ひずみゲージを用いた足把持力測定器の開発

Development of a Strain Gauge Based Foot-Gripping Force Meter

村田 伸¹⁾ 甲斐 義浩²⁾ 田中 真一³⁾ 山崎 先也⁴⁾

SHIN MURATA, RPT¹⁾, YOSHIHIRO KAI, RPT²⁾, SHINICHI TANAKA, RPT³⁾, SAKIYA YAMASAKI, PhD⁴⁾

¹⁾ Department of Physical Therapy, Faculty of Health Care Science, Himeji Dokkyo University: 7-2-1 Kamiohno, Himeji-City, Hyogo 670-8524, Japan. TEL +81 79-223-2211

²⁾ Department of Physical Therapy, Technical School of Medical and Welfare Ryokuseikan

³⁾ Department of Physical Therapy, College of Kokura Rehabilitation

⁴⁾ Faculty of Social Welfare and Human Services, Daiichi Welfare University

Rigakuryoho Kagaku 21(4): 363-367, 2006. Submitted Apr. 17, 2006. Accepted Jul. 20, 2006.

ABSTRACT: Here, we report on foot-gripping force meter developed by the authors and the measurement data from the apparatus. The apparatus uses a strain-gauge to measure the time taken for the foot-gripping force to rise from a minimum of 0.1 kg to the maximum. Data was obtained for 32 legs of 16 healthy adult men (mean age 22.3 ± 5.5 years). The average foot-gripping force was 17.4 ± 4.5 kg and the average time taken to reach the maximum was 0.66 ± 0.26 seconds. With regard to measurement reproduction, foot-gripping force had an ICC=0.953, and the time taken to reach the maximum was ICC=0.723, suggesting that they have adequate reproducibility for application in the clinical setting.

Key words: strain-gage, foot-gripping force, measurement apparatus

要旨: 本研究は、筆者らが開発した足把持力測定器とその測定器から得られる計測データについて紹介した。本測定器は、ひずみゲージを用いることによって、最小0.1 kgからの足把持力と足把持力の最大値到達時間が計測できる。計測データの紹介は、健康成人男性16名（平均年齢 22.3 ± 5.5 歳）の左右32肢を対象に行った。対象者の足把持力は平均 17.4 ± 4.5 kgであり、最大値到達時間は 0.66 ± 0.26 秒であった。また、測定値の再現性は、足把持力がICC = 0.953、最大値到達時間がICC = 0.723であり、臨床場面での使用に十分に耐え得る再現性を有することが示唆された。

キーワード: ひずみゲージ、足把持力、測定器

¹⁾ 姫路獨協大学 医療保健学部理学療法学科：兵庫県姫路市上大野7-2-1（〒670-8524）TEL 079-223-2211

²⁾ 医療福祉専門学校緑生館 理学療法学科 ³⁾ 小倉リハビリテーション学院 理学療法学科

⁴⁾ 第一福祉大学 人間社会福祉学部

受付日 2006年4月17日 受理日 2006年7月20日

I. 緒 言

足趾・足底機能は、高齢者の転倒との関連性からその重要性が報告¹⁻⁹⁾され、なかでも足趾筋力に関する報告⁴⁻⁹⁾が散見されるようになった。筆者ら¹⁰⁾も既製のデジタル握力計を用いて足把持力測定器を考案し、その測定値に再現性と妥当性があることを2002年に報告した。しかしながら、我々が作成した測定器にはいくつかの問題点が指摘された。それは、筋力発揮が非常に小さな場合、デジタル測定が測定器の特性上困難であったこと、直径4 mmのステンレス製の足趾把持バーでは径が小さく、測定し難い被験者がいたことなどである。

そこで今回、株式会社ヤガミの協力を得て、上記問題点を解決するとともに、足把持力の最大値到達時間についても計測できる測定器を作成した。

II. 作成した測定器

測定にはヤガミ社製のひずみゲージを用いた。ひずみゲージとは金属のひずみ量、応力（単位面積あたりにかかる力）を測定するのに用いられるセンサーである。その利点は応答周波数が高く精密な値が抽出できること、出力が電気量のためデータ処理が容易であることなどがあげられる。

本測定器は、ひずみゲージを木製の基礎板（65 cm×25 cm）に固定し（可動式継手により30度可動）、直径5 mmのステンレス製鋼線をひずみゲージの力点になる部分に取り付けて、足趾把持バーとした。また、足趾で把持したときの疼痛発生予防のために、足趾がかかる部分の鋼

線を塩化ビニール樹脂でコーティングした。足部は下腿前面を木製バーで固定し、後面は膝や足関節の代償運動が生じないように、測定器から踵部を離さないこととした。なお、基礎板の踵部を乗せる部分にセンサーを取り付け、踵部が測定器から離れるとブザーが鳴るようにした。また、被験者の足長を考慮し、足部調節ダイヤルを回転させることにより、約20 cmから29 cmまでの足長に対して測定できるようにした。さらに、測定値の再現性を高める目的で、足部調節目盛りを取り付けた（図1）。

ひずみゲージからの信号は、増幅装置とアナログ／デジタル変換器を内蔵した専用ボックスに接続され、デジタルデータとしてパーソナルコンピュータに記録・保存されるようにした（図2）。なお、データはサンプリング周波数10 Hzと100 Hzに切り替えが可能であり、測定範囲は0～99.9 kg、最小単位は0.1 kgである。

III. 計測データの紹介

1. 対象

下肢に病的機能障害が認められなかったK医療系専門学校に在学中の男子学生16名（平均年齢 22.3 ± 5.5 歳、平均身長 170.4 ± 5.3 cm、平均体重 62.1 ± 8.4 kg）の左右32肢を対象とした。なお、これら被験者には、研究の目的と方法および被験者にならなくても不利益にならないことを十分に説明し、同意を得た上で研究を開始した。

2. 測定方法

被験者の測定姿勢は端座位で、膝関節を90度屈曲した状態で測定した。測定に際して、予め母趾と第5趾の末節

図1 作成した足把持力測定器

骨、第2趾から第5趾の中節骨が足趾把持バーにかかるように、足部調節ダイヤルで調節し、把持バーを足趾でしっかりと把持できることを確認した。測定は、測定方法を十分に習得させた後、左右を2回ずつ測定したが、疲労を考慮して、1回目と2回目の測定の間に2分から3分間の休息をとった（図2）。

今回の分析に用いた測定値は、足把持力の最大値と最大値到達時間であるが、図3に示すようにデータを抽出した。

増幅装置、アナログ／デジタル変換器

図2 測定風景

被験者は端座位をとり、拇趾と第5趾の末節骨、第2趾から第5趾の中節骨が足趾把持カバーにかかるように調節した後、把持バーをしっかりと足趾で把持して、足把持を測定する。

3. 統計処理

足把持力の最大値と最大値到達時間の再現性については、対応のある t 検定および検者内の級内相関係数（Intraclass correlation coefficient, 以下ICC）によって検討した。また、左右の比較には対応のある t 検定を用いた。

IV. 結果

1. 測定値の再現性

被験者16名32肢の足把持力測定値は、1回目が平均 17.4 ± 4.8 kg（最低値11.2 kg，最高値25.5 kg），2回目が平均 17.5 ± 4.4 kg（最低値9.6 kg，25.2 kg）であり，2群間に有意差は認められなかった。また，ICCは0.953であり，高い再現性を示した（表1）。

足把持力の最大値までの到達時間は，1回目が平均 0.66 ± 0.25 秒（最低値0.2 秒，最高値1.2 秒），2回目が平均 0.65 ± 0.26 秒（最低値0.3 秒，1.5 秒）であり，2群間に有意差は認められなかった。また，ICCは0.723であった（表1）。

2. 測定値の左右差

測定値を左右で比較すると，足把持力は右が平均 17.4 ± 4.3 kg，左が平均 17.5 ± 4.8 kgであり，有意差は認められなかった。足把持力の最大値到達時間についても，右が平均 0.65 ± 0.23 秒，左が平均 0.66 ± 0.28 秒であり，有意差は認められなかった（表2）。

V. 考 察

二足歩行を行う「ヒト」にとって，足底が唯一の接地

図3 計測データ

- (a) : 足把持力値
(b) : 足把持力最大値到達時間

表1 測定値の再現性

	1 回目	2 回目	<i>p</i> 値	ICC
足把持力 (kg)	17.4 ± 4.8	17.5 ± 4.3	0.75	0.953
最大値到達時間 (秒)	0.66 ± 0.25	0.65 ± 0.26	0.85	0.723

平均±標準偏差, ICC = Intraclass correlation coefficient

表2 測定値の左右差

	右	左	<i>p</i> 値
足把持力 (kg)	17.4 ± 4.3	17.5 ± 4.8	0.97
最大値到達時間 (秒)	0.65 ± 0.23	0.66 ± 0.28	0.92

平均±標準偏差

面であることを考えると、足趾・足底が立位活動に果たす役割は非常に大きい。高齢社会を迎えた我が国にとって、転倒予防の観点から足趾及び足底機能の役割が注目され、立位姿勢保持や転倒との関連性が報告¹⁻⁹⁾されている。しかし、足趾・足底機能について、定量的な評価である足把持力を日常の臨床現場で簡便に測定できる機器は見当たらない。

本研究では、ひずみゲージを用いて足把持力を定量的に評価できる測定器を作成した。本測定器では、旧測定器の問題点であった足趾把持バーについては、バーを塩化ビニール樹脂でコーティングすることによって改善され、弱化した (5 kg未満) 足把持力の測定については、ひずみゲージを使用することによって、最小0.1 kgからの計測が正確に行えるようになった。

今回紹介した計測データは、健康な成人男性を対象としたものであるが、旧測定器から得られた成人男性55名の足把持力平均値 12.7±3.6 kg¹⁰⁾と比較すると高い値を示した。これは、足趾把持バーの改善によって、足趾の痛みを引き起こさず、最大筋力を発揮できたためと推察した。

足把持力の最大値到達時間については先行研究がなく、今回の結果を比較検討することはできない。最大値到達時間についての詳細な検討は、今後の課題としたいが、本研究での最大値到達時間の平均値は0.66秒、最も時間を要した被験者でも1.5秒であり、短時間のうちに足把持力の最大筋力を発揮できていた。このことから、本測定器は足把持力を容易に測定できる機器であることが伺えた。

本測定器の再現性を検討したところ、16名32肢における2回の足把持力測定値は、ICCが0.953であり、ICCによ

る再現性の解釈 (0.7以上が普通, 0.8以上が良好, 0.9以上が優秀)^{11,12)}に基づく、足把持力測定値の再現性は「優秀」であった。最大値到達時間の再現性についてはICCが0.723であり、「普通」の判定であった。これらのことから、最大値到達時間の再現性は、足把持力の再現性と比較すると高くはないが、本測定器から得られる測定値は、臨床場面で十分に使用できる再現性を有していると考えられた。

測定値の左右差については、足把持力ならびに最大値到達時間ともに有意差は認められなかった。松尾ら¹³⁾は、健康成人25名の下肢周径、下肢筋力、片足立ち保持時間を測定し、それらの左右差を検討しているが、すべての測定値に有意差がなかったと報告している。今回の結果も、健康成人の下肢機能に左右差が認められないとする先行研究を追認した。

これらの知見から、今回作成した測定器によって、足部の機能評価を客観的かつ容易に測定できることが確認された。ただし、今回の結果は健康成人男性のみを対象としたものであり、女性や高齢者、および疾患を有する者についての検討はできていない。また、本研究は、測定値の再現性を検者内相関を検討することによって行われたが、検者間での検討も必要である。さらには、測定値の妥当性の検討も必要である。例えば、足把持力以外の下肢筋力や握力、あるいは立位での活動能力などとの比較検討が重要であろう。よって、これらの事項が本研究の限界であり、今後の課題である。また、足把持力の最大値到達時間については、それを測定する臨床的意義についての検討が今後必要である。

本研究は、平成17年度科学研究費補助金 (萌芽研究) (17659720) を受けて行われた。

引用文献

- 1) 浅井 仁, 奈良 勲, 立野勝彦・他: 立位姿勢保持における足指の作用に関する研究. PTジャーナル, 1989, **23**(2): 137-141.
- 2) Helfand AE: Foot impairment-an etiologic factor in falls in the aged. J of American Podiatry Association, 1966, **56**(7): 326-330.
- 3) Koski K, Luukinen H, Laippala P, et al.: Physiological factors and medications as predictors of injurious falls by elderly people; a prospective population-based study. Age Ageing, 1996, **25**(1): 29-38.
- 4) 井原秀俊: 関節トレーニング改訂第2版, 神経運動器協調訓練. 共同医書, 東京, 1996, pp91-92.
- 5) 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**(7): 313-319.
- 6) 加辺憲人, 黒澤和生, 西田祐介・他: 足趾が動的姿勢制御に果たす役割に関する研究. 理学療法科学, 2002, **17**(3): 199-204.
- 7) 村田 伸, 忽那龍雄: 在宅障害高齢者の足把持能力と転倒との関連性. 国立大学理学療法士学会誌, 2003, **24**: 8-13.
- 8) 村田 伸, 忽那龍雄: 在宅障害高齢者に対する転倒予防対策—W足把持力トレーニング. 日本在宅ケア学会誌, 2004, **7**(2): 67-74.
- 9) 村田 伸, 津田 彰, 稲谷ふみ枝・他: 在宅障害高齢者の転倒に影響を及ぼす身体及び認知的要因. 理学療法学, 2005, **32**(2): 88-95.
- 10) 村田 伸, 忽那龍雄: 足把持力測定の試み—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**(4): 243-247.
- 11) 桑原洋一, 斉藤俊弘, 稲垣義明: 検者内および検者間のReliability (再現性, 信頼性) の検討. 呼と循, 1993, **41**(10): 945-952.
- 12) 谷 浩明: 評価の信頼性. 理学療法科学, 1997, **12**(3): 113-120.
- 13) 松尾奈々, 村田 伸: 利き足の自己認識と簡易決定法の検討. 理学療法学, 2005, **32**(2): 552.