

厚生労働科学研究費補助金（循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策総合研究事業）
分担研究報告書

片脚立ちの動画からロコモティブシンドロームの重症度を推定するモデルの確立検証

研究分担者	井上 優 山科 俊輔 田中 繁治	吉備国際大学保健福祉研究所 準研究員 広島大学大学院人間社会科学研究科 研究員 神奈川県立保健福祉大学 助教
研究代表者	田中 亮	広島大学大学院人間社会科学研究科 准教授

研究要旨

【目的】本研究の目的は、片脚立ちの運動学的データを用いてロコモティブシンドロームの重症度（ロコモ度）を推定するモデルを作成することであった。

【方法】研究デザインは横断研究であった。対象は地域在住高齢者とし、片脚立ちを Kinect v2 センサーで撮影し、骨格推定点の座標を取得した。取得座標から総軌跡長、平均変位量、平均移動速度、最大移動距離、矩形面積、Lissajous Index、左右体幹側屈最大角度、体幹側屈平均角度を算出した。解析区間は、片脚立ちの動作終了から5秒間溯った区間とした。ニューラルネットワークを用いて、算出した変数を説明変数、ロコモ度を目的変数とするモデルを作成した。

【結果】解析対象は176名であった（ロコモ非該当44名、ロコモ度1は99名、ロコモ度2は20名、ロコモ度3は13名）。ロコモ度1以上の者を推定するモデルは、正解率0.887、適合率0.888、再現率0.972、特異度0.629、AUROC 0.891であった。ロコモ度2以上の者を推定するモデルは、正解率0.837、適合率0.727、再現率0.286、特異度0.973、AUROC 0.836であった。ロコモ度3を推定するモデルは、正解率0.943、適合率0.750、再現率0.300、特異度0.992、AUROC 0.786であった。

【結論】片脚立ちの運動学的データからロコモ度を推定できるモデルが作成され、対象者がどのロコモ度に該当するかを推定できる可能性が示唆された。今後は推定モデルの一般化可能性を検討する必要がある。片脚立ちの運動学的特徴からロコモ度を推定できる可能性がある。

A. 研究目的

ロコモティブシンドローム（ロコモ）は、運動器の障害のために移動機能の低下をきたした状態のことを指す。ロコモの有無や重症度は立ち上がりテスト、2ステップテスト、ロコモ25の3つのテストを用いて判定される。日本医学会連合は2022年にフレイル・ロコモ克服のための医学会宣言を発表した。この発表では、ロコモの予防と早期からの対応の重要性が宣言されている。このことから、ロコモを早期に発見するために、ロコモ度テストよりも簡便なスクリーニング方法が確立されることが重要といえる。

片脚立ち時間は、ロコモの推定に有用である。Tanakaらは地域在住高齢者を対象にして、ロコモの有無およびロコモ度1以下か2以上を推定するためのClinical Prediction Rulesを導出し、妥当性を検証している¹⁾。小林らの報告でも、ロコモ度1と最も関連する身体機能評価は開眼片脚立位時間であることが示唆されている²⁾。

片脚立ち時間だけでなく、片脚立位の運動学的分析も、ロコモの推定に有用である可能性がある。なぜならば、荷重時の運動学的特徴は運動器の障害の進行と関連してい

ることが知られているからである。例えば、Tateuchiらの報告³⁾によると、変形性股関節症患者（女性）における歩行時の運動学的特徴は、X線上の変形の進行と関連していた。ロコモは運動器の障害のために移動機能の低下をきたした状態であることから、片脚立位時の運動学的特徴を調べることで、片脚立ち時間よりもロコモを精度よく推定できるかもしれない。そこで本課題では、片脚立位時の運動学的特徴によってロコモを精度よく推定するモデルが作成可能か検証することとした。

B. 研究方法

1. 倫理的配慮

本研究はヘルシンキ宣言に則り実施した。全ての対象者に対して書面及び口頭で研究について説明し、書面にて研究参加の同意を得た。本研究の実施にあたっては研究代表者が所属する機関の倫理審査委員会において承認を得た。

2. 対象者

本研究の研究デザインは横断研究であった。2020年11月から2021年12月の期間に

広島県内において対象者を募集した。本研究における包含基準は、①65歳以上の地域在住高齢者、②独立して移動が可能である者とした。一方、除外基準は、①認知機能低下が疑われる者、②重篤な疾患がある者（不安定な心疾患、脳卒中、呼吸器障害、パーキンソン病、糖尿病性ニューロパチー、関節リウマチ）とした。

3. 片脚立ちの測定

片脚立ちの測定の開始姿勢は、両手を側方に軽くおろした安静立位とした。参加者は開眼にて開始姿勢から片脚を床から離し、支持脚の位置がずれるか、支持脚以外の体の一部が床に触れたら動作終了と定義した。片脚立ちの測定は、公共施設の体育館や会議室などで実施した。

4. 身体の座標データの取得

片脚立ちの運動学的データを収集するために、マーカーレスモーションキャプチャシステムとして、Microsoft Kinect V2 センサー（Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA）を使用した。測定で得られた座標データは、鑑 AKIRA®（株式会社システムフレンド、広島、日本）を用いて処理した。この装置とソフトウェアを用いて得られたデータの信頼性と妥当性は先行研究によって確認済みである。

5. 運動学的パラメータの算出

Kinect V2 センサーおよび鑑 AKIRA®を用いて抽出された骨格点の座標データから、各セグメント（HAT、大腿、下腿、足）の質量中心を算出した。各セグメントの質量中心を合成し、全身の Center of Mass（CoM）を算出した。全身の CoM, Head, Neck, Spine Shoulder, Spine Mid, Spine Base それぞれの座標データを使って、総軌跡長、平均変位量、平均移動速度、最大移動距離、矩形面積、Lissajous Index、左右体幹側屈最大角度、体幹側屈平均角度を算出した。解析区間は、片脚立ちの動作終了から 5 秒間遡った区間とした。

6. ロコモ度の判定

ロコモ度の判定には、日本整形外科学会が発表した「2020年版ロコモティブシンドローム評価プロトコル」⁵⁾を使用した。立ち上がりテスト、2ステップテスト、ロコモ 25（The 25-question Geriatric Locomotive Function Scale ; GLFS-25）の計 3 つのテストを実施し、1 つでも基準を満たせばロコモティブシンドロームと判定し、その後テストの基準に従い重症度分類をおこなった（表 1）。

7. モデル作成

片脚立ちの運動学的データからロコモの有無や重症度を推定できるか検討するために、算出した各変数を説明変数、ロコモ度を目的変数とするモデルを 3 種類作成した。

モデル 1: ロコモ非該当とロコモ度 1 以上を推定

モデル 2: ロコモ度 1 以下とロコモ度 2 以上を推定

モデル 3: ロコモ度 2 以下とロコモ度 3 を推定

各モデルを作成するために、複数の機械学習アルゴリズムで解析を実施した。用いたアルゴリズムはロジスティック回帰、サポートベクターマシン、k 近傍法、決定木、ランダムフォレスト、ニューラルネットワークとし、その処理には JMP Pro 16 を使用した。

8. モデル特性の評価

モデル特性を評価するために、ロコモの実測値と得られたモデルから推定された予測値を利用して混合行列を作成した。

得られた混合行列から、正解率、適合率、再現率、特異度を求め、モデル特性を検討した。また、AUROC を算出し、モデルの精度を評価した。

C. 研究結果

本研究の対象者は 176 名であった。対象者の属性情報を表 2 に示す。対象者の内訳は、ロコモ非該当が 44 名（24.0%）、ロコモ度 1 は 99 名（56.0%）、ロコモ度 2 は 20 名（13.3%）、ロコモ度 3 は 13 名（6.7%）であった。

複数の機械学習アルゴリズムを用いて、各モデルを作成した結果、ニューラルネットワークを用いたモデルの正解率が高かった。そのため、ニューラルネットワークにおける各設定をチューニングし、k 分割法（k=5）を用いて交差検証を含めたモデル作成に進めた。

ニューラルネットワークから得られた各モデルにおけるロコモ度判定の実測値と推定結果から作成した混同行列を表 3 に示す。また、モデルの特性の結果を表 4 に示す。

モデル 1 は再現率が高く、特異度がやや低かった。モデル 1 の AUROC は学習用データで 0.891、検証用データで 0.902 であった。モデル 2 はモデル 1 とは逆に再現率が低く、特異度が高かった。モデル 2 の AUROC は学習用データで 0.836、検証用データで 0.907 だった。モデル 3 はモデル 2 と同様であり、再現率が低く特異度が高かった。モデル 2 の

AUROC は学習用データで 0.786、検証用データで 0.948 だった。

D. 考察

片脚立ち時間よりも片脚立ちの運動学的データを使ったほうがより精度よくロコモの有無や重症度を推定できる可能性が示唆された。先行研究^{1,2)}は、片脚立ち時間を使ってロコモの有無を推定するモデルを作成しているが、そのモデルの AUROC は 0.66 および 0.72 であった。それに対して本研究で得られたモデルの AUROC は学習用データで 0.891、検証用データで 0.902 だった。また、先行研究⁴⁾はロコモ度 2 以上かどうかを推定するためのモデルを作成し、そのモデルの AUROC は 0.73-0.74 であったが、片脚立ちの運動学的データを使った本研究では AUROC は学習用データで 0.836、検証用データで 0.907 だった。先行研究と本研究の AUROC に統計学的に有意な差があるか明らかにできないものの、片脚立位時の運動学的データによって精度よくロコモの有無や重症度を推定できる可能性が示唆された。これは本研究から得られた新規性の高い知見であると考えられる。

本研究の実践的意義は、赤外線カメラを用いた点にある。赤外線カメラを用いることで、対象者にマーカーを貼付するなどの手間をかけることなく、効率的に精度よくロコモを推定することが技術的に可能になる。このような技術は、日本医学会連合が提唱するロコモの予防と早期からの対応に寄与できる可能性がある。ただし、本研究ではロコモ度 3 に該当した対象者が少なかった。また、全サンプル数がそれほど多くなく、過剰適合の可能性も残されている。今後サンプル数を増やしモデルの交差妥当性を検証する必要がある。

E. 結論

片脚立ちの運動学的特徴を用いてロコモを推定するモデルを作成した。ニューラルネットワークを用いロコモ度 1 以上（ロコモの有無）、ロコモ度 2 以上を精度よく推定可能であった。次年度以降、追加サンプルのデータを用いて一般化可能性を検討する必要がある。

引用文献

- 1) Tanaka S, Jung H, Yamashina S, Inoue Y, Nakashima N, Tanaka R. Clinical prediction rule for locomotive syndrome in older adults: A decision tree model. *J Orthop Sci.* 2022; 12:S0949-

2658(22)00112-9.

- 2) 小林達矢、竹中裕人、立松典篤、井上倫恵、白井祐也、野口泰司、野瀧一平、杉浦英志 地域在住高齢者におけるロコモ度 1 と身体機能評価の関連性についての検討 *理学療法学* 49 (3), 212-219, 2022
- 3) Tateuchi H, Koyama Y, Akiyama H, Goto K, So K, Kuroda Y, Ichihashi N. Radiographic and clinical factors associated with one-leg standing and gait in patients with mild-to-moderate secondary hip osteoarthritis. *Gait Posture.* 2016;49:207-12.
- 4) Nakamura M, Hashizume H, Oka H, Okada M, Takakura R, Hisari A, Yoshida M, Utsunomiya H. Physical Performance Measures Associated With Locomotive Syndrome in Middle-Aged and Older Japanese Women. *J Geriatr Phys Ther.* 2015;38(4):202-7.

F. 健康危険情報

特記なし

G. 研究発表

1. 論文発表
該当なし
2. 学会発表
1) 濱田和明, 井上優, 田中繁治, 鄭勳九, 山科俊輔, 廣濱賢太, 山崎諒, 田中亮: 片脚立位時の運動学的データを用いたロコモティブシンドローム判別モデル: 横断研究 第 9 回 日本地域理学療法学会学術大会 (令和 4 年 12 月 3 日、オンライン開催)

H. 知的財産の出願・登録状況

1. 特許取得
該当なし
2. 実用新案登録
該当なし
3. その他
該当なし

表1 ロコモティブシンドロームの重症度分類

ロコモ度	立ち上がりテスト	2ステップテスト	ロコモ 25
1	40cm の椅子から片脚で立つことが困難	1.1m 以上 1.3m 未満	7 点以上 16 点未満
2	40cm と 30cm の椅子から両足で立ち上がることが可能だが 20cm の椅子から両足で立ち上がることが困難	0.9m 以上 1.1m 未満	16 点以上 24 点未満
3	40cm の椅子から両足で立ち上がることが可能だが 30cm の椅子から両足で立ち上がることができない。	0.9m 未満	24 点以上

表 2 対象者の属性情報

		ロコモ非該当	ロコモ度 1	ロコモ度 2	ロコモ度 3
人数 (%)		44 (24.0)	99 (56.0)	20 (13.3)	13 (6.7)
年齢, 歳	平均(SD)	71.3 (5.0)	74.9 (5.9)	80.3 (4.9)	74.5 (5.7)
性別, 人	女性 / 男性	26 / 18	57 / 42	10 / 10	8 / 5
身長, cm	平均(SD)	157.2 (7.3)	157.6 (8.0)	156.0 (8.7)	159.1 (9.8)
体重, kg	平均(SD)	57.8 (9.4)	60.1 (10.9)	68.2 (15.9)	63.4 (8.4)

表3 ロコモ度判定結果

A. モデル1

実測	予測			
	学習用		検証用	
	ロコモ非該当	ロコモ度1以上	ロコモ非該当	ロコモ度2以上
ロコモ非該当	22	13	6	3
ロコモ度1以上	3	103	1	25

単位：名

B. モデル2

実測	予測			
	学習用		検証用	
	ロコモ度1以下	ロコモ度2以上	ロコモ度1以下	ロコモ度2以上
ロコモ度1以下	110	3	30	0
ロコモ度2以上	20	8	2	3

単位：名

C. モデル3

実測	予測			
	学習用		検証用	
	ロコモ度2以下	ロコモ度3	ロコモ度2以下	ロコモ度3
ロコモ度2以下	130	1	32	0
ロコモ度3	7	3	1	2

単位：名

表4 モデルの特性

	データ	正解率	適合率	再現率	特異度	AUROC
モデル1	学習用	0.887	0.888	0.972	0.629	0.891
	検証用	0.886	0.893	0.962	0.667	0.902
モデル2	学習用	0.837	0.727	0.286	0.973	0.836
	検証用	0.943	1.000	0.600	1.000	0.907
モデル3	学習用	0.943	0.750	0.300	0.992	0.786
	検証用	0.971	1.000	0.667	1.000	0.948