

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 生田 祥也 安達 伸生 | 吉備国際大学保健福祉研究所 準研究員 広島大学病院皮膚・運動器診療科 助教 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部 准教授 |

研究要旨

【目的】本研究の目的は、歩行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、歩行動作を Kinect v2 センサーで撮影し、骨格推定点の座標を取得した。取得座標からストライド長と時間、その左右差分と比、歩行速度、歩行率、歩行比、歩隔を求めた。また 1 歩行周期中の体幹前傾角度、股・膝関節の屈曲・伸展角度、その左右差分と比を算出した。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 188 名であった（ロコモ非該当 36 名、ロコモ度 1 は 109 名、ロコモ度 2 は 29 名、ロコモ度 3 は 14 名）。ロコモ度 1 以上の者を推定するモデルは、正解率 0.865、適合率 0.879、再現率 0.967、特異度 0.429、AUROC 0.862 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 0.919、適合率 0.857、再現率 0.750、特異度 0.966、AUROC 0.944 であった。ロコモ度 3 を推定するモデルは、正解率 0.973、適合率 0.667、再現率 1.000、特異度 0.971、AUROC 0.971 であった。

【結論】歩行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、そのモデルを組み合わせることで、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。今後はモデルの一般化可能性を検討する必要がある。歩行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

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、進行すればフレイルの原因となる。フレイルは要介護状態の危険因子と考えられているため、介護予防のためには早期にロコモを発見し、予防することが必要である。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。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、ロコモを早期に発見することが可能となる。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が、その予備的研究として、赤外線カメラを使って収集できる歩行の運動学的データを用いたロコモ度推定モデルの開発を行った。

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、本研究課題の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. 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。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。

Kinect センサーは、5m の歩行路から 1m 離れた場所に設置した。対象者は 5m の歩行路を普段の歩行速度で 1 回歩くよう指示された。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。左右 1 回ずつの歩行周期を確認した。

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むこととした。

鑑 AKIRA®で抽出された各骨格抽出点の 3 次元座標を用い、歩行の時空間変数として、歩行速度、ストライド長、時間、歩隔、ケイデンスを算出した。歩行比は、歩幅をケイデンスで割った値として算出した。

また歩行中の関節角度として、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。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、歩幅、ステップ時間、ストライド長、ストライド時間および肩関節、股関節・膝関節の角度について、左右差と左右比を算出した。左右差、左右比は以下の複数のパターンで定義した。

左右差

- ① 右側から左側の値を減ずることで得られた値
- ② 右側から左側の値を減ずることで得られた値の絶対値

左右比

- ① 左側の値を分母、右側の値を分子
- ② 右側の値を分母、左側の値を分子
- ③ 左右のうち、より大きい値を分母、小さい値を分子
- ④ 左右のうち、より小さい値を分母、大きい値を分子

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、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)。

6. モデル作成

歩行時の時空間変数および関節角度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ーン、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。

7. モデル特性の評価

モデル特性を評価するために、ロコモ度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 188 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 36 名 (19.1%)、ロコモ度 1 は 109 名 (58.0%)、ロコモ度 3 は 29 名 (15.4%)、ロコモ度 3 は 14 名 (7.4%) であり、ロコモ度 3 の対象者は少数であった。

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、学習モデルおよび検証モデルのそれぞれについて表 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、偽陰性率が低かった。モデル 2 は、全般的に特性値は高いが、再現率がやや低く、偽陰性率が高かった。モデル 3 は、適合率は低く、偽陽性率が高かった。

D. 考察

モデル 1 は、再現率が高く、偽陰性率が低かったことから、ロコモ該当者を見逃す可能性が低いという特徴がうかがわれた。このことは地域で開催される体操教室なので、ロコモと判定される可能性がある者を、早期にスクリーニング判定できることを示唆していると考えられた。

モデル 2 は全体的に特性値が高かったことから、ロコモ度 1 以下、2 以上を精度よく推定できる可能性が示された。一方、再現率がやや低く、偽陰性率が高かったことから、ロコモ度 2 以上の対象者を見逃す可能性があると考えられた。このことは早期に専門職による対応を必要とするロコモ度 2 の者への介入が遅れてしまう可能性を包含している。

モデル 3 は、適合率は低く、偽陽性率が高いことから、モデルとしての課題が示された結果であった。本研究対象者ではロコモ度 3 の者は 7%程度と全体に占める割合が低く、対象者の偏りが適合率や偽陽性率に影響したことが考えられた。

以上のことから、本年度の取り組みにより、歩行中の運動学的特徴を含めたモデルにより、ロコモ度を推定できる可能性が示唆された。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、効率的に精度良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。

一方で、ロコモ度 2 の偽陰性率を考慮し、歩行の運動学的特徴を表す他の指標を含めた追加解析は、次年度の課題と考えられた。またロコモ度 3 と判定される可能性がある者を、どのように対象者に含めるかも次年度以降の課題として示唆された。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

歩行の運動学的特徴からロコモ度を推定できる可能性が示唆された。次年度以降、モデルの精度向上を図る追加解析と一般化可能性を検討する必要がある。

引用文献

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
該当なし

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 (%) | | 36 (19.1) | 109 (58.0) | 29 (15.4) | 14 (7.4) |
| 年齢, 歳 | 平均(SD) | 70.9 (5.4) | 75.6 (5.4) | 77.7 (6.9) | 76.9 (8.0) |
| 性別, 人 | 女性 / 男性 | 20 / 16 | 62 / 47 | 18 / 11 | 7 / 7 |
| 身長, cm | 平均(SD) | 157.3 (7.0) | 157.4 (8.3) | 156.8 (7.5) | 161.3 (9.5) |
| 体重, kg | 平均(SD) | 56.4 (9.5) | 60.6 (11.8) | 64.5 (15.7) | 64.0 (12.0) |

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 | 12 | 17 | 3 | 4 |
| ロコモ度1以上 | 4 | 118 | 1 | 29 |

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 | 114 | 2 | 28 | 1 |
| ロコモ度2以上 | 7 | 28 | 2 | 6 |

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 | 136 | 3 | 34 | 1 |
| ロコモ度3 | 5 | 7 | 0 | 2 |

単位：名

表4 モデルの特性

| | | 正解率 | 適合率 | 再現率 | 特異度 | AUROC |
|------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| モデル1 | 学習用 | 0.861 | 0.874 | 0.967 | 0.414 | 0.784 |
| | 検証用 | 0.865 | 0.879 | 0.967 | 0.429 | 0.862 |
| モデル2 | 学習用 | 0.934 | 0.903 | 0.800 | 0.974 | 0.929 |
| | 検証用 | 0.919 | 0.857 | 0.750 | 0.966 | 0.944 |
| モデル3 | 学習用 | 0.947 | 0.700 | 0.583 | 0.978 | 0.938 |
| | 検証用 | 0.973 | 0.667 | 1.000 | 0.971 | 0.971 |