体力科学，60(4)：387～399(2011)

地域在住高齢者を対象とした椅子立ち上がり動作時の地面反力と身体機能，転倒経験，転倒不安，起居移動動作能力との関連性

辻　大士　三ッ石泰大　角田憲治　尹　智暎
北濃成樹　尹　之恩　大藏倫博

THE RELATIONSHIP BETWEEN GROUND REACTION FORCE IN A SIT-TO-STAND MOVEMENT AND PHYSICAL FUNCTIONING, HISTORY OF FALLS, FEAR OF FALLING, AND MOBILITY LIMITATIONS IN COMMUNITY-DWELLING OLDER ADULTS

TAISHI TSUJI, YASUHIRO MITSUISHI, KENJI TSUNODA, JI-YEONG YOON, NARUKI KITANO, JIEUN YOON and TOMOHIRO OKURA

(Received February 8, 2011; Accepted May 7, 2011)

Abstract

The vertical ground reaction force (GRF) parameters in a sit-to-stand movement are useful for measuring lower-limb muscle strength and power in older adults. The purpose of this study was to examine which GRF parameters would be more strongly associated with a person's physical functioning, history of falls, fear of falling and mobility limitations, all of which are known to be related to lower-limb muscle strength and power. We performed cross-sectional analyses on 363 community-dwelling older adults, which included 160 men and 203 women, aged 65-85 years (73.4 ± 5.3 years). Five parameters were measured: peak reaction force, two rate of force development and two time-related parameters. Their rate of force development was relatively higher correlated with results from timed "up and go" tests, standing times from a long sitting position and 4-way choice reaction times (partial r = -0.37 ～ -0.52); these tests were accompanied with a dynamic movement of lower-limb; than their peak reaction force and time-related parameters. The rate of force development were poorer in subjects reporting falls, a fear of falling or a mobility limitation compared with those reporting no falls, fear of falling or mobility limitation. These results suggest that measuring the rate of force development in a sit-to-stand movement provide a better assessment of lower-limb muscle strength and power.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med., 60(4)：387～399(2011))

Key words：ground reaction force, sit-to-stand, older adult

Ⅰ．緒　　言

高齢者が健康で自立した生活を少しでも長く続けるためには，加齢による筋力の低下[1,2]を最小限に食い止める必要がある．なぜなら，筋力の低下は起居移動動作能力の低下[3]，転倒の発生[4]，日常生活動作の自立度の低下[5]，入院[6]さらには高い死亡率[7]など，高齢期におけるさまざまな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からである．中でも，「老いは脚から」と言われる通り，筋力の低下は下肢において顕著である[1,8]．それゆえ，下肢筋力の評価の試みは以前より盛んにおこなわれてきた[9-13]．

近年，「椅子立ち上がり動作時の地面反力」によ

筑波大学大学院人間総合科学研究科
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574, Japan

る新たな下肢筋力，筋パワー評価の試みがなされている[14-16]．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．具体的には，ある一時点での地面反力値変数（例: 反力最大値），地面反力の変化率変数（例: Rate of force development: RFD），時間変数（例: 動作開始から終了までの所要時間）などが用いられる．この測定法の利点として，椅子から立ち上がれさえすれば評価が可能であること[14]，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[15]，測定機器の運搬が比較的容易であることに加え，地面反力計を用いて力単位（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，既に等尺性膝伸展筋力との基準関連妥当性が確認される[14,16]など，筋力評価法としての検討は進められている．同時に，下肢筋力と関連するとされる身体機能[17,18]，転倒経験[19,20]，起居移動動作能力[3]など，高齢者のQuality of lifeに大きな影響を及ぼす諸要因と地面反力変数との関連についての検討も散見される．例えば，パフォーマンステストにより評価した身体機能との関連[21]，転倒経験者における低値[22]，生活機能との関連[23]が報告されるなど，地面反力変数の有用性が検討されてきた．しかしながら，いずれも少数の対象者を基に得られた知見であり，複数ある地面反力変数のうち具体的にどのような変数がそれらとより強い関連を示すのか，詳細は明らかとなっていない．

そこで本研究では，より多くの地域在住高齢者を対象とし，椅子立ち上がり動作時の地面反力変数と，下肢筋力および筋パワーとの関連が既に報告されており，かつ我が国の介護予防事業においても重要視されている[24]身体機能，転倒経験，転倒不安，および起居移動動作能力との関連性を総合的に検討し，評価の有用性が高い地面反力変数を明らかにすることを目的とした．併せて，地面反力変数の検者内信頼性（再現性）の確認をおこなうこととした．

Ⅱ．方　　法

A．対象者

2009年２月に茨城県笠間市の住民基本台帳から系統的抽出法により抽出した65～85歳の地域在住高齢者1200名のうち，2009年８月に実施した調査に参加した213名，および2010年５月に同市の住民基本台帳（2009年とは異なる地区）から系統的抽出法により抽出した65～85歳の地域在住高齢者900名のうち，2010年の同時期に実施した調査に参加した183名の，計396名を対象とした．体力測定に参加しなかった（その他の調査のみ参加した）19名，所用による早退のため地面反力測定に参加しなかった６名，日常生活で杖を使用しており，椅子から立ち上がる際に補助具を必要とした８名は分析対象から除外し，363名を最終的な分析対象とした．このうち14名が，平均26.6日後に開催した測定会（運動教室の事前測定会）に参加し，再度地面反力測定をおこなった．これを再現性の検討をおこなう分析対象とした．研究遂行に先立って，全対象者に研究の目的および測定に関する説明を十分におこない，書面によるインフォームドコンセントを得た．なお本研究は筑波大学大学院人間総合科学研究科研究倫理委員会の承認を得て実施した．

B．測定項目

１．椅子立ち上がり動作時の地面反力測定

辻ら[25]と同様の以下の方法により，椅子立ち上がり動作時の地面反力測定をおこない，先行研究[14,15,23,25]を参考とした５つの地面反力変数を評価した．

鉛直方向の地面反力の測定には，立ち上がりパワー測定器（竹井機器工業: T.K.K.5809）を用いた．サンプリング周期を10msとし，椅子立ち上がり動作中における鉛直方向の地面反力（kgf）をコンピュータに記録した．事前に，無荷重によるゼロ調整および10kgのおもりを用いたキャリブレーションをおこなった．

対象者は，40cmの高さの椅子に座り，測定器のプラットフォーム上に両足を置いた．国内における一般的な事務用および家庭用椅子の多くが40cm前後の高さである[13]ことから，この座面高を設定した．座位姿勢は，両脚を腰幅に広げ，両腕を胸の前で組み，背すじを床面に対して垂直に伸ばし，足関節を90°に保持した姿勢とした．座位姿勢を保持した状態から，測定者の合図のあと，最大努力にて素早く立ち上がり，直立姿勢を２秒間保持した後，通常速度による着座動作をおこない，座位姿勢を２秒間保持した．これを１試行とし，連続して３試行す

Table 1. Descriptive date of subjects.

		All (n = 363)		Men (n = 160)		Women (n = 203)		
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	
<Characteristics>								
Age	(year)	73.4	± 5.3	74.1	± 5.6	72.9	± 4.9	*
Height	(cm)	155.0	± 8.8	162.4	± 6.5	149.3	± 5.5	*
Body weight	(kg)	55.4	± 9.3	60.5	± 8.7	51.4	± 7.8	*
body mass index	(kg/m^2)	23.0	± 3.2	22.9	± 2.8	23.1	± 3.4	
Systolic blood pressure	(mmHg)	140	± 20	139	± 19	141	± 21	
Diastolic blood pressure	(mmHg)	76	± 11	76	± 11	76	± 10	
Medication use	(piece)	2.3	± 2.5	2.1	± 2.1	2.4	± 2.8	
Lower limb pain[a], yes	% (n)	21.8% (79)		11.3% (18)		30.0% (61)		*
Lower back pain[a], yes	% (n)	14.0% (51)		13.1% (21)		14.8% (30)		
History of CVD[a], yes	% (n)	4.4% (16)		5.6% (9)		3.4% (7)		
Smoking habit[a], yes	% (n)	9.6% (35)		18.1% (29)		3.0% (6)		*
Education	(year)	11.1	± 2.6	11.4	± 2.8	10.9	± 2.5	
Physical activity	(score)	123.0	± 60.3	126.8	± 69.4	120.0	± 52.1	
Five cognitive function test	(score)	61.5	± 18.5	60.1	± 18.5	62.6	± 18.5	
<Ground reaction force parameters>								
F/w	($kgf \cdot kg^{-1}$)	1.38	± 0.13	1.46	± 0.12	1.32	± 0.09	*
RFD1/w	($kgf/s \cdot kg^{-1}$)	14.57	± 3.73	15.80	± 3.97	13.60	± 3.23	*
RFD9/w	($kgf/s \cdot kg^{-1}$)	10.11	± 2.02	10.85	± 2.14	9.52	± 1.72	*
T1	(ms)	312	± 104	301	± 86	320	± 115	
T2	(ms)	867	± 175	845	± 155	884	± 188	*
<Physical performance tests[c]>								
5-time sit-to-stand	(s)	7.88	± 2.19	8.00	± 2.30	7.79	± 2.10	
Grip strength	(kg)	28.0	± 8.1	34.7	± 6.9	22.7	± 4.0	*
5-m habitual walk	(s)	3.69	± 0.66	3.65	± 0.66	3.72	± 0.66	
Timed "up and go"	(s)	5.92	± 1.14	5.72	± 1.05	6.08	± 1.18	*
Standing time from a long sitting position	(s)	2.80	± 1.24	2.43	± 0.89	3.09	± 1.39	*
Sit and reach	(cm)	34.0	± 9.1	33.5	± 10.1	34.4	± 8.2	
Functional reach	(cm)	26.7	± 5.4	27.4	± 5.5	26.1	± 5.3	*
One-leg balance with eyes open	(s)	34.5	± 22.4	34.9	± 22.9	34.2	± 22.0	
Simple reaction time	(ms)	499	± 128	482	± 123	512	± 131	*
4-way choice reaction time	(ms)	1059	± 162	1047	± 123	1068	± 187	
Hand working with peg board	(s)	38.2	± 6.2	38.6	± 5.1	38.0	± 7.0	
<Fall-related items>								
History of any falls[a], yes	% (n)	17.1% (62)		11.9% (19)		21.2% (43)		*
Fear of falling[a], yes	% (n)	36.0% (130)		23.8% (38)		45.8% (92)		*
<Self-rated mobility limitations>								
Climbing 10 steps[a], difficult	% (n)	17.9% (65)		11.3% (18)		23.2% (47)		*
Rising from chair[a], difficult	% (n)	10.2% (37)		6.3% (10)		13.4% (27)		*
Walking for 15 minutes[a], difficult	% (n)	11.0% (40)		8.1% (13)		13.3% (27)		
Mobility limitation[a], incident (Having one or more difficulties)	% (n)	24.3% (88)		16.9% (27)		30.2% (61)		*

*$P < 0.05$ (presence of gender difference)
n = 356-363, because a few subjects were unable to or didn't perform, or had missing values.
a: χ^2 test
SD: standard deviation.
CVD: cerebrovascular disease, 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.

ることとした．対象者への実験手順の理解を十分に深めるため，２回の練習を事前におこなった．

本研究の分析に用いた地面反力変数は以下の通りである（Fig. 1）．

1）最大値体重比（peak reaction force per body weight: 以下F/wと記す）

この変数は，地面反力の最大値を体重で除した値である．椅子立ち上がり動作時における鉛直方向の最大の踏み込みの力を反映する．３試行のうち，最も高い記録を採用した．単位は$kgf \cdot kg^{-1}$とし，0.01 $kgf \cdot kg^{-1}$単位で記録した．

2）最大増加率（10ms区間）体重比（maximal rate of force development（Δ10ms）per body weight: 以下RFD1/wと記す）

この変数は，地面反力が最大増加を記録した10msにおける増加量を1.0sに換算し，体重で除した値である．３試行のうち，最も高い記録を採用した．単位は$kgf/s \cdot kg^{-1}$とし，0.01$kgf/s \cdot kg^{-1}$単位で記録した．

3）最大増加率（90ms区間）体重比（maximal rate of force development（Δ90ms）per body weight: 以下RFD9/wと記す）

この変数は，地面反力が最大増加を記録した10msの前後40msを含めた計90msにおける増加量を1.0sに換算し，体重で除した値である．３試行のうち，最も高い記録を採用した．単位は$kgf/s \cdot kg^{-1}$とし，0.01$kgf/s \cdot kg^{-1}$単位で記録した．データの再現性の向上をねらいとし，解析区間を測定器本来のサンプリング周期である10msから90msへと拡大したこの変数が，辻ら[25]によって報告されている．

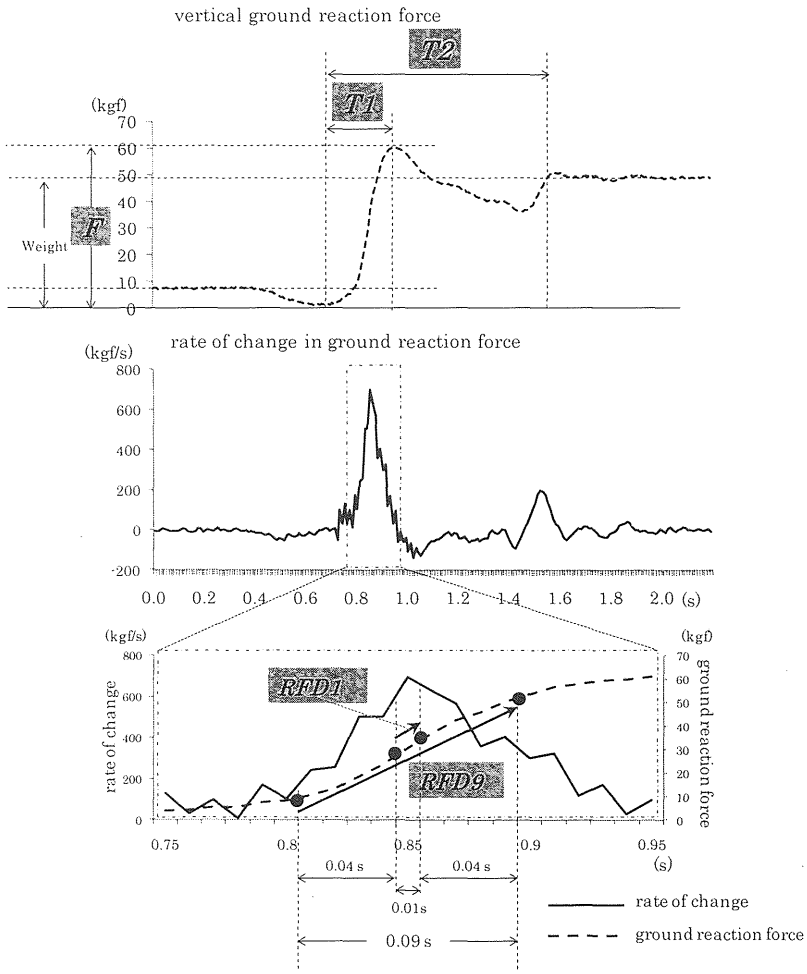

Fig. 1. Ground reaction force parameters.
F: peak reaction force, RFD1: maximal rate of force development (Δ10 ms), RFD9: maximal rate of force development (Δ90 ms), T1: a time during developing force, T2: chair-rise time.

4）地面反力増加時間（a time during developing force: 以下T1と記す）

この変数は，地面反力が急激増加する直前の，抜重時における地面反力が最小値を示した時点から，最大値（peak force）に到達するまでの時間である．RFD9/wが得られた試行における値を採用した．単位はmsとし，10ms単位で記録した．

5）立ち上がり動作時間（chair-rise time: 以下T2と記す）

この変数は，抜重時における地面反力が最小値を示した時点から動作終了までの時間である．椅子立ち上がり動作開始時点を，着座時の地面反力を基準として2.5%減少[15]あるいは20％減少[23]した時点とする先行研究が存在するが，高齢者を対象とした場合にこれらの時点を正確に規定することが困難なケースが生じることから，本研究ではより明確な基準として最小値を示した時点を選択した．動作終了時点は先行研究[23]に基づき，地面反力が体重値に到達した時点と規定した．RFD9/wが得られた試行における値を採用した．単位はmsとし，10ms単位で記録した．

2．身体機能テスト

日常生活動作に必要な身体機能（筋力，歩行能力，柔軟性，バランス能力，反応性，巧緻性）を反映し得る評価項目として5回椅子立ち上がり時間，握力，5 m通常歩行時間，Timed “up and go”，長座位起立時間，長座体前屈，Functional reach，開眼片足立ち時間，全身単純反応時間，4方向選択反応時間，48本ペグ移動時間の計11項目を測定した．長座位起立時間を除く10項目の測定方法の詳細は，先行研究[26]を参照されたい．なお，長座位起立時間の測定は次の通りおこなった．長座位姿勢をとらせ，合図とともに最大努力で素早く立ち上がるように教示した．立ち上がり方法については，日常生活での立ち上がり方法を再現するよう教示した．ストップウォッチにより0.01s単位で2回計測し，短い方の記録を分析に用いた．

3．過去1年間の転倒経験，転倒不安の有無

転倒経験の調査は，「この1年間に転んだことがありますか」の問いに対し，「はい」もしくは「いいえ」のいずれかで回答を求めた．本研究における転倒の定義は「本人の意思とは関係なく，地面またはより低いところに足底部以外の身体が接触すること」[27]とした．また，想起期間を1年間とする転倒経験調査は，本邦における高齢者を対象とした場合の妥当性が確認されている[28]．

転倒不安の調査は，「転倒に対する不安はありますか」の問いに対し，「ある」もしくは「ない」のいずれかで回答を求めた．

4．起居移動動作能力（階段昇段，椅子立ち上がり，15分間歩行）

起居移動動作能力は，Visser et al.[3]，清野ら[29]を参考とし，階段昇段，椅子立ち上がり，15分間歩行の3動作を調査した．

調査は，「手すりや壁をつたわらずに続けて階段を10段昇ることができますか」，「椅子に座った状態から何もつかまらずに立ち上がることができますか」，「15分間（約400m）くらい休まずに続けて歩くことができますか」の問いに対し，いずれも「十分にできる」，「少しむずかしい」，「全くできない」の3件法で回答を求め，「十分にできる」と回答した場合は「良好」とし，「少しむずかしい」，「全くできない」とした場合は「不良」として，それぞれカテゴリー化した．3動作のうち1動作以上で「不良」となった者を「起居移動動作能力制限あり」とカテゴリー化した．

5．基本的属性

対象者の基本的属性として，住民基本台帳に記載されていた性，年齢に加え，身長，体重，body mass index（体重（kg）を身長（m）の2乗で除した値），収縮期血圧，拡張期血圧，服薬数，下肢の疼痛の有無，腰痛の有無，脳血管疾患既往の有無，喫煙習慣の有無，教育年数，身体活動量（日本語版PASE[30]），認知機能（ファイブ・コグ検査[31]）を調査した．

C．統計解析

検者内信頼性（再現性）の検討には，級内相関係数（intraclass correlation coefficient: 以下ICCと記す）を算出した．なお，単一測定者による2度の測定であることから，一元配置変量モデルのICC（1, 2）を算出した．分散分析による試行間の差の検定に基づき，有意な試行差がみとめられない場合，得られたICCは有意であるとした．ICCは0.70以上で良好[32]と判定した．

地面反力変数と各身体機能テストとの関連の検討

には，年齢を調整した偏相関分析を男女別におこなった．過去1年間の転倒経験の有無，転倒不安の有無，起居移動動作能力制限の有無の間における地面反力変数の比較には，ステューデントのt検定ならびに，共分散分析をおこなった．性，年齢，服薬数，脳血管疾患既往，喫煙習慣，教育年数，身体活動量，認知機能を調整し，転倒不安の有無による比較のみ，それらに加えて転倒経験を調整した．各比較において，差の大きさの程度を示す効果量（effect size）としてCohen's d[33]を算出した．この値は慣例的に，0.2は小さい，0.5は中程度，0.8は大きいとされる[33]．また，地面反力変数を男女別に5分位し，それらを統合した5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Cochran-Armitage検定により傾向性の検定をおこなった．各群間の比較にはχ^2検定を用い，多重比較検定はBonferroni法により有意水準を調整しておこなった．Cochran-Armitage検定を除くすべての統計処理には，統計解析ソフトPASW statistics 17.0を用いた．Cochran-Armitage検定は統計解析ソフトR 2.10.0を用いた．統計的有意水準はいずれも5％未満とした．

Ⅲ．結　　果

A．地面反力変数の再現性

Table 2に，再現性の検討対象者14名の身体的特徴および地面反力測定第1試行における測定値を示した．抽出元である全分析対象者363名から再現性の検討対象者14名を除いた349名との間に有意差がみとめられた項目は無く，母集団を代表する対象者であることが確認された．

Table 3に，地面反力測定を2試行おこなった際における各変数の測定値を示し，それに基づいたICCならびに2試行間の差を比較した結果を示した．RFD1/wを除く全ての変数において，良好とされる0.70以上のICC[32]が得られ，また2試行間に有意差はみとめられず，優れた再現性が確認された．

Table 2. Comparison in characteristics and ground reaction force parameters between subjects with and without assessment of reproducibility.

		Subjects with assessment of reproducibility (n = 14)		Subjects without assessment of reproducibility (n = 349)		
		Mean	SD	Mean	SD	*P*-value
＜Characteristics＞						
Age	(years)	73.4	± 3.3	73.4	± 5.3	ns
Height	(cm)	155.5	± 8.2	155.0	± 8.9	ns
Body weight	(kg)	53.6	± 6.1	55.4	± 9.4	ns
body mass index	(kg/m^2)	22.2	± 2.2	23.1	± 3.2	ns
SBP	(mmHg)	137	± 12	141	± 20	ns
DBP	(mmHg)	73	± 8	76	± 11	ns
Percentage of women (Men/Women)[a]		64.3% (5/9)		55.6% (155/194)		ns
＜Ground reaction force parameters＞						
F/w	($kgf \cdot kg^{-1}$)	1.35	± 0.09	1.38	± 0.13	ns
RFD1/w	($kgf/s \cdot kg^{-1}$)	14.73	± 2.65	14.57	± 3.76	ns
RFD9/w	($kgf/s \cdot kg^{-1}$)	10.25	± 1.41	10.11	± 2.04	ns
T1	(ms)	325	± 127	311	± 102	ns
T2	(ms)	836	± 170	867	± 175	ns

a: χ^2 test
SD: standard deviation, ns: not significant.
SBP: systolic blood pressure, DBP: diastolic blood pressure, F: peak reaction force, RFD1: maximal rate of force development (Δ10 ms), RFD9: maximal rate of force development (Δ90ms), T1: a time during developing force, T2: chair-rise time, w: body weight.

Table 3. Test-retest reliability of ground reaction force parameters.

		Test 1		Test 2				
		Mean	SD	Mean	SD	ICC	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
The two test sessions were separated 26.6 ± 2.3 days.
SD: standard deviation, ICC: intraclass correlation coefficients.
F: peak reaction force, RFD1: maximal rate of force development (Δ10 ms), RFD9: maximal rate offorce development (Δ90 ms), T1: a time during developing force, T2: chair-rise time, w: bodyweight.

B. 身体機能テスト，転倒経験，転倒不安，起居移動動作能力との関連

1．対象者の特徴

Table 1に，横断的関連の検討に用いる対象者363名の基本的属性，地面反力変数，身体機能テスト，転倒経験，転倒不安，起居移動動作能力制限の結果を示した．女性より男性において年齢が有意に高かったが，その差は1.2歳と小さかった．T1を除く全ての地面反力変数において有意な性差がみとめられ，男性が女性よりも大きい（T2は短い）値を示した．全体の17.1%（62名）が過去1年間に転倒を経験し，36.0%（130名）が転倒不安を有していた．転倒経験と転倒不安のいずれにおいても，女性が男性より「あり」とした者の割合が有意に高かった．起居移動動作能力制限ありの者は24.3%（88名）であり，制限を有した者の割合は女性が男性より有意に高かった．

2．身体機能テストとの関連

Table 4に，各地面反力変数と，身体機能テストとの間における偏相関係数を示した．

男女いずれにおいても，多くの項目間に有意な偏相関がみとめられた．中でも5回椅子立ち上がり時間，Timed "up and go"，長座位起立時間，4方向選択反応時間との間に相対的に強い関連を示した．女性は男性よりも|r|= 0.40を上回る偏相関係数が多く得られた．

3．転倒経験，転倒不安，起居移動動作能力制限の有無による比較

Table 5に，過去1年間の転倒経験，転倒不安，起居移動動作能力制限の有無別の各地面反力変数の結果を示した．

転倒経験の有無による比較では，あらゆる項目で調整した後も，F/w，RFD9/w，T1で有意性が示された．転倒不安の有無による比較では，調整後もF/w，RFD9/wおよびT2で有意性が示された．起居移動動作能力制限の有無による比較では，調整後もF/wを除く全ての比較において有意性が示された．RFD9/w，F/wおよびT2を男女別に5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Fig. 2に示した．これらはいずれも有意な傾向性が確認され，中でもRFD9/wおよびF/wは，下位群になるにつれて制限を有する者の割合が階段状に上昇を示した．

Ⅳ．考　　察

A. 地面反力変数の検者内信頼性（再現性）の検討

本研究で用いた地面反力変数は，RFD1/wを除く全ての変数において，良好と判定される0.70以上のICC[32]が得られ，優れた再現性が確認された（Table 3）．

これまで，高齢者を対象とした椅子立ち上がり動作時の地面反力変数の再現性は，中谷と上[14]，Yamada & Demura[16]により，およそICC = 0.81～0.95と報告されている．上述したいずれの報告も，測定機器および地面反力変数の算出点・区間に本研究と相違はあるものの，同程度の良好なICCが確認されていることから，椅子立ち上がり動作時の地面反力を評価すること自体への信頼性が確認されたと考えられる．なお，本研究におけるRFD1/wのICC

Table 4. Partial correlation coefficients between ground reaction force parameters and physical performance tests adjusted for age.

		n	F/w (kgf・kg^{-1}) partial-r	RFD1/w (kgf/s・kg^{-1}) partial-r	RFD9/w (kgf/s・kg^{-1}) partial-r	T1 (ms) partial-r	T2 (ms) partial-r
＜Men＞							
5-time sit-to-stand	(s)	160	-.44 *	-.41 *	-.45 *	.31 *	.38 *
Grip strength	(kg)	159	.14	.07	.13	-.12	-.08
5-m habitual walk	(s)	160	-.28 *	-.23 *	-.26 *	.11	.26 *
Timed "up and go"	(s)	160	.34 *	-.40 *	-.41 *	.20 *	.39 *
Standing time from a long sitting position	(s)	159	-.40 *	-.41 *	-.45 *	.27 *	.36 *
Sit and reach	(cm)	158	.23 *	.21 *	.21 *	-.15	-.18 *
Functional reach	(cm)	160	.21 *	.19 *	.23 *	-.16 *	-.20 *
One-leg balance with eyes open	(s)	160	.21 *	.30 *	.31 *	-.19 *	-.25 *
Simple reaction time	(ms)	160	-.21 *	-.23 *	-.24 *	.22 *	.28 *
4-way choice reaction time	(ms)	159	-.34 *	-.38 *	-.37 *	.28 *	.36 *
Hand working with peg board	(s)	160	-.31 *	-.32 *	-.37 *	.22 *	.33 *
＜Women＞							
5-time sit-to-stand	(s)	203	-.42 *	-.39 *	-.46 *	.43 *	.50 *
Grip strength	(kg)	202	.28 *	.23 *	.27 *	-.21 *	-.25 *
5-m habitual walk	(s)	203	-.24 *	-.21 *	-.27 *	.31 *	.31 *
Timed "up and go"	(s)	203	-.40 *	-.42 *	-.52 *	.51 *	.55 *
Standing time from a long sitting position	(s)	202	-.40 *	-.42 *	-.46 *	.43 *	.58 *
Sit and reach	(cm)	203	.15 *	.15 *	.21 *	-.12	-.14 *
Functional reach	(cm)	203	.15 *	.17 *	.21 *	-.19 *	-.21 *
One-leg balance with eyes open	(s)	202	.15 *	.32 *	.27 *	-.17 *	-.21 *
Simple reaction time	(ms)	200	-.25 *	-.33 *	-.37 *	.41 *	.46 *
4-way choice reaction time	(ms)	203	-.33 *	-.42 *	-.50 *	.62 *	.54 *
Hand working with peg board	(s)	203	-.27 *	-.33 *	-.41 *	.52 *	.46 *

* $P < 0.05$ ■ |partial-r| ≧ 0.4 ■ 0.4 > |partial-r| ≧ 0.3 □ 0.3 > |partial-r| ($P < 0.05$)
F: peak reaction force, RFD1: maximal rate of force development (Δ10 ms), RFD9: maximal rate of force development (Δ90ms), T1: a time during developing force, T2: chair-rise time, w: body weight.

が他の変数より低い値を示した理由として，解析区間が10msと非常に狭く，安定した値が得られなかった可能性が考えられる．辻ら[25]は，再現性を高める目的により解析区間を90msに広げたRFD9/w変数を採用したが，その方法が妥当であることの裏付けとなった．

B. 身体機能テストとの関連性の検討

男女いずれも多くの身体機能テストとの間に，低から中程度の有意な偏相関係数が得られた．地面反力測定と同様に連続椅子立ち上がり動作を求める5回椅子立ち上がり時間以外にも，特にRFD9/wとの間において，Timed "up and go"，長座位起立時間，4方向選択反応時間の3つのテストと相対的に強い相関関係が示された(Table 4)．中谷と上[14]は，椅子立ち上がり動作時の地面反力におけるRFDを「力発揮速度」と定義しているほか，これまでに等尺性膝伸展時のRFDは「素早い筋力発揮のための能力」の評価を目的として頻用されている[34,35]．よって，椅子立ち上がり動作時における地面反力の

Table 5. Comparison of ground reaction force parameters between no falls and any falls, with and without fear of falling, with and without mobility limitation.

		No		Yes					
		Mean	SD	Mean	SD	*P*-value	Effect size (Cohen's d)	Adjusted *P*-value[a]	Adjusted *P*-value[b]
<History of any falls>		(n = 301)		(n = 62)					
F/w	(kgf·kg^{-1})	1.39	± 0.12	1.33	± 0.12	< 0.01	0.48	ns	0.04
RFD1/w	(kgf/s·kg^{-1})	14.81	± 3.68	13.40	± 3.77	< 0.01	0.38	ns	ns
RFD9/w	(kgf/s·kg^{-1})	10.27	± 2.01	9.34	± 1.92	< 0.01	0.46	0.04	0.03
T1	(ms)	306	± 104	339	± 100	0.03	0.32	ns	0.04
T2	(ms)	856	± 170	918	± 190	0.01	0.36	ns	ns
<Fear of falling>		(n = 231)		(n = 130)					
F/w	(kgf·kg^{-1})	1.41	± 0.13	1.33	± 0.11	< 0.01	0.62	< 0.01	0.01
RFD1/w	(kgf/s·kg^{-1})	15.16	± 3.86	13.51	± 3.24	< 0.01	0.45	ns	ns
RFD9/w	(kgf/s·kg^{-1})	10.52	± 2.09	9.39	± 1.68	< 0.01	0.57	< 0.01	< 0.01
T1	(ms)	301	± 103	332	± 104	< 0.01	0.30	ns	ns
T2	(ms)	840	± 161	914	± 188	< 0.01	0.44	0.01	0.03
<Mobility limitation>		(n = 274)		(n = 88)					
F/w	(kgf·kg^{-1})	1.40	± 0.12	1.31	± 0.10	< 0.01	0.76	< 0.01	ns
RFD1/w	(kgf/s·kg^{-1})	15.26	± 3.68	12.46	± 3.03	< 0.01	0.79	< 0.01	< 0.01
RFD9/w	(kgf/s·kg^{-1})	10.54	± 1.93	8.80	± 1.70	< 0.01	0.92	< 0.01	< 0.01
T1	(ms)	296	± 86	359	± 134	< 0.01	0.62	< 0.01	0.046
T2	(ms)	830	± 144	978	± 211	< 0.01	0.91	< 0.01	< 0.01

a: ANCOVA models adjusted for age and gender. In addition, models adjusted for a history of any falls only when a comparison between subjects with and without a fear of falling. b: ANCOVA models adjusted for medication use, education, smoking habit, history of cerebrovascular disease, physical activity and cognitive function, in addition to "a". SD: standard deviation, ns: not significant.
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.

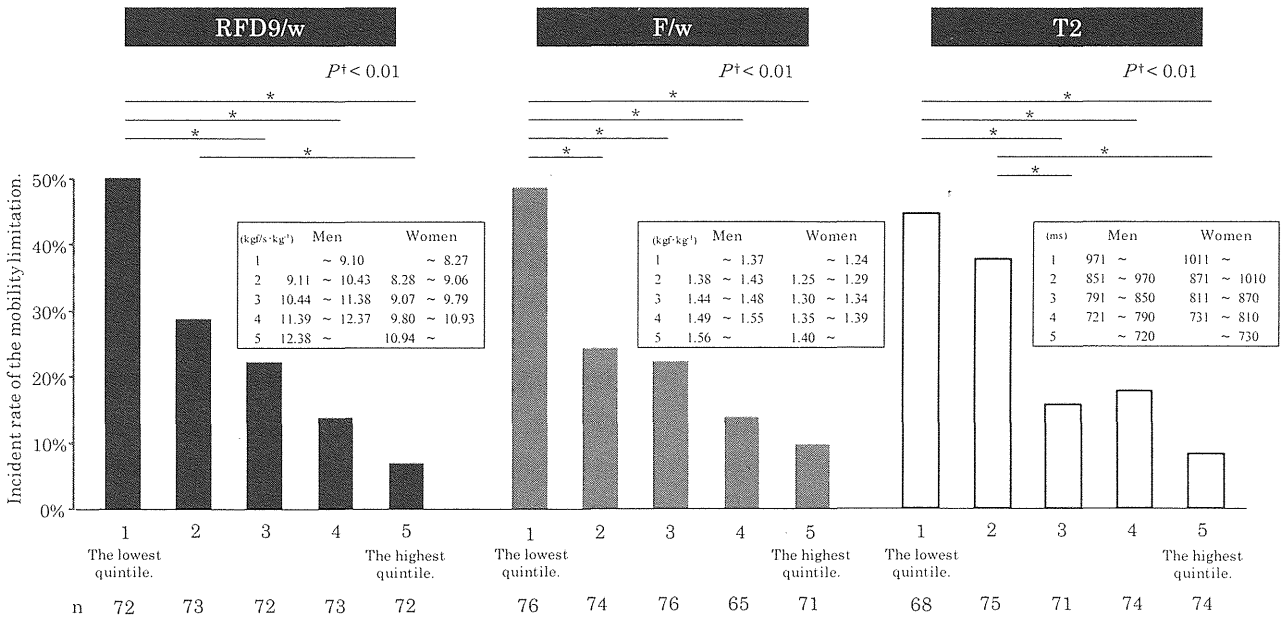

Fig. 2. Incident rates of the mobility limitation in each quintile.
* $P < 0.005$, † P value for Cochran-Armitage trend test.
RFD9: maximal rate of force development (Δ90 ms), F: peak reaction force, T2: chair-rise time, w: body weight.

RFDも，下肢筋パワーと関連の強い変数であると考えられている[15]．素早い筋収縮が求められる下肢筋パワーは最大筋力と比較して，日常生活動作の円滑な遂行において，さらに重要な役割を果たすことが知られている[36,37]．それゆえ，本研究におけるRFD9/wが，素早くダイナミックな下肢の動きが求められる身体機能テストとの間に強い関連を示したことは十分理解できる．Timed "up and go"は，椅子の立ち座り動作や歩行，旋回などのさまざまな日常生活動作を包含し，総合的な身体機能の低下を鋭敏に反映する身体機能テストとして知られている[38]．さらに，男女いずれにおいても脚伸展筋パワーとの有意な関連（Pearson's r = -0.59 ～ -0.74）が報告されている[39]．また，長座位からの起立動作時にも，下肢筋力および筋パワーの発揮が求められることは明白である．これと類似した仰臥位からの立ち上がり動作については，加齢や障害の発生により時間が大幅に延長する[40]ことが報告され，これには下肢筋力の低下が影響しているものと考えられている．4方向選択反応時間は，指示された方向への移動動作を正確かつ迅速におこなうことが求められる．これには情報の適切な処理に必要とされる認知機能や，単純課題による反応時間，バランス能力などが関連するとともに，膝伸展筋力や足背屈筋力がそれらと同程度かそれ以上の関連を示すことが報告されている[41,42]．

なお，地面反力変数と身体機能テストとの関連は相対的に男性よりも女性において強かった（Table 4）．この傾向は，下肢筋力および筋パワーと，歩行速度，Timed "up and go"などの身体機能テストとの関連は男性より女性の方が強いとの報告[39,43]を支持するものであった．

C．転倒経験および転倒不安との関連性の検討

これまで，過去の転倒経験と地面反力変数との関連についての検討は，年齢差が非常に大きい転倒群と非転倒群を比較したFleming et al.[22]による報告に限定されていた．これに対して，本研究では同年代を対象とし，あらゆる項目を調整してもなおF/w，RFD9/wといった力単位で記録される地面反力変数が，転倒経験の有無により差異を示した（Table 5）．過去の転倒経験の有無により足背屈筋力や，膝伸展筋パワーに差がみられることは以前より報告されている[19,20]．また，Bento et al.[44]は，転倒群と非転倒群を比較し，等尺性膝屈曲最大トルクでは有意差がみられなかったものの，同時に評価されるRFDでは有意差がみられたことを報告している．この結果から，つまずいた後のリカバリー動作の際，いかに素早く筋力を発揮できるかが重要であることが示唆された[44]．一方，地面反力変数の中でもT1やT2などの時間変数においては，群間差が相対的に小さかった．椅子立ち上がり動作の時間により評価をおこなう5回椅子立ち上がり時間においても，転倒発生との間に有意な関連はみられないとの報告もある[45]．よって，椅子立ち上がり動作そのものの素早さと転倒発生との関連は弱いことが推察され，力単位で評価することの重要性が示唆される．

転倒不安の有無により，F/w，RFD9/w，T2において，あらゆる項目を調整してもなお有意性が示された（Table 5）．転倒不安は，過去の転倒経験や将来の転倒発生と非常に強く結び付いていることが知られており[46]，それゆえ活動を著しく制限することが報告されている[47]．転倒不安の有無により，下肢筋力に有意差が見られたとする報告[48]がある一方，関連が無かったとする報告[49]もなされており，その見解は一致していない．しかしながら，転倒不安と下肢筋力とが直接関係すると考えるよりも，Delbaere et al.[47]が示すような，転倒不安が活動性を低め，それにより筋力や身体機能が低下するというモデルに合致する可能性が高いことが推察されるが，この点については今後の検討が必要である．

D．起居移動動作の遂行能力との関連性の検討

Table 5に示す通り，起居移動動作能力制限の有無の間にRFD9/w，T2においてeffect sizeが0.9を上回る，有意かつ大きい差異が示された．さらに，RFD9/wおよびF/wでは，その値が低下するにつれて制限を有する者の割合が高まることを確認した（Fig. 2）．低い下肢筋力，筋パワーが，自己評価に基づく起居移動動作の低い自立度と関連，もしくはそれらに影響することが報告されている[3,5,50]．また，清野ら[29]は，本研究と同様の3動作のいずれかにおいて「できない」とした者は，全て「できる」とした者より，あらゆる身体機能テストにおいて低い成績であったことを報告した．また，先述したとおりRFD9/wは下肢筋パワーと関連が強い変

数であると考えられ，下肢筋パワーは日常生活動作の円滑な遂行と密接に関わることが報告されている[36,37]．RFD9/wは，パフォーマンステストにより客観的に評価される身体機能に加えて，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，より強い関連を示すことが確認された．

E. 研究の限界と今後の課題

本研究では，異なる検者による検者間信頼性についての検討はおこなっていない．しかしながら，検者の体格や熟練度の影響を受けやすい徒手筋力計による評価[11]とは異なり，所定の姿勢から最大努力による立ち上がり動作を求めさえすればよい本測定では，検者間誤差の混入の危険性は大きくないことが予想される．

横断的な関連の検討における限界として，第一に選択バイアスの可能性が考えられる．本研究の対象者は，単一の自治体から選ばれているほか，体力測定に参加した高齢者であるという点で体力レベルが高かったことが考えられる．第二に，本研究は横断研究であるため因果関係についての言及はできない．本研究は前向き調査のベースライン測定の結果に基づく報告であることから，今後はこれらの対象者を縦断的に追跡し，地面反力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検討を重ねることが必要である．

V. 結　　語

本研究では，新たな下肢筋力，筋パワー評価法として検討が進められている椅子立ち上がり動作時の地面反力変数について，地域在住高齢者を対象とした再現性の確認をおこなうとともに，身体機能，転倒経験，転倒不安および起居移動動作の遂行能力との関連性を検討し，以下の知見を得た．

1．ほぼ全ての地面反力変数において，良好とされる再現性が確認された．
2．地面反力変数はあらゆる身体機能と関連するが，中でもRFD9/wが，起立・歩行能力，反応性など，下肢のダイナミックな動きが求められる身体機能と強い関連を示すことが確認された．
3．転倒経験，転倒不安を有する者，起居移動動作の遂行能力が低下している者は，地面反力変数も不良な値を示し，特にRFD9/wはそれら全てと関連を示した．

よって，増加率変数であるRFD9/wが，最も評価の有用性が高い変数であることが明らかとなった．

謝　辞

本研究は，文部科学省科学研究費補助金（若手研究B）「高齢者の身体的虚弱化要因を検討するコホート研究（課題番号：22700690，研究代表者：大藏倫博）および平成22年度日本体力医学会プロジェクト研究「高齢者の介護予防を目的とした総合的指針づくり（研究代表者：大藏倫博）」による助成を受けて実施された．また，本研究は茨城県笠間市職員および調査に参加された住民，筑波大学大藏研究室の研究室生の皆さまの協力によって遂行できた．ここに，心からの感謝の意を表す．

文　　献

1) Hughes VA, Frontera WR, Wood M, Evans WJ, Dallal GE, Roubenoff R, Fiatarone Singh MA. Longitudinal muscle strength changes in older adults: influence of muscle mass, physical activity, and health. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci,* 56: B209-B217, 2001.
2) Delmonico MJ, Harris TB, Visser M, Park SW, Conroy MB, Velasquez-Mieyer P, Boudreau R, Manini TM, Nevitt M, Newman AB, Goodpaster BH. Longitudinal study of muscle strength, quality, and adipose tissue infiltration. *Am J Clin Nutr,* 90: 1579-1585, 2009.
3) Visser M, Goodpaster BH, Kritchevsky SB, Newman AB, Nevitt M, Rubin SM, Simonsick EM, Harris TB. 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, 2005.
4) Moreland JD, Richardson JA, Goldsmith CH, Clase CM. Muscle weakness and falls in older adults: a systematic review and meta-analysis. *J Am Geriatr Soc,* 52: 1121-1129, 2004.
5) Rantanen T, Avlund K, Suominen H, Schroll M, Frändin K, Pertti E. Muscle strength as a predictor of onset of ADL dependence in people aged 75 years. *Aging Clin Exp Res,* 14: 10-15, 2002.
6) Cawthon PM, Fox KM, Gandra SR, Delmonico MJ, Chiou CF, Anthony MS, Sewall A, Goodpaster B, Satterfield S, Cummings SR, Harris TB. Do muscle mass, muscle density, strength, and physical function similarly influence risk of hospitalization in older adults? *J Am Geriatr Soc,* 57: 1411-1419, 2009.
7) Newman AB, Kupelian V, Visser M, Simonsick EM, Goodpaster BH, Kritchevsky SB, Tylavsky FA,

Rubin SM, Harris TB. 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, 2006.
8) Hunter SK, Thompson MW, Adams RD. Relationships among age-associated strength changes and physical activity level, limb dominance, and muscle group in women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci,* 55: B264-B273, 2000.
9) Frontera WR, Hughes VA, Dallal GE, Evans WJ. Reliability of isokinetic muscle strength testing in 45- to 78-year-old men and women. *Arch Phys Med Rehabil,* 74: 1181-1185, 1993.
10) Lanza IR, Towse TF, Caldwell GE, Wigmore DM, Kent-Braun JA. Effects of age on human muscle torque, velocity, and power in two muscle groups. *J Appl Physiol,* 95: 2361-2369, 2003.
11) 山﨑裕司，加藤宗規，梶原和久．膝伸展筋力評価における徒手固定の限界．*総合リハビリテーション,* 35: 1369-1371, 2007.
12) Jones CJ, Rikli RE, Beam WC. A 30-s chair-stand test as a measure of lower body strength in community-residing older adults. *Res Q Exerc Sport,* 70: 113-119, 1999.
13) 中谷敏昭，灘本雅一，三村寛一，伊藤稔．日本人高齢者の下肢筋力を簡便に評価する30秒椅子立ち上がりテストの妥当性．*体育学研究,* 47: 451-461, 2002.
14) 中谷敏昭，上英俊．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, 2004.
15) Lindemann U, Claus H, Stuber M, Augat P, Muche R, Nikolaus T, Becker C. Measuring power during the sit-to-stand transfer. *Eur J Appl Physiol,* 89: 466-470, 2003.
16) Yamada T and Demura S. The relationship of force output characteristics during a sit-to-stand movement with lower limb muscle mass and knee joint extension in the elderly. *Arch Gerontol Geriatr,* 50: e46-e50, 2010.
17) Visser M, Kritchevsky SB, Goodpaster BH, Newman AB, Nevitt M, Stamm E, Harris TB. Leg muscle mass and composition in relation to lower extremity performance in men and women aged 70 to 79: the health, aging and body composition study. *J Am Geriatr Soc,* 50: 897-904, 2002.
18) Lauretani F, Russo CR, Bandinelli S, Bartali B, Cavazzini C, Di Iorio A, Corsi AM, Rantanen T, Guralnik JM, Ferrucci L. Age-associated changes in skeletal muscles and their effect on mobility: an operational diagnosis of sarcopenia. *J Appl Physiol,* 95: 1851-1860, 2003.
19) Skelton DA, Kennedy J, Rutherford OM. Explosive power and asymmetry in leg muscle function in frequent fallers and non-fallers aged over 65. *Age Ageing,* 31: 119-125, 2002.
20) Perry MC, Carville SF, Smith IC, Rutherford OM, Newham DJ. Strength, power output and symmetry of leg muscles: effect of age and history of falling. *Eur J Appl Physiol,* 100: 553-561, 2007.
21) 山田孝禎，出村慎一，横谷智久．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, 2008.
22) Fleming BE, Wilson DR, Pendergast DR. A portable, easily performed muscle power test and its association with falls by elderly persoms. *Arch Phys Med Rehabil,* 72: 886-889, 1991.
23) Yamada T and Demura S. Relationships between ground reaction force parameters during a sit-to-stand movement and physical activity and falling risk of the elderly and a comparison of the movement characteristics between the young and the elderly. *Arch Gerontol Geriatr,* 48: 73-77, 2009.
24) 鈴木隆雄．介護予防のための生活機能評価に関するマニュアル（改訂版）平成21年3月，厚生労働省ホームページ（http://www.mhlw.go.jp/topics/2009/05/dl/tp0501-1c_0001.pdf），2011年3月31日閲覧．
25) 辻大士，大藏倫博，田中喜代次．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,* 18: 21-29, 2011.
26) 尹智暎，大藏倫博，角田憲治，辻大士，鴻田良枝，三ッ石泰大，長谷川千紗，金勳．高齢者における認知機能と身体機能の関連性の検討．*体力科学,* 59: 313-322, 2010.
27) Gibson MJ. Falls in later life. In: *Improving the Health of Older People: A World View.,* edited by Kane RL, Evans JG, Macfadyen D. New York: Oxford University Press, 1990, pp. 296-315.
28) 芳賀博，安村誠司，新野直明，上野春代，太島美栄子，樋口洋子．在宅老人の転倒に関する調査法の検討．*日本公衆衛生雑誌,* 43: 983-988, 1996.
29) 清野諭，藪下典子，金美芝，根本みゆき，大藏倫博，奥野純子，田中喜代次．基本チェックリストによる「運動器の機能向上」プログラム対象者把握の意義と課題．*厚生の指標,* 56: 23-31, 2009.
30) Hagiwara A, Ito N, Sawai K, Kazuma K. Validity and reliability of the Physical Activity Scale for the Elderly (PASE) in Japanese elderly people. *Geriatr Gerontol Int,* 8: 143-151, 2008.
31) 矢冨直美．認知的アプローチによるアルツハイマー病の予防．*Cognition and Dementia,* 2: 128-133, 2003.
32) Currier DP. Elements of Research in Physical Therapy (3rd ed.), Baltimore, MD: Williams & Wilkins, 1990, pp. 150-171.
33) Cohen J. Statistical Power Analysis for the Behavioral Science (2nd ed.), New Jersey: Lawrence Erlbaum Assoc Inc, 1988.
34) Lamoureux EL, Sparrow WA, Murphy A, Newton RU. Differences in the neuromuscular capacity and

lean muscle tissue in old and older community-dwelling adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci,* 56: M381-M385, 2001.

35) Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol,* 93: 1318-1326, 2002.

36) Bean JF, Kiely DK, Herman S, Leveille SG, Mizer K, Frontera WR, Fielding RA. The relationship between leg power and physical performance in mobility-limited older people. *J Am Geriatr Soc,* 50: 461-467, 2002.

37) Bean JF, Leveille SG, Kiely DK, Bandinelli S, Guralnik JM, Ferrucci L. A comparison of leg power and leg strength within the InCHIANTI study: which influences mobility more? *J Gerontol A Biol Sci Med Sci,* 58: 728-733, 2003.

38) Kim MJ, Seino S, Kim MK, Yabushita N, Okura T, Okuno J, Tanaka K. Validation of lower extremity performance tests for determining the mobility limitation levels in community-dwelling older women. *Aging Clin Exp Res,* 21: 437-444, 2009.

39) Samson MM, Meeuwsen IB, Crowe A, Dessens JA, Duursma SA, Verhaar HJ. Relationships between physical performance measures, age, height and body weight in healthy adults. *Age Ageing,* 29: 235-242, 2000.

40) Ulbrich J, Raheja A, Alexander NB. Body positions used by healthy and frail older adults to rise from the floor. *J Am Geriatr Soc,* 48: 1626-1632, 2000.

41) Lord SR and Fitzpatrick RC. Choice stepping reaction time: a composite measure of falls risk in older people. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci,* 56: M627-M632, 2001.

42) Pijnappels M, Delbaere K, Sturnieks DL, Lord SR. The association between choice stepping reaction time and falls in older adults--a path analysis model. *Age Ageing,* 39: 99-104, 2010.

43) Bassey EJ, Fiatarone MA, O'Neill EF, Kelly M, Evans WJ, Lipsitz LA. Leg extensor power and functional performance in very old men and women. *Clin Sci (Lond),* 82: 321-327, 1992.

44) Bento PC, Pereira G, Ugrinowitsch C, Rodacki AL. Peak torque and rate of torque development in elderly with and without fall history. *Clin Biomech (Bristol, Avon),* 25: 450-454, 2010.

45) Chan BK, Marshall LM, Winters KM, Faulkner KA, Schwartz AV, Orwoll ES. Incident fall risk and physical activity and physical performance among older men: the Osteoporotic Fractures in Men Study. *Am J Epidemiol,* 165: 696-703, 2007.

46) Friedman SM, Munoz B, West SK, Rubin GS, Fried LP. Falls and fear of falling: which comes first? A longitudinal prediction model suggests strategies for primary and secondary prevention. *J Am Geriatr Soc,* 50: 1329-1335, 2002.

47) Delbaere K, Crombez G, Vanderstraeten G, Willems T, Cambier D. Fear-related avoidance of activities, falls and physical frailty. A prospective community-based cohort study. *Age Ageing,* 33: 368-373, 2004.

48) Brouwer B, Musselman K, Culham E. Physical function and health status among seniors with and without a fear of falling. *Gerontology,* 50: 135-141, 2004.

49) Binda SM, Culham EG, Brouwer B. Balance, muscle strength, and fear of falling in older adults. *Exp Aging Res,* 29: 205-219, 2003.

50) Puthoff ML and Nielsen DH. Relationships among impairments in lower-extremity strength and power, functional limitations, and disability in older adults. *Phys Ther,* 87: 1334-1347, 2007.