

110. 高齢者の生活行為に組み込んだ、遠隔実施可能な転倒予防に着目した評価・介入法の構築

大阪公立大学 リハビリテーション学研究科 教授 横井 賀津志

概要

開眼片脚立位時間は静的バランス能力を反映し、転倒のスクリーニングとして広く用いられている。また、多くの転倒予防介入に片脚立位が組み込まれている。本研究の目的は、コンピュータビジョン技術を用いて開眼片脚立位時の姿勢を定量的に分析し、転倒・躓きと姿勢特性の関連を明らかにするとともに、生活行為に片脚立位を組み込んだ新たなエクササイズを考案し、転倒・躓き予防効果を検証することである。

OpenPose により関節に対応する 25 のボディキーポイントを抽出し、開眼片脚立位姿勢を分析した結果、転倒発生に影響する姿勢特性として、立脚足・遊脚足ともに内転位を呈することが確認された。また、片脚立位を取り入れやすい生活行為として、手洗いや整髪など 8 種類の動作を抽出した。これらを日常生活に組み込むことで、複数回の躓きの発生が減少し、さらにログランク検定の結果、初回躓きまでの日数を、短縮する傾向が示された。

片脚立位時に内転位を呈する高齢者は、自宅で動画撮影を行うことで比較的簡便に特定できる。これにより、転倒リスクが高い高齢者の早期発見が可能となり、生活行為に片脚立位を組み込んだエクササイズを自宅で実施することができる。

本研究は、公益財団法人三菱財団の助成を受けて実施されました。ここに深く感謝の意を表します。

背景および目的

高齢者の転倒は、介護を要する原因の上位にあげられている¹⁾。転倒時に外傷がなかったとしても再転倒を恐れ、その後の生活が制限される転倒後症候群により、寝たきりに至ることも多い²⁾。さらに、転倒による医療・介護費の増大も社会的な問題となっている³⁾。高齢者の転倒リスクのひとつとして、バランス能力低下があげられる⁴⁾。バランスは静的バランスと動的バランスに分類でき、静的バランス能力を測定する代表的なものは開眼片脚立位時間である。開眼片脚立位時間は、5 秒未満で転倒リスクが高まるとされており⁵⁾、地域在住高齢者転倒のスクリーニングとして多用されている⁶⁾。地域在住高齢者の転倒リスク評価のメタアナリシスでは、開眼片脚立位時間のカットオフは 6.5 秒とされている⁶⁾。また、片脚立位は、評価のみならず転倒予防のためのエクササイズにも組み込まれている⁷⁾。日常生活に焦点をあてた調査では、転倒歴と片脚立位を伴う更衣や階段昇降などの生活行為との関連性も確認されている⁸⁾。このように、片脚立位は転倒リスク評価にも転倒予防介入にも用いられ、地域在住高齢者に対して簡便に実施できることが特徴である。

片脚立位は、時間的要素以外にも足圧中心点(COP)動揺を用いても分析されており⁹⁾、片脚立位時の COP 動揺が小さく、片脚立位時間が長いほど安定性は高く静的バランス能力に優れている。しかし、片脚立位は、時間的要素や足圧中心、体重心を用いた報告が多く、姿勢特性に関する量的評価を取り扱った研究は少ない。転倒予防リスクの把握および転倒予防介入のために、片脚立位の評価および介入を発展させる必要がある。これまで姿勢や動作は、3D モーションキャプチャーを用いて分析されてきたが、使用空間に制限があり、分析に多くの時間を

要する。近年、コンピュータビジョンテクノロジーの進歩により、ビデオ撮影からリアルタイムに多様な姿勢データを取り込むために、米国カーネギーメロン大学の Zhe Cao が開発した OpenPose の利用が普及している。AI による静止画や動画から、人の姿勢推定することは、ロボット技術への応用や、非接触かつ簡易な人体計測手法として盛んに研究されている。特に、近年のディープラーニングによる計算処理により飛躍的に推定精度が向上している。地域在住高齢者には、大掛かりな装置を用いた姿勢分析の実施が困難であったが、OpenPose を用いることで解決できる可能性がある。

転倒予防介入においては、世界保健機構の高齢者の内在的能力の低下を管理するための地域レベルでの介入ガイドラインでは、転倒リスクのある高齢者に対する複合型の運動が推奨されている¹⁰⁾。これまで地域レベルでは、複合型の運動は、主に運動教室など集まって実施されることが多かった。在宅でも実施可能で、かつ継続可能な簡便なエクセサイズの開発が期待される。さらに、バランスに焦点をあてた場合、単一エクセサイズでも転倒予防効果が確認されている¹¹⁾。これらのことから、静的バランスの指標である片脚立位は、転倒予防エクセサイズとして、生活行為に組み込むことができる。

本研究では、次の2つを目的とした。まず、開眼片脚立位時の姿勢の定量的指標をコンピュータビジョンテクノロジーにより分析し、転倒・躓きと姿勢特性および時間的要素との関連性を明らかにする（研究①）。同様の研究は、未就学児の四つ這い時の姿勢でも実施されている¹²⁾。次に、地域在住高齢者に対し、在宅においても実施可能な片脚立位エクセサイズの開発し（研究②）、転倒および躓き予防への効果を検証する（研究③）。本研究成果は、近年のIoT・ビッグデータ・人工知能を用いた高齢者の転倒リスク把握および在宅にいたながらも実施可能な転倒予防介入につながることを期待される。

方法

研究①

1) 対象者の選定

大阪府 A 市在住の高齢者に対し、地域包括支援センターならびに社会福祉協議会の広報を通じて参加募集し、応募者に対し、研究の同意を得て研究登録した。研究への登録基準は、65 歳以上であり歩行が自立し外出できる者（歩行補助具の有無は問わない）とし、除外基準は、医師より歩行および中等度強度の運動を禁止されている者、体幹・下肢の整形外科疾患による手術歴（股関節もしくは膝関節置換術の既往など）を有する者、前庭、内耳神経障害を有する者、コミュニケーション能力が困難な者とした。

2) 開眼片脚立位時間の測定および姿勢の録画

リハビリテーション専門職である作業療法士が、参加者の開眼片脚立位時間を3回測定し、測定中の姿勢をビデオに録画した。録画画面は参加者が画面の中央に位置するように設定し、測定時間は30秒とした¹³⁾。開眼片脚立位の姿勢は、日本整形外科学会の基準である¹⁴⁾、靴あるいは素足で滑らない床上で、両手を腰に当て、片脚を床から5cm程挙げた立位時間とし、大きく体が揺れて倒れそうになるか、挙げた足が床に接地するか、支持している足がずれるまでの時間を測定した。動画は、前額面および矢状面それぞれ3.5m離れた位置で、60ヘルツにて撮影した。ビデオは、JVC製の1GC-LJ25BMを用いた。

3) OpenPose

録画された画像をavi形式で保存し、Open Pose を用いて身体部分のキーポイントを検出した。Open Pose は、convolutional neural network を使用して、体および顔、手、足をリアルタイムに検出するためのオープンソースである¹⁵⁾。また Open Pose は、Part Affinity Fields (PAF) の方法により、人間の骨格構造を考慮に入れ、関節に対応する25のボディキーポイントの位置関係を推定し、画像平面上での2次元座標を算出できる。トレーニングデータの効果により、人間の頭部が上にあり、脚が下にある時、キーポイントを正確に検出できるとされており、開眼片脚立位姿勢の分析に適応できる。OpenPose は、人体に装備を装着せずにリアルタイムで検出が可能な優れた技術であるが、回転動作つまり多方位に体の角度が向いている動画の検出に関しては、検出精度が悪くなるという課題がある。本研究では、多方向への体の角度が向かない開眼片脚立位である。OpenPose を用いた研究は、近年増加しており、3D モーションキャプチャーとの相関も強い¹⁶⁾。また、前額面での撮影、動画ファイル形式はavi、画像フレームの中心に人物を設定することで、信頼性が確保できる。

4) OpenPose を用いた開眼片脚立位の姿勢分析

開眼片脚立位の映像から、OpenPose を使用して身体部分の 25 のキーポイントを抽出した。抽出した座標を、KineAnalyzer（キッセイコムテック株式会社、日本）を使用し、体幹角度（平均側屈角度、最大側屈角度、最大側屈角度と最小側屈角度の差）、立脚足および遊脚足の股関節角度（平均股関節外転角度、最大外転角度、最大角度と最小角度の差）を算出した。股関節外転角度は、OpenPose の大腿部のボディキーポイントと垂線の交わる角度とした。また、開眼片脚立位中の遊脚足の股関節外転角度は、平均してマイナスに向かう内転パターンとプラスに向かう外転パターンに分類した。この時のパターンは、3 回の測定において、最大時間を示した回の平均角度を代表値とした。さらに、作業療法士 2 名の視覚的判断として、開眼片脚立位中の遊脚足の股関節の動きを分類した。

5) 転倒日誌

参加者に、6 ヶ月間の転倒・躓き日誌を配布し、転倒・躓きがあった日にチェックを求めた。

6) 身体機能および精神、認知機能、転倒自己効力感

身体機能評価として握力、Timed Up and Go Test と 5 回立ち上がりテストを、精神機能評価として GDS、認知機能評価として Mini-Cog を実施した。また、転倒の自己項効力感尺度として FES-I を実施した。いずれの評価も信頼性と妥当性が確保されており、転倒リスクと関連性が高い評価である。

7) 転倒リスクに関連する基本属性

年齢、性別、投薬数、血圧、Body Mass Index、基礎疾患、転倒歴、アルコール摂取、外出頻度、運動習慣、睡眠時間についての自記式アンケートを実施した。

8) 解析

転倒・躓きの有無による基本属性および開眼片脚立位時間、OpenPose による体幹角度、遊脚股関節外転角度、頸部の左右の揺れ幅を比較した。各検定は、正規性を示す場合は対応のない t 検定、正規性を認めない場合、Mann-Whitney U test を実施した。2 値尺度については、 χ^2 乗検定もしくは Fisher's exact test を用いた。サンプルサイズは、先行研究がなく本研究をパイロット研究と位置付けた。統計解析には、SPSS ver.27 (IBM, 東京) を用い、有意水準は 0.05 に設定した。

研究②

在宅で安全に実施可能な片脚立位を生活行為に組み込むエクセサイズを開発するために、50 歳以上の地域在住者 45 名（平均年齢 69.7 ± 8.5 歳、男性 15 名、女性 30 名）を対象に、在宅で習慣的に行っている生活行為に組み込むことが出来る片脚立位を自記式アンケートにより調査した。アンケートの問いは、「家の中で、習慣的にしている生活行為と同時に出来る片足立ちを提案してください。もし、バランスを崩しても安全に行える生活行為を提案してください。」であった。

研究③

1) 対象者の選定

大阪府 A 市在住の高齢者に対し、地域包括支援センターならびに社会福祉協議会の広報を通じて参加募集し、応募者に対し、研究の同意を得て 27 名を研究登録した。研究への登録基準は、65 歳以上であり歩行が自立し外出できる者（歩行補助具の有無は問わない）、片脚立位が可能な者とし、除外基準は、医師より歩行および中等度強度の運動を禁止されている者、体幹・下肢の整形外科疾患による手術歴（股関節もしくは膝関節置換術の既往など）を有する者、前庭、内耳神経障害を有する者、コミュニケーション能力が困難な者とした。2 回に分けた研究説明会の曜日により、前半を介入群、後半を対照群に割り付けた。

2) 介入方法

(1) 介入群

図 1 に示す 8 種類の片脚立位を暮らしの中で、6 ヶ月間、1 日に 10 分間遂行した。時間は、キッチンタイマーを配布し確認してもらうよう指示し、配布した転倒日誌に、記載を求め時間を管理した。

(2) 対照群

通常の生活を継続した。

3) 結果指標

転倒日誌を配布し、転倒および躓きが発生した日にチェックを求め、介入終了後に回収した。

4) 統計解析

両群の転倒者数および躓き者数、複数回転倒者数および複数回躓き者数の差異は、カイ二乗検定を用い、初回転倒日および初回躓き日による差異は、ログランク検定により確認した。統計解析には、SPSS ver28 (IBM 東京) を用い、有意水準は 0.05 に設定した。

結果および考察

研究①

1) 基本属性

参加者は 77 名 (男性 4 名, 女性 73 名)、平均年齢は 75.2±5.5 歳あった。6 ヶ月間に 9 名 (11.7%) が転倒を経験した。非転倒群と転倒群間において、すべての基本属性に有意差は認められなかった。(表 1)

表 1. 参加者の基本属性

	全体 n=77	非転倒群 n=68	転倒群 n=9	p value
年齢 (歳)	75.2 (5.5)	74.8 (5.6)	77.3 (4.9)	0.20
女性 (人)%	73 (94.8)	64 (94.1)	9 (100)	0.60
BMI (kg/m ²)	23.0 (3.3)	23.0 (3.2)	23.1 (3.8)	0.95
投薬の種類 (種)	2.6 (2.2)	2.7 (2.4)	2.2 (1.1)	0.57
睡眠時間 (時)	6.2 (0.9)	6.2 (0.99)	6.4 (0.77)	0.44
外出頻度 (回/週)	4.8 (1.7)	4.9 (1.7)	3.8 (1.9)	0.06
独居 (人)%	36 (0.47)	31 (45.6)	5 (55.6)	0.47
アルコール摂取 (人)%	20 (0.26)	19 (27.9)	1 (11.1)	0.38
転倒歴 (人)%	14 (18.1)	11 (16.2)	3 (33.3)	0.21
基礎疾患 (人)%				
高血圧	36 (0.47)	31 (45.6)	5 (55.6)	0.42
低血圧	0 (0)	0 (0)	0 (0)	-
心疾患	2 (0.03)	2 (2.9)	0 (0)	0.78
脳血管疾患	2 (0.03)	2 (2.9)	0 (0)	0.78
骨関節疾患	13 (0.17)	11 (16.2)	2 (22.2)	0.47
2型糖尿病	6 (0.08)	5 (7.4)	1 (11.1)	0.54
白内障	6 (0.08)	5 (7.4)	1 (11.1)	0.54

2) 身体機能および精神、認知機能、転倒自己効力感

身体機能および精神、認知機能、転倒自己効力感は、転倒群と非転倒群間において有意な差を認めなかった。

3) 転倒 と 開眼片脚立位時間、体幹側屈角度、立脚・遊脚足の股関節外転角度の関係

転倒と開眼片脚立位の時間、体幹角度、立脚・遊脚股関節角度との関係性を表 2 に示す。転倒の有無と開眼片脚立位時間 (p=0.02, Effect size=0.80) と立脚足の股関節外転角度(p=0.03, Effect size=0.73)に有意差が見られた。開眼片脚立位時間を 3 回とも 30 秒可能な者と 5 秒未満の者を抽出すると、有意な差は認められなかった。(表 2)

表 2. 転倒の有無による片脚立位時の姿勢特性

	非転倒群 n=68	転倒群 n=9	p value	Effect size
時間 (3回平均)				
時間 (秒) 最大30秒	19.8 (9.5)	12.2 (9.2)	0.02	0.80
30秒可能 (人)%	18 (26.5)	1 (11.1)	0.30	
5秒未満 (人)%	6 (9.0)	1 (11.0)	0.56	
平均角度 (度)				
体幹	1.9 (3.7)	0.4 (4.1)	0.07	0.40
遊脚足 股関節	1.2 (6.2)	-0.5 (4.7)	0.44	0.28
立脚足 股関節	-7.3 (1.5)	-6.2 (1.5)	0.03	0.73
最大角度 (度)				
体幹最大角度	6.3 (4.4)	4.9 (5.8)	0.38	0.31
遊脚足 股関節最大	11.4 (8.5)	11.6 (11.6)	0.95	0.02
立脚足 股関節最大	-4.5 (1.9)	-3.8 (2.2)	0.33	0.36
角度幅(最大-最小)(度)				
体幹	9.1 (4.9)	10.3 (5.6)	0.52	0.24
遊脚足	19.0 (9.3)	21.9 (13.7)	0.42	0.29
立脚足	5.1 (1.8)	4.6 (1.4)	0.51	0.28

4) 開眼片脚立位中の遊脚足の股関節内外転のパターン

開眼片脚立位中における遊脚足の股関節内外転の経時的な変化を平均的なパターンで示した場合、内転パターンを示す者が有意に転倒した。(表 3)

表 3. 開眼片脚立位中の遊脚足の股関節内外転のパターンと転倒の有無

	非転倒 n=68	転倒 n=9	p value
外転パターン(人)%	64 (94.1)	4 (44.0)	<0.01
内転パターン (人)%	4 (5.9)	5 (56.0)	

値は、人数(%)
遊脚足股関節の内転・外転パターンは、最大の角度時を基準とした。

研究②

地域在住高齢者から提案された、在宅で習慣的に行っている生活行為に安全に組み込むことが出来る片脚立位は、「テーブルを拭く」、「髪の毛をとく」、「手を洗う」、「洗濯ものを干す」など、8種の生活行為が抽出された(図 1)。また、生活行為の合間に行えるとの意見もあったため、「合間に行く」も採用し、合計9種とした。危険な行為として、包丁やハサミ、アイロン操作、口の中に物を含んでいる行為があげられたため、注意事項として記載した。



図 1. 生活行為に組み込んだ 8 種の片脚立位

研究③

参加者の平均年齢は、介入群（74.9±5.8 歳）、対照群（77.4±6.5 歳）で、両群に有意な差を認めなかった。介入群において片脚立位を実施した日は、平均すると週に 5 回であり、実施日には合計 10 分間の片脚立位時間が確保されていた。転倒者数（ $p=0.64$ ）および複数回転倒者数（ $p=0.48$ ）は両群に差異はなく、躓き者数は差の傾向を（ $p=0.07$ ）、複数回躓き者数は有意な差を認めた（ $p=0.01$ ）（表 4）。初回転倒日によるログランク検定では有意な差は認めなかった（ $p=0.82$ ）が、初回躓き日では、差の傾向が認められた（ $p=0.06$ ）（図 2,3）。なお、介入群において、有害事象は発生しなかった。

表 4. 転倒者数と躓き者数の差異

	介入群 n=13	対照群 n=14	p value
転倒 (人)	3 (23.1)	3 (21.4)	0.64
複数回転倒 (人)	1 (7.7)	0 (0)	0.48
躓き (人)	3 (23.1)	8 (57.1)	0.07
複数回躓き (人)	0 (0)	6 (42.9)	0.01
数値は人数 (%)			

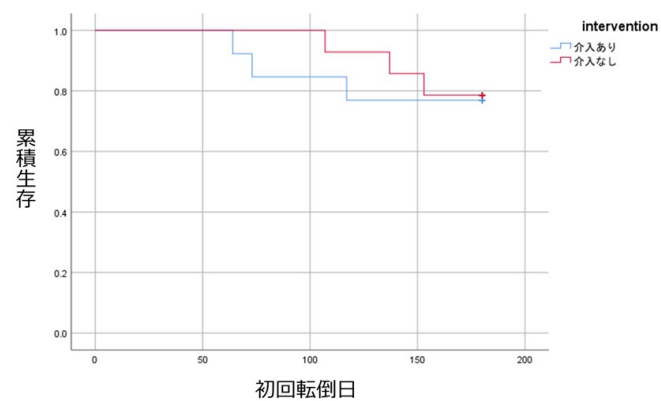


図 2. 初回転倒日の生存曲線

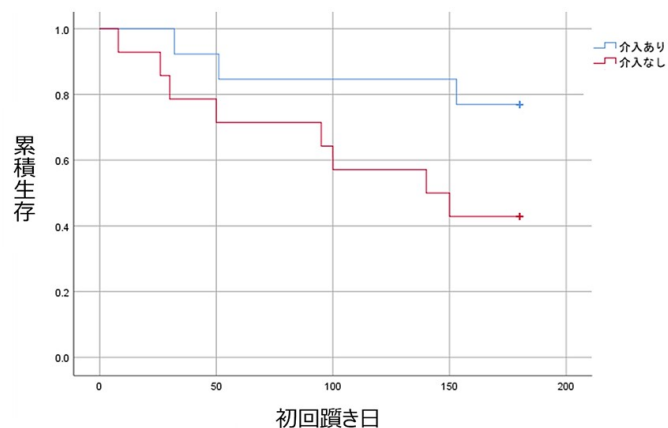


図 3. 初回転倒日の生存曲線

本研究は、転倒リスク評価として多用されている開眼片脚立位を時間的要素のみならず姿勢特性を量的に解析したはじめての研究である。さらに、片脚立位を生活に取り組むための実行可能性も確認できた。

1) 転倒リスクとなる片脚立位時の姿勢特性

参加者の6ヵ月間の転倒率は11.7%であり、追跡期間が6ヵ月と短いものの地域在住高齢者の一般的な転倒率約20%より低かった。しかし、ベースラインの基本属性において、転倒者と非転倒者に差異を認めなかったことから、開眼片脚立位に焦点をあてた検討が可能である。

2) 転倒との関連

片脚立位は、両脚から片脚へと支持基底面を変更する動作あることから動的バランスを、片脚立位保持の状態では静的バランスを評価するため、転倒のリスク把握に適切な評価といえる。そのため、時間のみならず姿勢にも注目すべきである。立脚足および遊脚足の股関節角度と転倒との関連では、転倒と非転倒者に有意な差を認め

たものの、角度の平均は5度未満の差であった。OpenPoseの先行研究において、測定誤差は約3から4度であったことから¹⁷⁾、誤差の範囲を否めない。ただ、立脚足の股関節内転は、転倒者に特有の反応であった。股関節内転位を強めることは、足関節戦略を利用できないにも関わらず、かつ大腿筋膜張筋の作用を抑え、協調的な動きが損なわれたと考えられる¹⁸⁾。

転倒に影響する遊脚足の平均的なパターンは内転位であった。片脚立位のような支持基底面が狭い状況下での運動開始は、予測的姿勢制御が低下すると言われている¹⁹⁾。片脚立位保持の段階で、足関節戦略が困難となり、立脚足の股関節戦略を駆使するものの、遊脚足の股関節内転に頼った戦略となり、特定の姿勢戦略に依存し、状況下に適した姿勢戦略の調整が困難であったと考えられる。さらに、片脚立位の姿勢制御機能におけるLenzinger-AsprionらのMovement control testの安定性の基準は、骨盤や上肢が初期の位置から動かず、支持足の股関節内外旋・内外転を生じないこととされている²⁰⁾。このことから、片脚立位保持の時期で内転を強めている状態は、不安定を呈していると理解でき、将来の転倒につながる可能性が高い。

2) 生活行為に組み込んだ片脚立位の転倒および躓き予防と遠隔実施の可能性

地域在住高齢者が抽出した8種の片脚立位は、6ヵ月間の実施による有害事象はなく、安全に生活行為に組み込むことが実証できた。

片脚立位は、転倒者数に変化を認めなかったが、複数回躓き者数に改善を認めた。転倒発生に至るリスク要因として転倒歴のみならず躓き歴も報告されている。特に、複数回の躓き歴は転倒リスクを高める。生活行為に片脚立位を組み込むことは、複数回躓き者数を減少させる可能性がある。躓き時に複数回のステップを踏む場合に、転倒リスクが増えることから、躓きを予防することは重要である。

研究①にて明らかになった片脚立位時の遊脚足および立脚足の内転位を呈する高齢者は、自宅にて動画撮影することで発見できることから、比較的簡便に転倒リスク者の把握が可能になる。そして、転倒リスク者に対して、自宅にしながらも研究②で実施した生活行為に片脚立位を組み込んだエクササイズを実施することができる。今後は、エクササイズの普及ならびに片脚立位を組み込みやすい生活行為を増やす予定である。

(完)

引用文献

- 1) 内閣府 令和3年版高齢社会白書(全体版) https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2021/html/zenbun/s1_2_2.html (参照日 2023年1月7日)
- 2) Tinetti ME, Powell L. Fear of falling and low self-efficacy: a case of dependence in elderly persons. J Gerontol. 48 Spec:35-38, 1993.
- 3) 林泰史：転倒を取り巻く社会情勢 転倒の医療経済に及ぼす影響. MB Med Reha 65:1-9, 2006.
- 4) Tinetti ME, Kumar C. The patient who falls: "It's always a trade-off". JAMA. 303(3):258-266, 2010.
- 5) Vellas BJ, Wayne SJ, Romero L, Baumgartner RN, Rubenstein LZ, Garry PJ. One-leg balance is an important predictor of injurious falls in older persons. J Am Geriatr Soc. 45(6):735-738, 1997.
- 6) Lusardi MM, Fritz S, Middleton A, Allison L, Wingood M, Phillips E, Criss M, Verma S, Osborne J, Chui KK. Determining Risk of Falls in Community Dwelling Older Adults: A Systematic Review and Meta-analysis Using Posttest Probability. J Geriatr Phys Ther. 40(1):1-36, 2017.
- 7) Gawler S, Skelton DA, Dinan-Young S, Masud T, Morris RW, Griffin M, Kendrick D, Iliffe S; ProAct65+ team. Reducing falls among older people in general practice: The ProAct65+ exercise intervention trial. Arch Gerontol Geriatr. 67:46-54, 2016.
- 8) Yokoi K, Miyai N, Utsumi M, Hattori S, Kurasawa S, Hayakawa H, Uematsu Y, Arita M. Relationship between Fall History and Self-Perceived Motor Fitness in Community-Dwelling People: A Cross-Sectional Study. J Clin Med. 9(11):3649, 2020.

- 9) da Silva RA Bilodeau M, Parreira RB, Teixeira DC, Amorim CF. Age-related differences in time-limit performance and force platform-based balance measures during one-leg stance. *J Electromyogr Kinesiol.* 23(3): 634-639, 2013.
- 10) WHO: Integrated care for older people: guidelines on community-level interventions to manage declines in intrinsic capacity. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/258981>
- 11) Sherrington C, Fairhall NJ, Wallbank GK, Tiedemann A, Michaleff ZA, Howard K, Clemson L, Hopewell S, Lamb SE. Exercise for preventing falls in older people living in the community. *Cochrane Database Syst Rev.* 1(1): CD012424, 2019.
- 12) Hagihara H, Ienaga N, Enomoto D, Takahata S, Ishihara H, Noda H, Tsuda K, Terayama K. Computer Vision-Based Approach for Quantifying Occupational Therapists' Qualitative Evaluations of Postural Control. *Occup Ther Int.* 27;8542191, 2020.
- 13) Okabe T, Suzuki M, Goto H, Iso N, Cho K, Hirata K, Shimizu J. Sex Differences in Age-Related Physical Changes among Community-Dwelling Adults. *J Clin Med.* 19;10(20):4800, 2021.
- 14) 星野雄一: 運動器不安定症 (MADS : マーズ) . 日老医誌 48 : 630-632, 2011.
- 15) Z. Cao, T. Simon, S. Wei and Y. Sheikh, "Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields," In 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 121:1302-1310, 2017.
- 16) Ienaga N, Takahata S, Terayama K, Enomoto D, Ishihara H, Noda H, Hagihara H. Development and Verification of Postural Control Assessment Using Deep-Learning-Based Pose Estimators: Towards Clinical Applications. *Occup Ther Int.* :6952999, 2022.
- 17) Washabaugh, E. P., Shanmugam, T. A., Ranganathan, R., & Krishnan, C. Comparing the accuracy of open-source pose estimation methods for measuring gait kinematics. *Gait & posture*, 97:188–195, 2022.
- 18) Winter, D. A., Prince, F., Frank, J. S., Powell, C., & Zabjek, K. F. Unified theory regarding A/P and M/L balance in quiet stance. *Journal of neurophysiology*, 75(6):2334–2343,1996.
- 19) Aruin, A. S., Forrest, W. R., & Latash, M. L. Anticipatory postural adjustments in conditions of postural instability. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 109(4):350–359, 1998.
- 20) Lenzlinger-Asprion, R., Keller, N., Meichtry, A., & Luomajoki, H. Intertester and intratester reliability of movement control tests on the hip for patients with hip osteoarthritis. *BMC musculoskeletal disorders*, 18(1): 55,2017.