

原著

地域在住高齢者における起立動作時の床反力と
1年後の転倒および転倒恐怖感との関連三宅 悠斗^{1) 2)} 白土 大成¹⁾ 田平 健人¹⁾ 牧迫 飛雄馬¹⁾

1) 鹿児島大学医学部保健学科

2) 鹿児島大学大学院保健学研究科

抄録

【目的】 地域在住高齢者を対象として、起立動作時の床反力関連指標と1年後の転倒および転倒恐怖感との関連を検討することを目的とした。

【方法】 本研究は1年間の縦断研究であり、対象は2023年（ベースライン）と2024年（フォローアップ）の垂水研究に参加し、追跡期間が12 ± 2か月以内であった地域在住高齢者168名（平均年齢74.1 ± 5.4歳、女性59.5%）とした。ベースライン調査およびフォローアップ調査において、過去1年間の転倒歴の有無、および転倒に対する恐怖感の有無を聴取した。起立動作の評価として、床反力計を用いて最大努力での起立動作を評価し、体重あたりの最大床反力（力強さ）、体重あたりの筋力発揮率（素早さ）、左右方向の身体動揺と荷重変動の比（安定性）を算出した。また、5回立ち上がりテストも測定した。統計解析として、1年後の転倒の有無、または転倒恐怖感の有無を従属変数とし、ベースライン時の各測定指標を独立変数とするロジスティック回帰分析を行った。年齢、性別、およびベースライン時の転倒歴と転倒恐怖感の有無を調整変数とし、調整済みモデルにおけるオッズ比を算出した。

【結果】 転倒との関連について、フォローアップ調査時に28名（16.7%）が転倒を報告した。ロジスティック回帰分析の結果、ベースライン時の転倒歴を含む共変量を調整後も、体重あたりの最大床反力が、1年後の転倒と有意な関連を示した（オッズ比 0.61, 95%信頼区間：0.38-0.99, $p = 0.044$ ）。また、転倒恐怖感との関連について、フォローアップ調査時に78名（46.4%）が転倒恐怖感を報告した。ロジスティック回帰分析の結果、ベースライン時の転倒恐怖感を含む共変量を調整後も、体重あたりの最大床反力が、1年後の転倒恐怖感と有意な関連を示した（オッズ比：0.59, 95%信頼区間：0.38-0.93, $p = 0.023$ ）。一方、体重あたりの筋力発揮率、左右方向の身体動揺と荷重変動の比、および5回立ち上がりテストは、調整済みモデルでは転倒および転倒恐怖感のいずれとも有意な関連を認めなかった。

【結論】 起立動作における体重あたりの最大床反力、すなわち起立動作時の力強さが大きいことが、1年後に転倒および転倒恐怖感が発生するリスクが低いことと、それぞれ独立して関連していた。起立動作時の床反力測定は、将来の転倒および転倒恐怖感の双方のリスクを簡便かつ客観的に評価する上で有用な指標となるかもしれない。

キーワード

筋力 筋力発揮率 左右変動 立ち上がり 予防

連絡先：鹿児島大学医学部保健学科理学療法学専攻基礎理学療法学講座教授 牧迫飛雄馬

〒890-8544 鹿児島市桜ヶ丘8-35-1

TEL : 099-275-5111 FAX : 099-275-6846 E-mail : makizako@health.nop.kagoshima-u.ac.jp

受付日 : 2025. 11. 12 受理日 : 2026. 1. 20

I はじめに

転倒は公衆衛生上の重大な問題であり、65歳以上の約3人に1人が年に1回以上転倒すると報告されている¹⁾。転倒により障害の発生²⁾や死亡のリスクを増大させることも報告されており³⁾、健康寿命延伸の観点から、その予防と管理は喫緊の課題である。

また、高齢者は転倒の既往を背景として、転倒恐怖感を抱きやすくなることが知られている⁴⁾。転倒恐怖感とは「転倒に対する持続的な不安により、本来は遂行可能な活動を避けるようになること」と定義され、修正可能な転倒リスク因子として位置づけられる⁴⁾。したがって、高齢者の自立した生活を維持するためには、転倒および転倒恐怖感を包括的に捉え、その発生を未然に防ぐ戦略が極めて重要となる。

転倒および転倒恐怖感のハイリスク者を早期に特定するため多様な機能評価が用いられるが、5回立ち上がりテストは簡便かつ省スペースで実施でき、地域在住高齢者の将来の転倒予測にも用いられてきた⁵⁾。しかし、5回立ち上がりテストは主に動作の遂行時間を表すため、起立動作中の筋力発揮の大きさや速さ、バランス制御といった要素を詳細に捉えることは難しい。

近年、起立動作時に床反力計を用いることで、起立動作中の力の発揮様式を詳細に分析することが可能となった。具体的には、起立動作時の床反力の最大値は下肢筋力を反映し、最大値までに至る床反力の数値の傾きは筋力の発揮率、すなわち瞬発的な筋力発揮能力を示す。さらに、床反力の左右方向の変動値を測定することにより、起立動作における安定性を評価することができる⁶⁾。起立動作時に発生する床反力は筋力や身体機能と関連することが報告されており⁷⁾、転倒や転倒恐怖感との関連が想定される。先行研究では、地域在住高齢者における起立動作時の力強さと1年後の複数回の転倒に有意な関連があると報告されているが⁸⁾、床反力指標と転倒との関連を縦断的に示した報告は依然として少なく、その知見は限定的である。

そのため、転倒との縦断的な関連について再検証するとともに、未だ検証されていない転倒恐怖感との縦断的関連性についても併せて確認することは、転倒予防の観点から重要な意義がある。特に、起立動作という単一の課題から得られる客観的なデータが、高齢者における将来の転倒および転倒恐怖感と関連することが明らかとなれば、起立動作時の床反力測定が高齢期の転倒予防・管理における有効なスクリーニング手法の一つとなるかもしれない。

そこで、本研究では地域在住高齢者を対象に、起立動

作時の床反力指標および5回立ち上がりテストと、1年後の転倒および転倒恐怖感との関連を、それぞれ縦断的に検討することを目的とした。

II 方法

1. 研究デザイン

本研究は、地域在住高齢者を対象に縦断的に調査した前向きコホート研究である。

2. 対象

2023年7月16日から2023年12月10日の期間に開催された垂水研究に参加した地域在住高齢者371名のうち、脳卒中、パーキンソン病、うつ病、認知症の既往のある者、基本的日常生活動作に自立していない項目がある者、主要なデータに欠損のある者を除外し、321名がベースライン時の分析対象であった。このうち、フォローアップ調査である2024年6月23日から2024年12月8日の期間に開催された垂水研究に参加しなかった者を除外した。また、本研究ではベースライン時とフォローアップ時の両方で“過去1年間”の転倒歴を聴取しているため、2時点の想起期間の過度な重複や乖離による情報バイアスを避ける目的で、追跡期間が12±2か月(10~14か月)の範囲外であった者も除外対象とした。主要なデータに欠損のある者も除外し、最終的に168名(ベースライン時平均年齢74.1±5.4歳、女性59.5%、追跡期間353.2±27.1日)のデータを縦断的に分析した(図1)。

垂水研究は2017年より産学官連携にて実施されている、40歳以上の地域住民を対象とした包括的な健康チェックである⁹⁾。本研究はヘルシンキ宣言に基づき、対象者のプライバシーおよび個人情報の保護、研究内容の説明、研究への参加の撤回について十分に説明を行い、同意を得た。また、鹿児島大学桜ヶ丘地区疫学研究等倫理委員会の承認(承認番号:170351疫、230304疫)を得て実施した。

3. 調査項目

1) 起立動作時の床反力指標の測定

起立動作時の床反力測定は、運動機能分析装置zaRitz(TANITA, BM-220)を使用した。参加者は、高さ42cmの椅子に着座し、両腕を胸の前で交差させた姿勢で、両足を本機器の上に置くよう指示された。コンピュータから「素早く立って」という音声指示が流れると同時に、起立動作のアニメーションがモニター上に表示され、それに合わせて素早く立ち上がるよう促された。続いて着座動作のアニメーションが表示されると、再び着座するように指示された。この一連の動作を3回

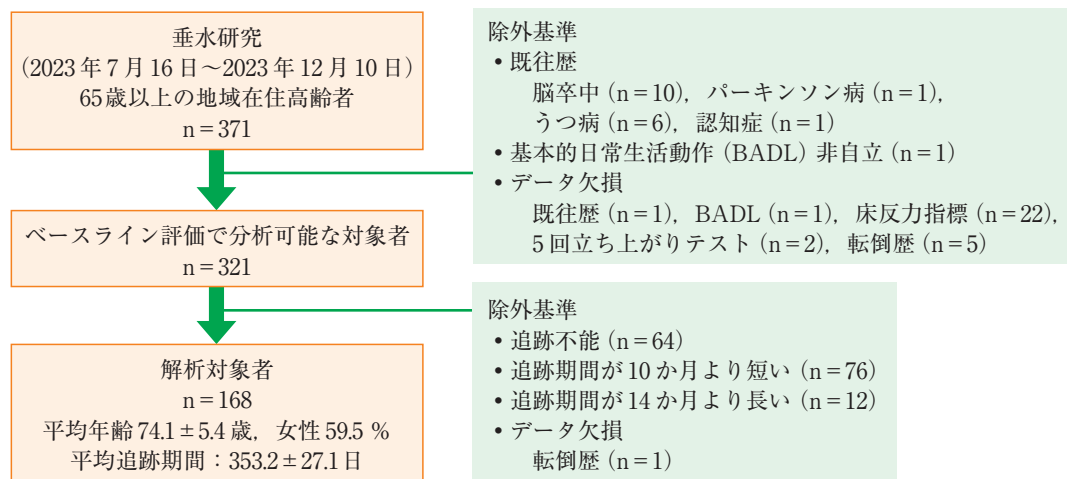


図1 対象者のフローチャート

繰り返して測定を行った。

本研究では、取得された床反力データから、先行研究⁶⁾に基づき以下の3つの床反力指標を算出した。

a) F/w ; the maximum ground reaction force/body weight (kgf/kg): 起立動作中の鉛直方向への最大床反力を体重で除して算出した値。起立動作における力強さを示す。

b) RFD/w ; the rate of force development/body weight (kgf/s/kg): 床反力の時間変化率を体重で除して算出した値。床反力の最大増加を記録したデータ (0.0125 秒) とその前後 0.0375 秒のデータを含む、計 0.0875 秒の範囲における増加量を 1.0 秒に換算し、体重で除して算出した。起立動作における素早さを示す。

c) V_x/V_w ; the fluctuation value in the left-right direction/the load fluctuation value (mm/kg): 起立動作後の立位安定期における左右方向の床反力変動値 (V_x) を、同期間の荷重変動値 (V_w) で除して算出した値。 V_x は最大床反力から立位安定までの間 (0.0125 秒間隔) に記録された左右方向における重心変動の移動速度の絶対値の平均値であり、 V_w は重心の上下への移動速度を絶対値で算出し、最大床反力から立位安定までの平均値である。 V_x は荷重が大きく変化する状況 (例: 勢いよく立ち上がる場合) で大きくなる傾向があるため、信頼性を高めるために V_w で除した V_x/V_w を使用した⁶⁾。起立動作における安定性を示し、 V_x/V_w の値が大きいほど起立後の安定性が低いことを表す。

算出されたすべての指標は、先行研究において検者内信頼性 (ICC > 0.70) が確認されている^{6) 10)}。各参加者について3試行のうち、最大の RFD/w の値を示した試行のデータを用いて解析を行った⁶⁾。また、本研究では、解析結果の解釈を容易にするため、各床反力指標の

値を10倍した値を使用した。

2) 5回立ち上がりテスト

本研究では、起立動作能力の指標として一般的に用いられる5回立ち上がりテストを測定した。5回立ち上がりテストは、高さ42 cmの椅子に着座し、両腕を胸の前で交差させた姿勢から可能な限り早く5回連続して立ち上がり動作を行った⁹⁾。最後の5回目の立位が完了する時間を0.1秒単位で記録した。5回立ち上がりテストは1回のみ計測した。

3) 転倒歴および転倒恐怖感

転倒歴と転倒恐怖感についてはベースライン調査とフォローアップ調査の両方で聴取した。本研究における転倒者は、過去1年間に少なくとも1回は転倒した者と定義した¹¹⁾。転倒歴については「この1年間に転んだことはありますか」という質問に対して「はい」または「いいえ」の回答を求め、「はい」と回答した者を「転倒群」、 「いいえ」と回答した者を「非転倒群」とした。転倒恐怖感については「転倒に対する不安は大きいですか」という質問に対して「はい」または「いいえ」の回答を求め、「はい」と回答した者を「転倒恐怖群」、 「いいえ」と回答した者を「非転倒恐怖群」とした。

4) 対象者特性の評価

年齢、性別、服薬数、独居の有無、身体活動状況を聴取した。1日の服薬数が5剤以上の場合を多剤併用と定義した¹²⁾。身体活動は①「軽い運動・体操を1週間に何日くらいしていますか」と、②「定期的な運動・スポーツを1週間に何日くらいしていますか」という2つの質問にどちらも「していない」と回答した場合を身体活動低下とした¹³⁾。

4. 統計解析

ベースライン調査時の転倒歴の有無および転倒恐怖感

の有無による群間比較について、対応のない t 検定または χ^2 検定を用いた。ロジスティック回帰分析（強制投入法）を用いて、ベースライン調査時の床反力指標および 5 回立ち上がりテストと 1 年後の転倒および転倒恐怖感との関連を検討した。

なお、本研究では各指標の独立した予測能を評価するため、各指標は個別にモデルに投入した。1 年後の転倒との関連を分析するため、従属変数にフォローアップ調査時に聴取した転倒の有無、独立変数に床反力指標または 5 回立ち上がりテストの結果をそれぞれ投入し、先行研究¹⁴⁾において転倒の予測因子であることが報告されている年齢、性別、ベースライン調査時の転倒歴および転倒恐怖感の有無を、調整変数としてモデルに投入した。

1 年後の転倒恐怖感との関連を分析するため、従属変数にフォローアップ調査時に聴取した転倒恐怖感の有無、独立変数に床反力指標または 5 回立ち上がりテストの結果をそれぞれ投入し、同様に調整変数を年齢、性別、ベースライン調査時の転倒歴および転倒恐怖感の有無とした。ロジスティック回帰分析により、オッズ比および 95 % 信頼区間を算出した。なお、ロジスティック回帰分析の独立変数は、床反力指標を 10 倍した値を用いたため、オッズ比は原単位の 0.1 ポイント増加に対する値として解釈される。統計処理は、SPSS Statistics

version 30 (IBM 社) を用い、有意水準は 5 % とした。

III 結果

1. ベースライン調査時の特性

対象者の特徴およびベースライン調査時点での転倒・転倒恐怖感の有無による各変数の群間比較を表 1 に示す。転倒群と非転倒群の間に、起立動作時の床反力指標ならびに 5 回立ち上がりテストに有意な差は認められなかった (F/w : $p = 0.478$; RFD/w : $p = 0.846$; Vx/Vw : $p = 0.406$; 5 回立ち上がりテスト : $p = 0.533$)。一方、転倒恐怖群は非転倒恐怖群と比較して、女性が多く ($p < 0.001$)、F/w (力強さ)、RFD/w (素早さ) および Vx/Vw (安定性) が有意に不良であった (F/w : $p = 0.001$; RFD/w : $p = 0.002$; Vx/Vw : $p = 0.006$)。5 回立ち上がりテストにおいても、転倒恐怖群は非転倒恐怖群よりも有意に不良であった ($p = 0.005$)。

2. 転倒と起立動作指標との関連

本研究の対象者 168 名のうち、フォローアップ調査時に 28 名 (16.7 %) が転倒を報告した。フォローアップ調査時での転倒の有無におけるベースライン調査時点での各変数の群間比較を表 2 に示す。転倒群は非転倒群と比較して、F/w、RFD/w ならびに 5 回立ち上がりテストが有意に不良であった (F/w : $p = 0.033$ 、RFD/w : $p = 0.035$ 、5 回立ち上がりテスト : $p = 0.022$)。一方、

表 1 ベースライン調査時の対象者特性

| | 全体 (n = 168) | 転倒歴 | | | 転倒恐怖感 | | |
|-----------------------------------|-----------------|-------------------------|---------------------------|--------|---------------------------|----------------------------|---------|
| | | 転倒群 (n = 26, 15.5 %) | 非転倒群 (n = 142, 84.5 %) | p 値 | 転倒恐怖群 (n = 86, 51.2 %) | 非転倒恐怖群 (n = 82, 48.8 %) | p 値 |
| 年齢, 歳 ^a | 74.1 ± 5.4 | 74.2 ± 5.4 | 74.1 ± 5.4 | 0.901 | 74.8 ± 5.4 | 73.3 ± 5.3 | 0.075 |
| 女性, 名 (%) ^b | 100 (59.5) | 13 (50.0) | 87 (61.3) | 0.282 | 65 (75.6) | 35 (42.7) | <0.001* |
| 床反力指標 | | | | | | | |
| F/w × 10, kgf/kg ^a | 13.3 ± 1.1 | 13.4 ± 1.1 | 13.3 ± 1.1 | 0.478 | 13.0 ± 1.2 | 13.6 ± 1.0 | 0.001* |
| RFD/w × 10, kgf/s/kg ^a | 105.5 ± 20.1 | 104.8 ± 19.3 | 105.6 ± 20.3 | 0.846 | 100.7 ± 21.3 | 110.4 ± 17.4 | 0.002* |
| Vx/Vw × 10, mm/kg ^a | 12.0 ± 6.5 | 11.0 ± 4.7 | 12.2 ± 6.8 | 0.406 | 13.3 ± 7.7 | 10.6 ± 4.5 | 0.006* |
| 5 回立ち上がりテスト, 秒 ^a | 7.6 ± 2.6 | 7.9 ± 3.0 | 7.5 ± 2.5 | 0.533 | 8.1 ± 3.1 | 7.1 ± 1.8 | 0.005* |
| 多剤併用 (5 剤以上), 名 (%) ^b | 40 (23.8) | 5 (19.2) | 35 (24.6) | 0.551 | 25 (29.1) | 15 (18.3) | 0.101 |
| 教育歴 (13 年以上), 名 (%) ^b | 50 (29.8) | 12 (46.2) | 38 (26.8) | 0.047* | 18 (20.9) | 34 (37.8) | 0.015* |
| 独居, 名 (%) ^b | 51 (30.4) | 7 (26.9) | 44 (31.0) | 0.679 | 26 (30.2) | 32 (39.0) | 0.010* |
| 身体活動低下, 名 (%) ^b | 14 (8.3) | 4 (15.4) | 10 (7.0) | 0.157 | 10 (11.6) | 4 (4.9) | 0.114 |
| 転倒群, 名 (%) ^b | 26 (15.5) | — | — | — | 16 (18.6) | 10 (12.2) | 0.251 |
| 転倒恐怖群, 名 (%) ^b | 86 (51.2) | 16 (61.5) | 70 (49.3) | 0.251 | — | — | — |

平均 ± 標準偏差, または名 (%)

^a 対応のない t 検定, ^b χ^2 検定 * $p < 0.05$

F/w : the maximum ground reaction force/body weight

RFD/w : the rate of force development/body weight

Vx/Vw : the fluctuation value in the left-right direction/the load fluctuation value

Vx/Vwに有意な差は認められなかった ($p = 0.074$)。ロジスティック回帰分析の結果, F/wが高いほど1年後の転倒リスクが有意に低かった (調整後オッズ比: 0.61, 95%信頼区間: 0.38-0.99, $p = 0.044$) (表3)。

3. 転倒恐怖感と起立動作指標との関連

本研究の対象者168名のうち, フォローアップ調査時に78名(46.4%)が転倒恐怖感を報告した。フォローアップ調査時での転倒恐怖感の有無におけるベースライ

ン調査時点での各変数の群間比較を表4に示す。転倒恐怖群は非転倒恐怖群と比較して, F/w, RFD/w, Vx/Vw, 5回立ち上がりテストが有意に不良であった (F/w: $p < 0.001$; RFD/w: $p < 0.001$; Vx/Vw: $p = 0.002$; 5回立ち上がりテスト: $p = 0.046$)。ロジスティック回帰分析の結果, F/wが高いほど1年後の転倒恐怖感を抱くリスクが有意に低かった (調整後オッズ比: 0.59, 95%信頼区間: 0.38-0.93, $p = 0.023$) (表5)。

表2 1年後の転倒の有無における特性の比較

| | 1年後転倒群 (n=28, 16.7%) | 1年後非転倒群 (n=140, 83.3%) | p値 |
|---------------------------------|-------------------------|---------------------------|---------|
| 年齢, 歳 ^a | 74.7±5.4 | 74.0±5.4 | 0.490 |
| 女性, 名(%) ^b | 19 (67.9) | 81 (57.9) | 0.325 |
| 床反力指標 | | | |
| F/w×10, kgf/kg ^a | 12.9±1.1 | 13.4±1.1 | 0.033* |
| RFD/w×10, kgf/s/kg ^a | 98.2±18.5 | 106.9±20.1 | 0.035* |
| Vx/Vw×10, mm/kg ^a | 14.0±8.1 | 11.6±6.1 | 0.074 |
| 5回立ち上がりテスト, 秒 ^a | 8.5±3.2 | 7.4±2.4 | 0.022* |
| 多剤併用(5剤以上), 名(%) ^b | 7 (25.0) | 33 (23.6) | 0.871 |
| 教育歴(13年以上), 名(%) ^b | 10 (35.7) | 40 (28.6) | 0.450 |
| 独居, 名(%) ^b | 7 (25.0) | 44 (31.4) | 0.499 |
| 身体活動低下, 名(%) ^b | 1 (3.6) | 13 (9.3) | 0.318 |
| 転倒群, 名(%) ^b | 12 (42.9) | 14 (10.0) | <0.001* |
| 転倒恐怖群, 名(%) ^b | 16 (57.1) | 70 (50.0) | 0.490 |

平均±標準偏差, または名(%)

^a 対応のないt検定, ^b χ^2 検定 * $p < 0.05$

F/w: the maximum ground reaction force/body weight

RFD/w: the rate of force development/body weight

Vx/Vw: the fluctuation value in the left-right direction/the load fluctuation value

表3 起立動作指標と1年後の転倒との関連

| | 未調整モデル | | 調整済みモデル | |
|------------|------------------|--------|------------------|--------|
| | オッズ比(95%信頼区間) | p値 | オッズ比(95%信頼区間) | p値 |
| F/w×10 | 0.67 (0.46-0.98) | 0.036* | 0.61 (0.38-0.99) | 0.044* |
| RFD/w×10 | 0.98 (0.96-1.00) | 0.038* | 0.98 (0.95-1.00) | 0.067 |
| Vx/Vw×10 | 1.05 (0.99-1.11) | 0.082 | 1.07 (1.00-1.14) | 0.069 |
| 5回立ち上がりテスト | 1.14 (0.99-1.31) | 0.061 | 1.13 (0.97-1.32) | 0.112 |

ロジスティック回帰分析 * $p < 0.05$

従属変数=フォローアップ調査時点の転倒の有(1)無(0)

独立変数=それぞれの起立動作指標(F/w×10, RFD/w×10, Vx/Vw×10, 5回立ち上がりテスト)

調整変数=年齢, 性別, ベースライン調査時点の転倒歴の有無, ベースライン調査時点の転倒恐怖感の有無

F/w: the maximum ground reaction force/body weight

RFD/w: the rate of force development/body weight

Vx/Vw: the fluctuation value in the left-right direction/the load fluctuation value

表4 1年後の転倒恐怖感の有無における特性の比較

| | 1年後転倒恐怖群 (n=78, 46.4%) | 1年後非転倒恐怖群 (n=90, 56.6%) | p値 |
|---------------------------------|---------------------------|----------------------------|---------|
| 年齢, 歳 ^a | 75.3±5.0 | 73.0±5.4 | 0.004* |
| 女性, 名(%) ^b | 62 (79.5) | 38 (42.2) | <0.001* |
| 床反力指標 | | | |
| F/w×10, kgf/kg ^a | 12.8±1.1 | 13.7±1.0 | <0.001* |
| RFD/w×10, kgf/s/kg ^a | 99.4±20.4 | 110.8±18.3 | <0.001* |
| Vx/Vw×10, mm/kg ^a | 13.7±7.5 | 10.5±5.1 | 0.002* |
| 5回立ち上がりテスト, 秒 ^a | 8.0±2.9 | 7.2±2.3 | 0.046* |
| 多剤併用(5剤以上), 名(%) ^b | 21 (26.9) | 19 (21.1) | 0.378 |
| 教育歴(13年以上), 名(%) ^b | 16 (20.5) | 34 (37.8) | 0.015* |
| 独居, 名(%) ^b | 23 (29.5) | 28 (31.1) | 0.819 |
| 身体活動低下, 名(%) ^b | 9 (11.5) | 5 (5.6) | 0.162 |
| 転倒群, 名(%) ^b | 15 (19.2) | 11 (12.2) | 0.210 |
| 転倒恐怖群, 名(%) ^b | 64 (82.1) | 22 (24.4) | <0.001* |

平均±標準偏差, または名(%)

^a 対応のないt検定, ^b χ^2 検定 *p<0.05

F/w: the maximum ground reaction force/body weight

RFD/w: the rate of force development/body weight

Vx/Vw: the fluctuation value in the left-right direction/the load fluctuation value

表5 起立動作指標と1年後の転倒恐怖感との関連

| | 未調整モデル | | 調整済みモデル | |
|------------|--------------------|---------|--------------------|--------|
| | オッズ比(95%信頼区間) | p値 | オッズ比(95%信頼区間) | p値 |
| F/w×10 | 0.45 (0.32 - 0.64) | <0.001* | 0.59 (0.38 - 0.93) | 0.023* |
| RFD/w×10 | 0.97 (0.95 - 0.99) | <0.001* | 0.99 (0.96 - 1.00) | 0.194 |
| Vx/Vw×10 | 1.09 (1.03 - 1.15) | 0.003* | 1.03 (0.96 - 1.11) | 0.382 |
| 5回立ち上がりテスト | 1.14 (1.00 - 1.30) | 0.056 | 1.02 (0.86 - 1.20) | 0.826 |

ロジスティック回帰分析 *p<0.05

従属変数=フォローアップ調査時点の転倒恐怖感の有(1)無(0)

独立変数=それぞれの起立動作指標(F/w×10, RFD/w×10, Vx/Vw×10, 5回立ち上がりテスト)

調整変数=年齢, 性別, ベースライン調査時点の転倒歴の有無, ベースライン調査時点の転倒恐怖感の有無

F/w: the maximum ground reaction force/body weight

RFD/w: the rate of force development/body weight

Vx/Vw: the fluctuation value in the left-right direction/the load fluctuation value

IV 考察

本研究では, 地域在住高齢者において, 1年後の転倒および転倒恐怖感と起立動作時の床反力から得られる起立動作時の力強さ(F/w)・素早さ(RFD/w)・安定性(Vx/Vw)を示す指標ならびに5回立ち上がりテストの関係性を縦断的に検証した。その結果, 力強さを示す最大床反力を体重で除した値において, 1年後の転倒ならびに転倒恐怖感と有意な関連が認められた。

先行研究では, 地域在住高齢者における1年後の2回以上の転倒と起立動作時のF/wが有意な関連があると報告されており⁸⁾, 本研究でも同様の結果が示された。

また, 過去の転倒歴や転倒恐怖感は将来の転倒リスクに対する予測因子であることが知られており¹⁴⁾, 本研究では, それらの因子を調整後も, 起立動作時のF/wが1年後の転倒および転倒恐怖感と独立して関連することを示した。特に, 先行研究で報告の限られている転倒恐怖感との縦断的関連を明らかにした点は本研究の強みである。転倒恐怖感には多様な要素が関与すると考えられるため, 今後は身体機能だけでなく, より広範な因子を探索的に検討することも重要である。

高齢者の転倒の危険因子についてまとめたメタアナリシスでは, 下肢筋力の低下があらゆる転倒のリスクを高

める可能性を示唆している¹⁵⁾。F/wは、起立時に身体を上方へ押し上げるための最大床反力を体重で除した値である。先行研究において起立動作中の床反力は下肢の筋力を反映することが報告されており⁷⁾、下肢筋力要素を含んだ起立動作時の「力強さ」の指標である。この「力強さ」が損なわれると、歩く、立ち上がるといった日常動作の一つひとつにおいて、最大筋力に対する相対的な努力度が高まる必要がある。このことは、日常生活における筋疲労の生じやすさにつながる可能性がある。先行研究のシステマティックレビューにおいても、高齢者の筋疲労が日常生活動作の遂行能力に負の影響を及ぼし、転倒の素因となり得ることが示されている¹⁶⁾。つまり、力強さが低下した高齢者は日常的な活動の中で容易に筋疲労の状態に陥り、その結果、転倒リスクを増大させている可能性がある。

転倒恐怖感のある者は、転倒恐怖感のない者と比較して、1日の総身体活動量が少ないことが報告されている¹⁷⁾。一方、本研究では、転倒恐怖感の有無による群間比較において、身体活動低下の割合に有意な差は認められなかった。本研究における身体活動低下は、週あたりの運動頻度を問う簡易的なものであり、1日の総身体活動量を十分に捉えきれていない可能性がある。

Friedらは、高齢期におけるフレイルに関する悪循環を提唱しており、筋力の低下によって身体活動量が低下するとしている¹⁸⁾。すなわち、下肢筋力の低下を起点とした身体活動量の低下や活動水準の低さと転倒恐怖感の発生が互いに影響し合う悪循環が生じる可能性を示唆されている。筋力の低下が身体活動の低下に作用し、さらなる筋力低下や心理的な転倒恐怖感を助長し得ることは、今後詳細に検討すべき課題である。

本研究では起立動作時の素早さ(RFD/w)は、1年後の転倒および転倒恐怖感と有意な関連を示さなかった。システマティックレビューにおいても、下肢の最大筋力は将来の転倒を予測するものの、RFDの転倒予測力は一貫性が低いことが示されている¹⁹⁾。高齢者の転倒は、歩行時に足が十分に上がらないといった、動作遂行に必要な基礎的な筋力不足が要因となることが多い²⁰⁾。本研究の結果からも、転倒および転倒恐怖感には瞬発的な「素早さ」よりも、「力強さ」がより密接に関与していた可能性がある。また、本研究において起立動作時の安定性(Vx/Vw)も、1年後の転倒および転倒恐怖感と有意な関連を示さなかった。この指標は起立動作が完了した「後」の左右方向の動揺を評価している。一方で、高齢者における起立の失敗は、起立動作の「最中」における動的なバランス制御の破綻と関連すること

が報告されている²¹⁾。本研究で用いた指標は動的な不安定性を直接的に反映せず、1年後の転倒および転倒恐怖感との有意な関連を示さなかった可能性がある。

先行研究では5回立ち上がりテストと将来の転倒との関連が報告されているが⁵⁾、本研究では有意な関連は認められなかった。5回立ち上がりテストは動作の遂行時間を総合的に評価するが、1回ごとの筋力発揮の最大値を反映しているとは限らない。例えば、反動を利用したり、動作様式を工夫したりすることで、筋力が低くても時間を短縮できる可能性がある。本研究の結果は、単に速く立ち上がれるか否かよりも、1回の起立動作においてどれだけ力強く身体を持ち上げられるかという要素が、1年後の転倒および転倒恐怖感と関連する可能性を示している。これは、起立動作という単一課題から得られる客観的な床反力データが、従来の身体機能評価を補完し得る有効なスクリーニング指標となる可能性を示唆するものである。

本研究にはいくつかの限界点が存在する。

第一に、対象者の選択バイアスと結果の一般化に関する限界である。本研究の対象者は、地域の健康チェック事業に参加した比較的健康的意識が高い高齢者であり、起立動作が自立して可能なことを前提としているため、より脆弱で起立困難な高齢者は対象から除外されている。さらに、追跡期間中に脱落した追跡不能者と解析対象者のベースライン特性を比較したところ、追跡不能者はRFD/wおよび5回立ち上がりテストが有意に低値を示しており(補足資料1)、身体機能が相対的に低い対象者が追跡から脱落しやすい傾向が確認された。このように、参加時点および追跡過程の双方において、より健康な対象者が解析に含まれやすいバイアスが存在するため、本研究の結果をすべての地域在住高齢者に一般化するには限界がある。

第二に、転倒歴の有無は、1年間の記憶に基づいた自己申告によって評価されており、想起バイアスが含まれている可能性がある。しかしながら、1年間の転倒の想起は実際には転倒していない対象者を「転倒あり」と誤分類する擬陽性を招く可能性が低く、特異度が高いことが報告されている²²⁾。したがって、本研究で「転倒群」として分類された対象者は、実際に転倒を経験していた可能性が高く、本研究における転倒歴の評価は一定の妥当性を持つと考えられる。

第三に、下肢筋力以外の、視機能や住環境、認知機能といった他の潜在的な交絡因子が、転倒および転倒恐怖感との関連に影響を与えている可能性もあるが、それらは考慮できていない。

補足資料1 解析対象者と追跡不能者の特性

| | 解析対象者 (n = 168) | 追跡不能者 (n = 64) | p 値 |
|-----------------------------------|--------------------|-------------------|--------|
| 年齢, 歳 ^a | 74.1 ± 5.4 | 75.5 ± 6.5 | 0.129 |
| 女性, 名 (%) ^b | 100 (59.5) | 28 (43.8) | 0.031* |
| 床反力指標 | | | |
| F/w × 10, kgf/kg ^a | 13.3 ± 1.1 | 13.1 ± 0.8 | 0.175 |
| RFD/w × 10, kgf/s/kg ^a | 105.5 ± 20.1 | 98.5 ± 18.9 | 0.017* |
| Vx/Vw × 10, mm/kg ^a | 12.0 ± 6.5 | 12.2 ± 6.3 | 0.830 |
| 5回立ち上がりテスト, 秒 ^a | 7.6 ± 2.6 | 8.5 ± 2.6 | 0.027* |
| 多剤併用 (5剤以上), 名 (%) ^b | 40 (23.8) | 14 (21.9) | 0.755 |
| 教育歴 (13年以上), 名 (%) ^b | 50 (29.8) | 13 (20.3) | 0.148 |
| 独居, 名 (%) ^b | 51 (30.4) | 14 (21.9) | 0.199 |
| 身体活動低下, 名 (%) ^b | 14 (8.3) | 7 (10.9) | 0.537 |
| 転倒群, 名 (%) ^b | 26 (15.5) | 12 (18.8) | 0.547 |
| 転倒恐怖群, 名 (%) ^b | 86 (51.2) | 32 (50.0) | 0.871 |

平均 ± 標準偏差, または名 (%)

^a 対応のない t 検定, ^b χ^2 検定 *p < 0.05

F/w : the maximum ground reaction force/body weight

RFD/w : the rate of force development/body weight

Vx/Vw : the fluctuation value in the left-right direction/the load fluctuation value

第四に、統計モデルの安定性に関する限界である。本研究の転倒イベント数は28件と少なく、モデルの推定精度が低下している可能性がある。特に、有意な関連を認めなかった指標については、検出力不足により真の関連を棄却している可能性を否定できない。したがって、今後はより大規模なサンプルサイズを用いた研究において、これらの関連性を再検証する必要がある。

最後に、転倒恐怖感の評価尺度である。本研究では簡便性を優先し単一質問を用いたが、FES-I等の多項目尺度と比較して心理的側面の評価が限定的であった可能性がある。しかしながら、地域在住高齢者を対象とした調査において単一質問による評価は広く使用されており、先行研究においても、この手法により評価された転倒恐怖感が将来の転倒と縦断的に関連することが報告されている²³⁾。

結論として、地域在住高齢者において、起立動作時の体重当たりの最大床反力が、1年後の転倒および転倒恐怖感とそれぞれ有意に関連することを明らかにした。この知見は、高齢者の転倒予防戦略において、自身の体重を力強く押し上げる基礎的な能力を評価することの重要性を示唆している。

V 利益相反

本研究は、「株式会社タニタ」の共同研究費で、実施された。「株式会社タニタ」は研究のデザインやデータ

収集、データ分析および論文執筆には関与していない。

VI 謝辞

本研究にご協力いただいた株式会社タニタ、垂水中央病院、垂水市役所の職員の皆様、ならびに参加者の方々に心より御礼申し上げます。

● 参考文献

- 1) Bergen G, et al. Falls and Fall Injuries Among Adults Aged ≥ 65 Years-United States, 2014. MMWR Morb Mortal Wkly Rep. 65 : 993-998, 2016.
- 2) Tinetti ME, et al. The effect of falls and fall injuries on functioning in community-dwelling older persons. J Gerontol A Biol Sci Med Sci. 53 : M112-119, 1998.
- 3) James SL, et al. The global burden of falls : global, regional and national estimates of morbidity and mortality from the Global Burden of Disease Study 2017. Inj Prev. 26 : i3-i11, 2020.
- 4) Friedman SM, et al. 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.

- 5) Buatois S, et al. Five times sit to stand test is a predictor of recurrent falls in healthy community-living subjects aged 65 and older. *J Am Geriatr Soc.* 56 : 1575-1577, 2008.
- 6) Hirano Y, et al. Change in ground reaction force parameters according to the frailty level of older women in the Timed Up and Go test. *Nagoya J Med Sci.* 84 : 418-432, 2022.
- 7) Tsuji T, et al. Ground Reaction Force in Sit-to-stand Movement Reflects Lower Limb Muscle Strength and Power in Community-dwelling Older Adults. *International Journal of Gerontology.* 9 : 111-118, 2015.
- 8) Kera T, et al. Association between ground reaction force in sit-to-stand motion and falls in community-dwelling older Japanese individuals. *Arch Gerontol Geriatr.* 91 : 104221, 2020.
- 9) Kiuchi Y, et al. Associations of alpha-actinin-3 genotype with thigh muscle volume and physical performance in older adults with sarcopenia or pre-sarcopenia. *Exp Gerontol.* 154 : 111525, 2021.
- 10) Tsuji T, et al. 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. *Japanese Journal of Physical Fitness and Sports Medicine.* 60 : 387-399, 2011.
- 11) Bootsma-van der Wiel A, et al. Walking and talking as predictors of falls in the general population : the Leiden 85-Plus Study. *J Am Geriatr Soc.* 51 : 1466-1471, 2003.
- 12) Masnoon N, et al. What is polypharmacy ? A systematic review of definitions. *BMC Geriatr.* 17 : 230, 2017.
- 13) Satake S, et al. The revised Japanese version of the Cardiovascular Health Study criteria (revised J-CHS criteria). *Geriatr Gerontol Int.* 20 : 992-993, 2020.
- 14) Li Y, et al. Risk factors for falls among community-dwelling older adults : A systematic review and meta-analysis. *Front Med (Lausanne).* 9 : 1019094, 2023.
- 15) Moreland JD, et al. Muscle weakness and falls in older adults : a systematic review and meta-analysis. *J Am Geriatr Soc.* 52 : 1121-1129, 2004.
- 16) Helbostad JL, et al. Consequences of lower extremity and trunk muscle fatigue on balance and functional tasks in older people : a systematic literature review. *BMC Geriatr.* 10 : 56, 2010.
- 17) Hornyak V, et al. What is the relation between fear of falling and physical activity in older adults ? *Arch Phys Med Rehabil.* 94 : 2529-2534, 2013.
- 18) Fried LP, et al. Frailty in older adults : evidence for a phenotype. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 56 : M146-156, 2001.
- 19) Zhu RT, et al. Association of lower-limb strength with different fall histories or prospective falls in community-dwelling older people : a systematic review and meta-analysis. *BMC Geriatr.* 25 : 83, 2025.
- 20) Molés Julio MP, et al. Characteristics and Circumstances of Falls in the Community-Dwelling Older Adult Population. *J Prim Care Community Health.* 11 : 2150132720940508, 2020.
- 21) Riley PO, et al. Biomechanical analysis of failed sit-to-stand. *IEEE Trans Rehabil Eng.* 5 : 353-359, 1997.
- 22) Ganz DA, et al. Monitoring falls in cohort studies of community-dwelling older people : effect of the recall interval. *J Am Geriatr Soc.* 53 : 2190-2194, 2005.
- 23) Asai T, et al. The association between fear of falling and occurrence of falls : a one-year cohort study. *BMC Geriatr.* 22 : 393, 2022.

Original

Association of Ground Reaction Force During Sit-to-Stand Movement with Falls and Fear of Falling After One Year in Community-Dwelling Older Adults

Yuto MIYAKE^{1) 2)} Daijo SHIRATSUCHI¹⁾ Kento TABIRA¹⁾ Hyuma MAKIZAKO¹⁾

1) School of Health Sciences, Faculty of Medicine, Kagoshima University

2) Graduate School of Health Sciences, Kagoshima University

Abstract

【Objective】 To examine whether ground-reaction-force (GRF) indices during sit-to-stand (STS) predict falls and fear of falling (FOF) at one year in community-dwelling older adults.

【Methods】 This 1-year longitudinal study included 168 adults (mean age 74.1 ± 5.4 years ; 59.5 % women) from the Tarumizu Study (baseline 2023 ; follow-up 2024) with a 10 – 14-month interval. At both waves, we assessed falls in the prior year and FOF. STS was performed on a force plate under maximal effort. We derived body-mass-normalized peak vertical GRF (power), rate of force development (speed), and the ratio of mediolateral body sway to load fluctuation (balance). The five-times STS (5TSTS) was also recorded. Logistic regression estimated associations between baseline measures and falls or FOF at one year. Models adjusted for age, sex, and baseline falls and FOF, yielding adjusted odds ratios (ORs).

【Results】 For falls, 28 participants (16.7 %) reported a fall at follow-up. Even after adjusting for covariates including baseline falls, body-mass-normalized peak vertical GRF (power) was significantly associated with a lower risk of falls (ORs 0.61, 95 % CI 0.38 – 0.99, $p = 0.044$). For FOF, 78 participants (46.4 %) reported FOF at follow-up. Even after adjusting for covariates including baseline FOF, power was significantly associated with a lower risk of FOF (ORs 0.59, 95 % CI 0.38 – 0.93, $p = 0.023$). In contrast, speed, balance, and the 5TSTS test were not significantly associated with either outcome after adjustment.

【Conclusion】 Greater power (higher body-mass-normalized peak vertical GRF during STS) was independently associated with a lower risk of both falls and incident FOF at one year. GRF assessment during STS may provide a simple, objective indicator for evaluating the future risk of both falls and FOF in community-dwelling older adults.

Keywords

Muscle strength, Rate of force development, Mediolateral fluctuation, Sit-to-stand, Prevention

Corresponding author : Hyuma Makizako, Department of Physical Therapy, School of Health Sciences, Faculty of Medicine, Kagoshima University
8-35-1 Sakuragaoka, Kagoshima 890-8544, Japan
TEL : +81-99-275-5111 FAX : +81-99-275-6846 E-mail : makizako@health.nop.kagoshima-u.ac.jp
Received : November 12, 2025 Accepted : January 20, 2026