

高齢者における第 1 趾・第 2～第 5 趾底屈筋力および筋力発揮速度の関係の検討

佐伯純弥(PT)¹⁾、池添冬芽(PT)¹⁾、坪山直生(MD)¹⁾、市橋則明(PT)¹⁾

¹⁾ 京都大学大学院医学研究科人間健康科学系専攻

キーワード: 足趾筋力, 高齢者, バランス

背景

足趾底屈筋力がパフォーマンスに及ぼす影響や足趾底屈エクササイズの効果についての研究は多くみられ¹⁻⁵⁾、足趾底屈エクササイズの長期介入により Navicular Drop が減少することや²⁾、有痛性外脛骨患者に対する即時的な除痛効果が得られることが報告されている³⁾。また、足趾底屈筋のウォーミングアップにより、即時的にバランス能力が改善したという報告や⁴⁾、片脚立位の重心動揺と足趾底屈筋の活動が関連したとの報告があることから⁵⁾、足趾底屈筋はバランスの制御に大きく関与していると考えられる。これまでに片脚立位保持能力と高齢者における転倒との関連が報告されているが⁶⁾、高齢者の足趾底屈筋力と片脚立位保持能力との関連性について大規模サンプルで検討した報告はみられない。

また、筋力発揮速度の指標である、力発揮時の立ち上がり勾配(Rate of Force Development; RFD)とバランス能力との関連について、高齢者のバランス能力には股関節外転 RFD が関連すると報告されているが⁷⁾、足趾における RFD とバランス能力の関連については明らかではない。さらに、第 1 中足趾節関節(Metatarsophalangeal joint; MTP 関節)と第 2～第 5 MTP 関節の底屈筋力発揮能力をそれぞれ分けて評価し、バランス能力との関連性について調べた研究はみられない。

そこで本研究は、①大規模サンプルにて高齢者の足趾把持筋力とバランス能力との関連を検討すること、②第 1 MTP 関節および第 2～第 5 MTP 関節それぞれにおける等尺性最大随意底屈トルク(maximal voluntary contraction torque; MVC トルク)および RFD と高齢者のバランス能力との関連を検討することを目的とした。

対象と方法

1. 対象

研究①の足趾把持筋力と片脚立位保持時間の関連の検討については地域在住高齢者 368 名(男性 149 名、女性 219 名、年齢;70.1±5.3 歳、身長;157.1±8.3 cm、体重;58.2±10.1 kg)を対象とした。除外基準は、下肢に手術歴のある者、足趾の変形による疼痛を有する者、中枢神経疾患および末梢神経疾患等で足趾の運動障害を有する者とした。

研究②の第 1 趾と第 2～第 5 趾それぞれの MVC トルク、RFD と片脚立位保持時間との関連の検討については、地域在住高齢者 10 名(男性 5 名、女性 5 名、年齢;74.8±1.9 歳、身長;160.1±12.6 cm、体重;58.0±10.4 kg)を対象とした。除外基準は、下肢に手術歴のある者、足趾の変形による疼痛を有する者、中枢神経疾患および末梢神経疾患等で足趾の運動障害を有する者とした。

各研究の対象には、本研究の目的および方法について説明を行い、紙面による同意を得た。なお本研究は、京都大学医の倫理委員会の承認を得て実施した。

2. 片脚立位保持時間および足趾把持筋力の測定

片脚立位保持時間の測定は開眼にて行い、2 回測定した最大値をデータとして用いた。

足趾把持筋力測定には足趾把持筋力計(竹井医療機器製)を用い、椅座位にて足部を計測機器に固定し、足趾で把持バーを最大限把持させたときの把持力を計測した。計測値を体重で除した値をデータとして用いた。

3. 第 1 MTP 関節・第 2～5 MTP 関節における MVC トルク・RFD の測定

第 1 MTP 関節および第 2～5 MTP 関節における MVC トルクの計測は、我々の先行研究と同様の方法を用いた(図 1)⁸⁾。座位にて体幹、大腿、下腿、足部を非伸縮性のベルトで固定し、第 1 MTP 関節または第 2～第 5 MTP 関節の最大等尺性収縮を可能な限り速い速度で行った。測定時の MTP 関節角度は底背屈 0°に規定し、足関節底屈 10°および背屈 10°の 2 条件で測定した。MTP 関節底屈トルクは引張型ロードセル TU-BR (TEAC 製)を用いてひずみを計測し、電圧を増幅器 DPM-911B(共和電業、日本)で増幅し、アナログ-デジタル変換器 Power Lab (AD instruments, オーストラリア)を用いてサンプリング周波数 1,000Hz で A/D 変換し PC に取り込んだ。解析には解析用ソフトウェア Chart 5 (AD instruments 製)を用い、高周波域のノイズを取り除くために 10Hz でフィルタリングした。計測された最大トルクから安静時の受動トルクを引くことで MVC トルクと

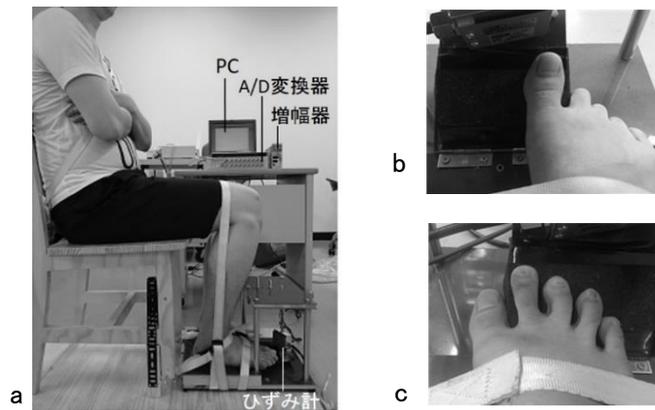


図 1. MTP 関節における MVC トルクおよび RFD の測定風景

a. 測定機器全体図

b. 第 1 MTP 関節における MVC トルクおよび RFD 測定

c. 第 2～第 5 MTP 関節における MVC トルクおよび RFD 測定

表 1. 片脚立位保持時間および足趾把持筋力

片脚立位保持時間 (s)	26.8±16.7
足趾把持筋力(kgf/kg×100)	20.5±7.5

表 2. MTP 関節底屈トルクおよび RFD と片脚立位保持時間との関係

		足関節肢位		相関係数
MVC トルク (Nm/kg×100)	第 1 MTP 関節	背屈位	11.0±3.8	0.66
		底屈位	9.2±3.3	0.26
	第 2～第 5 MTP 関節	背屈位	5.4±2.0	0.47
		底屈位	4.7±1.9	0.31
RFD (Nm/ms)	第 1 MTP 関節	背屈位	1.34±0.53	0.64
		底屈位	1.31±0.61	-0.06
	第 2～第 5 MTP 関節	背屈位	0.96±0.48	0.54
		底屈位	0.95±0.70	-0.10

MVC トルク; 最大随意トルク (maximal voluntary contraction torque)

MTP 関節; 中足趾節関節 (Metatarsophalangeal joint)

RFD; rate of force development

* $p < 0.05$

した。算出された MVC トルクは体重で除することで正規化した。RFD は 1 ms あたりの筋出力変化の最大値とした。各測定は 2 回行い、MVC トルク、RFD とともに最大値を採用した。

4. 統計解析

片脚立位保持時間と足趾把持筋力、第 1 MTP 関節・第 2～第 5 MTP 関節それぞれの MVC トルクおよび RFD の関係について、ピアソンの相関係数を算出した。有意水準は 5% とした。

結 果

片脚立位保持時間と足趾把持筋力の結果を表 1 に示す。片脚立位保持時間と足趾把持筋力との間に有意な相関は認められなかった($r=0.10$)。

第 1 MTP 関節底屈 MVC トルク、第 1 MTP 関節底屈 RFD は足関節背屈条件においてのみ片脚立位保持時間との間に有意な正の相関が認められた(表 2)。第 2～第 5 MTP 関節底屈 MVC トルク、RFD は足関節底屈位・背屈位いずれも片脚立位保持時間との間に有意な相関は認められなかった(表 2)。

考 察

本研究は地域在住高齢者を対象として、既存の足趾把持筋力計を用いて測定した足趾把持筋力と、我々が開発した MTP 関節底屈トルク測定器を用いて測定した第 1 MTP 関節と第 2～第 5 MTP 関節それぞれにおける MVC トルク・RFD とバランス能力との関連について検討した。

本研究の結果、片脚立位保持時間と足趾把持筋力との間に相関は認められなかった。足趾把持筋力の測定では、IP 関節より遠位を把持バーに掛けていることから、主として IP 関節屈曲筋力を反映していると考えられる。このことから、IP 関節屈筋力が高齢者の片脚立位保持能力に及ぼす影響は少ないことが示唆された。

一方で、足関節背屈位での第 1 MTP 関節底屈 MVC トルク、第 1 MTP 関節底屈 RFD と片脚立位保持時間の間に有意な正の相関が認められた。先行研究において、第 1 趾底屈のウォーミングアップ後に重心動揺が減少したことが報告されている⁴⁾。本研究の結果、第 2～第 5 MTP 関節底屈の筋力発揮能力よりも、第 1 MTP 関節底屈の筋力発揮能力のほうが高齢者のバランス能力と関連していることが示唆された。さらに、本研究では、足関節背屈位での第 1 MTP 関節底屈の筋力発揮能力のみ片脚立位保持時間と関連が認められた。MTP 関節底背屈 0°では、足関節を背屈させるほど外在筋が至適長に近づき、大きな力発揮が可能であることが報告されている⁹⁾。そのため、足関節背屈位での力発揮は外在筋、つまり長母趾屈筋の力を反映しやすいと考えられる。このことから、高齢者の片脚立位制御には特に長母趾屈筋の筋機能が関わっていると考えられる。

以上より、高齢者の片脚立位保持能力には、足趾筋力のなかでも第 1 MTP 関節底屈の筋力と力発揮の速さが関連し、これらは外在筋の力発揮の影響を大きく受けることが示唆された。

文 献

- 1) Uritani D, Fukumoto T et al.: Associations between toe grip strength and hallux valgus, toe curl ability, and foot arch height in Japanese adults aged 20 to 79 years: a cross-sectional study. *J Foot Ankle Res.* 2015; 8:18.
- 2) Mulligan EP, Cook PG: Effect of plantar intrinsic muscle training on medial longitudinal arch morphology and dynamic function. *Man Ther.* 2013; 18(5): 425-30.
- 3) Shiroshita T, Fukubayashi T: Comparison of Towel-gathering Exercise and Toe Exercises for the Painful Accessory Navicular. *J Phys Ther Sci.* 2011; 23(3): 455-8.
- 4) Saeki J, Tojima M et al.: Clarification of functional differences between the hallux and lesser toes during the single leg stance: immediate effects of conditioning contraction of the toe plantar flexion muscles. *J Phys Ther Sci.* 2015; 27(9): 2701-4.
- 5) Kelly LA, Kuitunen S et al.: Recruitment of the plantar intrinsic foot muscles with increasing postural demand. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2012; 27(1): 46-51.
- 6) Macrae PG, Lacourse M et al.: Physical performance measures that predict faller status in community-dwelling older adults. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1992; 16(3): 123-8.
- 7) Chang SH, Mercer VS et al.: Relationship between hip abductor rate of force development and mediolateral stability in older adults. *Arch Phys Med Rehabil.* 2005; 86(9): 1843-50.
- 8) Saeki J, Tojima M et al.: Relationship between navicular drop and measuring position of maximal plantar flexion torque of the first and second-fifth metatarsophalangeal joints. *J Phys Ther Sci.* 2015; 27(6): 1795-7.
- 9) Goldmann JP, Bruggemann GP. The potential of human toe flexor muscles to produce force. *J Anat.* 2012; 221(2): 187-94.