

# 地域在住高齢者における足圧バランス機能と身体的フレイルとの関連

藤谷 順三<sup>1</sup> 矢次 春風<sup>2</sup> 劉 昕<sup>2</sup> 陳 涛<sup>3</sup> 陳 斯<sup>4</sup> 岸本 裕歩<sup>2,5</sup>

## 抄 録

地域に住む要支援・要介護認定を受けていない65～75歳の847人を対象に、動的な足圧バランス機能と身体的フレイルとの関連を横断的に検討した。身体的フレイルは体重減少、筋力低下、疲労感、歩行速度低下、活動量低下について、3項目以上に該当する状態を身体的フレイル、1～2項目は身体的プレフレイルと定義した。動的な足圧バランス機能は足圧バランス計を用いて評価した。その結果、前後と左右の重心移動量、左右の重心揺れ幅、前・後・左・右の各重心移動比率は、身体的フレイルまたは身体的プレフレイルの独立した関連因子である。

キーワード：足圧バランス機能、動的バランス、身体的フレイル、高齢者、横断研究

## I 緒 言

フレイル (frailty) とは、加齢に伴い身体的・精神的・社会的機能やそれらの予備能力が低下することによって健康障害に対する脆弱性が増大した状態を示す (荒井, 2014)。わが国の75歳以上の高齢者における要介護の主な原因として認知症、高齢による衰弱、骨折・転倒などが上位に位置する (厚生労働省, 2019) ことから、要介護化を予防し健康寿命を延伸させるためにはフレイル段階での対策が鍵となる。

Fried et al. (2001) が Cardiovascular Health Study (CHS) に基づく frailty phenotype を報告して以降、わが国においても身体的フレイルの判定基準が検討されているが (Makizako et al., 2015; Kojima et al., 2017; Chen et al., 2015; Chen et al., 2020)、その多くは体重減少、筋力低下、疲労、歩行速度低下、活動量低下を構成要素としている。一方、これらの構成要素が低下する背景には、バランス機能低下の関与が考えられる。バランス機

能は、動的バランスと静的バランスに大別される (前阪ほか, 2015; 竹島・禿, 2020) が、塩田ほか (2008) は、動的バランス機能は高齢者を含む成人の筋力および筋発揮時間低下の指標にもなりうると報告している。よって、動的バランス機能を評価することで将来的な身体的フレイルのリスクを予測できる可能性がある。

また、島田ほか (2006) は、静的バランスと動的バランスをさらに①静的姿勢保持、②外乱負荷応答、③支持基底面を固定した状況における随意運動中のバランス機能、④支持基底面が移動する状況における随意運動中のバランス機能の4因子に分類し、それぞれに応じた検査方法を実施することで対象者の総合的なバランス機能の評価が可能になると述べている。

Navarrete-Villanueva et al. (2021) は、身体的フレイルと体力との関連をシステムティックレビュー及びメタアナリシスで検討した結果、身体的フレイルの進行に伴い静的バランスおよび動的バランスの低下が認められるものの、効果量

<sup>1</sup>国立大学法人徳島大学大学院医歯薬学研究部地域運動器・スポーツ医学講座

<sup>2</sup>国立大学法人九州大学大学院人間環境学府

<sup>3</sup>同済大学体育教学部スポーツ健康研究センター

<sup>4</sup>山東大学看護リハビリテーション学院

<sup>5</sup>国立大学法人九州大学基幹教育院

(effect size) を算出できなかったことから解析の対象としていない。その理由として、研究数が限られていることと、測定プロトコルが異なることに起因すると述べている。さらに、採用された動的バランスは3 mもしくは8 footのup-and-go testのみで、島田ほかの分類の「③支持基底面を固定した状況における随意運動中のバランス機能」と身体的フレイルの関連については明らかになっていない。

身体的フレイルは可逆的な状態であり、適切な介入により筋力やバランスなど身体機能のある程度回復することが期待できる(Clegg et al., 2013)。したがって、バランス機能と身体的フレイルの関連を明らかにすることは、フレイルを抑制し健康寿命を延伸させる上で極めて重要であると考えられる。そこで本研究は、地域在住高齢者における動的な足圧バランス機能と身体的フレイルとの関連を検討した。

## II 方 法

### 1. 研究デザイン

福岡県糸島市の地域在住高齢者を対象とした疫学コホート研究のベースライン調査データを用いた横断研究である。

### 2. 対象者

2016年9月に実施した介護予防・日常生活圏域ニーズ調査(Chen et al., 2020)に回答し、かつ、要支援・要介護認定を受けていないと申告した65歳から75歳までの男女とした。年齢・性別・居住地区の大きさを考慮して5,000人を無作為に抽出し、調査の案内と質問票を郵送した。このうち、2017年9月から12月の測定会に参加した949名を対象とした。解析対象者は、本研究に用いた全てのデータが欠損なく得られた847人(男性415人、女性432人)とした。

### 3. 調査手順

測定会は各地区の保健福祉センターで実施した。研究全体の目的や流れなどを説明した後、訓

練された調査スタッフにより運動機能測定、身体計測を行った。身体活動量調査は、調査スタッフが3軸加速度計センサー内蔵活動量計の装着方法の説明を行い、調査測定会当日から1週間の活動量計の装着を依頼し、郵送で回収した。調査測定会の前に郵送した質問票は調査測定会当日に回収し、不明な回答を再確認した。質問票は、原則、対象者本人が記入するよう依頼し、何らかの理由でそれが困難な場合に限り、家族等に代理回答を依頼した。

## 4. 調査項目

### 1) 足圧バランス機能

足圧バランス機能の測定方法および用いた足圧バランス計(住友理工株式会社製)は、藤谷ほか(2021)と同様にした。足圧バランス機能の指標は、①前傾斜時の最大重心位置から後傾斜時の最大重心位置までの距離(重心移動量・前後, cm)、②右傾斜時の最大重心位置から左傾斜時の最大重心位置までの距離(重心移動量・左右, cm)、③前後傾斜時における左右方向の最大重心移動距離(重心揺れ幅・前後, cm)、④左右傾斜時における前後方向の最大重心移動距離(重心揺れ幅・左右, cm)、⑤重心移動量・前後を重心揺れ幅・前後で除した重心安定度・前後、⑥重心移動量・左右を重心揺れ幅・左右で除した重心安定度・左右、⑦足長の2分の1に対する前方向の重心移動量の割合(重心移動比率・前, %)、⑧足長の2分の1に対する後方向の重心移動量の割合(重心移動比率・後, %)、⑨立ち幅の2分の1に対する右方向の重心移動量の割合(重心移動比率・右, %)、⑩立ち幅の2分の1に対する左方向の重心移動量の割合(重心移動比率・左, %)の計10項目を定量化し解析に使用した。

### 2) 開眼片足立ち保持時間

開眼片足立ち保持時間(秒)は、壁から1m離れた箇所に引かれた線に両足のつま先を揃えて立ち、対象者の目線に合わせて壁に貼りつけられた目印を注視し、測定中は両手を腰に当て、拳上脚が支持脚に触れないよう教示した。左右それぞれの開眼片足立ち保持時間を1回ずつ測定した。上

表1 本研究における身体的フレイルの評価基準

項目	定義
1 体重減少	過去6か月間で、2~3 kg以上の（意図しない）体重減少があった
2 筋力低下	握力が、性別かつBMI別の下位20%以下に該当 男性：27.6 kg以下（BMI<18.5 kg/m <sup>2</sup> ）、32.2 kg以下（18.5 kg/m <sup>2</sup> ≤BMI<25.0 kg/m <sup>2</sup> ）、 30.3 kg以下（25.0 kg/m <sup>2</sup> ≤BMI<30.0 kg/m <sup>2</sup> ）、29.6 kg以下（BMI≥30.0 kg/m <sup>2</sup> ） 女性：19.9 kg以下（BMI<18.5 kg/m <sup>2</sup> ）、19.4 kg以下（18.5 kg/m <sup>2</sup> ≤BMI<25.0 kg/m <sup>2</sup> ）、 20.4 kg以下（25.0 kg/m <sup>2</sup> ≤BMI<30.0 kg/m <sup>2</sup> ）、20.0 kg以下（BMI≥30.0 kg/m <sup>2</sup> ）
3 疲労感	過去1か月で「気分が落ち込んで、何が起ころうとも気が晴れないように感じる」「何をするにも骨折りだと感じる」のいずれかに該当
4 歩行速度低下	5 m最大歩行時間が、性別かつ身長別の上位20%以上に該当（※身長は中央値） 男性：3.07秒以上（身長<165.0 cm）、2.83秒以上（身長≥165.0 cm） 女性：3.17秒以上（身長<152.3 cm）、2.95秒以上（身長≥152.3 cm）
5 活動量低下	3軸加速度センサーによる身体活動エネルギー消費量が、性別の下位20%以下 男性：6.62 kcal/kg/日以下 女性：8.23 kcal/kg/日以下

評価 身体的フレイル：上記5項目のうち3項目以上該当  
 身体的プレフレイル：上記5項目のうち1項目または2項目該当  
 ロバスト：上記5項目のうちいずれにも該当しない

限は120秒とし、左右いずれかの最も長い保持時間（秒）を測定値とした。

### 3) 身体的フレイルの定義と調査方法

本研究ではChen et al. (2015) が用いた身体的フレイルの評価法に基づき、①体重減少、②筋力低下、③疲労感、④歩行速度低下、⑤活動量低下の5項目について、3項目以上に該当する者を身体的フレイル、1または2項目に該当する者を身体的プレフレイル、いずれにも該当しない者をロバストと評価した。

5項目の判定基準およびその測定方法についてもChen et al. (2015) と同様に次の通りとした(表1)。

①体重減少は、過去6か月間で2~3 kg以上の（意図しない）体重減少があった者とした。

②筋力低下は、性別・Body mass index (BMI) 別に、握力 (kg) が下位20%以下に該当する者とした。握力は握力計 (TKK5401, 竹井機器工業株式会社) を用い、握力計の握り部分を人差し指の第2関節が屈曲90度になるよう調整したのち、立位で左右交互に2回ずつ測定し、それらの最大値を解析に用いた。BMIは、日本肥満学会肥満症診断基準検討委員会 (2011) が示す肥満度の判定基準に基づき18.5 kg/m<sup>2</sup>未満、18.5 kg/m<sup>2</sup>以上25.0 kg/m<sup>2</sup>未満、25.0 kg/m<sup>2</sup>以上30.0 kg/m<sup>2</sup>未満、30.0 kg/m<sup>2</sup>以上の4区分とした。

③疲労感は、精神的健康状態

を評価するThe 6-item Kessler Psychological Distress Scale (K6) (Kessler et al., 2002) の質問項目のうち、過去1か月で「気分が落ち込んで、何が起ころうとも気が晴れないように感じる」と「何をするにも骨折りだと感じる」のいずれか1つでも該当する者とした。

④歩行速度低下は、5 m最大歩行時間 (秒) が性別・身長別の上位20%以上に該当する者とした。測定前、対象者に5 mの測定区間と前後各3 mの助走区間を合わせた計11 mをできるだけ速く歩くよう (ただし走らないよう) 教示した。記録の開始位置は実測区間である5 mのスタートラインを振り脚が横切った瞬間とし、記録の終了位置は5 mの終了ラインを振り脚が横切った瞬間として、その所要時間を計測した。2回測定して速い方の記録を最大歩行時間とした。身長 (cm) は性別に中央値を求め、中央値以上とそれ未満に二分した。

⑤活動量低下は、1日当たり体重当たりの身体活動エネルギー消費量 (kcal/kg/日) が性別の下位20%以下に該当する者とした。身体活動エネルギー消費量は、3軸加速度計センサー内臓の活動量計 (Active style Pro HJA-350IT, オムロン株式会社) を用いて、測定当日から7日間の活動を測定し、活動量計の装着時間が1日につき60分以上、かつ4日以上得られたデータを解析に用いた。

#### 4) その他の調査項目

年齢、性別、教育年数、手段的日常生活動作 (Instrumental activities of daily living : IADL)、運動習慣、主観的経済状況、主観的健康状態、飲酒習慣、喫煙習慣、転倒リスクは、事前に郵送した質問票から情報を得た。IADLは、老研式活動能力指標 (古谷野ほか, 1987) における手段的自立に関する5項目で評価し、5点満点中5点未満をIADL低下ありと定義した。運動習慣は、1回30分以上の運動を最低週2回、1年以上継続している場合を運動習慣ありと定義した (厚労省, 2019)。主観的経済状況は、現在の家庭の経済状況について「苦しい」「やや苦しい」「ややゆとりがある」「ゆとりがある」のうち「苦しい」と「やや苦しい」を、主観的健康状態は「とても健康」「まあまあ健康」「あまり健康でない」「健康でない」のうち「とても健康」と「まあまあ健康」を、飲酒習慣と喫煙習慣は「ほぼ毎日飲む(吸う)」「時々飲む(吸う)」「ほとんど飲まない(吸わない)」「もともと飲まない(吸わない)」のうち「ほぼ毎日飲む(吸う)」と「時々飲む(吸う)」の回答者数と割合を算出した。転倒リスクは Okochi et al. (2006) の簡易転倒スコアを用いて評価した。質問票から得た「過去1年間の転倒歴: 5点」「歩行速度の低下: 2点」「杖の使用: 2点」「背中が丸くなった: 2点」「5種類以上の服薬: 2点」についての情報をもとに、転倒リスクに従って重み付けされた各項目の点数を合計した (最高13点)。合計点数が6点以上の場合を転倒高リスクと定義した。四肢骨格筋量は、体組成計 (MC-190SV, 株式会社タニタ社製) を用い、生体電気インピーダンス (Bioelectrical Impedance Analysis : BIA) 法により推定された両上下肢の筋肉量 (kg) を合計した。認知機能は、Mini-mental state examination (MMSE) 日本語版を用いて測定会当日に熟練者による面接方式で検査した。3軸加速度計センサー内臓の活動量計を用いて、身体活動エネルギー消費量に加え、3.0 METs 以上の中高強度活動量 (moderate-to-vigorous intensity physical activity : MVPA, 分/日) と、1.5 METs 以下の活動時間 (座位時間, 分/日) を算出した。

#### 5) 統計解析

対象者の特性について、連続変数は平均値±標準偏差および最大値と最小値、カテゴリ変数は該当者の人数とその割合を男女別に算出した。男女差について、連続変数は対応のないt検定、カテゴリ変数は $\chi^2$ 乗検定を行った。足圧バランス機能の各指標と身体的フレイル・プレフレイルとの関連については、多項ロジスティック回帰分析を行い、足圧バランス機能の連続値に対する身体的フレイル・プレフレイルのオッズ比 (OR) と95%信頼区間 (95%CI) を算出した。モデル1は無調整、モデル2では年齢、教育年数、四肢骨格筋量、MMSE、座位時間、IADL、運動習慣、主観的経済状況、主観的健康状態、飲酒習慣、喫煙習慣を多変量解析の調整因子とした。モデル3では、モデル2に転倒高リスク、開眼片足立ち保持時間を加えて調整した。開眼片足立ち保持時間と身体的フレイル・プレフレイルとの多項ロジスティック回帰分析は、モデル1は無調整、モデル2は足圧バランス機能と同じ因子で調整した。モデル3ではモデル2と同じ因子に転倒高リスク、さらに開眼片足立ち保持時間と相関の高い重心移動量・前後、重心安定度・前後 (藤谷ほか, 2021) を加えて調整した。

解析ソフトウェアは、九州大学情報基盤センターの研究用計算機システム SAS ver 9.4 (SAS Institute Inc, Cary NC, USA) を利用した。統計的有意水準は $\alpha=0.05$ とした。

#### 6) 倫理的配慮

本研究は九州大学基幹教育院及びキャンパスライフ・健康支援センター合同倫理専門委員会の承認を得て実施された (課題番号 201708)。

### III 結 果

#### 1. 対象者の特性

対象者の特性を表2に示した。男性は女性に比べ、教育年数が長く、BMIが高く、四肢骨格筋量が有意に多かった。加えて、MMSEは低く、座位時間は長く、IADLが5点未満の者は少なく、運動習慣、飲酒および喫煙の割合が有意に多かった。

表2 対象者の特性

		全体	男性	女性	p値
人数	人, %	847	415 (49.0)	432 (51.0)	-
年齢	歳	70.8±3.0	70.7±3.1	70.9±3	0.38
教育年数	年	12.9±2.4	13.5±2.5	12.3±2.1	<0.01
BMI	kg/m <sup>2</sup>	22.9±3.2	23.3±3.0	22.6±3.4	<0.01
四肢骨格筋量 (BIA)	kg	17.7±4.2	21.3±2.7	14.4±1.9	<0.01
MMSE	点	28.4±1.6	28.3±1.7	28.6±1.5	<0.01
MVPA	分/日	52.0±33.6	49.7±33.7	54.2±33.4	0.052
座位時間	分/日	440.1±109.6	458.8±116.3	422.1±99.7	<0.01
IADL (5点未満)	人, %	803 (94.8)	376 (90.6)	427 (98.8)	<0.01
運動習慣あり	人, %	445 (52.5)	234 (56.4)	211 (48.8)	0.03
主観的経済状況 (苦しい・やや苦しい)	人, %	439 (51.8)	214 (51.6)	225 (52.1)	0.88
主観的健康状態 (とても健康・まあまあ健康)	人, %	760 (89.7)	379 (91.3)	381 (88.2)	0.13
飲酒習慣あり	人, %	431 (50.9)	305 (73.5)	126 (29.2)	<0.01
喫煙習慣あり	人, %	71 (8.4)	64 (15.4)	7 (1.6)	<0.01
転倒高リスク (簡易転倒スコア6点以上)	人, %	138 (16.3)	62 (14.9)	76 (17.6)	0.30
足圧バランス機能					
重心移動量・前後	cm	9.2±3.2	9.8±3.1	8.5±3.1	<0.01
重心移動量・左右	cm	10.3±3.4	10.9±3.3	9.7±3.4	<0.01
重心揺れ幅・前後	cm	2.8±1.2	2.9±1.3	2.8±1.2	0.27
重心揺れ幅・左右	cm	2.8±1.0	2.9±1.1	2.7±0.9	<0.01
重心安定度・前後		3.6±1.5	3.8±1.5	3.4±1.5	<0.01
重心安定度・左右		3.9±1.3	3.9±1.3	3.8±1.4	0.19
重心移動比率・前	%	33.4±14.4	35.4±14.0	31.5±14.5	<0.01
重心移動比率・後	%	44.9±13.8	45.0±13.4	44.8±14.1	0.87
重心移動比率・右	%	39.5±13.9	40.6±13.0	38.5±14.7	0.02
重心移動比率・左	%	40.1±13.9	41.2±13.2	39.1±14.5	0.03
開眼片足立ち保持時間	秒	83.7±42.7	86.6±42.4	80.9±42.9	0.050
握力	kg	29.4±8.2	36.2±5.5	22.9±3.8	<0.01
5m最大歩行時間	秒	2.7±0.5	2.6±0.4	2.8±0.5	<0.01

表中の数値は平均値±標準偏差または人数 (%)

BMI : Body mass index BIA : Bioelectrical impedance analysis MMSE : Mini-mental state examination MVPA : Moderate-to-vigorous physical activity IADL : Instrumental activities of daily living

足圧バランス機能を見ると、重心移動量の前後・左右、重心揺れ幅の左右、重心安定度の前後、重心移動比率の前・右・左において、男性は女性よりも有意に高かった。さらに、男性は女性よりも握力が有意に強く、5m最大歩行時間も有意に速かった。

2. 身体的フレイル・プレフレイルの該当者数  
身体的フレイル・プレフレイル、ロバストの該当者数とそれらの割合を表3に示した。全体では、身体的フレイルは4.8%、身体的プレフレイル

は51.9%、ロバストは43.2%であった。男女別では、身体的フレイルは男性4.8%、女性4.9%、身体的プレフレイルは男性51.6%、女性52.3%であり、男女における身体的フレイル・プレフレイルの割合に有意差はみられなかった。

身体的フレイルの項目別内訳では、筋力低下(20.5%)に該当する対象者が最も多く、最も少なかった項目が体重減少(9.7%)であった。これらの傾向は男女ともみられた。

表3 身体的フレイル・プレフレイルの該当者数

	全体		男性		女性		p値
	人	%	人	%	人	%	
総数	847		415		432		
フレイル	41	4.8	20	4.8	21	4.9	0.98
プレフレイル	440	51.9	214	51.6	226	52.3	0.83
ロバスト	366	43.2	181	43.6	185	42.8	0.82
〔該当数内訳〕							
0	366	43.2	181	43.6	185	42.8	
1	313	37.0	152	36.6	161	37.3	
2	127	15.0	62	14.9	65	15.1	
3	34	4.0	19	4.6	15	3.5	
4	7	0.8	1	0.2	6	1.4	
5	0	0.0	0	0.0	0	0.0	
〔項目別内訳〕							
体重減少	82	9.7	40	9.6	42	9.7	0.97
筋力低下	174	20.5	87	21.0	87	20.1	0.77
疲労感	107	12.6	47	11.3	60	13.9	0.26
歩行速度低下	168	19.9	82	19.9	86	20.0	0.96
身体活動量低下	166	19.6	81	19.5	85	19.7	0.95

### 3. 足圧バランス機能と開眼片足立ち保持時間及び身体的フレイル・プレフレイル

足圧バランス機能の各指標と開眼片足立ち保持時間及び身体的フレイル・プレフレイルとの関連について多項ロジスティック回帰分析の結果を表4に示した。

身体的フレイルとの関連では、足圧バランス機能指標10項目のうち、重心移動量の前後・左右、重心安定度の前後・左右、重心移動比率の前・後・左・右が身体的フレイルとの間に、オッズ比：0.55～0.95、95%CI：0.41～0.97の範囲で有意な負の関連を認めた（全て $p<0.001$ ，モデル1）。モデル2では、モデル1で示された有意な関連は変わらなかった（オッズ比：0.64～0.95、95%CI：0.46～0.98、全て $p<0.01$ ）。モデル3では、身体的フレイルのオッズ比は減弱傾向にあったが、重心移動量の前後と左右が多いほど、重心移動比率の前・後・左・右それぞれが高いほど、身体的フレイルのオッズ比は有意に低かった（オッズ比の範囲：0.68～0.97、95%CIの範囲：0.46～0.995、全て $p<0.05$ ）。開眼片足立ち保持時間と身体的フレイルとの関連は、モデル1～モデル3のいずれも有意な負の関連を示した。

身体的プレフレイルとの関連では、重心移動量

の前後・左右、重心揺れ幅の左右、重心安定度の前後・左右、重心移動比率の前・後・左・右との間に、オッズ比0.85～0.98（95%CI：0.74～0.99）の範囲で有意な負の関連を認めた（全て $p<0.05$ ，モデル1）。モデル2では、重心移動量の前後・左右、重心揺れ幅の左右、重心安定度の前後、重心移動比率の前・後・左・右が身体的プレフレイルとの間に有意な負の関連を示した（オッズ比の範囲：0.82～0.98、95%CIの範囲：0.70～0.99、全て $p<0.05$ ）。モデル3のオッズ比は減弱したものの、前後と左右の重心移動量、左右の重心揺れ幅が多いほど、前・後・左・右の各重心移動比率が高いほど、身体的プレフレイルのオッズ比は有意に低かった（オッズ比の範囲：0.80～0.99、95%CIの範囲：0.69～0.996）。開眼片足立ち保持時間と身体的プレフレイルとの間には、モデル1～モデル3のいずれも有意な負の関連を認めた。

## IV 考 察

### 1. 身体的フレイル・プレフレイルの該当者

Makizako et al.(2015)が報告した日本の大規模コホート研究における身体的フレイルの割合は6.9%、身体的プレフレイルの割合は49.6%であっ

表4 足圧バランス機能と開眼片足立ち保持時間および身体的フレイル・プレフレイルのロジスティック回帰分析

【身体的フレイル】	モデル1			モデル2			モデル3		
	OR	95%CI	p値	OR	95%CI	p値	OR	95%CI	p値
足圧バランス機能									
重心移動量・前後 (cm)	0.69	0.61-0.77	<0.01	0.70	0.61-0.80	<0.01	0.75	0.65-0.86	<0.01
重心移動量・左右 (cm)	0.79	0.71-0.87	<0.01	0.80	0.71-0.89	<0.01	0.85	0.76-0.96	<0.01
重心揺れ幅・前後 (cm)	0.79	0.57-1.09	0.16	0.74	0.51-1.07	0.10	0.71	0.49-1.02	0.06
重心揺れ幅・左右 (cm)	0.90	0.65-1.24	0.51	0.74	0.51-1.07	0.11	0.68	0.46-1.00	0.052
重心安定度・前後	0.58	0.45-0.75	<0.01	0.95	0.92-0.97	<0.01	0.80	0.59-1.10	0.18
重心安定度・左右	0.55	0.41-0.73	<0.01	0.64	0.46-0.88	<0.01	0.82	0.58-1.16	0.27
重心移動比率・前 (%)	0.94	0.92-0.96	<0.01	0.94	0.92-0.96	<0.01	0.96	0.94-0.99	0.01
重心移動比率・後 (%)	0.93	0.90-0.95	<0.01	0.93	0.90-0.95	<0.01	0.94	0.91-0.97	<0.01
重心移動比率・右 (%)	0.95	0.93-0.97	<0.01	0.95	0.93-0.98	<0.01	0.97	0.94-0.995	0.02
重心移動比率・左 (%)	0.95	0.92-0.97	<0.01	0.95	0.92-0.97	<0.01	0.96	0.94-0.99	<0.01
開眼片足立ち保持時間 (10秒)	0.75	0.68-0.81	<0.01	0.81	0.74-0.90	<0.01	0.88	0.79-0.97	<0.01

【身体的プレフレイル】	モデル1			モデル2			モデル3		
	OR	95%CI	p値	OR	95%CI	p値	OR	95%CI	p値
足圧バランス機能									
重心移動量・前後 (cm)	0.88	0.84-0.92	<0.01	0.89	0.84-0.94	<0.01	0.91	0.86-0.96	<0.01
重心移動量・左右 (cm)	0.91	0.87-0.95	<0.01	0.91	0.87-0.96	<0.01	0.93	0.89-0.98	<0.01
重心揺れ幅・前後 (cm)	0.95	0.85-1.06	0.32	0.95	0.85-1.07	0.37	0.91	0.81-1.03	0.13
重心揺れ幅・左右 (cm)	0.85	0.74-0.98	0.02	0.82	0.70-0.96	0.02	0.80	0.69-0.94	<0.01
重心安定度・前後	0.85	0.77-0.93	<0.01	0.88	0.80-0.98	0.02	0.94	0.84-1.05	0.27
重心安定度・左右	0.89	0.80-0.99	0.03	0.94	0.84-1.05	0.26	0.99	0.89-1.12	0.91
重心移動比率・前 (%)	0.98	0.97-0.99	<0.01	0.98	0.97-0.99	<0.01	0.98	0.97-0.995	<0.01
重心移動比率・後 (%)	0.98	0.97-0.99	<0.01	0.98	0.97-0.99	<0.01	0.98	0.97-0.99	<0.01
重心移動比率・右 (%)	0.98	0.97-0.99	<0.01	0.98	0.97-0.99	<0.01	0.99	0.97-0.996	<0.01
重心移動比率・左 (%)	0.98	0.97-0.99	<0.01	0.98	0.97-0.99	<0.01	0.98	0.97-0.99	<0.01
開眼片足立ち保持時間 (10秒)	0.90	0.87-0.93	<0.01	0.93	0.90-0.97	<0.01	0.95	0.91-0.99	0.01

OR：オッズ比 95%CI：95%信頼区間

モデル1：調整なし

モデル2：年齢、教育歴、四肢骨格筋量、MMSE、座位時間、IADL、主観的経済状況、運動習慣あり、主観的健康状態、飲酒習慣あり、喫煙習慣ありを調整

モデル3：モデル2+簡易転倒スコア（6点以上）、開眼片足立ち保持時間を調整

開眼片足立ち保持時間はモデル2+簡易転倒スコア（6点以上）、重心移動量・前後、重心安定度・前後を調整した。

調整開眼片足立ち保持時間は10秒当たりで算出した。

た。また、本研究と同じ身体的フレイルの基準を用いた Chen et al. (2015) の研究では、身体的フレイル 9.3%、身体的プレフレイル 43.9%であった。これらと比べて、本研究における身体的フレイルの該当者は 4.8%と少なく、身体的プレフレイルの該当者 (51.9%) はやや多かった。年齢が高いほど身体的フレイルと判定される割合が高い (Fried et al., 2001; Chen et al., 2015) と報告されているが、実際、Chen et al. (2015) の研究対象者の年齢は  $73.3 \pm 6.0$  歳 (65 歳~93 歳) であり、本研究の  $70.3 \pm 2.8$  歳 (65 歳~75 歳) に比べ平均年齢は高く、年齢の範囲も広い。このことが本研究と先行研究における身体的フレイルの割合の違いに影響したと考えられる。

また、身体的フレイル該当者の割合を男女別にみると、本研究では男性 4.8%、女性 4.9%と有意差がなかった。Chen et al. (2015) の研究は男女いずれも 9.3%、Kojima et al. (2017) の我が国における大規模コホート研究のシステムティックレビューおよびメタ解析では男性 7.6%、女性 8.1%と報告されている。このことから本研究における身体的フレイル該当者の男女別割合は、我が国における先行研究と同様の結果であったと考えられる。

## 2. バランス機能と身体的フレイル・プレフレイルとの関連

本研究では開眼片足立ち保持時間と動的な足圧バランス機能のいずれも身体的フレイル・プレフレイルと有意な負の関連を示した。バランス機能と身体的フレイルの関連について、Navarrete-Villanueva et al. (2021) は、身体的フレイルと体力との関連をシステムティックレビュー及びメタアナリシスで検討しており、身体的フレイルと最も強く関連する体力項目は「通常歩行速度」であり、次いで「有酸素運動能力」「最大歩行速度」「下半身筋力」「握力」であったと報告している。一方、バランス機能については 4 つの静的バランス、7 つの動的バランス、3 つの複合バランスに関する論文を検証しているが、効果量 (effect size) を算出できなかったことからメタアナリシスの対象と

なっていない。その理由として、身体的フレイルの進行に伴い静的バランスおよび動的バランスの低下が認められるものの、研究数が限られていることと、測定プロトコルが異なることに起因すると述べている。さらに、メタアナリシスで採用された動的バランスは 3 m もしくは 8 foot の up-and-go test のみで、本研究に用いた動的な足圧バランス機能と身体的フレイルの関連を検討した先行研究は我々の知る限り見当たらない。

本研究に用いた動的な足圧バランス機能は、島田ほか (2006) の分類の「③支持基底面を固定した状況における随意運動中のバランス機能」を評価していると考えられる。一方、類似の評価法に Cross test (月村ほか, 1982)、バランスマスター (竹島・禿, 2020)、ファンクショナルリーチ (FRT) (Duncan et al., 1990) などが知られている。竹島・禿 (2020) はバランスマスターを用いて高齢者の動的バランス機能を評価したところ、年齢が上がるにつれてバランス機能は有意に低下するが、前後左右の方向に対する加齢の影響に明らかな違いはなかったと報告している。

本研究で観察された身体的フレイルまたは身体的プレフレイルとの関連の強さについて、重心移動量の前後と左右、重心移動比率の前・後・左・右の結果に違いはなかった。一方、重心揺れ幅は身体的フレイルと身体的プレフレイルで、さらに前後と左右で異なる結果を示した。重心揺れ幅の前後とは前後傾斜時における左右方向の最大重心移動距離を測定し、重心揺れ幅の左右とは左右傾斜時における前後方向の最大重心移動距離を測定している (藤谷ほか, 2021)。よって、重心揺れ幅の前後および左右はいずれも少ない方が動的バランス機能は安定していると推察される。実際、我々の先行研究において、重心安定度 (= 重心移動距離 ÷ 重心揺れ幅) と転倒高リスクに負の関連が示された (藤谷ほか, 2021)。しかし、本研究で検証した身体的フレイルとの関連において、左右の重心揺れ幅は有意ではないもののオッズ比が最も低く、身体的プレフレイルとの関連においては負の関連が有意であった。重心移動距離と重心揺れ幅は正の相関関係にあることから (藤谷ほか,

2021), 支持基底面を固定した状況においては目標とする方向への足圧の移動距離が大きくなるに伴い揺れ幅も大きくなるのかもしれない。

一方、重心揺れ幅の前後と左右で結果が異なる点について、横方向のバランス障害は前後のバランス障害より転倒リスクが高く (Woollacott, 2000), 横方向の転倒は他の方向より股関節骨折が多い (Greenspan et al., 1998) との先行研究があることから、前後と左右で動的バランスの制御は異なるのかもしれない。今後更なる検討が必要である。

### 3. 研究の限界

本研究は横断研究であるため、足圧バランス機能が身体的フレイルおよび身体的プレフレイル発生に影響を与えるなど因果関係は分からない。また、本研究の対象者は65歳~75歳の比較的健康な高齢者であったが、加齢に伴い身体的フレイルの該当者数は増加することから、本調査で用いた足圧バランス機能と身体的フレイル、身体的プレフレイルとの関連を加齢の観点から検証するためには、75歳以上の高齢者についても調査する必要がある。

バランス機能に関連する要因は、前庭系感覚機能、視覚情報、体性感覚系、脳機能など複雑に関与している (竹島・禿, 2020) ため、本研究の結果からバランス機能のメカニズムまで言及することはできない。ただ、これまで身体的フレイルは主に体重減少、筋力低下、疲労感、歩行速度低下、活動量低下で評価されてきたが、動的な足圧バランス機能も身体的フレイルの発生に影響する指標となり得ることが示唆された。将来的に本研究に用いた測定法を、身体的フレイルの予防に有効な一つの指標として健康増進や介護の現場に導入するためには、今後、さらなる検討が必要である。

## V 結 論

65歳~75歳の地域高齢住民において、支持基底面を固定した状況における随意運動中のバランス機能である動的な足圧バランス機能は、身体的フ

レイルおよび身体的プレフレイルと関連する指標であることが示唆される。

謝辞および利益相反

本研究を進めるにあたり、ご協力を賜りました地域住民の皆様、糸島市役所職員の皆様、ご支援を賜りました九州大学名誉教授の熊谷秋三先生に心より感謝申し上げます。

本研究は、住友理工株式会社および糸島市との共同研究費、日本医療研究開発機構 (AMED: 課題番号1003558, 研究代表者: 熊谷秋三) の支援を受けて実施された。本研究において開示すべき利益相反行為は存在しない。

## 文 献

- 荒井秀典 (2014) フレイルの意義, 日本老年医学会雑誌, 51, 497-501
- Chen S, Honda T, Chen T, Narazaki K, Haeuchi Y, Supartini A, Kumagai S (2015) Screening for frailty phenotype with objectively-measured physical activity in a west Japanese suburban community: evidence from the Sasaguri Genkimon Study, BMC Geriatrics, 15, 1-10
- Chen S, Chen T, Kishimoto H, Susaki Y, Kumagai S (2020) Development of a frailty phenotype questionnaire for use in screening community-dwelling older adults, J Am Med Dir Assoc, 21, 272-276
- Clegg A, Young J, Iliff S, Rikkert MO, Rockwood K (2013) Frailty in elderly people, Lancet, 381, 752-762
- Duncan PW, Weiner DK, Chandler J, Studenski S (1990) Functional reach: a new clinical measure of balance, J Gerontol, 45, M192-M197
- Fried LP, Tangen CM, Walston J, Newman AB, Hirsch C, Gottdiener J, Seeman T, Tracy R, Kop WJ, Burke G, Mcburnie MA (2001) Frailty in older adults: evidence for a phenotype, J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 56, M146-M156
- 藤谷順三, 陳涛, 陳斯, 岸本裕歩 (2021) 地域高齢住民における足圧バランス機能と開眼片足立ち保持時間および簡易転倒スコアとの関連, 健康支援 (早期公開中 [http://jshp.umin.jp/journal/20210729\\_1.pdf](http://jshp.umin.jp/journal/20210729_1.pdf))

- 古谷野亘 (1987) 地域老人における活動能力の測定—老研式活動能力指標の開発—. 日本公衆衛生雑誌, 34, 109-114
- Greenspan SL, Myers ER, Kiel DP, Parker RA, Hayes WC, Resnick NM (1998) Fall direction, bone mineral density, and function : risk factors for hip fracture in frail nursing home elderly, *Am J Med*, 104, 539-545
- Kessler RC, Andrews G, Colpe LJ, Hiripi E, Mroczek DK, Normand SLT, Walters EE, Zaslavsky AM (2002) Short screening scales to monitor population prevalences and trends in non-specific psychological distress, *Psychol Med*, 32, 959-976
- Kojima G, Iliffe S, Taniguchi Y, Shimada H, Rakugi H, Walters K (2017) Prevalence of frailty in Japan : a systematic review and meta-analysis, *J Epidemiol*, 27, 347-353
- 厚生労働省 (2019) 国民生活基礎調査の概況IV介護の状況. <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-tyosa/k-tyosa19/dl/05.pdf> (参照日 : 2021年10月17日)
- 前阪茂樹, 木原健太, 藤田英二, 竹中健太郎, 下川美佳, 竹島伸生 (2015) 大学剣道および柔道競技者のバランス能の比較について, *スポーツパフォーマンス研究*, 7, 381-389
- Makizako H, Shimada H, Doi T, Tsutsumimoto K, Suzuki T (2015) Impact of physical frailty on disability in community-dwelling older adults : a prospective cohort study, *BMJ Open*, 5, e008462
- Navarrete-Villanueva D, Gómez-Cabello A, Marín-Puyalto J, Luis Moreno A, Vicente-Rodríguez G, José Casajús A (2021) Frailty and physical fitness in elderly people : a systematic review and meta-analysis, *Sports Med*, 51, 143-160
- 日本肥満学会肥満症診断基準検討委員会 (2011) 肥満症診断基準 2011, 巻頭図表, 肥満研究, 17 (臨時増刊), i-vii
- Okochi J, Toba K, Takahashi T, Matsubayashi K, Nishinaga M, Takahashi R, Ohru T (2006) Simple screening test for risk of falls in the elderly, *Geriatr Gerontol Int*, 6, 223-227
- 塩田琴美, 細田昌孝, 高梨晃, 松田雅弘, 宮島恵樹, 相澤純也, 池田誠 (2008) 筋力とバランス能力の関連性について, *理学療法科学*, 23, 817-821
- 島田裕之, 内山靖, 原田和宏, 大淵修一, Lord S, 鈴木隆雄 (2006) 姿勢バランス機能の因子構造—臨床的バランス機能検査による検討—, *理学療法科学*, 33, 283-288
- 竹島伸生, 禿隆一 (2020) 加齢に伴うバランスの低下と高齢者のバランス運動の効果, *スポーツ健康科学研究*, 42, 1-15
- 月村泰治, 池田珠江 (1982) 起立の安定域の検討 (1)—脳性麻痺における Cross Test—, *リハビリテーション医学*, 19, 25-32
- Woolacott MH (2000) Systems contributing to balance disorders in older adults, *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 55, M424-M428
- (受付 : 2021年11月15日, 受理 : 2022年3月17日)