

平均歩行速度が異なる高齢者 2 群における 歩行時の時系列データの特徴に関する基礎的検討

A basic study on the characteristics of time-series gait data of elderly adults with different mean walking velocities

和田 愛未^{*1}, 立花 柁樹^{*2}, 脇谷 大志^{*2}, 永井 孝^{*3*1}, 舘 伸幸^{*1}, 香山 瑞恵^{*1}
Manami WADA^{*1}, Masaki TACHIBANA^{*2}, Taishi WAKITANI^{*2}, Takashi NAGAI^{*3*1},
Nobuyuki TACHI^{*1}, Mizue KAYAMA^{*1}

^{*1}信州大学工学部

^{*1}Shinshu University, Faculty of Engineering

^{*2}信州大学大学院総合理工学研究科

^{*2}Graduate School of Science & Technology, Shinshu University

^{*3}ものづくり大学技能工芸学部

^{*3}Institute of Technologists, Faculty of Technologists

Email: 21t2170b@shinshu-u.ac.jp

あらまし: 本研究は、歩行速度や筋力が低下したフレイル疑いのある人々の歩行特徴を明らかにすることを目的としている。加速度と速度のデータを用い、かかと接地検出アルゴリズムで「歩行周期」に分割し、基本統計量を比較した結果、歩行速度に違いがある 2 群の高齢者間において、歩行特徴の差異が鉛直方向のパラメータで顕著に表れる可能性を示した。

キーワード: 歩行周期, 特徴検出, フレイル

1. はじめに

高齢化が急速に進む近年の日本では、医療技術の向上により平均寿命、健康寿命ともに上昇傾向にある。しかし、平均寿命と健康寿命の間には男女ともに約 10 年の差が存在する^[1]。厚生労働省が推進している健康寿命延伸プラン^[2]を達成するための取り組みに「介護予防・フレイル対策、認知症予防」があり、本研究ではフレイル対策に着目した。フレイルの評価基準の 1 つに歩行速度の低下^[3]が挙げられるが、歩行速度は個人の運動習慣の影響により個人差が現れる^[4]。健常者と高齢者とは、歩行速度の違いにより、歩行周期の各相（後述）の割合に変化が見られることが確認されている^[5]。しかし、歩行周期の各相の割合が変化した場合にみられる歩行特徴の差異は明らかになっていない。

2. 研究目的

本研究の目的は、フレイル状態の予兆を歩行特徴からより早期に推定・発見する手法の具体化である。そのための基礎的検討として、健康な人とフレイル疑いの可能性がある人における「歩行周期」データの基本統計量を比較し、各人の歩行特徴を検証する。

歩行周期とは、片方の足のかかと接地（以後 HS:Heel Strike）から再び同じ足の HS までの間であり、割合ごとで 8 つの相に分けられる。歩行周期の解析には正しい HS を検出する必要がある。我々は、被験者の歩行における進行方向と鉛直方向の加速度データから HS を検出するアルゴリズム^[6-7]を開発してきた。その結果、健康な成人の歩行に対する HS 検出の精度として MAE:6.20±4.91ms となるアルゴリズムを得た。このアルゴリズムを用いて、歩行周

期を解析する。

3. 解析対象データ

3.1 歩行データ

本研究で解析対象とするデータは、歩行区間中央 4m に含まれる歩行周期のデータである。歩行周期のデータは、右足の HS が歩行区間中央 4m に含まれるデータを対象としている。本研究での歩行周期は、図 1 に示すランチョ・ロス・アミーゴ方式を用いて 8 相に分けた^[8]。この方式では、歩行 1 周期を 100% としたとき、各相の歩行周期中の割合が定められている。ここでは、歩行周期の開始となる初期接地 (Initial Contact) 相を除く 7 相のデータと、1 周期分のデータを解析した。

3.2 被験者と解析パラメータ

本稿では次の 2 群を高齢者被験者とする。

H 群: 健康教室に通う 65 歳以上の高齢者 11 名のグループ（平均速度：1.45±0.19m/s）

F 群: 要介護レベル 3 以上かつ中央 4m の進行方向速度の平均値がフレイルの評価基準の 1.0m/s 未満の高齢者 10 名のグループ（平均速度：0.66±0.18m/s）

各群の歩行周期データ数は、H 群 11 データ、F 群 10 データである。

被験者の背面腰部に高時間分解能慣性センサを装着して計測したデータを使用した。今回の解析では、計測した 3 軸の加速度と水平方向速度、鉛直方向速度の計 5 つの時系列データを解析対象とした。基本統計量としては、分布に偏りがあるため中央値と四分位範囲を使用する。歩行周期については、8 項目

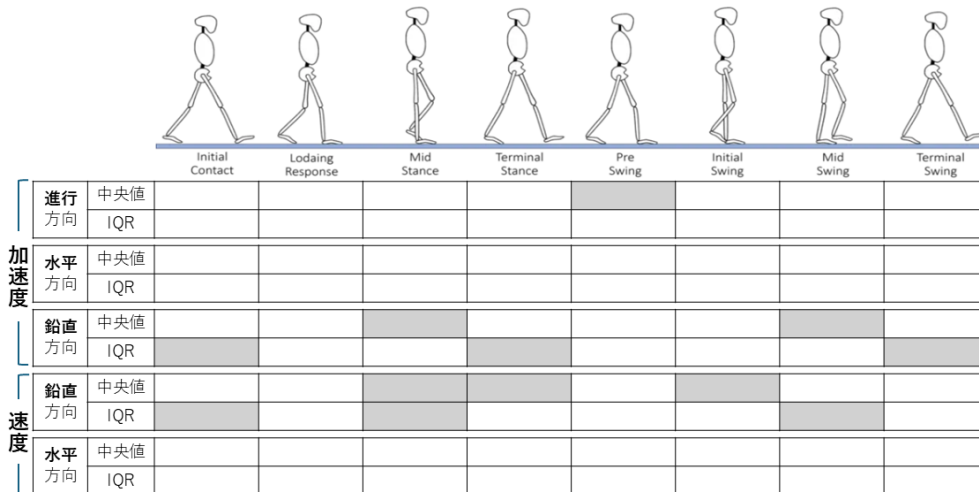


図1 歩行周期の各相（上図）と、解析結果（下表） [■：有意水準 1%で有意差有]

の 5 つの時系列データに対して、2 つの基本統計量を求めるため、計 80 パラメータを解析対象とした。

3.3 解析手法

歩行 1 周期分と 7 つの相のデータにおいて、2 群間で 80 パラメータを検定した。両群のサンプル数が少ないため、正規性について問わず、有意水準 1% でマンホイットニーの U 検定（有意水準 1%，ボンフェローニ補正適用）を用いた。

4. 結果と考察

4.1 検定結果

検定結果を図 1 下表に示す（Initial Contact 列は 1 周期の結果）。進行方向加速度では中央値 1 パラメータでのみ有意差があった。水平方向加速度では有意差があるパラメータはなかった。鉛直方向加速度では中央値 2 パラメータ、四分位範囲 3 パラメータで有意差があった。鉛直方向速度では中央値と四分位範囲ともに 3 パラメータで有意差があった。水平方向速度では有意差があるパラメータはなかった。

4.2 考察

H 群と F 群の歩行周期においては 12 パラメータで有意差があった。これら 12 パラメータのうち、11 個は鉛直方向であった。歩行速度の低下と地面を蹴り出す力には関係がある^[9]、という研究結果が示されている。このため、鉛直方向において歩行特徴がみられたのは、F 群が H 群に比べて地面を蹴り出す力が低下することで、蹴り出した後に重心が高い位置まで上がらないといった、歩行時の上下動作が小さくなるためであると考えられる。

歩行周期の解析において、水平方向では有意差がみられるパラメータは存在せず、進行方向では 1 パラメータのみであった。一方で、鉛直方向では 11 パラメータにおいて有意差がみられていることから、鉛直方向の時系列データを着目することで F 群の歩行特徴を見いだすことが可能であると考えられる。

5. おわりに

本稿では、「歩行周期」のデータについて基本統計量を解析し、2 群の高齢者間の歩行特徴を検討した。H 群と F 群との間で有意差がみられるパラメータが 80 個中 12 個存在した。そのうち、11 個が鉛直方向におけるパラメータであった。歩行速度に違いのある群の差が、鉛直方向のパラメータに顕著に表れる可能性を見出した。

今後の展望としては、簡易的なセンサを使用して計測したデータにおいても、高時間分解能センサの計測データと同等の結果が得られるか検証する。

参考文献

- (1) 平均寿命と健康寿命 e-ヘルスネット 厚生労働省, <https://www.e-healthnet.mhlw.go.jp/information/hale/h-01-002.html>, (2025/1/24)
- (2) 健康寿命延伸プラン e-ヘルスネット 厚生労働省, <https://www.e-healthnet.mhlw.go.jp/information/hale/h-01-004.html>, (2025/1/24)
- (3) フレイルの原因は？ 国立長寿医療研究センター, <https://www.ncgg.go.jp/hospital/navi/07.html>, (2025/1/24)
- (4) 宮原洋八 他, "地域住民 (17 歳~92 歳) を対象とした運動能力", 理学療法科学, 19(4): 285-290, 2004
- (5) 千鳥司浩, 山本裕二, "高齢者の歩行周期時間変動に影響を及ぼす要因の検討", 理学療法科学, 31(2): 213-219, 2016
- (6) 立花柁樹 他, "進行方向加速度を用いたかかと接地検出アルゴリズムの健康な成人男女のデータセットへの適用と精度検証", 第 49 回 JSiSE 全国大会, 291-292, 2024
- (7) 脇谷大志 他, "フォースプレートデータを基準とした歩行動作におけるかかと接地検出アルゴリズムの基礎的検討 -加速度センサで計測した鉛直方向加速度データを用いた推定-", JSiSE2024 年度第 1 回研究会, 54-61, 2024
- (8) 歩行分析~観察すべきポイントと臨床でよくみる異常現象のまとめ~, <https://pt-matsu.com/gait-analysis/>, (2025/1/24)
- (9) Hajime Ohtsu, Naoto Haraguchi, Kazunori Hase, "Investigation of the relationship between steps required to stop and propulsive force using simple walking models", Journal of Biomechanics, 136:111071, 2022