

地域在住高齢者における 椅子立ち上がり動作時の地面反力評価の有用性 —フィールドテストとしての提案—

辻 大士

体育学専攻

指導教員 鍋倉 賢治 大藏 倫博

**Validation of ground reaction force in sit-to-stand for assessing lower-extremity function
in community-dwelling older adults
Taishi TSUJI**

The purpose of this study was to examine the relations among the ground reaction force (GRF) parameters in a sit-to-stand (STS) movement and 1) isokinetic strength and power at knee and ankle in older adults, or 2) physical functioning, a history of falls, a fear of falling and a mobility limitation, and 3) to investigate whether the level of GRF parameters can predict incident falls or mobility limitation. Furthermore, we compared the strength of these associations with the 5-time STS test. Forty-seven, 363 and 77 subjects were recruited for the criterion validity study, the cross-sectional study and the longitudinal study, respectively. After adjusting for age and sex, significant partial correlations were found among all power parameters and rate of force development (RFD) (partial $r = 0.34\sim 0.47$). No isokinetic parameters were significantly related to the 5-time STS test scores. RFD was correlated with the timed up and go test, the standing time from a long sitting position and the 4-way choice reaction time (partial $r = -0.37\sim -0.52$). The levels of GRF parameters were poorer in subjects reporting any falls, a fear of falling or having a mobility limitation than those reporting no fall, no fear of falling or having no mobility limitation. In addition, each of these degrees of the relations was similar or stronger than those of the 5-time STS test. The lower RFD score could be a predictor of incident mobility limitation 1 year later (odds ratio = 2.07, $P < 0.05$). These results suggested that the GRF parameters in a STS movement might be able to be the beneficial measurement variables to assess the lower-limb muscle function compared with the 5-time STS test.

【緒言】

加齢に伴う下肢筋力、筋パワーの低下は、身体機能の低下¹⁾、転倒の発生²⁾、ひいては高い死亡率³⁾など、高齢期における重大なイベントの発生の危険性を高める。それゆえ、下肢筋力、筋パワーの評価の試みは盛んにおこなわれ、あらゆる方法が用いられてきた³⁻⁵⁾。Biodex や徒手筋力計などの装置は、機器が高価である、測定に専門性が求められるなど、フィールドで用いるには限界がある。一方、連続椅子立ち上がり動作を用いた簡便なフィールドテストはストップウォッチで計測可能であることから、さまざまな場面で頻用されるものの、下肢筋力、筋パワーを十分に反映しないことが確認されている⁶⁾。これらの限界に対する解決策として近年、椅子立ち上がり動作時の地面反力評価の有用性が検討されている。これは、椅子に座った状態から最大努力による立ち上がり動作をおこなわせた際に得られる地面反力変数に基づき評価をおこなう方法である。この測定法の利点として、椅子からの立ち上がり動作を1

回でも遂行できれば評価が可能であること⁶⁾、関節の動きを伴う日常生活動作遂行中の筋力発揮を評価できること⁷⁾、測定機器の運搬が比較的容易であることに加え、力単位 (kgf) により短時間で測定できることなどが挙げられる。

地面反力変数は、等尺性膝伸展筋力との基準関連妥当性が確認されている⁶⁾。しかしながら、関節の動きを伴う等速性筋力、筋パワーや、膝関節伸展以外の下肢筋力、筋パワーとの関連を検討した報告は見当たらない。また、下肢筋力、筋パワーと関連するとされる身体機能、転倒経験などとの関連についての報告も散見される程度である⁸⁾。さらに地面反力評価の妥当性を検討した先行研究に共通する限界として、いずれも対象者数が少数であること、従来のフィールドテストとの比較検討がなされていないこと、横断研究であることが挙げられる。そこで、本研究ではこれらの限界の解決を目指し、以下の4つの検討課題を設定し総合的な検討をおこなうことで、地面反力変数により下肢筋機能を評価することの妥当性を明

らかにすることを目的とした。

- 1) 地面反力変数の再現性を確認する。
- 2) 下肢筋力、筋パワーとの基準関連妥当性を明らかにする。
- 3) 身体機能、転倒経験、転倒不安、起居移動動作遂行能力との横断的関連性を検討する。
- 4) 転倒発生、起居移動動作遂行能力の低下に対する縦断的予測妥当性を検討する。

さらに、これらをフィールドテストとして頻用される5回椅子立ち上がり時間との関連性の強さと比較した。

【方法】

・対象者

検討課題3（横断的関連性）の対象者は、茨城県笠間市の住民基本台帳から系統的に抽出した計2100名のうち、調査に参加し地面反力測定をおこなった363名（73.4±5.3歳）とした。その内、14名（73.4±3.3歳）を検討課題1（再現性）の対象者として、後日、再度測定をおこなった。さらに、2年連続で調査に参加し地面反力測定をおこなった77名を、検討課題4（縦断的予測妥当性）の対象者とした。検討課題2（下肢筋力、筋パワーとの基準関連妥当性）は、大学内にて開催された運動教室の参加者を対象とした。教室前の測定に参加した47名（69.1±2.9歳）を、下肢筋力、筋パワーとの横断的関連性の検討をおこなう対象者とし、さらに教室後の測定を完了した43名（69.1±3.0歳）を変化量間の関連性の検討をおこなう対象者とした。

・測定項目

辻ら⁹⁾と同様の方法を用い、最大努力による立ち上がり動作をおこなわせた際の地面反力波形に基づき、5つの地面反力変数を得た（図1）。

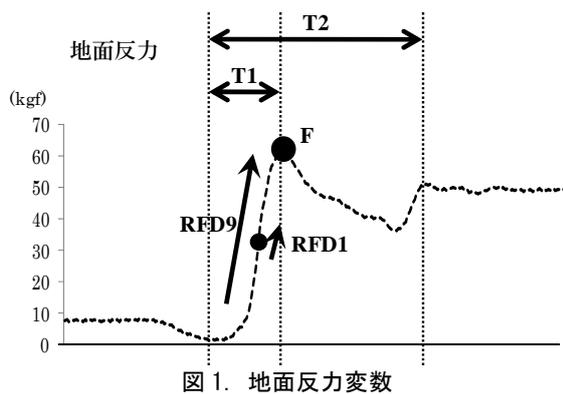


図1. 地面反力変数

- 1) F/w: peak force per body weight.
地面反力の最大値を体重で除した値である。単位は kgf・kg⁻¹ とした。
- 2) RFD1/w: maximal rate of force development (Δ10 ms) per body weight.
地面反力が最大増加を示した10msの増加量を1.0sに換算して体重で除した値である。単位は

kgf/s・kg⁻¹ とした。

- 3) RFD9/w: maximal rate of force development (Δ90 ms) per body weight.
地面反力が最大増加を示した10msの前後40msを含めた計90msの増加量を1.0sに換算して体重で除した値である。単位は kgf/s・kg⁻¹ とした。
- 4) T1: a time during developing force.
地面反力が最小値を示してから最大値に至るまでの所要時間である。単位は ms とした。
- 5) T2: chair-rise time.
地面反力が最小値を示してから動作終了までの所要時間である。単位は ms とした。

Biodex System 3による膝関節、足関節周囲の筋力、筋パワー評価項目は、表2に結果と共に示した。身体機能の評価を目的としたパフォーマンステストおよび質問紙調査項目は、表3に結果と共に示した。過去1年間の転倒経験および転倒不安の有無を調査した。起居移動動作遂行能力の調査は、階段昇段、椅子立ち上がり、15分間の歩行の3動作について、1動作以上で「少しむずかしい」あるいは「全くできない」とした場合に、「制限あり」とカテゴリ化した。

【結果】

課題1. 地面反力変数の再現性

表1に示す通り、RFD1/wを除く全ての地面反力変数において、良好と判定される0.70を上回る級内相関係数¹⁰⁾が得られた。

表1. 地面反力変数の級内相関係数

		第1試行		第2試行		ICC	試行間の差	
		Mean	SD	Mean	SD		F	P-value
F/w	(kgf・kg ⁻¹)	1.35 ± 0.09		1.36 ± 0.10		0.913	0.52	0.48
RFD1/w	(kgf/s・kg ⁻¹)	14.73 ± 2.65		15.98 ± 2.60		0.505	3.62	0.08
RFD9/w	(kgf/s・kg ⁻¹)	10.25 ± 1.41		10.19 ± 1.13		0.872	0.13	0.72
T1	(ms)	325 ± 127		324 ± 122		0.842	<0.01	0.97
T2	(ms)	836 ± 170		840 ± 147		0.819	0.02	0.90

n = 14 (試行間平均日数26.6日)

SD: standard deviation. ICC: intraclass correlation co-efficient.

F: peak reaction force. RFD1: maximal rate of force development (Δ10 ms). RFD9: maximal rate of force development (Δ90 ms). T1: a time during developing force. T2: chair-rise time. w: body weight.

課題2. 下肢筋力、筋パワーとの基準関連妥当性、年齢を調整した偏相関係数を表2に示した。

表2. 下肢筋力、筋パワーとの偏相関係数

	n	F/w	RFD1/w	RFD9/w	T1	T2	5回椅子
		(kgf・kg ⁻¹)	(kgf/s・kg ⁻¹)	(kgf/s・kg ⁻¹)	(ms)	(ms)	立ち上がり時間
		partial-r	partial-r	partial-r	partial-r	partial-r	(s)
<膝関節伸長>							
等尺性 (0 deg/s) 最大トルク (Nm/kg)	47	.25	.07	.27	.02	.19	.15
等速性 (60 deg/s) 最大トルク (Nm/kg)	47	.31 *	.17	.32 *	.04	.12	.07
等速性 (60 deg/s) 平均パワー (W/kg)	47	.34 *	.29	.47 *	.13	.25	.15
<膝関節屈曲>							
等速性 (60 deg/s) 最大トルク (Nm/kg)	47	.34 *	.14	.33 *	.04	.11	.23
等速性 (60 deg/s) 平均パワー (W/kg)	47	.33 *	.23	.45 *	.17	.22	.27
<足関節伸長>							
等速性 (60 deg/s) 最大トルク (Nm/kg)	39	.16	.25	.22	.01	.18	.00
等速性 (60 deg/s) 平均パワー (W/kg)	39	.24	.33 *	.34 *	.11	.30	.08
<足関節屈曲>							
等速性 (60 deg/s) 最大トルク (Nm/kg)	39	.30	.19	.39 *	.48 *	.49 *	.28
等速性 (60 deg/s) 平均パワー (W/kg)	39	.38 *	.25	.47 *	.46 *	.45 *	.16

* P < 0.05 (性、年齢を調整した偏相関係数)

F: peak reaction force. RFD1: maximal rate of force development (Δ10 ms). RFD9: maximal rate of force development (Δ90 ms). T1: a time during developing force. T2: chair-rise time. w: body weight.

RFD9/w, F/wにおいて相対的に強い関連が示され、特に RFD9/w と各平均パワーとの間により強い関連が確認された。一方、5回椅子立ち上がり時間と有意な関連がみとめられた項目はなかった。

教室前後の変化量間においても同様に、RFD9/w と F/w において相対的に強い関連が示され、5回椅子立ち上がり時間ではいずれの項目との間にも有意性が示されなかった（データ不掲載）。

課題3. 身体機能、転倒経験、転倒不安、起居移動動作遂行能力との横断的関連性

表3に示すとおり、ほぼ全ての身体機能評価項目との間に有意な関連性が示された。特に、Timed up and go、長座位起立時間、全身選択反応時間との間に相対的に強い関連が確認された。転倒経験の有無により RFD9/w に有意差がみとめられた。転倒不安の有無により F/w, RFD9/w, T2 に有意差がみとめられた。差の大きさの程度を表す効果量は、いずれも5回椅子立ち上がり時間の比較より大きい値を示した（データ不掲載）。図2に、5分位した各群における、起居移動動作能力制限ありの者の割合を示した。RFD9/w と F/w では、上位群から下位群へ連続的に制限ありの者の割合が増加を示したが、5回椅子立ち上がり時間ではそのような傾向は見られなかった。

表3. 身体機能評価項目との偏相関係数

	n	F/w	RFD1/w	RFD9/w	T1	T2	5回椅子立ち上がり時間
		(kgf·kg ⁻¹)	(kgf/s·kg ⁻¹)	(kgf/s·kg ⁻¹)	(ms)	(ms)	(s)
<パフォーマンステスト>							
5回椅子立ち上がり時間 (s)	363	-.43 *	-.40 *	-.45 *	.37 *	.44 *	
握力 (kg)	361	.20 *	.14 *	.19 *	-.13 *	-.14 *	-.21 *
5m通常歩行時間 (s)	363	-.26 *	-.22 *	-.26 *	.23 *	.29 *	.39 *
Timed up and go (s)	363	-.37 *	-.40 *	-.46 *	.41 *	.49 *	.41 *
長座位起立時間 (s)	361	-.38 *	-.39 *	-.43 *	.38 *	.51 *	.33 *
長座位前傾 (cm)	361	.19 *	.18 *	.21 *	-.12 *	-.15 *	-.24 *
Functional reach (cm)	363	.18 *	.18 *	.21 *	-.18 *	-.21 *	-.13 *
開眼片足立ち時間 (s)	362	.18 *	.31 *	.29 *	-.18 *	-.23 *	-.11 *
全身単純反応時間 (ms)	360	-.23 *	-.28 *	-.30 *	.33 *	.39 *	.34 *
全身選択反応時間 (ms)	362	-.32 *	-.39 *	-.42 *	.53 *	.48 *	.43 *
48本ペダ移動時間 (s)	363	-.28 *	-.31 *	-.37 *	.43 *	.42 *	.31 *
<質問紙調査>							
SF-36 Physical function	171	.20 *	.14	.26 *	-.10	-.22 *	-.24 *

* P < 0.05 (性、年齢を調整した偏相関係数) ■ |partial-r| ≥ 0.4 □ |partial-r| ≥ 0.3 ▨ |partial-r| ≥ 0.2 (P < 0.05)
 F: peak reaction force, RFD1: maximal rate of force development (△10 ms), RFD9: maximal rate of force development (△90 ms), T1: a time during developing force, T2: chair rise time, w: body weight.

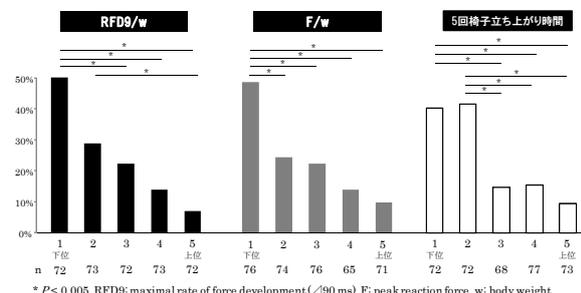


図2. 5分位した各群における起居移動動作能力制限ありの者の割合

課題4. 転倒発生、起居移動動作遂行能力の低下に対する縦断的予測妥当性

表4に、1年間の追跡期間中における転倒発生、起居移動動作能力制限の新規発生に対するロジ

スティック回帰分析の結果を示した。転倒発生に対しては、いずれの項目も有意性が示されなかった。起居移動動作能力制限の新規発生に対しては、RFD9/w, T1, T2 および5回椅子立ち上がり時間において有意性が示された。

表4. 転倒発生、起居移動動作制限の新規発生に対するロジスティック回帰分析

		OR	95% CI	P-value
<転倒発生[†]>				
75人中15人が転倒発生				
F/w	-0.1 (kgf·kg ⁻¹)	0.49	0.23 - 1.07	ns
RFD1/w	-1 (kgf/s·kg ⁻¹)	0.88	0.74 - 1.05	ns
RFD9/w	-1 (kgf/s·kg ⁻¹)	0.78	0.53 - 1.16	ns
T1	10 (ms)	0.97	0.91 - 1.04	ns
T2	10 (ms)	0.99	0.95 - 1.03	ns
5回椅子立ち上がり時間	1 (s)	1.05	0.78 - 1.39	ns
<起居移動動作能力制限の新規発生[‡]>				
61人中7人が新規発生				
F/w	-0.1 (kgf·kg ⁻¹)	2.87	0.88 - 9.35	ns
RFD1/w	-1 (kgf/s·kg ⁻¹)	1.34	0.97 - 1.87	ns
RFD9/w	-1 (kgf/s·kg ⁻¹)	2.07	1.10 - 3.89	0.02
T1	10 (ms)	1.14	1.03 - 1.25	0.01
T2	10 (ms)	1.10	1.03 - 1.18	0.01
5回椅子立ち上がり時間	1 (s)	1.63	1.05 - 2.53	0.03

* 性、年齢、ベースラインにおける過去1年間の転倒経験、ベースラインにおける転倒不安を調整。
 † 性、年齢を調整。
 OR: odds ratio, CI: confidence interval.
 F: peak reaction force, RFD1: maximal rate of force development (△10 ms), RFD9: maximal rate of force development (△90 ms), T1: a time during developing force, T2: chair rise time, w: body weight.

【考察】

1) 下肢筋力、筋パワーとの基準関連妥当性

RFD9/w, F/w といった、力単位で評価される地面反力変数が相対的に強い関連を示した。特に、RFD9/w が筋パワーをより強く反映する可能性が示唆された。以前より、等尺性膝伸展時のRFDは「素早い筋力発揮のための能力」の評価を目的とする¹¹⁾ことから、妥当な結果であったと考えられる。一方、5回椅子立ち上がり時間においては有意な関連性が示されなかった。連続椅子立ち上がりテストは、筋力以外に全身持久性体力、バランス能力や心理的要因などの影響を受けることが報告されている^{4,5)}。本研究においても、これらの要因により筋力との関連が弱められたものと推察される。

2) 身体機能、転倒経験、転倒不安、起居移動動作遂行能力との横断的関連性

下肢のダイナミックな動作が求められ、下肢筋力との関連性が報告されている、歩行能力や反応性などの身体機能^{12,13)}と、RFD9/w, T2 との間に相対的に強い関連性が確認された。また、転倒経験¹⁴⁾、転倒不安¹⁵⁾、起居移動動作遂行能力¹⁾においても同様に、下肢筋力との関連性が既に報告されており、それらを支持する結果が得られた。

3) 転倒発生、起居移動動作遂行能力低下に対する縦断的予測妥当性

転倒発生の予測に対して、地面反力変数および5回椅子立ち上がり時間のいずれも有意性が示されなかった。筋力と転倒発生の予測についてのシステマティックレビュー²⁾では、300人超の比較

的規模の大きな調査で確かな有意性が示されること、複数回転倒に対してより強固な予測妥当性が報告されていることから、今後はこれらを考慮に入れた再検討が必要である。一方、起居移動動作能力制限の新規発生に対しては有意性が示され、先行研究¹⁾を支持する結果が得られた。

【結論】

- 1) 地面反力変数の良好な再現性が確認された。
- 2) F/w, RFD9/w において下肢筋力、筋パワーとの関連性が確認され、特に RFD9/w が筋パワーの評価に有用である可能性が示唆された。一方、5回椅子立ち上がり時間は下肢筋力、筋パワーの評価に有用でないことが示唆された。
- 3) RFD9/w および T2 と、下肢のダイナミックな動作が求められる身体機能、転倒経験、転倒不安、起居移動動作遂行能力との間に、5回椅子立ち上がり時間における関連と同程度かそれ以上の関連の強さが確認された。
- 4) RFD9/w, T1, T2 が、1年後における起居移動動作遂行能力の低下の予測に有用である可能性が示唆された。

今後は、より重篤なイベントである要介護状態への移行に対する予測妥当性を検討するとともに、有用性が高いと判断された地面反力変数の評価が可能な廉価普及型機器の開発に取り組む。

【参考文献】

- 1) Visser M, Goodpaster BH, Kritchevsky SB, Newman AB, Nevitt M, Rubin SM, Simonsick EM, Harris TB (2005) Muscle mass, muscle strength, and muscle fat infiltration as predictors of incident mobility limitations in well-functioning older persons. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 60:324-333.
- 2) Moreland JD, Richardson JA, Goldsmith CH, Clase CM (2004) Muscle weakness and falls in older adults: a systematic review and meta-analysis. *J Am Geriatr Soc* 52:1121-1129.
- 3) Newman AB, Kupelian V, Visser M, Simonsick EM, Goodpaster BH, Kritchevsky SB, Tyllavsky FA, Rubin SM, Harris TB (2006) Strength, but not muscle mass, is associated with mortality in the health, aging and body composition study cohort. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 61:72-77.
- 4) Lord SR, Murray SM, Chapman K, Munro B, Tiedemann A (2002) Sit-to-stand performance depends on sensation, speed, balance, and psychological status in

addition to strength in older people. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 57:M539-M543.

- 5) Netz Y, Ayalon M, Dunsky A, Alexander N (2004) 'The multiple-sit-to-stand' field test for older adults: what does it measure? *Gerontology* 50:121-126.
- 6) 中谷敏昭・上英俊 (2004) 椅子からの立ち上がり動作を利用した下肢筋力評価法. *体力科学* 53:2004
- 7) Lindemann U, Claus H, Stuber M, Augat P, Mucche R, Nikolaus T, Becker C (2003) Measuring power during the sit-to-stand transfer. *Eur J Appl Physiol* 89:466-470.
- 8) 山田孝禎・出村慎一・横谷智久 (2008) 女性高齢者における1回と反復立ち上がり動作時の床反力相互および床反力と体力テストとの関係. *J Educ Health Sci* 53:350-356.
- 9) 辻大士・大藏倫博・田中喜代次 (in press) 中年・高齢期女性の椅子立ち上がり動作時の地面反力と年齢との関連. *日本運動生理学雑誌*.
- 10) Currier DP (1990): *Elements of Research in Physical Therapy* (3rd ed.), Baltimore, MD: Williams & Wilkinspp. 150-171.
- 11) Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P (2002) Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol* 93:1318-1326.
- 12) Samson MM, Meeuwse IB, Crowe A, Dessens JA, Duursma SA, Verhaar HJ (2000) Relationships between physical performance measures, age, height and body weight in healthy adults. *Age Ageing* 29:235-242.
- 13) Lord SR and Fitzpatrick RC (2001) Choice stepping reaction time: a composite measure of falls risk in older people. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 56:M627-M632.
- 14) Daubney ME and Culham EG (1999) Lower-extremity muscle force and balance performance in adults aged 65 years and older. *Phys Ther* 79:1177-1185.
- 15) Brouwer B, Musselman K, Culham E (2004) Physical function and health status among seniors with and without a fear of falling. *Gerontology* 50:135-141.