

# 地域在住高齢者における 椅子立ち上がり動作時の加速度評価の有用性 — 3軸加速度計を用いた検討 —

立岡 光臨

体育学専攻  
指導教員 大藏 倫博

**Validation of acceleration in sit-to-stand for assessing lower-limb function in community-dwelling older adults utilizing 3-axis accelerometer  
Korin TATEOKA**

The vertical acceleration (Vacc) parameters in a sit-to-stand movement (STS) are useful for measuring lower-limb function in older adults. The purpose of this study was to examine which Vacc parameters would be more strongly associated with a person's lower-limb function, history of falls, fear of falling and mobility limitations. Participants (214 females, 185 males; age 65-90 years old) performed the STS with a 3-axis accelerometer attached to the lower back first and then holding in their hand. Two parameters were measured: maximal acceleration, maximal jerk. Objective measures such as vertical ground reaction force, timed up and go test (TUG), five-time sit-to-stand test, 5-m habitual walk, one-leg balance with eyes open were used to assess lower-limb function. Although maximal acceleration showed strong reliability (ICC=0.81~0.83), maximal jerk did not. Lower back maximal acceleration was relatively higher correlated with RFD8.75/w ( $r=0.75$ ), TUG and 5-time sit-to-stand ( $r=-0.45 \sim -0.54$ ). Lower back maximal acceleration was small in subjects reporting falls, a fear of falling or a mobility limitation compared with those reporting not so. The results showed that lower back maximal acceleration can be a reliable and valid parameter for the quantification of the lower-limb function in older adults.

## 【緒言】

高齢者における下肢筋力の低下は、転倒の発生<sup>1)</sup>、生活自立度の低下<sup>2)</sup>、さらには高い死亡率<sup>3)</sup>といった高齢期における重大なイベント発生の独立した予測因子として知られている。それゆえ、高齢者の下肢筋力を評価する試みは盛んにおこなわれ、様々な方法が検討されてきた<sup>4)~6)</sup>。徒手筋力計や地面反力計は、動作遂行中の筋力発揮を客観的に評価できるといった利点があるものの、機器が高価であり、測定に専門性が求められるなどの限界点が存在する<sup>7)</sup>。一方、専門的な機器を必要とせずフィールドテストとして頻用される椅子立ち上がりテストは、測定が簡便であるものの、連続した立ち座り動作は、高齢者にとって負担が大きく<sup>8)</sup>、筋力を時間で評価することに限界があり、下肢筋力を十分に反映していないとの報告がある<sup>9)</sup>。これらに対して近年、椅子立ち上がり動作時の加速度評価を用いた検討が進められている<sup>9) 10)</sup>。これは加速度計を被験者に装着し、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った際に得られる加速度変数に基づき評価をおこなう方法である。この測定の利点は、椅子から立ち上がることでさえできれば測定が可能

であること<sup>11)</sup>、日常生活動作遂行中の筋力発揮を客観的に評価できること<sup>12)</sup>、機器が安価であり、運搬が容易であることなどが挙げられる<sup>13)</sup>。以上のことを踏まえると、この椅子立ち上がり動作時の加速度評価は、従来法の利点を併せ持っており、フィールドテストとして有用である可能性がある。実際、高齢者を対象に椅子立ち上がり動作時の加速度と地面反力との関連が検討され、良好な信頼性 (ICC=0.88) と妥当性 ( $r=0.7 \sim 0.9$ ) が確認されている<sup>10)</sup>。しかし、先行研究の多くは実験室ベースでの検証にとどまっており、対象者の数が少数である。また、単一のパフォーマンステストとの比較にとどまっており、従来のフィールドテストとの比較検討はなされていない。さらに、下肢機能と関連のある日常生活における負のイベント発生 (転倒、起居移動動作能力制限) との関連についての報告もほとんど見当たらない<sup>14)</sup>。そこで、本研究ではこれらの限界の解決を目指し、以下の2つの検討課題を設定し、総合的な検討をおこなうことで、評価の有用性が高い変数を明らかにすることを目的とした。

1) 信頼性の検討および椅子立ち上がり動作時の加速度と下肢機能との関連

2) 椅子立ち上がり動作時の加速度と転倒不安、転倒経験、起居移動動作能力との関連

【方法】

1. 対象者

本研究の対象者は、茨城県笠間市の住民基本台帳から無作為抽出した地域在住高齢者を対象に開催した健診事業に参加した高齢者 429 名のうち、本研究で必要とする測定に協力した 399 名 (75.1±5.1 歳) を最終分析対象者とした。

2. 評価項目 (課題 1, 2)

1) 椅子立ち上がり動作時の加速度

・装着箇所および測定姿勢

加速度計は 2 か所に設置した。1 つは腰に装着し、もう一か所は胸の前で腕を交差して肩に接するように置き、手に把持した状態とした。それぞれを「腰の加速度」、「肩の加速度」と定義した (図 1)。測定時の座位姿勢は、まず、地面反力計の上に両足を置き、両腕を胸の前で組み、足関節および股関節を直角に保持した状態とした。立位姿勢は、股関節、膝関節が完全伸展位となる姿勢とした (図 1)。

・測定手順

被検者は、地面反力計の上に両足を置き、座位姿勢を保持した状態から、測定者の合図のあと素早く立ち上がり、直立姿勢を 2 秒ほど保持した後、ゆっくり座る。これを 1 試行とし、全部で 3 試行おこなった。1 試行目は練習課題とし、2, 3 試行目における最大値を採用した。

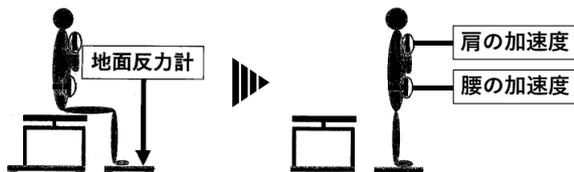


図 1 装着部位および測定姿勢

・加速度変数

加速度変数は、先行研究<sup>10)</sup>を参考に最大努力による立ち上がり動作をおこなわせた際の加速度波形に基づき、2 つの加速度変数を得た。(図 2)

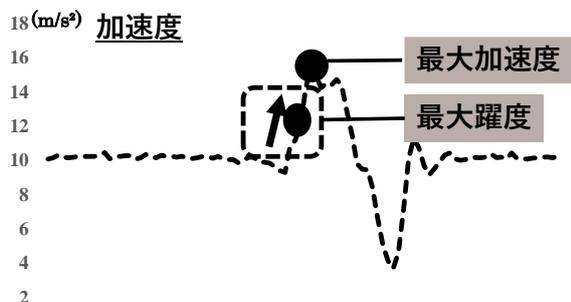


図 2 加速度波形

①最大加速度 (maximal acceleration)

立ち上がりフェーズ中の加速度の最大値である。単位は、 $m/s^2$  とした。

②最大躍度 (maximal jerk)

立ち上がりフェーズ中の加速度の最大増加率である。単位は、 $m/s^3$  とした。

2) 下肢機能 (課題 1, 2)

下肢機能の評価を目的としたフィールドテストとしては、地面反力係数 (RFD1.25/w, RFD8.75/w, F/w), 5 回椅子立ち上がり時間, Timed up and go test, 5m 通常歩行時間, 開眼片足立ち時間を測定した。質問紙調査項目は、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。起居移動動作能力の調査は、階段昇降, 椅子立ち上がり, 15 分間歩行の 3 動作について、「はい」、「いいえ」の 2 件法を用いて調査し、1 動作以上で「いいえ」に該当した場合、「制限あり」とカテゴリ化した。

3. 統計解析

信頼性の検討には、級内相関係数 (Intraclass correlation coefficient: ICC) を算出した (課題 1)。加速度と地面反力およびその他下肢機能との関連性の検討には、Pearson の積率相関係数を算出した (課題 1)。加速度と転倒, 起居移動動作能力との関連には、対応のない t 検定および共分散分析をおこなった (課題 2)。また、加速度変数を男女別に 4 分位し、それらを統合した 4 群を設定し、各群における起居移動動作能力制限ありの者の割合について Jonckheere-Terpstra 検定より傾向性の検定をおこなった。各群間の比較には、 $\chi^2$  検定を用い、多重比較検定は Bonferroni 法を用いて検定をおこなった (課題 2)。本研究における統計有意水準は 5%未満とした。

【結果】

課題 1: 加速度変数の再現性

表 1 に示すとおり、男女ともに最大加速度において、良好と判定される 0.70 を上回る級内相関係数<sup>15)</sup>が得られた。

表 1. 加速度変数の級内相関係数

		1試行目		2試行目		ICC	F値	P-value
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差			
<Men>								
腰	最大加速度 (m/s <sup>2</sup> )	16.57 ± 2.11	16.58 ± 2.08	.81	0.001	n.s.		
	最大躍度 (m/s <sup>3</sup> )	3.39 ± 2.26	3.33 ± 1.74	.49	0.12	n.s.		
肩	最大加速度 (m/s <sup>2</sup> )	17.60 ± 2.74	17.76 ± 1.74	.70	0.99	n.s.		
	最大躍度 (m/s <sup>3</sup> )	3.21 ± 1.75	3.36 ± 1.74	.68	2.70	n.s.		
<Women>								
腰	最大加速度 (m/s <sup>2</sup> )	15.32 ± 1.64	15.35 ± 2.04	.83	0.20	n.s.		
	最大躍度 (m/s <sup>3</sup> )	2.63 ± 1.18	2.67 ± 1.36	.58	0.18	n.s.		
肩	最大加速度 (m/s <sup>2</sup> )	16.62 ± 2.34	16.63 ± 2.52	.75	0.01	n.s.		
	最大躍度 (m/s <sup>3</sup> )	3.03 ± 1.84	2.98 ± 1.92	.67	0.17	n.s.		

課題 1: 加速度と地面反力との関連

加速度と地面反力係数における Pearson の積率相関係数を表 2 に示した。男女ともにすべての

項目において有意な相関関係が認められた。中でも、F/w, RFD8.75 との間に  $|r| = 0.70$  を上回る強い関連を示した。

表 2. 地面反力係数との pearson の積率相関係数

	腰		肩	
	最大加速度 (m/s <sup>2</sup> )	最大躍度 (m/s <sup>2</sup> )	最大加速度 (m/s <sup>2</sup> )	最大躍度 (m/s <sup>2</sup> )
<b>&lt;男性&gt;</b>				
F/w (kgf·kg <sup>-1</sup> )	.77 *	.43 *	.72 *	.62 *
RFD1.25/w (kgf/s·kg <sup>-1</sup> )	.60 *	.42 *	.59 *	.50 *
RFD8.75/w (kgf/s·kg <sup>-1</sup> )	.80 *	.46 *	.70 *	.55 *
<b>&lt;女性&gt;</b>				
F/w (kgf·kg <sup>-1</sup> )	.73 *	.55 *	.56 *	.22 *
RFD1.25/w (kgf/s·kg <sup>-1</sup> )	.54 *	.50 *	.33 *	.18 *
RFD8.75/w (kgf/s·kg <sup>-1</sup> )	.77 *	.61 *	.47 *	.18 *

課題 1：加速度とその他下肢機能との関連

加速度と下肢機能における Pearson の積率相関係数を表 3 に示した。男女いずれにおいても、多くの項目間に有意な相関関係が認められた。中でも 5 回椅子立ち上がり時間, Timed up and go test との間に相対的に強い関連を示した。

表 3. 下肢機能との pearson の積率相関係数

	腰		肩		地面反力
	最大加速度 (m/s <sup>2</sup> )	最大躍度 (m/s <sup>2</sup> )	最大加速度 (m/s <sup>2</sup> )	最大躍度 (m/s <sup>2</sup> )	RFD8.75/w (kgf/s·kg <sup>-1</sup> )
<b>&lt;男性&gt;</b>					
5回椅子立ち上がり時間 (秒)	-.45 *	-.21 *	-.33 *	-.22 *	-.52 *
Timed up and go (秒)	-.50 *	-.17 *	-.43 *	-.28 *	-.56 *
開眼片足立ち時間 (秒)	-.34 *	.16 *	.27 *	.14 *	.43 *
5m通常歩行時間 (秒)	-.35 *	-.16 *	-.35 *	-.26 *	-.41 *
<b>&lt;女性&gt;</b>					
5回椅子立ち上がり時間 (秒)	-.45 *	-.32 *	-.22 *	.04 *	-.48 *
Timed up and go (秒)	-.54 *	-.38 *	-.30 *	-.06 *	-.48 *
開眼片足立ち時間 (秒)	-.42 *	.29 *	.28 *	.13 *	.46 *
5m通常歩行時間 (秒)	-.37 *	-.24 *	-.26 *	-.11 *	-.38 *

課題 2：加速度と転倒不安, 転倒経験, 起居移動動作能力との関連

加速度と転倒不安, 転倒経験, 起居移動動作能力との関連を表 4 に示した。転倒不安および起居移動動作能力制限の有無による比較では、調整後も有意性が示された。一方、転倒経験の有無による比較では、調整前において有意性が示されたものの、調整後においては、有意性が示されなかった。

表 4. 加速度と転倒不安, 転倒経験, 起居移動動作能力との関連

	No		Yes		P-value	Adjusted P-value
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差		
<b>&lt;転倒不安&gt;</b>						
	(n=276)		(n=120)			
最大加速度 (m/s <sup>2</sup> )	16.62 ± 2.12		15.62 ± 1.76		<0.01	<0.05
<b>&lt;転倒経験&gt;</b>						
	(n=347)		(n=49)			
最大加速度 (m/s <sup>2</sup> )	16.42 ± 2.07		15.62 ± 1.96		<0.01	0.09
<b>&lt;起居移動動作能力&gt;</b>						
	(n=269)		(n=127)			
最大加速度 (m/s <sup>2</sup> )	16.61 ± 2.05		15.70 ± 1.96		<0.01	<0.05

共変量：性, 年齢, 腰痛の有無, 膝痛の有無, 身体活動量

課題 2：各群における移動制限の発生率

腰の最大加速度を男女別に 4 分位して統合させた各群における、起居移動動作能力制限ありの者の割合を図 3 に示した。傾向検定の結果、有意な傾向性が確認され、腰の最大加速度は、上位群になるにつれて制限を有する者の割合が階段状に減少を示した。

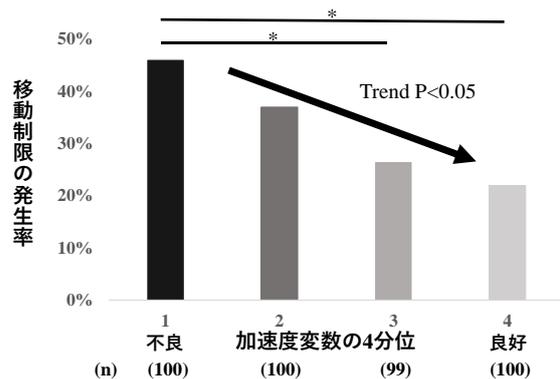


図 3 4 分位した各群における起居移動動作能力制限ありの者の割合

【考察】

1) 信頼性の検討および椅子立ち上がり動作時の加速度と下肢機能との関連

これまで高齢者を対象とした椅子立ち上がり動作時の加速度変数の再現性は, Cerrito. (2015) により, ICC=0.88 と報告されており, 本研究も同様に最大加速度において, 同程度の良好な信頼性 (ICC=0.81~0.83) が確認されていることから, 椅子立ち上がり動作時の加速度を評価すること自体への信頼性が確認されたと考える。

加速度と地面反力係数との関連においては、すべての項目間において有意な相関関係が認められた。特に、腰の最大加速度と RFD8.75/w との間において、 $|r| = 0.7$  以上の強い相関関係が示された (表 2)。これまでも先行研究<sup>10)</sup>より、0.69~0.86 程度の相関係数が確認されており、先行研究を支持する結果となった。また、肩の最大加速度と比較しても高い相関係数を有していることから、腰の加速度は正確に立ち上がり動作時の加速度を評価している可能性が示唆された。

下肢機能との関連では、男女いずれにおいても多くの下肢機能との間に、低から中程度の有意な相関関係が得られた ( $r = -0.42 \sim -0.54$ )。特に、5 回椅子立ち上がり時間および TUG との間に相対的に強い関連が認められた。本研究における最大加速度は、一瞬の力発揮で増加した変位である。それゆえ、素早い下肢の動きが求められる下肢機能テストとの間に強い関連が認められたと考えられる。また、加速度変数と下肢機能との関連は男性よりも女性において強い関連を示す傾向にあった。この傾向は、先行研究<sup>16)</sup>を支持する結果であり、腰の最大加速度は下肢機能を反映している可能性が示唆された。

2) 椅子立ち上がり動作時の加速度と転倒不安, 転倒経験, 起居移動動作能力との関連

すべての項目において、有意な差異もしくは転倒経験者が低値を示す傾向にあり、先行研究 (Bento et al., 2010; Brouwer et al., 2004) を支持する結果となった。腰の最大加速度は、パ

パフォーマンステストにより客観的に評価される下肢機能に加えて、高齢者自身の主観に基づく起居移動動作能力との間にも強い関連を示すことが確認された。一方、本検討は横断研究であるため因果関係について言及できない。今後はこれらの対象者を縦断的に調査し、加速度変数が転倒や起居移動動作能力制限の発生の予測に有用であるかについての検討を重ねることが必要である。

#### 【結論】

本研究では高齢者における椅子立ち上がり動作時の加速度評価の有用性について検討をおこなった。その結果、最大加速度において良好な信頼性が確認され、下肢機能との関連においても良好な妥当性が確認された。また、イベント発生（転倒、起居移動動作能力）との関連においては、転倒不安、起居移動動作制限の有無において調整後も有意な差異が認められた。以上より、地域在住高齢者における椅子立ち上がり動作時の加速度において男女ともに「腰の最大加速度」が、下肢機能を評価するうえで最も有用な評価指標であることが示された。

本研究で得られた知見は、加速度計を用いた新たなフィールドテスト開発に向けての有用な基礎資料となることが期待できる。

#### 【参考文献】

- 1) Wilson AW, Farthing JP, Chilibeck PD, Arnold CM, Davison KS, Olszynski WP, Kontulainen SA (2016) Lower leg muscle density is independently associated with fall status in community-dwelling older adults. *Osteoporosis international* 27 : 2231-2240.
- 2) Zhang F, Ferrucci L, Culham E, Metter J, Guralnik J, Deshpande N (2013) Performance on five times sit-to-stand task as a predictor of subsequent falls and disability in older persons. *Journal of aging and health* 25(3) : 478-492.
- 3) Grau GA, Carnicero JA, Cabello AG, Avila GG, Humanes S, Alegre LM, Castro M, Manas LR, Garcia J (2015) Association of regional muscle strength with mortality and hospitalization in older people. *Age and aging* 44 : 790-795.
- 4) Hartmann A, Knols R, Murer K, de Bruin ED (2009) Reproducibility of an isokinetic strength-testing protocol of the knee and ankle in older adults. *Gerontology* 55 : 259-268.
- 5) 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. *Journal of gerontology : medical sciences* 57 : 539-543.
- 6) 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.
- 7) Alcazar J, Grau AG, Garcia F, Ara I, Alegre L (2018) Skeletal muscle power measurement in older People : A systematic review of testing protocols and adverse events. *The journal of gerontology series a* 73 : 914-924.
- 8) Gurainik JM, Simonsick EM, Ferrucci L, Glynn RJ, Berkman LF, Blazer DG, Scherr PA, Wallace RB (1994) A short physical performance battery assessing lower extremity function : association with self-reported disability and prediction of mortality and nursing home admission. *Journal of gerontology : medical sciences* 49 : 85-94.
- 9) Zijlstra W, Bisseling RW, Schlumbohm S, Baldus H (2010) A body-fixed-sensor-based analysis of power during sit-to-stand movements. *Gait posture* 31 : 272-278.
- 10) Regterschot H, Zhang W, Baldus H, Steven M, Zijlstra W (2016) Accuracy and concurrent validity of a sensor-based analysis of sit-to-stand movements in older adults. *Gait posture* 45 : 198-203.
- 11) 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 : 183-188.
- 12) Lindemann U, Claus H, Stuber M, Augat P, Mueche R, Nikolaus T, Becker C (2003) Measuring power during the sit-to-stand transfer. *European journal of applied physiology* 89 : 466-470.
- 13) 吉岡伸輔, 長野 明紀 (2016) 日常生活で利用可能な下肢筋力測定法の開発. *生体医工学* 54(3) : 112-119.
- 14) Emer PD, Cathal W, Timothy F, Barry RG, Chie WF, Clodagh C, Rose AK (2013) Falls classification using tri-axial accelerometers during the five-times -sit-to-stand test. *Gait posture* 38 : 1021-1025.
- 15) Currier D.P. (1990) *Elements of Research in Physical Therapy*, 3rd Ed. Williams & Wilkins: Maryland, pp. 150-171.
- 16) 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 and ageing* 29 : 235-242.