

男女別にみた足把持力と足部筋活動との関係

Relationship between toe grip strength and muscle activity in the lower limbs of males and females

山田 健二*, 須藤 明治**

Kenji YAMADA* and Akiharu SUDO**

Abstract

Objective Few previous studies have measured muscle activity in relation to toe grip strength. The aim of the current study was to examine muscle activity in the lower limbs in relation to toe grip strength. *Subjects and methods* Subjects were 22 healthy college students (14 males, 8 females). A toe grip dynamometer was used to measure the toe grip strength of one foot. Toe grip strength was measured 3 times while subjects exerted maximum effort. Activity of the tibialis anterior, gastrocnemius (lateral head), abductor hallucis, and flexor digitorum brevis was measured. Measurements served as the amount of muscle activity when maximum toe grip strength was exerted. *Results* Toe grip strength was correlated with activity of the tibialis anterior, abductor hallucis, and flexor digitorum brevis for subjects overall, for males, and for females. *Conclusion* Similar results were obtained for males and females. Toe grip strength is related to muscle activity, which indicates that all of the toes (and not merely the great toe) are crucial to toe grip strength. Thus, all of the toes need to be exercised to increase toe grip strength.

Key words; toe grip strength, muscle activity, muscles around the ankle

I. はじめに

二足歩行を行うヒトは安定した立位姿勢を保つ上で、足で物をつかむ力、いわゆる足把持力は必要不可欠なものである。かつては、ヒトの歩行において足趾の機能は軽視されていたが、歩行時の足趾の機能として体重支持面積の増大と推進力機

能の重要性^{3) 21)} が明らかにされ、徐々に歩行以外の足趾の機能について注目されるようになった。近年になり、握力計を改良した足趾把持力測定器の開発^{1) 12) 13) 17)} などが進み、高齢者の転倒予防対策を中心として足把持力が注目されるようになった。転倒の危険因子とされる下肢筋力、柔軟性、足底感覚などの身体機能と足把持力との関

* 国士舘大学体育学部附属体育研究所 (Institute of Health, Physical Education and Sport Science, School of Physical Education, Kokushikan University)

** 国士舘大学大学院スポーツ・システム研究科 (Graduate School of Sports System, Kokushikan University)

係¹⁵⁾から、足把持力の低下は転倒の危険因子となりうること、転倒経験群と非経験群では、転倒経験群の方が非経験群に比べて足把持力が低いことが示唆されている¹⁶⁾。また、足把持力は歩行における推進力^{6) 9)}や離地時の後方へのキック⁸⁾と関係している可能性が報告されている。これらのことから、高齢者における足把持力は姿勢の保持や歩行時の転倒などに影響している一つの要因であると考えられる。さらに、若年健常者に対し、足把持力と静的および動的平衡能力との関係において、静的平衡能力よりも動的平衡能力において足把持力が重要である可能性が示唆されている^{4) 6)}。

足把持力の向上を目的とした足把持トレーニングを行った竹井ら²²⁾の研究により、タオルギャザーなどを用いた足把持トレーニングによって、約4週間で足把持力を有意に向上させることができることが報告されている。また、若年健常者に対してトレーニングを行った研究²³⁾において、50m走や垂直跳びの記録が向上することが報告されている。さらに、筆者らが若年者に対して行った50m走との関係において、足把持力が高い者ほど疾走速度が高いことが明らかになった²⁴⁾。これらの研究のように、先述した立位姿勢の維持や歩行だけでなく、足把持力は走能力や跳能力の向上などにも有効であることが報告されており、日常生活から運動やスポーツなど多くの場面で重要となると考えられる。

一方で、足把持時における筋活動測定を行っている研究は少ない。足把持力は、短母趾屈筋、長母趾屈筋、虫様筋、短趾屈筋および長趾屈筋の作用によって起こるとされ、手の握力に相当するものと考えられている¹⁴⁾。これまでの足把持力の筋活動を測定している研究では、下腿三頭筋^{11) 18) 20)}や足関節周囲筋の母趾外転筋を計測し、握力計を改良した測定器と市販測定器との筋活動の比較であった¹¹⁾。前脛骨筋は、足把持時に足関節を背屈させる作用があり、足趾の屈筋群は足関節底屈の補助筋であることから、足関節の安定につながるということが示唆されており¹⁹⁾、足把持力にとって重要

な筋であると考えられている。長母趾屈筋、虫様筋や長趾屈筋は深層の筋であり、触診や超音波測定などが困難であるが、母趾外転筋や短趾屈筋においては、足関節周囲筋の中でも表層にある筋肉であることから、触診や超音波測定が容易である。母趾外転筋は、母趾の屈曲や外転として働き超音波法で筋厚および筋断面積の測定が可能であることが報告されている^{2) 10)}。また、短趾屈筋は、第2趾から第5趾の屈曲に働き、足底の最外層にあることから触診も容易であり、超音波法によって筋厚を計測できることが報告されている¹⁰⁾。超音波法によって、足部の筋厚などが測定されてきているが、筋活動量と足把持力との関係についての検討はまだまだ少ないのが現状であり、足把持力と母趾との関係については検討されているが、第2趾から第5趾が足把持力と関係があるのかについては検討されていない。足把持力と相関関係のある足関節周囲筋を検討することは、足把持力に関する知見に繋がると考えられる。また、これまでの測定は、男性のみや女性の場合が多く、筋活動量と足把持力との関係に、性差があるのかについては明らかにされていない。

これらのことから、これまで測定されている下腿三頭筋に加えて母趾外転筋および短趾屈筋と足把持力との関係、筋活動量と足把持力との関係に性差があるのかについて検討することで、足把持力と足関節周囲筋に関する基礎的な資料を得ることを目的とした。

Ⅱ. 対象と方法

1. 対象

被験者は体育大学生22名(男子14名、女子8名)を対象とした。身体的特徴として、身長、体重、体脂肪率、BMIの計測を行った(Table 1)。実験を開始するにあたり、口頭にて研究の目的、方法および実験に伴う安全性に関して、十分な説明を行った後に実験参加の同意を得た。なお、本研究は国士舘大学大学院スポーツ・システム研究科

Table 1. Physical characteristics of subjects

	n	Age (yrs)	BH (cm)	BW (kg)	%Fat (%)	BMI (kg/m ²)
Male	14	22.0±2.5	174.0±5.9	69.1±7.9	11.7±3.9	22.7±1.6
Female	8	21.1±0.6	160.4±3.5	57.2±8.0	25.8±5.4	22.2±2.9

BH: Body height, BW: Body weight, BMI: Body mass index Values are Mean±SD..

研究倫理評価委員会の承認を得て行った。

2. 方法

足把持力の測定は、足趾筋力測定器（竹井機器工業社製）を用いて計測した。この測定器は、足趾をかけるバーに指をかけ、手の握力の測定と同様に足趾を屈曲することによって力発揮し、足趾の把持力を計測するものである。また、被験者によって利き足が異なるが、村田ら¹⁷⁾や甲斐ら⁵⁾によって利き足と非利き足といった左右差は認められないことが明らかとなっている。そのため、本測定は被験者の把持しやすい任意の片足とし、把持バーを被験者の第1中足指節関節に合うように調整した。測定姿勢は、膝関節90°屈曲位、足関節底背屈中間位での椅座位とし、最大努力にて3回の測定を行い、高値を代表値として採用した。足把持における最大努力時に3秒間キープするように指示した。測定器の高さによって非測定足との高さが異なるため、水平になるよう高さの調整可能なマットを使用した。なお、足把持力発揮に慣れるため、数回の練習の後に計測を行った。体幹や膝、足関節の代償運動が生じないようにするため、椅子の端を握るなどの動作を行わないように、手は大腿に添えるもしくは身体の横に自然に下ろすよう指示をした。また、身体の大きな動作や踵が浮いてしまった際には失敗試技とし、休憩をした後に再度計測した。

筋電図測定では、ワイヤレス電極プローブ（FreeEMG、BTS Bioengineering社製）を用いて、被検筋を測定足の前脛骨筋、腓腹筋外側頭の下腿2筋および母趾外転筋、短趾屈筋の足関節周囲筋2筋の計4筋とした。電極の貼付位置については、

先行研究^{11) 18) 20)}を参考に、前脛骨筋では膝関節と足関節を結ぶ線の近位1/3で脛骨外側における筋腹、腓腹筋外側頭では膝関節と足関節を結ぶ線の30%、母趾外転筋では舟状骨より1横指下部、短趾屈筋では足長の近位40%とした。母趾外転筋および短趾屈筋については、通常の皿電極を使用して電極を貼付すると足把持動作に影響することから、ワイヤレス電極プローブに延長電極を使用することで、足裏への電極の貼付を行った。導出方法は、双極導出法とし各筋の走行方向に並行して電極を貼付した。サンプリング周波数を1kHzでA/D変換し、解析用パーソナルコンピュータに取り込み、筋電解析ソフトウェア（EMGanalyser）にて解析し、バンドパスフィルタは20～500Hz^{18) 20)}とした。波形解析については、生波形を全波整流し、筋電図積分値（以下、iEMG）を求めた。分析試技については、上記の採用試技の筋活動における3秒間の中で波形が安定している1秒間を選定し、各筋におけるiEMG値を解析した。

各測定項目の値は、平均値±標準偏差で示した。統計処理はエクセル統計2010にて行った。足把持力と各筋活動量との関係についてPearsonの単相関分析を行った。有意水準は5%をもって有意とした。

Ⅲ. 結果

足把持力については、男性22.1±5.6kg、女性13.7±5.4kgであり、男性が女性よりも有意に高値を示した（ $p<0.01$ ）（Fig. 1）。また、体重あたりの足把持力については、男性0.322±0.085kg/kg、女性0.239±0.090kg/kgであり、男性が女性より

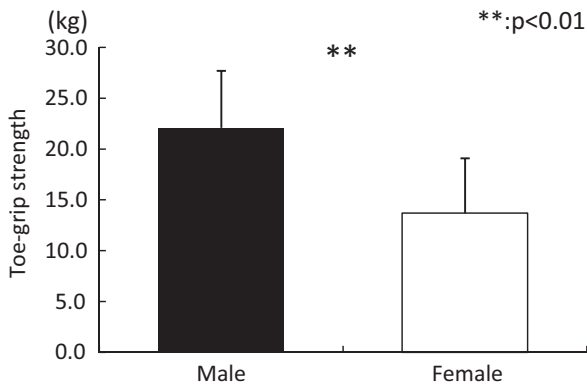


Fig.1. Comparison of the toe-grip strength of male and female

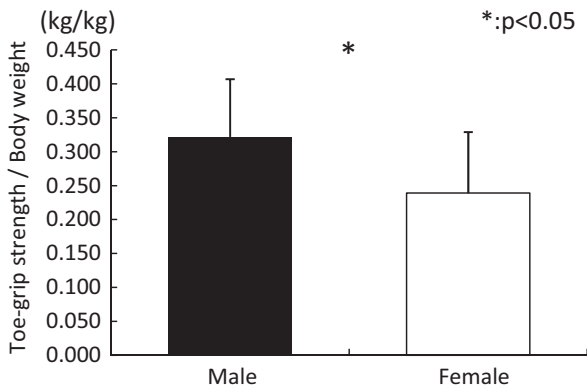


Fig.2. Comparison of the toe-grip strength per body weight of male and female

も有意に高値を示した ($p<0.05$) (Fig. 2)。

足把持力と各筋活動量との関係については、足把持力と前脛骨筋、母趾外転筋、短趾屈筋の間において、全体、男性および女性の全ての群で有意な正の相関関係が認められた (Table 2) (Table 3)。腓腹筋外側頭においては、関係性は認められなかった。

IV. 考 察

近年になり足で物を握む力である足把持力が注目され始め、高齢者の転倒予防や運動能力との関係性などについて研究がされている。また、足把持力の筋活動量の計測についても進められてきている。しかしながら、被験筋については下腿三頭筋などが中心であり、足関節周囲筋の測定は少ない。そこで、足把持力と足関節周囲筋の筋活動との関係性について検討することは、足把持力の新たな知見を広げる上で重要であると考えられる。

本研究の結果から、被験者全体、男性および女性の全ての群において足把持力と前脛骨筋、母趾外転筋および短趾屈筋との間にそれ

Table 2. Muscler activity of the lower limbs muscular activity

	iEMG(mV)			
	TA	LG	AH	FDB
All	0.198±0.123	0.022±0.018	0.021±0.011	0.082±0.042
Male	0.257±0.107	0.027±0.021	0.024±0.011	0.086±0.047
Female	0.094±0.071	0.013±0.006	0.016±0.008	0.074±0.032

TA: Tibialis anterior, LG: Lateral gastrocnemius

Values are Mean±SD..

AH: Abductor hallucis, FDB: Flexor digitorum brevis

Table 3. Relationship between toe-grip strength and the lower limbs muscular activity

	TA	LG	AH	FDB
All	0.8050 ***	0.1155	0.6884 ***	0.6989 ***
Male	0.6124 *	-0.2036	0.6087 *	0.7981 ***
Female	0.9104 **	-0.0189	0.7085 *	0.7476 *

TA: Tibialis anterior

LG: Lateral gastrocnemius

AH: Abductor hallucis, FDB: Flexor digitorum brevis

*: $p<0.05$, **: $p<0.01$, ***: $p<0.001$

ぞれ正の相関関係が認められた。前脛骨筋においては、足把持時に前脛骨筋が働くことによって、足関節を背屈させる作用がある。足趾屈筋群は足関節底屈の補助筋であり¹⁴⁾、足把持動作は足関節を底屈させる動きがあり、前脛骨筋の足関節背屈により足関節の安定性が向上し、足把持動作を行いやすくなることが考えられる。先行研究²⁰⁾においても、前脛骨筋と足把持力との間に正の相関関係が認められることが報告されており、本研究においても同様の結果が得られた。また、腓腹筋外側頭については、先行研究²⁰⁾においても関係性が認められず、足把持力には大きな影響を及ぼさない可能性が示唆された。

母趾の屈曲に働く母趾外転筋と第2趾から第5趾の屈曲に働く短趾屈筋ともに足把持力と正の相関関係が認められたことから、足把持力は母趾から第5趾を用いて把持されていることが明らかになった。母趾外転筋は、超音波測定によって筋厚や筋断面積の計測が行われるようになり、超音波測定信頼性について検討されている^{2) 10)}。また、MRIを用いて足関節周囲筋の筋断面積を計測し、足把持力との関係について検討している研究では、母趾外転筋の筋断面積と足把持力との間に正の相関関係が認められている⁷⁾。このことから母趾外転筋は足把持力に影響する筋の一つであることが考えられ、長母趾屈筋や短母趾屈筋などに比べ足部の表層に位置することからも筋電図測定において、足把持力を評価する筋の一つとして有効であると考えられた。

足把持動作に作用する筋には、その他に虫様筋や長趾屈筋などがあるが、深層の筋であることから表面筋電図での測定は困難であると考えられる。短趾屈筋は母趾以外の足趾の屈曲に働くとされ、足底の最外層に位置することから、表面筋電図での測定が可能であると考えられる。これまでの研究では、足部内在筋の筋電図測定は母趾外転筋のみであり、母趾以外の筋群が足把持力に影響しているのかについては明らかにされていなかった。本研究の結果から短趾屈筋と足把持力との間

に正の相関関係が認められ、足把持力における第2趾から第5趾までの筋活動量について評価する筋として有効であると考えられた。

以上のことから、足把持力と母趾外転筋と短趾屈筋の筋活動量との間に正の相関関係が認められ、母趾から第5趾までの全ての趾が足把持力に影響していることが明らかになり、足把持力の筋電図測定についての基礎的な知見を得ることができた。また、男女ともに同様の結果であり、足把持力と運動能力との関係性が認められていることから、足把持力を高めるためには、すべての足趾を鍛えるような運動を行うことが重要であると考えられた。本研究の対象者は大学生であったことから、高齢者などの異なる対象者を増やし筋電図測定が有効であるのかについて検討する必要がある。

引用文献

- 1) 半田幸子, 堀内邦雄, 青木和夫: 足趾把握筋力の測定と立位姿勢調整に及ぼす影響の研究. 人間工学, 2004, 40: 139-147.
- 2) Hing WA, Rome K and Cameron AF: Reliability of measuring abductor hallucis muscle parameters using two different diagnostic ultrasound machines. Journal of Foot and Ankle Research, 2009, 2: 33.
- 3) Hughes J: The importance of the toes in walking. The Journal of Bone and Joint Surgery (Br), 72-B (2): 1990, 245-251.
- 4) 加辺憲人, 黒澤和生, 西田裕介・他: 足趾が動的姿勢制御に果たす役割に関する研究. 理学療法学, 2002, 17: 199-204.
- 5) 甲斐義浩, 村田伸, 田中真一: 利き足と非利き足における足把持力および大腿四頭筋筋力の比較. 理学療法科学, 2007, 22: 365-368.
- 6) 木藤伸宏, 井原秀俊, 三輪恵・他: 高齢者の転倒予防としての足指トレーニングの効果. 理学療法学, 2001, 28: 313-319.
- 7) Kurihara T, Yamauchi J, Otsuka M, et al.: Maximum toe flexor muscle strength and quantitative analysis of human plantar intrinsic and extrinsic muscles by a magnetic resonance imaging technique. Journal of Foot and Ankle Research, 2014, 7: 16.
- 8) 前田明, 西園秀嗣, 江橋博・他: 歩行運動時の中

- 足指節関節の可動がキック力発揮に及ぼす影響. *Ann Physiol Anthropol*, 1993, 12 : 371-378.
- 9) Mann RA, Hagy JL : The function of the toes in walking, jogging and running. *Clin Orthop Relat Res*, 1979, 142 : 24-29.
 - 10) Mickle KJ, Nester CJ, Crofts G, et al. : Reliability of ultrasound to measure morphology of the toe flexor muscles. *Journal of Foot and Ankle Research*, 2013, 6 : 12.
 - 11) 三浦紗世, 世古俊明, 隈元庸夫 : 握力計を用いた足趾把持測定法の再現性と妥当性の検討. *理学療法科学*, 2016, 31 : 847-850.
 - 12) 三輪恵, 井原俊秀 : 足指・足底把持力測定器. *関節外科*, 1995, 1 : 41-43.
 - 13) 村田伸, 忽那龍雄 : 足把持力測定を試み—測定器の作成と測定値の再現性の検討—. *理学療法科学*, 2002, 17 : 243-247.
 - 14) 村田伸, 忽那龍雄 : 在宅障害者の足把持力と転倒との関連性. *国立大学医学療法士学会誌*, 2003, 24 : 8-13.
 - 15) 村田伸 : 開眼片足立ち位での重心動揺と足部機能との関連—健常女性を対象とした検討—. *理学療法科学*, 2004, 19 : 245-249.
 - 16) 村田伸, 津田彰, 稲谷ふみ枝・他 : 在宅障害高齢者の注意と転倒との関連. *久留米大学心理学研究*, 2005, 4 : 61-70.
 - 17) 村田伸, 甲斐義浩, 田中真一・他 : ひずみゲージを用いた足把持力測定機の開発. *理学療法科学*, 2006, 21 : 363-367.
 - 18) 中江秀幸, 村田伸, 甲斐義浩・他 : 端座位と立位における足趾把持力と足関節周囲筋の筋活動の比較. *ヘルスプロモーション理学療法研究*, 2013, 3 : 11-14.
 - 19) 中村隆一, 斎藤宏, 長崎浩 : 基礎運動学, 第6版. 中村隆一・他(編) 医歯薬出版, 東京, 2008, pp76-78.
 - 20) 相馬正之, 村田伸, 甲斐義浩・他 : 足趾把持力発揮時における下腿筋の筋活動. *理学療法科学*, 2013, 28 : 491-494.
 - 21) Stocks LAF : Forces under the hallux valgus foot before and after surgery. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 1979, 142 : 64-72.
 - 22) 竹井和人, 村田伸, 甲斐義浩・他 : 足把持力トレーニングの効果. *理学療法科学*, 2011, 26 : 79-81.
 - 23) 宇佐波政輝, 中山彰一, 高柳清美 : 足趾屈筋群の筋力増強が粗大筋力や動的運動に及ぼす影響—足趾把持訓練を用いて—. *九州スポーツ学会誌*, 1994, 6 : 81-85.
 - 24) 山田健二, 須藤明治 : 足把持力と疾走速度との関係. *理学療法科学*, 2015, 30 : 519-521.