

バランス能力測定のための足部固有感覚検査装置および検査手法の開発

中島 康博, 栗野 晃希, 前田 大輔
田中 敏明*, 前田 佑輔*, 泉 隆**, Lan-Yuen Guo***

Evaluation Apparatus and Method of Proprioceptive Sense in a Foot for Measuring Balance Ability

Yasuhiro NAKAJIMA, Daisuke MAEDA, Kohki KUWANO
Toshiaki TANAKA*, Yusuke MAEDA*, Takashi IZUMI**, Lan-Yuen GUO***

抄 録

高齢者の転倒予防を図るため、立位時の高齢者の足関節固有感覚（運動覚・位置覚）を定量的に評価する装置および測定手法を開発した。本装置を用いて高齢者とスポーツをする若年者、スポーツをしない若年者を対象に足関節固有感覚の差異を測定したところ、高齢者と若年者で感覚誤差が大きくなる結果が得られ、高齢者と若年者の感覚の違いが明らかになった。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・障がい者のバランス能力向上と転倒予防に貢献したい。

キーワード：高齢者，障がい者，バランス，感覚機能，リハビリテーション，福祉工学

Abstract

In this study, we developed a device and measurement method that quantitatively evaluates the proprioception of the ankle joints while standing for preventing falls in elderly adults. Sensory errors of the proprioception of the ankle joints in elderly group, young group taking exercises and mostly not taking exercises were measured using the device. The results showed the great difference in proprioceptive sense of ankle joint between the young and elderly groups. The device has made it possible to measure 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.

KEY-WORDS : Elderly and Disabled People, Balance, Sensory Function, Rehabilitation, Assistive Technology

1. はじめに

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。図1に示すように、平成22年国民生活基礎調査によると、介護が必要になった主な原因に占める骨折・転倒の割合は10.2%と高く、介護の五大要因の一つとされる¹⁾。

さらに、1994年の厚生省（当時）人口動態統計によると、日本ではこの年の墜落死は4,690名であり、そのほとんどが転倒によるものである。このうち65歳以上の高齢者は3,046名（65%）である²⁾。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（そくし、足の指）および足底面（支持基底面）との接触から得られる触感

* 東京大学 * The University of Tokyo

** 東海大学 ** Tokai University

*** Kaohsiung Medical University

事業名：公募型研究

課題名：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

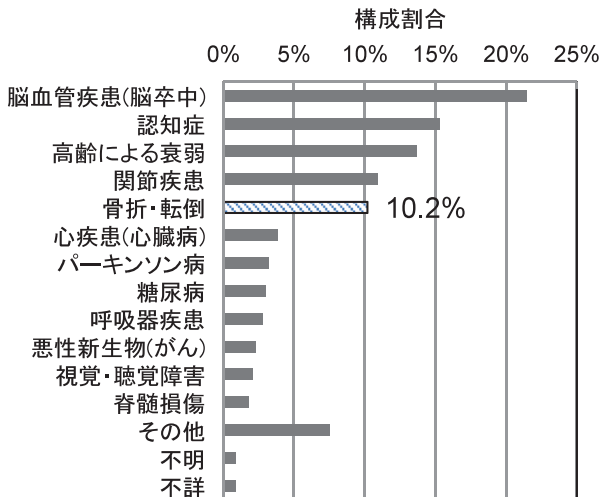


図1 介護が必要となった主な原因の構成割合¹⁾
(平成22年国民生活基礎調査, 厚生労働省)

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の要因は、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も指摘されている。しかしながら、現状においては、運動と感覚の両面からのバランス能力トレーニング手法は確立しておらず、体性感覚(触覚・固有感覚)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等の動的条件を考慮したバランス支援機器など関連する研究開発は皆無である。こうした取組を進めるにあたっては、まず体性感覚の測定評価が重要であり、その評価に基づいてバランス能力を改善する訓練方法や装置の開発につながる必要がある。

本研究では、バランス感覚に重要な足関節における固有感覚である運動覚(関節の角速度感覚)、位置覚(関節の角度

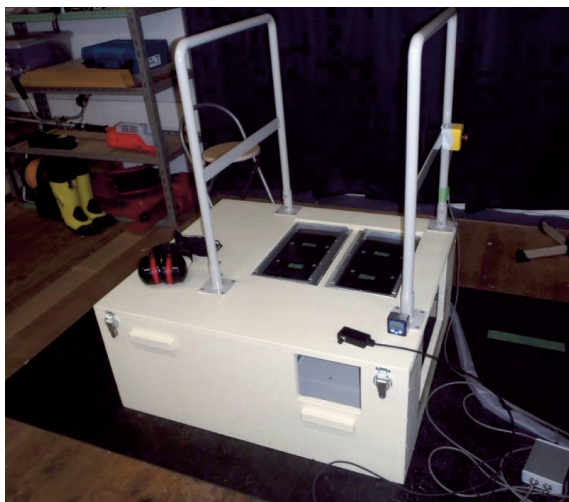


図2 足関節固有感覚検査装置

表1 足関節感覚検査装置の仕様

項目	仕様
寸法	幅 950×奥行 820×高さ 1135mm
重量	130kg
足底板の傾斜角度	-45°~45°
駆動板の角速度	0.2~22.5°/s
駆動板の角速度設定	0.1°/s 刻み
定格積載荷重	981N (100kgf)

感覚)の検査装置およびこれを用いた測定手法を新たに開発した。この装置は足関節に荷重のかかる立位時での評価を可能とし、さらに足関節の底屈・背屈(つま先を足底側、足甲側に屈曲)および内反・外反(足裏を内側、外側に屈曲)の2自由度に対応する。開発した本装置と測定手法を用いて、高齢者と若年者、さらに運動履歴の有無による足関節固有感覚の差異を測定した。

2. 装置および測定方法

2.1 足関節感覚検査装置

足関節運動覚および位置覚を測定する足関節固有感覚検査装置を開発した(図2)。本装置は立位姿勢における足関節の底屈・背屈運動および内反・外反運動における運動覚と位置覚を評価する(図3)。装置には2枚の足底板が設置されており、一枚は手で角度が固定される固定板で、もう一枚はサーボモーターで任意の角速度で制御可能な駆動板である。各々の足底板は底背屈・内外反の方向に可動・固定できる。台上には被験者の左右に手すりを設置し、転倒事故防止に配慮している。本装置の仕様を表1に示す。

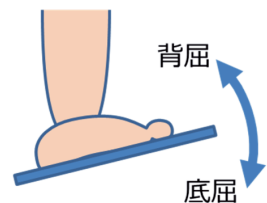
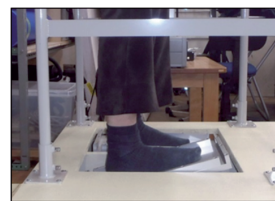


図3 足関節固有感覚検査装置上での足関節運動



図4 実験風景（高齢者）

2.2 足関節固有感覚の足底方法

足関節固有感覚の測定は次の手順で行った。まず、駆動板を水平にし、固定板を任意の傾斜角で固定した。その板上で、各板に片足を乗せるように被験者に立位を取らせた（図4）。このとき、被験者は駆動板側を利き足とした。さらに、被験者には目隠しとヘッドフォンを装着し、視覚と聴覚の影響を排除した。被験者の手元には、駆動板の動作停止スイッチを持たせた。

次に、設定した角速度で駆動板の傾斜を開始した。被験者にはあらかじめ、駆動板と固定板の角度が同じとなったと感じた時点で手元のボタンを押し駆動板を停止するよう指示してある。被験者が駆動板を停止させた後、固定板と駆動板の角度を各々記録した。

なお、転倒事故を防止するため、実験中にはスタッフ2名が近傍にて待機した。

実験条件を表2に示す。足関節の運動方向は底屈、背屈、内反、外反の4種類とした。固定板角度の条件は、足関節背屈では、 $5/10^\circ$ の2条件、底屈は $5/10/15^\circ$ の3条件、外反は $5/10^\circ$ の2条件、内反は、 $5/10/15^\circ$ の3条件とした。駆動板の角速度を $1^\circ/s$ と $2^\circ/s$ の2条件として測定を行った。以上の各条件で、それぞれ2試行実施した。

2.3 被験者

被験者は、既往症のない健常高齢者5名、スポーツ熟練若年者5名、スポーツ非熟練若年者5名とした。各群の年齢構

表2 足関節固有感覚測定の実験条件

運動方向	固定板 角度 ($^\circ$)	駆動板 角速度 ($^\circ/s$)
背屈	5/10	
底屈	5/10/15	
外反	5/10	1/2
内反	5/10/15	

表3 被験者

被験者群	人数 (人)	年齢(歳) (平均 \pm 標準偏差)
健常高齢者	5	71.4 \pm 4.5
スポーツ熟練若年者	5	20.6 \pm 0.9
スポーツ非熟練若年者	5	20.6 \pm 0.5

成は表3の通りである。

被験者からは、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。

なお、本実験においては、あらかじめ東京大学、東海大学、北海道立総合研究機構の人間工学実験にかかる実験計画の承認を受けた。被験者には、インフォームドコンセントを実施し、了承を得た。

2.4 分析方法

目標角度となる固定板すなわち非利き足の傾斜角を設定角度、測定時に被験者が停止させた角度を停止角度として、その差の絶対値（|設定角度-停止角度|）を誤差として算出した。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）間で統計学的分析を行った。

3. 結果

各関節運動内での目標角度との誤差は、3群とも目標角度が大きいくほど誤差が大となる傾向を示した。誤差は角度差の絶対値としたが、測定結果はすべて停止角度が設定角度を下回った。代表例として、駆動板角速度 $1^\circ/s$ における高齢者の角度誤差を図5に示す。Kruskal-Wallis検定（対応あり）にて多重比較を行った結果、すべての場合において有意差が検出された。

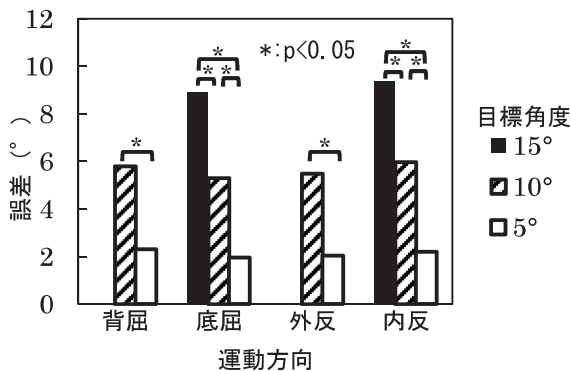


図5 各関節運動における目標角度との誤差 (高齢者, 駆動板角速度 1°/s)

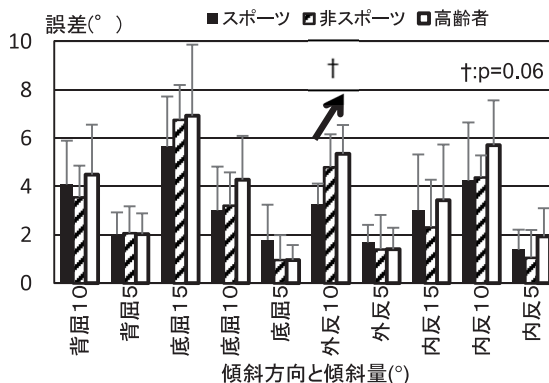


図6 角度感覚誤差の被験者群間比較 (駆動板角速度 2°/s)

足関節固有感覚の被験者群間の比較においては、外反方向 10° 傾斜において、Kruskal-Wallis検定により有意確率 $p=0.06$ が算出された。その他の項目においても、概ね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6)。また、3群ともに関節運動の角速度が1°/sでの計測値は、2°/sよりも誤差が大となる傾向を示した。このことから、加齢、運動履歴、関節運動の方向・速さ等により被験者の足関節感覚が影響を受けることが示唆された。

4. 考察

これまで、年齢や運動履歴によって立位バランス時の関節駆動方法が異なることが知られていたが、今回の実験からは、年齢・運動履歴と足関節固有感覚の相関が示唆されている。立位姿勢のバランスを維持するために、足関節の駆動により維持する足関節戦略(ankle strategy)、股関節の駆動により体幹を屈曲する股関節戦略(hip strategy)、さらに足の踏み出しにより転倒を防ぐステップング戦略(stopping strategy)の3種を人体は駆使するとされている。足関節戦略は足底における床反力の作用点を足関節周りの筋力を用いて移動するため、素早い反応が可能であるが、高齢者や運動履歴の少ない者では実行が難しくなる。代わりにこれらの者は、体幹屈曲により自身の重心位置を修正する股関節戦略を用いることが多くなる。足関節固有感覚の誤差拡大は、足関節戦略のための感覚入力を鈍化させ身体のバランス戦略を損なう一つの要因であるかもしれない。

これまでの転倒予防はパワーリハビリに代表されるような筋力面のトレーニングに主眼が置かれていたが、本研究により、今後は感覚強化による予防が期待される。実験結果には自身の足関節角度を過大に評価する傾向が強く表れ、年齢の増加や運動履歴の少なさによりさらに傾向が強まった。このことから、感覚面のトレーニング手法を確立し関節や筋の駆

動を精緻に行えるようになれば、高齢者の転倒予防に大きく貢献できると考えられる。

5. おわりに

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固有感覚の計測が可能となった。今後は多様な関節運動速度、感覚評価方法と組み合わせて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、高齢者および障がい者のバランス能力向上と転倒予防に貢献したい。

謝辞

本研究は、日本学術振興会科学研究費助成事業(科学研究費補助金)により実施された。ここに記して謝意を表す。

引用文献

- 1) 厚生労働省, 平成22年国民生活基礎調査, (2011)
- 2) 厚生省, 1994年人口動態統計, (1995)