である。左右の足を角度が固定された台(固定台)と、モータで角度可変な台(駆動台)にのせて台を駆動し、被験者が両台が同角度となったと感じたときにボタンで台を停止する。このときの両底板の角度の差を計測することで、足関節運動覚、位置覚を評価する。本装置の仕様としては、最大角度 $\pm 45^\circ$ 、角速度範囲 $0.2 \sim 22.5^\circ / s$ 、角速度設定 $0.1^\circ / s$ 刻み、定格積載荷重 $100\text{kg}/\text{台}$ である。

本機器を用いて、高齢者5名(71.4 ± 4.5 歳)、スポーツ熟練若年者5名(20.6 ± 0.9 歳)、スポーツ非熟練若年者5名(20.6 ± 0.5 歳)の足関節感覚を測定した。手順は、手動側の足底板をあらかじめ設定した傾斜角度で固定し、電動側は水平とした後、被験者は利き足が電動板側になるよう立位をとった(図6)。次に、電動側足底板を設定した角速度で傾斜させ、被験者は非利き足の角度と同じ角度となったと感じた時点で手元のボタンを押すことによって足底板を停止させるよう指示した。なお、足関節の運動方向は背屈、底屈、外返し(外反)、内返し(内反)の4種類とした(図7)。足関節背屈は、5度、10度の2条件、底屈は5度、10度、15度の3条件、外反は、5度、10度の2条件、内反は、5度、10度、15度の3条件とし、角速度は $1^\circ / \text{sec}$ と $2^\circ / \text{sec}$ の2条件とした。同じ条件で各2試行実施した。視覚、聴覚の影響を排除するため、被験者にはアイマスクとヘッドフォンの着用を求めた(図8, 図9)。転倒事故を防止するため、台上に手すりを設置するとともに、実験中にはスタッフ2名が近傍にて待機した。基礎データとして、年齢、身長、体重、利き足の情報を取得した。スポーツ熟練群からは、競技種目および競技歴の回答を得た。全ての被験者に対して、片脚立位時間が左右とも10秒以上、継ぎ足位保持



図5 足関節固有感覚検査装置

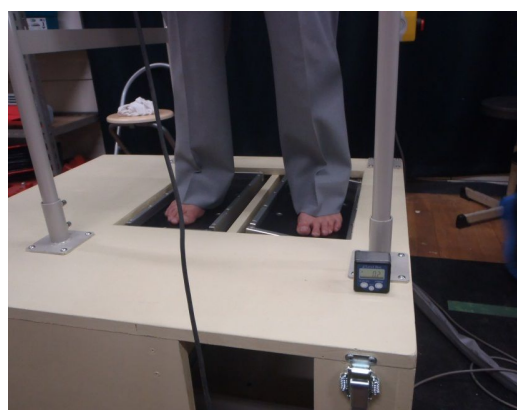


図6 装置足底板上での立位

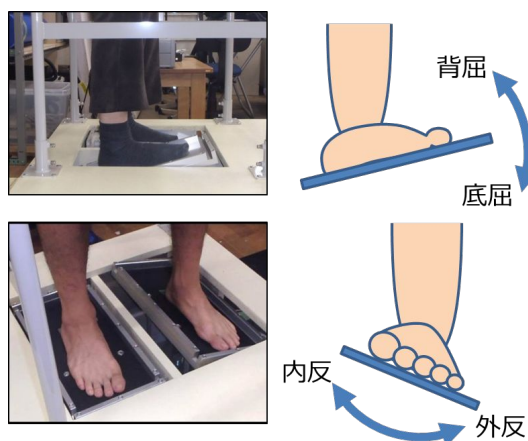


図7 足関節固有感覚検査装置上での足関節運動(底背屈・内外反)

時間が30秒以上可能であったことを確認した。さらに、足関節および母趾の固有感覚(位置覚・運動覚)を徒手にて検査し、正常であったことを確認した。分析として、目標角度となる非利き足の傾斜角を設定角度、被験者が停止させた角度を停止角度とし、その誤差(|設定角度 - 停止角度|)をパラメータとした。この誤差を3群(高齢者、スポーツ非熟練若年者、スポーツ熟練若年者)間で比較分析した。



図 8 停止用スイッチ



図 9 実験風景

4. 研究成果 成果 1)

図 10 および図 11 は立位時の高齢者群および若年者群の足趾および足底の振動感覚検査の平均正当回数である。高齢者、若年者のいずれも 2 点刺激よりも 1 点刺激の成績が良好だった。また、2 点刺激、1 点刺激のいずれも若年者よりも高齢者の成績がすべてのデータで低下した。有意な低下を示した部位としては母趾、小趾球、踵、の 1 点刺激、および母趾と母趾球の 2 点、第 5 中足骨頭近位端と遠位端の 2 点刺激、踵と第 5 中足骨底あたりの 2 点刺激時に高齢者は正答率が低かった。

成果 2)

2 群とも、各関節運動内での異なる角度での目標角度との誤差は目標角度が大きい角

度ほど誤差が大となる傾向を示した(図 12)。統計学的分析の結果、外反方向 10° 傾斜において、被験者群間の足関節固有感覚の誤差差値に有意差が認められた。その他の各角度項目においても、スポーツ熟練若年者 < スポーツ非熟練若年者 < 高齢者の順で、固有感覚の誤差値が大きくなる傾向が示された(図 13)。また、3 群とも関節運動の角速度が 1°/sec での計測値は 2°/sec よりも、誤差が大となる傾向を示した。このことから、被験者の足関節感覚が加齢、運動履歴、関節運動の方向・速さ等により影響することが示唆された。

以上の成果から、本装置により、立位バランス能力の重要な要素である足関節感覚における振動感覚および固有感覚を同時に計測が可能となった。今後は多様な関節運動速度、感覚評価方法のさらなる検討をすることにより測定精度を向上するとともに、本装置を応用したバランストレーニング技術確立し、高齢者および障害者のバランス能力向上と転倒予防に貢献したい。

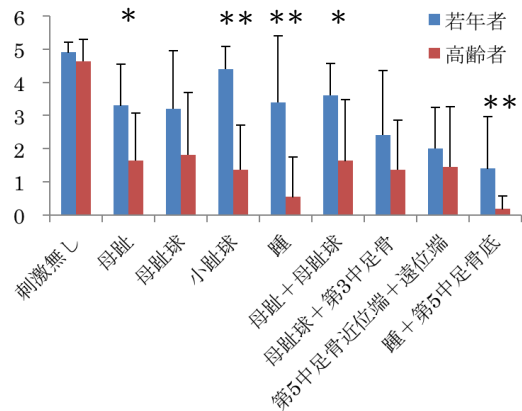


図 10 若年者と高齢者の比較

立位時の右足 (*: p<0.05, **: p<0.01)

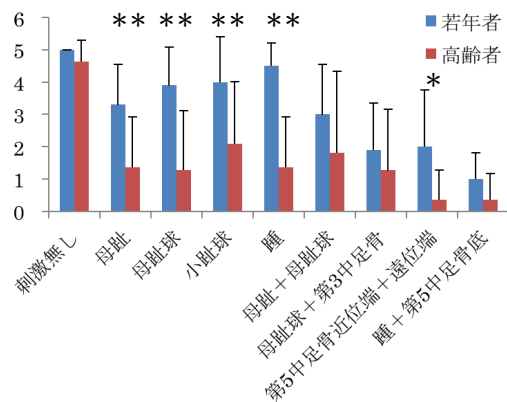


図 11 若年者と高齢者の比較

立位時の左足 (*: p<0.05, **: p<0.01)

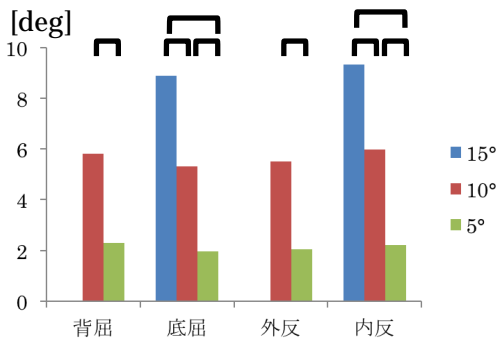


図 12 高齢者における各関節運動内での異なる角度での目標角度との誤差 (関節運動速度 1deg/sec) □: p<0.05

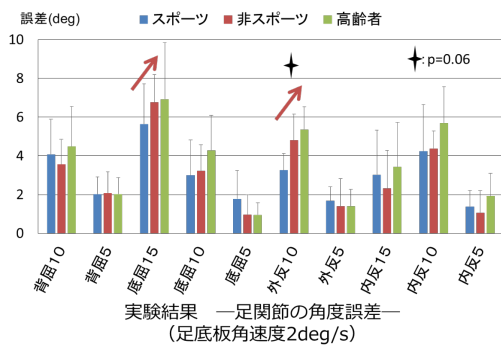


図 13 3群に関する各関節運動での目標角度への到達停止するに要した時間 (関節運動速度 2deg/sec)

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 4 件)

1. Yusuke Maeda, Toshiaki Tanaka, Tomoya Miyasaka, Kiyomi Takayanagi, Takeshi Tsuruga, . Effect of Load Change on Foot Arch in Different Positions –Assessment of Foot Arch using a Motion Analysis System and a Caliper-Goniometer System–, Journal of Physical Therapy Science. 24:435-441, 2012. <https://www.jstage.jst.go.jp/browse/jpts/>
2. Satoshi Kido, Yasuhiro Nakajima, Tomoya Miyasaka, Yusuke Maeda, Toshiaki Tanaka, Wenwei yu, Hiroshi Maruoka, Kiyomi Takayanagi. Effects of Combined Training with Breathing Resistance and Sustained Physical Exertion to Improve

Endurance Capacity and Respiratory Muscle Function in Healthy Young Adults. Journal of Physical Therapy Science. 25(5) p 605-610, 2013.

<https://www.jstage.jst.go.jp/browse/jpts/>

3. Toshiaki Tanaka, Akira Kudo, Syunichi Sugihara, Takashi Izumi, Yusuke Maeda, Norio Kato, Tomoya Miyasaka, Maureen K. Holden. A study of upper extremity training for patients with stroke using a virtual environment system as a Journal of Physical Therapy Science. 25(5), p575-580 2013. <https://www.jstage.jst.go.jp/browse/jpts/>
4. Yusuke Maeda, Toshiaki Tanaka, Yasuhiro Nakajima, Tomoya Miyasaka, Takashi Izumi, Norio Kato. Age-related changes in dynamic postural control ability in the presence of sensory perturbation. (査読付) J. Med. Biol. Eng. (in press) doi: 10.5405/jmbe.1707

[学会発表](計 7 件)

5. 中島 康博, 吉成 哲, 東藤 正浩, 原田 証英, 但野 茂. 多点表面筋電計を用いた前腕内筋活動分布の計測, Measurement of Muscle Activity Distribution in Forearm Using a Surface Electromyography with Multi-Electrodes. 日本機械学会 第 25 回バイオエンジニアリング講演会, 発表番号 3F04, つくば市, 2013.
6. Nakajima Yasuhiro, Yoshinari Satoshi, Todoh Masahiro, Harada Masahide, Tadano Shigeru. EMG Tomography System with Multi Surface Electrodes in Forearm. ORS 2013 Annual Meeting, San Antonio, USA, 2013.
7. Shunichi Sugihara, Toshiaki Tanaka, Tomoya Miyasaka, Takashi Izumi and Koichi Shimizu. Assessment of Visual Space Recognition in Patients with Visual Field Defects using Head Mounted Display (HMD) System: Case Study with Severe Visual Field Defect. 35th Annual International Conference of the IEEE EMBS. 論文番号 SuA12.6, p6929-6932. 7 月, 大阪府, 2013.
8. Satoshi Kido, Toshiaki Tanaka, Tomoya Miyasaka, Satoshi Shirogane, Hiroshi

- Maruoka , Kiyomi Takayanagi . Effects of vibratory stimulation of the lower parts of the thorax on vital capacity. the 2013 WCPT-AWP & ACPT Congress. 論文番号 00513(-P244) , Tsichung , Taiwan , 9月 , 2013.
9. T Tanaka , T Izumi , S Sugihara , T Miyasaka , N Kato , Y Nakajima. Development of a reminder wheelchair system with multisensory stimulation to support disabled Person. the 2013 WCPT-AWP & ACPT Congress , 論文番号 00195 (I-P009) , Taiwan , 9月 , 2013.
10. Toshiaki Tanaka , Syunichi Sugihara , Takashi Izumi , Tomoya Miyasaka , Norio Kato , Yusuke Maeda , Yasuhiro Nakajima , Maureen K.Holden. A study of upper extremity training for patients with stroke using a virtual reality technology. the 2013 WCPT-AWP & ACPT Congress. 論文番号 00196 (I-P246) Tsichung ,Taiwan , 9月 , 2013.
11. 田中敏明 , 医工学的視点に立脚した福祉支援機器開発における理学療法の役割 , 第 53 回近畿理学療法学会大会教育講演 , 京都市 , 2013.

6 . 研究組織

(1)研究代表者

田中 敏明 (TANAKA TOSHIAKI)

東京大学・先端科学技術研究センター・特任教授

研究者番号 : 40248670

(2)研究分担者

泉 隆 (IZUMI TAKASHI)

東海大学熊本校舎・基盤工学部医療福祉工学科・教授

研究者番号 : 80193374

(3) 研究分担者

中島 康博 (NAKAJIMA YASUHIRO)

地方独立行政法人北海道立総合研究機構・産業技術研究本

部工業試験場・研究員主査

研究者番号 : 10469710