

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

歩行の動画からロコモ度を推定するモデルの確立検証

研究分担者	井上 優	吉備国際大学保健医療福祉学部 准教授
	山科 俊輔	広島大学大学院人間社会科学研究科 研究員
	田中 繁治	神奈川県立保健福祉大学 助教
	岩本 義隆	広島大学病院リハビリテーション部門 理学療法士
	高橋 真	広島大学大学院医系科学研究科 教授
研究代表者	田中 亮	広島大学大学院人間社会科学研究科 教授
研究協力者	鄭 勳九	広島大学大学院医系科学研究科 寄付講座助教
	山崎 諒	広島大学大学院人間社会科学研究科 教育研究補助職員
	濱田 和明	広島大学大学院人間社会科学研究科 教育研究補助職員
	廣濱 賢太	広島大学大学院人間社会科学研究科 教育研究補助職員
	天方 さゆみ	広島大学大学院人間社会科学研究科 教育研究補助職員

研究要旨

【目的】本研究の目的は、スマートフォンカメラで撮影した歩行動画から得られた運動学的データを用いて、過去の検討で導出したロコモティブシンドロームの重症度（ロコモ度）を推定するモデルの精度を検討することであった。

【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、歩行動作をスマートフォンカメラで撮影し、姿勢推定 AI エンジンを用いて骨格推定点の座標を取得した。取得座標から時空間変数に加えて、1 歩行周期中の体幹傾斜角度、肩・股・膝関節の屈曲伸展角度とその左右比を算出した。算出された指標は、ロコモ非該当/該当を判別するモデル、ロコモ度 1 以下/2 以上を判別するモデルに投入し、実測値と予測値の混合行列を作成して、モデル特性を検討した。

【結果】解析対象は 28 名であった（ロコモ非該当が 8 名、ロコモ度 1 は 13 名、ロコモ度 2 は 3 名、ロコモ度 3 の者は 4 名）。ロコモ非該当/該当を判別するモデルは、正解率 0.750-0.857、適合率 0.810-1.000、再現率 0.800-0.850、特異度 0.500-1.000、AUROC 0.863-0.963 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 0.643-0.786、適合率 0.400-0.546、再現率 0.857、特異度 0.571-0.762、AUROC 0.714-0.745 であった。

【結論】スマートフォンカメラでのスクリーニングは、ロコモ該当の早期発見に有望だが、進行予防モデルの精度向上には、データ取得プロトコルの吟味、姿勢推定 AI エンジンのアルゴリズムの向上を図る必要性が示唆された。

A. 研究目的

移動機能の低下を意味するロコモティブシンドローム（ロコモ）は、進行すれば要介護状態の危険因子と考えられるフレイルの原因となる。介護予防のためには早期にロコモを発見し発生を予防すること、さらには進行の予防が必要である。しかしながら、ロコモは立ち上がりテスト、2 ステップテスト、ロコモ 25 から構成されるロコモ度テストを実施しなければ正確な診断ができない現状がある。より簡便な方法、かつ、より一般的に実施されている方法でロコモをスクリーニングできれば、ロコモの早期発見につながることを期待される。ロコモに関連する運動機能低下は、歩行の運動学的特徴として顕在化する可能性がある。歩行の運動学的特徴を定量化し、機械学習アルゴリズムにより処理すれば、ロコ

モ度を高い精度で推定できると考えた。本研究では、最終的には一般的に普及しているスマートフォンに内蔵されているカメラを使ったスクリーニング方法の確立を目指している。

これまでに実施した赤外線カメラで撮影した歩行動画の解析により得た運動学的データを用いたロコモ度推定モデルを援用することを前提として、スマートフォンカメラで撮影した歩行動画から得た運動学的特徴の精度を予備的に検討した。そのうえで、それらの運動学的特徴を用いた既存モデルにおけるロコモ度を推定するモデルの精度を検討した。

B. 研究方法

B-1. スマートフォンカメラで撮影した歩

行動画から得た運動学的特徴の精度の予備的検討

1. 倫理的配慮

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

健康成人男性 4 名を対象とした。

3. 歩行の測定

運動課題は 5m 歩行とし、20 試行ずつ計測した。3 次元動作解析装置 Vicon MX を用いて身体各部のマーカース座標を取得した。実際の地域におけるロコモ度スクリーニングにおける実運用と、前年度までに検討した重症度推定モデルへの適用を前提とするため、被験者の正面から Apple 社製 iPhone SE 1 台を用いて歩行中の様子を 30fps で撮影した。

4. 歩行に関する変数の算出

記録した 3 次元座標と Plug-in Gait を用いて、定常歩行の 1 歩行周期中の、体幹の前傾、肩屈曲・伸展・外転、股関節の屈曲・伸展、膝の屈曲・伸展角度を算出した。また撮影した動画は株式会社ネクストシステム社製姿勢推定 AI エンジン VisionPose を用いて、同一の 1 歩行周期中の関節推定点の 3 次元座標を取得した。取得した座標から前述の各関節角度を算出した。

5. 統計解析

3 次元座標から得た関節角度ならびに AI エンジンで推定した関節座標から得た各関節角度の最大値を求め、Bland-altman 分析により系統誤差の有無と誤差の許容範囲 (Limits of agreement : LOA) を検討した。

B-2. スマートフォンカメラで撮影した歩行動画から得た運動学的特徴を用いた既存モデルでの精度

1. 倫理的配慮

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

2023 年 4 月から 2023 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. 歩行の測定

歩行の測定は、公共施設の体育館や会議室などで実施した。運動課題は 5m 歩行とし、普段の歩行速度で 1 回歩くよう指示し、被験者の正面から Apple 社製 iPhone SE 1 台を用いて歩行中の様子を 30fps で撮影した。なお本研究では服装の基準を設けず、履物を履いた状態で測定を実施した。

4. 歩行に関する変数の算出

将来的なモデルの社会実装を考慮し、対象者に説明可能な変数を含むモデルが望ましいと考えた。そのため、本研究ではロコモ度推定に用いる歩行の変数として、歩行の時空間変数に加え、運動学的特徴を変数として含めた。記録した歩行動画は株式会社ネクストシステム社製姿勢推定 AI エンジン VisionPose を用いて体幹の前後傾、肩屈曲・伸展・外転、股関節の屈曲・伸展、膝の屈曲・伸展角度に必要な関節推定点の 3 次元座標を取得した。算出に当たっては、前額面または矢状面に投影した各関節角度を求めた。ロコモが悪化する際、歩行時の運動学的な左右差が顕在化する可能性を考えた。そこで肩関節・股関節・膝関節の角度について左右比を算出した。左右比は左右のうち、より大きい値を分母、小さい値を分子として算出した。

5. 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た後、テストの基準に従い重症度分類をおこなった (表 1)。

6. 既存モデルによるロコモ度の推定

本研究では、ロコモの早期発見に加え、進行予防に資するモデルの導出が必要と考え、ロコモ該当/非該当を推定するモデル (モデル 1)、ロコモ度 1 以下/ロコモ度 2 以上を推定するモデル (モデル 2) の 2 種

類について検討を進めてきた。そのため、その2種類のモデルを用いてロコモ度を推定した。

7. 統計解析

モデル特性を評価するためにロコモ度の実測値と予測値からなる混合行列を作成し、正解率、適合率、再現率、特異度を求めた。また、AUROCを算出し、モデルの精度を評価した。

C. 研究結果

C-1. スマートフォンカメラで撮影した歩行動画から得た運動学的特徴の精度の予備的検討

健康成人男性4名を対象とした予備的検討の結果、VisionPoseによって推定した3次元座標から算出した関節角度には、それぞれ系統誤差が混在していた。特に矢状面上の関節運動である肩関節屈曲角度（LOAの平均：36.6度）と股関節の屈曲角度（28.3度）にその傾向を認めた。

C-2. スマートフォンカメラで撮影した歩行動画から得た運動学的特徴を用いた既存モデルでの精度

本検討の対象者は28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8名（28.6%）、ロコモ度1は13名（46.4%）、ロコモ度2は3名（10.7%）、ロコモ度3は4名（14.3%）であった。

前述の予備的検討の内容を踏まえ、本検討では、既存モデルへの関節角度の投入は2パターンで実施した。まずVisionPoseで算出された角度を投入した場合（補正なし）と、各関節角度におけるLOA平均値で補正した角度を投入した場合（補正あり）で、それぞれ精度を検討した。各モデルにおけるロコモ度判定の実測と推定の結果を表3に示す。各モデル特性値の結果は表4に示す。モデル1は補正の有無に関わらず適合率・再現率ともに高くAUROCも0.8を超えていた。一方、モデル2はモデル1よりも適合率・特異度が低く、AUROCは0.7台であったが、補正を加えた方が各特性値は向上した。

D. 考察

本研究で使用したロコモ度の推定モデルは、赤外線カメラを用いた歩行計測によっ

て得られた座標を基に導出したものである。一方、今回の検討で用いた撮影機材はスマートフォンのカメラ1つであった。赤外線カメラを用いた場合、奥行き情報を動画とともに取得できるものの、スマートフォンカメラではその情報を取得することができない。そのため前額面だけではなく矢状面から撮影した動画を用いれば、関節角度の精度は保証されやすい。しかしながら本検討では、カメラが一つという、より地域における計測場面で導入されやすい条件で撮影した。前額面からの撮影のみで3次元座標を推定できる姿勢推定AIエンジンにより処理した場合、奥行き情報が関与する股関節屈曲伸張運動、膝関節屈曲伸張運動を中心に系統誤差を認めた。そのため補正の有無により、ロコモ度推定モデルの特性がどのように変化するかを確認した。

ロコモに該当するか否かを推定するモデル1は、補正の有無による影響を受けにくく、正解率やAUROCは高く、歩行中の運動学的特徴によってロコモ該当者であるかを判定できる可能性がある。

一方で、ロコモ度の進行予防が重要となるロコモ度1以下と2以上を見分けるモデル2の方が、特性値は低下しやすかった。関節角度に対する補正を加えることにより、各特性値は向上したが、補正方法によっては特性値が異なる可能性を示唆されたため、補正方法の選択には注意が必要である。

本研究の実践的意義は、赤外線カメラではなく、より一般的に普及しているスマートフォンカメラで撮影した動画に依拠した取り組みであることにある。本研究で用いた技術は、ロコモに該当するか否かを判別する一助となる可能性を示唆された。その一方で、進行予防が必要なロコモ度1以下を見分けるモデルは、特性値の点からは改善の余地がある結果となった。本研究では、前額面のみの撮影としたことで、既存の姿勢推定AIエンジンに対して、奥行き座標の取得の難度を上昇させた可能性がある。またリスク管理を目的とした歩行時の随伴者の存在がデータ精度に影響した可能性もある。このことから、安全管理を担保しつつも、データ精度が向上するプロトコルの吟味、姿勢推定AIエンジンのアルゴリズムの向上を図ることが重要である。

E. 結論

既存の姿勢推定AIエンジンによって推定された三次元座標データに基づき計算した運動学的特徴には系統誤差が混入しやすい。特に奥行きデータが関連する指標算出にお

ける対応を必要とし、座標取得に関わるプロセスや推定エンジンの精度を向上させることが、次年度の課題と考えられた。

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
山崎諒、井上優、鄭勳九、田中亮、生田祥也、安達伸生：歩行の運動学的特徴からロコモティブシンドロームの重症度を判別するモデルの作成. 第96回日整形外科学会学術総会 2023

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 の椅子から片足で立つことが困難	1.1 以上 1.3 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	0.9 以上 1.1 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。	0.9 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 (%)		8 (28.6)	13 (46.4)	3 (10.7)	4 (14.3)
年齢, 歳	平均(SD)	71.0 (5.3)	74.9 (6.4)	77.0 (10.6)	75.8 (1.9)
性別, 人	女性 / 男性	7 / 1	12 / 1	3 / 0	4 / 0
身長, cm	平均(SD)	157.7 (7.7)	159.3 (6.9)	155.7 (3.0)	155.0 (5.6)
体重, kg	平均(SD)	55.8 (12.0)	56.7 (9.3)	50.4 (4.7)	55.0 (7.2)

表3 ロコモ度判定結果

モデル1

実測	予測			
	補正なし		補正あり	
	ロコモ非該当	ロコモ度1以上	ロコモ非該当	ロコモ度1以上
ロコモ非該当	8	4	4	4
ロコモ度1以上	0	16	3	17

モデル2

実測	予測			
	補正なし		補正あり	
	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	12	9	16	5
ロコモ度2以上	1	6	1	6

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	補正なし	0.857	1.000	0.800	1.000	0.963
	補正あり	0.750	0.810	0.850	0.500	0.863
モデル 2	補正なし	0.643	0.400	0.857	0.571	0.714
	補正あり	0.786	0.546	0.857	0.762	0.745