

介護予防を目的としたポールを用いた歩行スタイルの特徴について

田中ひかる¹⁾ 田邊智¹⁾ 新野弘美²⁾ 新井彩³⁾ 佐川和則¹⁾

¹⁾ 近畿大学 経営学部 教養・基礎教育部門

²⁾ 帝塚山学院大学 人間科学部 食物栄養学科

³⁾ 同志社大学 スポーツ健康科学部

キーワード: ウォーキング, 標準化モデル, アニメーション,

介護予防歩行(PCW) ノルディックウォーキング(NW)

【要 旨】

本研究は東大阪市を中心に行われている介護予防を目的としたポールを用いた歩行(介護予防歩行:PCW)スタイルの特徴について検討した。被験者は普段からPCWを行っている健康な中高年女性31名(69±16歳; PCW群)とノルディックウォーキングの指導資格を持つ女性経験者4名(46±10歳; NW群)とした。PCW群の歩行動作の動画から、標準化モデルを用いてアニメーションを作成した。さらに、NW群と比較することによって、運動学的特徴を明らかにすることとした。PCW群はポールをまっすぐ地面につくことから、上体は直立に近い姿勢で身体の推進力が抑えられ、歩行速度は大変遅いスピードであった。このため、PCW群はNW群よりゆっくりとしたペースと小さな歩幅で歩行する特徴がみられた。

スポーツパフォーマンス研究, 12, 383-395, 2020年, 受付日: 2019年11月21日, 受理日: 2020年7月6日

責任著者: 田中ひかる 近畿大学 5778502 東大阪市小若江 3-4-1 hikaru@kindai.ac.jp

Characteristics of the gait of middle-aged and older women when pole walking to prevent care dependency

Hikaru Tanaka¹⁾, Satoru Tanabe¹⁾, Hiromi Shinno²⁾, Aya Arai³⁾, Kazunori Sagawa¹⁾

¹⁾ Kindai University

²⁾ Tezukayama Gakuin University

³⁾ Doshisha University

Keywords: walking, standardized model, animation,
preventive care walking (PCW), Nordic walking (NW)

【Abstract】

This study examined the gait characteristics of middle-aged and older women when walking with poles, using an approach adopted in Higashi Osaka City that aimed at preventing care dependency (preventive care walking: PCW). The participants were 31 healthy middle-aged and older women (mean $\pm$ SD age 69 ± 16 years) who were already regularly doing preventive care walking (PCW group) and 4 women Nordic walking instructors (mean $\pm$ SD age 46 ± 10 years; NW group). Recordings of the PCW group's gait movements were used to create an animated video that followed a standardized model. The video was then compared with a comparable video of the gait movements of the NW group in order to clarify the kinematical characteristics of each group's walking. The women in the PCW group placed each pole perpendicular to the ground; consequently, their upper bodies consistently remained almost straight upright, reducing the propulsive force of their bodies and markedly lowering their gait speed. Because of this, the PCW group's gait was characterized by a slower pace and shorter step length than the gait of the Nordic walking instructors.

I 緒言

本邦の介護保険制度は、2000年に導入されてから約19年が過ぎ、厚生労働省(2019)によると令和元年度7月の要介護(要支援)認定者は664.9万人で初年度と比べると約2.6倍に増加している。このような状況下で、近年運動器の障害によって移動機能の低下が起きるロコモティブシンドローム(以下「ロコモ」と略す)をはじめ、要介護高齢者を増やさないような早期予防と改善を目的とした研究が複数報告されている(平野と笠井, 2016; 松本ら, 2016; 志波, 2016; 坂本ら, 2017)。

平野と笠井(2016)は転倒・骨折の防止や加齢に伴う運動機能の低下、生活習慣病などの予防を進める活動を行う中で、加齢に伴う筋力の低下または老化に伴う筋量の減少(サルコペニア)と判断された者、あるいは身体機能の低下者は全体の15.4%と報告している。さらに、松本ら(2016)はロコモの重症度と転倒頻度について、ロコモになると転倒発生リスクが高くなることを報告している。これらの指摘する問題点は、歩行時の転倒で、転倒による骨折や転倒への恐怖心から外出を控え不活動となり、高齢者の要介護を招く危険性が高くなることである。すなわち、転倒予防は高齢社会における大きな課題であり、障害が起きる事前の予防と運動が重要であると考えられる。その一つとして、近年2本のポールを用いた歩行運動が注目されており、歩行時の転倒防止や運動器の機能向上などに効果的であることが報告されている(川内ら, 2010; 松谷ら, 2009; 田中ら, 2012; 藤田ら, 2016と2018; 田中ら, 2018)。しかし、ポールを用いた歩行は、普及団体によって歩行スタイルやポールの形状および名称が異なっており、期待される効果も様々である。

藤田ら(2016)はフレイルティ(frailty: 虚弱)と診断された高齢者を対象にノルディックウォーキング(以下「NW」と略す)を行わせ、機能的体力と歩行およびバランス能の評価における運動効果を報告している。その報告におけるNWの歩行スタイルは、ポールを身体後方でつきポールを地面に押しながら歩くダイアゴナル・テクニク(以下「DIA」と略す)と呼ばれるものである。このNWを一定期間実施することにより上肢・下肢の筋力の向上がみられたという。またNWは日頃の運動や身体活動の低下がある歩行能の低い者ほど改善が期待できる運動であると述べている。しかし、DIAによるNWは高速(> 1.5m/s)になると下肢関節への過大な負荷が加わるため、高齢者や肥満者などが実施する場合には注意が必要である(田中ら, 2012)。一方、NWには振り出した足とは反対側の手に持ったポールを身体前方で突いて歩くもう一つのスタイル(ディフェンシブ・スタイル, 以下「DEF」と略す)があり、ポールウォーキングとも称されている(川内ら, 2010; 松谷ら, 2009)。

東大阪市を中心とした地域では、一般社団法人 日本生涯歩行協会が中心となり、介護予防を目的とするポールを持った歩行が行われている。現在は男女含む多くの高齢者が公園や公道でこのスタイルで歩く姿が見られる。この介護予防歩行(以下「Preventive Care Walk: PCW」)は、ポールの長さ(表1)が身長×0.69の長さで、DIAやDEFでの歩行よりも3～12cm長く設定されている。これにより、DEFと比較してポールが地面に接地する際により肩関節が屈曲することにより、上肢の位置が高くなる。これ

により PCW では歩行速度がポールを用いない普通歩行よりも低くなるが、概ねこの歩行様式は DIA と比べて DEF に近いといえる。しかしながら、この PCW でのポールを用いた歩行動作の詳細について明らかにした先行研究はなく、その特徴は明らかにされていない。

表 1. 身長とポールの長さ

身長(cm)	ポールの長さ(cm)		
	PCW	NW(DIA)	NW(DEF)*
140	100前後	-	88前後
150	105前後	100	95前後
160	110前後	110	101前後
170	118前後	115	107前後
180	125前後	125	113前後
ポールの長さ 算出式	身長 × 0.69	身長 × 0.68	身長 × 0.63

* 代表的な国内ポールメーカーの基準はキザキ HP を参照

そこで本研究は、この歩行スタイルの特徴を明らかにするため、標準化モデルを用いてアニメーションを作成した。その上で、まずはポールの軌跡と歩容について一般的な NW のスタイルとして日常的に多くみられる DIA と比較することにした。本研究の目的は、この歩行スタイルの運動学的特徴を明らかにし、広く提示することによってこの歩行スタイルの啓蒙を図ることである。

II 方法

1. 被験者と歩行スタイル

被験者は普段から PCW を実施している(年数:20.2 ± 13 ヶ月)健康な中高年女性 31 名(69.1 ± 15.7 歳)であった(以下「PCW 群」と略す)。PCW はポールの長さが表 1 に示す通りで肘の角度、姿勢や体型に合わせて調整した。ポールの突く位置は前述に示した踏み出した前足の前方 3~20 cm にまっすぐ地面に突く歩行スタイルである。対照群として NW の指導資格を有する女性経験者 4 名(46.0 ± 9.8 歳;NW 経験年数:63.5 ± 24.4 ヶ月)が実験に参加した(以下「NW 群」と略す)。NW のポールの長さは日本ノルディックフィットネス協会が身長 × 0.68 と提示しており(三浦ら, 2015)、本研究でもこれに従い同様のポールを用いた。また、本研究ではヘルスレベルで歩くよう指示した。なお、ヘルスレベルとはポールを前後の両足の間で斜め後方に傾いた角度で突く DIA で、健康増進やリハビリテーションなどの目的で行われる歩行スタイルである(三浦ら, 2015)。

実験の開始前に、被験者に本研究の内容を十分に説明し、実験参加に対する同意を書面で得た。

2. 実験方法

被験者には運動シューズを履いた状態で 10 m の歩行路を普段の歩行スタイルで歩くよう指示した。

実験の直前に被験者の身体各部位 39 か所と各ポールの先端 1 か所ずつの計 41 か所に反射マーカを貼付した(図 1)。ただし、ポールの先端部は、特殊なゴムの形状をしているため、ゴムの上部に反射シールを貼付した。つまり、PCW はポールの先端から 5 cm, NW は 7cm 上の部分で、反射シールの幅は 1.8 cm であった。歩行中のマーカの 3 次元座標を 22 台の近赤外線カメラを用いた 3 次元リアルタイムモーション計測システム(VENUS3D, Nobby Tech 社製)を用いて計測した(250 Hz)。また同時に、歩行路の側方に設置したハイスピードカメラ(Phantom Miro eX4, Vision Research 社製)を使用し、歩行動作を撮影した(250 Hz)。なお、3 次元リアルタイムモーション計測システムとハイスピードカメラの両方に同期シグナルを入れることで、2 つのデータを同期した。

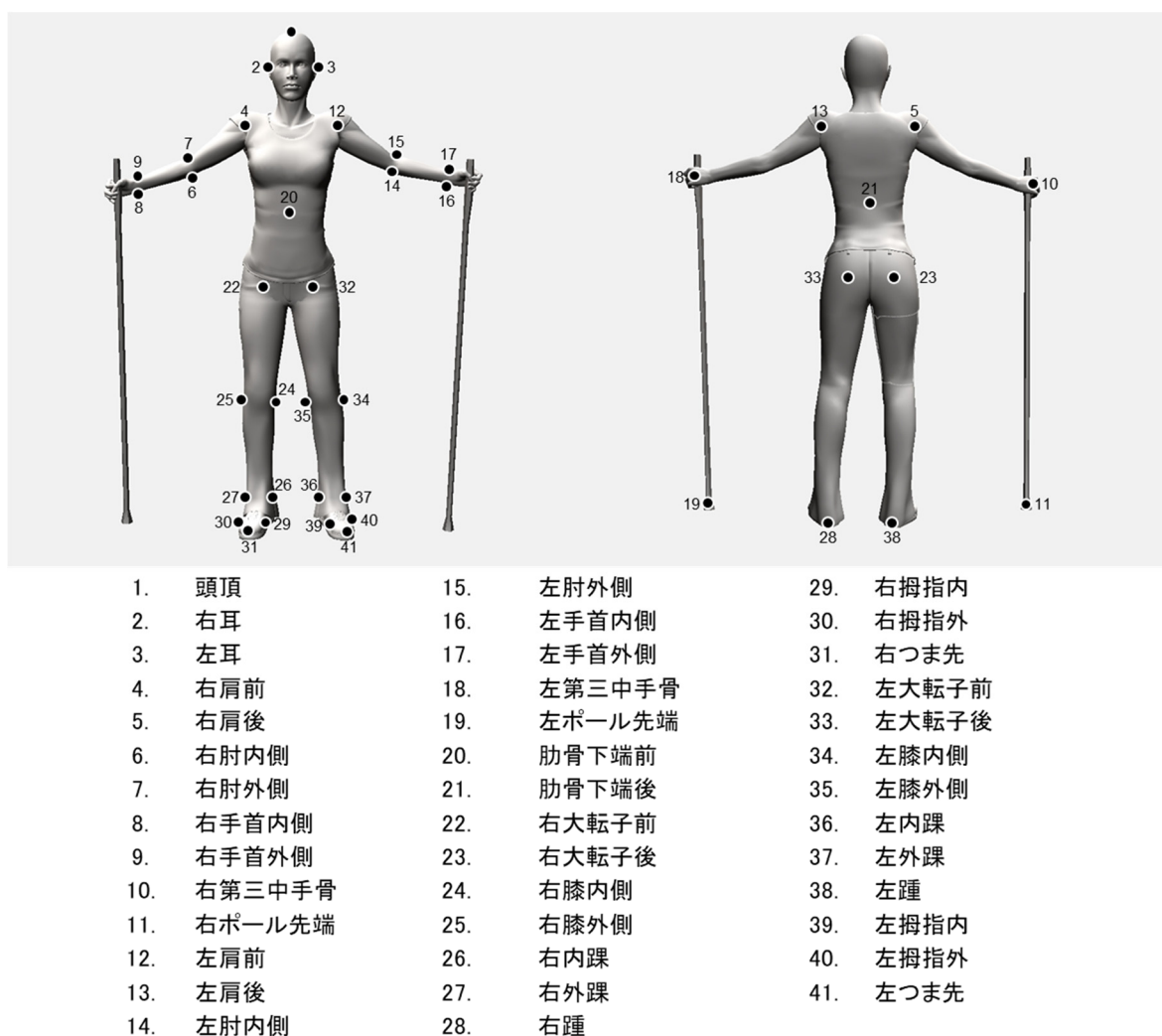


図 1. 被験者の計測マーカ

3. 分析方法

3.1 平滑方法

3次元リアルタイムモーション計測システムによって得られたマーカーの3次元座標から残差分析法 (Yu et al., 1999) を用いて、各部位3軸方向の最適遮断周波数を求め、4次の Butterworth Digital Filter を使って3次元座標を平滑した。

3.2 重心座標の算出

岡田ほか(1996)の「日本人高齢者の身体部分慣性特性」を用いて PCW 群の身体重心座標を、阿江ほか(1992)の「日本人アスリートの身体部分慣性係数」を使って NW 群の身体重心座標を算出した。

3.3 歩幅、歩調、歩行速度の算出

本研究では、ハイスピードカメラの映像から踵接地フレームを求め右踵接地から次の右踵接地までの1サイクルを分析区間とした。また、1サイクル中の身体合成重心の水平移動距離を2で除することで歩幅を求め、歩幅を1サイクルに要した時間で除することで歩行速度を算出した。そして、歩行速度を歩幅で除することによって歩調を計算した。

3.4 前傾角度の定義

本研究では、右大転子の前後の点を結んだ線分の中点を「右大転子」、左大転子の前後の点を結んだ線分の中点を「左大転子」とした時、左右大転子を結んだ線分の中点を「腰中点」とした。また、右肩の前後の点を結んだ線分の中点を「右肩」、左肩の前後の点を結んだ線分の中点を「左肩」とした場合、両肩を結んだ線分の中点を「肩中点」と定義した。そして、腰中点から肩中点へ向かうベクトルと水平軸とのなす角度(以下「体幹角度」と略す)を求め、右踵接地時の体幹角度を「前傾角度」と定義した(図2)。

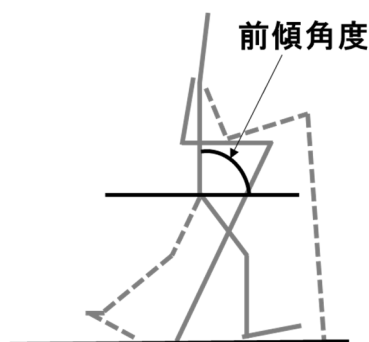


図 2. 前傾角度

3.5 ポール角度およびポール高の算出

本研究では、左第三中手骨から左ポール先端へ向かうベクトルと水平軸とのなす角度(以下「ポール角度」と略す)を求めた(図 3)。また、左ポール先端部の地面からの高さ(以下「ポール高」と略す)を算出した。そして、右踵接地から右足つま先離地までの時間が 100 %となるよう、ポール角度およびポール高を 3 次のスプライン関数を用いた内挿補間によって規格化し、それぞれの群の平均値を求めた。

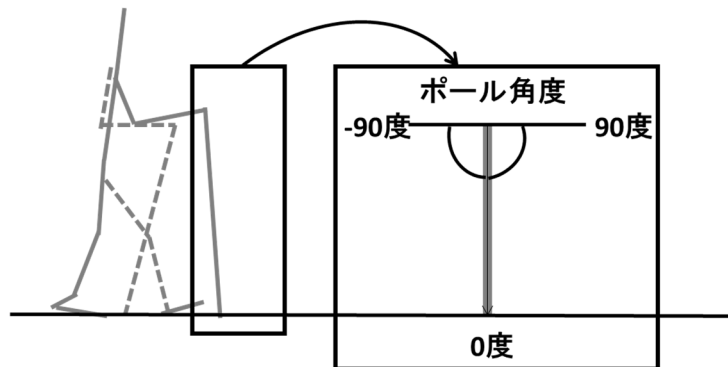


図 3. ポールの角度

3.6 ポールの接地距離と身体重心移動距離の算出

つま先が地面に接地した時点におけるつま先からポール先端部までの水平距離と身体重心からポール先端部までの水平距離をそれぞれ算出した。また、ポールが地面に接地した時点から離地する直前までに身体重心が移動した距離(以下「身体重心移動距離」を略す)を算出した。そして、それぞれの群のポール接地距離および身体重心移動距離の平均値を算出した。

3.7 動画の作成

本研究では Ae et. al. (2007)の方法を参考に、PCW 群および NW 群の標準化モデルを以下の手順で算出した。つまり、まず 1 サイクルの時間を 100 %となるように、被験者全員の 3 次元座標を 3 次のスプライン関数を用いた内挿補間によって規格化した。そして、規格化した 3 次元座標値から身体合成重心座標に対する相対座標を算出した後、それを被験者の身長で除したものをそれぞれの群内で平均することで、PCW 群および NW 群の標準化モデルを求めた。さらに、ヒトの身体上のポイント 23 点は平滑化された標準データ(csv ファイル)を使用し、動作解析ソフト(Frame-Dias V, DKH 社製)を用いてモーションデータ(bvh ファイル)に変換した。変換されたデータはアニメーション編集ソフト(Poser Pro11 イーフロンティア社製)で読み込むことによって動画の作成を行った。ヒトの歩行動画にポールを持たせ、ポールの角度(標準データの地面とポールの角度を算出)を 1 フレームずつ入力した。

Ⅲ 結果

1. 標準化モデルを用いたポールを用いた歩行動作

本研究では介護予防を目的としたポールを用いた歩行(PCW)に着目し、動作を標準化してアニメーション映像([動画1](#))および図4に示した。同様に、一般的に実施されているNW群の動作を標準化して[動画2](#)および図5に示した。

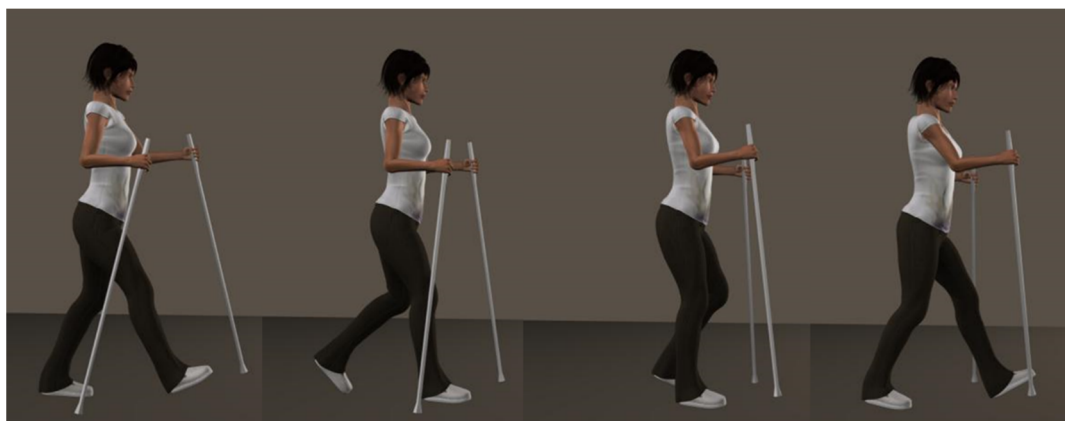


図4. PCW 群の歩行スタイル([動画1](#))



図5. NW 群の歩行スタイル([動画2](#))

2. 歩行速度・歩幅・歩調と前傾角度について

表2にPCW群とNW群の歩行速度、歩幅、歩調、そして前傾角度の平均値を示した。歩行速度はPCW群がNW群より小さい値を示し、歩幅と歩調はどちらもPCW群よりNW群のほうが高い値を示した。前傾角度はNW群よりPCW群のほうが90度に近い値を示した。

表 2. PCW 群と NW 群の歩行速度・歩幅・歩調と体幹の前傾角度

	PCW群(N=31)	NW群(N=4)
歩行速度(m/s)	0.81 ± 0.17	1.67 ± 0.33
歩幅(m)	0.59 ± 0.07	0.87 ± 0.08
歩調(step/s)	1.39 ± 0.21	2.09 ± 0.16
前傾角度(度)	89.48 ± 3.92	84.08 ± 0.85

平均値±標準偏差を示した

3. ポール高とポール角度の軌跡について

ポール高とポール角度の変化を図 6 に示した. ポール高の最低値の平均は PCW 群が 5.5cm, NW 群が 7.5cm を示し, 最大値は PCW 群が 13.1cm, NW 群が 19.2cm であった. PCW 群と NW 群のポール先端は, 地面から離れた箇所にマークを貼付したため, ポールの先端の高さ(図 6 上段)をみると, ポール先端の地面からの高さはポールの最高値から最低値を引くことにより, 実際のポールの高さが算出できる. その結果, PCW 群は 7.6cm, NW 群は 11.7 cm であった.

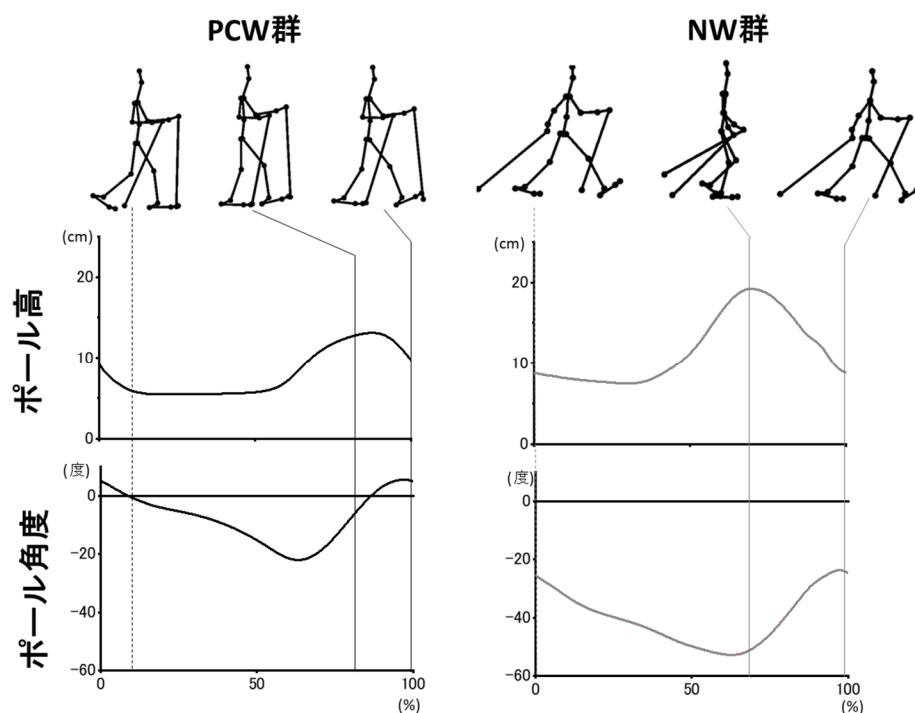


図 6. PCW 群と NW 群におけるポール高と角度の軌跡

横軸は規格化時間(%)を示す. 左ポール先端が地面に着地した地点: 点線、左ポール最高値の地点: 中央の実線、左ポールが地面に着地した地点: 右端の実線を示す. グレー線は NW の軌跡を示す.

ボールの角度(図 6 下段)は, PCW 群がほぼ 90 度に近い値を示し, 最大角度が PCW 群は-22 度, NW 群は-58 度を示した.

4. 地面にボール接地した位置と重心移動距離について

ボールが地面に接地した時点におけるつま先からボールまでの距離をみた結果, PCW 群は 1.1 ± 13.2 cm で接地していたのに対し, NW 群は -56.3 ± 8.6 cm であった. さらに, ボールが地面に接地した時点から離地する直前の重心移動距離は, PCW 群が 60.7 ± 11.4 cm で NW 群が 74.0 ± 7.3 cm と PCW 群より大きかった.

IV 考察

これまで, フレイルティ・サルコペニアに対する介入効果は, 栄養補給とレジスタンス運動による介入が実施されており, 効果的な介入を組み込むことにより, 後期高齢者の要介護に至る過程を遅らせる可能性があることが報告されている(山田ら, 2012). 坂戸ら(2007)は虚弱高齢者を対象に自重負荷を中心とした筋力トレーニングを実施した結果, 少ないトレーニング回数と負荷でも神経筋活動の増加と筋力の向上が認められた. この研究では歩行能力が改善されなかった者も確認されたが, この対象者に対してはトレーニングに歩行動作を入れることや神経筋活動を増やすことで改善がみられる可能性を示唆している. 田中ら(2018)は, 栄養補給やレジスタンストレーニングに代わり, ボールを持った歩行(PCW)の介入研究をおこなっている. その結果, PCW を行った高齢者は普通歩行時の上体が直立姿勢に近づき, 片脚支持時間の延長と脚伸展筋力の増加がみられた. これらのことから大変ゆっくりと歩く PCW のスタイルは, 移動機能の低下した座業的高齢者にとって介護予防に役立つ運動ツールの一つであることが考えられる. しかしながら, PCW の特徴は明らかにされていないため, 本研究は PCW の特徴を明らかにし, かつ歩行動作のアニメーション映像を提示することによって, 介護予防に貢献する歩行スタイルを客観的かつ視覚的に示すことを目指した.

本研究の標準化モデルを用いたアニメーション映像は, PCW 群が前方の振りだした足のつま先前でボールがまっすぐ地面に突き, NW 群は前方に突くボールが前足と後ろ側の足の間斜めに突く動作がみられた. これらの両者の違いは, PCW 群のボールは前方へ突く際に上肢を上方へ挙上し, 肘関節の伸展と手首の背屈動作が加わりボールの先端は最高点に達したのち, ゆっくりと地面に着地していた. これに対し NW 群はボールが地面の後方を押し出した際に, 肘関節の伸展と手首の背屈動作が生じボールの先端は身体後方で最高点に達した(図 6).

相場ほか(2004)は高齢女性(72 ± 2.3 歳)の普通歩行速度が 0.84 m/s, 歩幅が 0.48 m, 歩調が 1.76 step/s であったと報告している. 田井中と青木(2003)の高齢女性(80 ± 4 歳)の普通歩行速度が 0.87 m/s で, 高齢者における歩行速度の低下は下肢筋力の低下と神経系の機能低下がもたらした

動作の調節および反応の遅延が要因であることを述べている。これに対し本研究の PCW 群はこれらの普通歩行と比べて低速度でゆっくりとした歩調で歩いていた。この PCW の歩行スタイルは体力の低い高齢者に対し、片脚支持時間の延長により自重が過負荷を与え、中枢神経の興奮レベルが高まり脚伸展筋力の増加が生じた可能性があること(田中ら, 2018)から介護予防に役立つ運動として期待できる。

一方、ポールを持った歩行の速度と歩幅について本宮と山本(2017)は、男女高齢者(平均年齢 72 歳)を対象に DEF の歩行速度と歩幅が 1.28 m/s と 0.66 m と報告している。また、藤田ら(2018)は男女高齢者(平均年齢 62 歳)を対象に DIA と DEF の歩行速度が 1.50 m/s と 1.49 m/s で同程度だったことを報告している。本研究の PCW 群はこれらの歩幅よりおよそ 7cm 小さい小股歩行であり、歩行速度も 0.42~0.63m/s と低速度であった。これらの先行研究で報告された歩行速度、歩幅やポールの突き方などの違いについて、PCW と DEF の運動学的特徴の違いを明確にしていくことは今後の課題である。

さらに、PCW 群は上方向へ持ち上げたポールが振り出した前足のつま先から前方に突くことで、上体が直立に近い姿勢となり、結果的に PCW 群の重心移動距離は NW 群に比べ 6%減少した。PCW 群の歩行速度は NW 群のおよそ 2 分の 1 の速さで、歩調と歩幅もおよそ 30%小さかった。本研究の被験者のほとんどは DIA をおこなうことが困難なため、NW 群は比較的年齢の若い対照群を採用した。同一の被験者で 2 つの歩行スタイルを比較できなかったことは本研究の限界といえる。

IV まとめ

東大阪市を中心とした地域で介護予防を目的とするポールを持った歩行(介護予防歩行:PCW)が行われている。そこで、この歩行スタイルの特徴を明らかにするため、標準化モデルを用いてアニメーションを作成し、ポールの軌跡と歩容を一般的に用いられるノルディックウォーキングと比較することによって、この歩行スタイルの運動学的特徴を明らかにした。PCW は、ポールは振り出した足の爪先より前方でまっすぐ地面につき、上体は直立に近い姿勢になることで前方への推進力が抑えられ、ゆっくりとした歩調と小さい歩幅で歩いていることが示唆された。

V 文献

- ・ Ae et. al. (2007) Ae, M., Muraki, Y., Koyama, H., and Fujii, N. (2007) A biomechanical method to establish a standard motion and identify critical motion by motion variability: With examples of high jump and sprint running. Bulletin of institute of health and sport sciences, University of Tsukuba, 30: 5-12.
- ・ 阿江通良, 湯海鵬, 横井孝志(1992)日本人アスリートの身体部分慣性特性の推定. バイオメカニズム, 11: 23-33, 東京大学出版会.

- ・ 相場正, 吉村茂和, 寺沢泉 (2004) 歩行時における最小拇趾・床間距離の加齢の影響について. 理学療法学, 31(2): 119-123.
- ・ 荒井秀典 (2016) サルコペニアとフレイル～ロコモとの相違について考える～. 体力科学, 65(3) 337-341.
- ・ 藤田英二, 幸福恵吾, 竹田正樹, 竹島伸生 (2016) フレイルな高齢者に対するノルディックウォーキングの介入効果. スポーツパフォーマンス研究, 8:165-179.
- ・ 藤田英二, 竹田正樹, モハモドモニルイスラム, 竹島伸生 (2018) 中高年女性を対象とした 2 種類の Nordic walking による機能的体力への効果. 体育学研究, 63(1) 305-314.
- ・ 藤田英二, 竹田正樹, モハモドモニルイスラム, 竹島伸生 (2018) 地域在住中高齢者での異なる歩行様式のノルディックウォーキングにおける生理的応答の比較. 体力科学, 67(6) 423-430.
- ・ 平野孝行, 笠野弘美 (2016) 地域在住高齢者の筋力と骨格筋量および身体機能との関連性. 名古屋学院大学論集 医学・健康科学・スポーツ科学編, 4(2) 23-33.
- ・ 川原剛正 (2014) 転倒を防ぐ 3 つの条件～介護にならないために～. 一般社団法人 日本生涯歩行協会, 1-28.
- ・ 川内基裕, 遠藤宋幹, 上田恵介 (2010) Japanese Style Nordic Walk の回復期, 維持期心臓リハビリテーションにおける有用性. ウォーキング研究, 14:29-33.
- ・ キザキ, <http://www.kizaki-net.co.jp/ayumi.html>, 2020/2/19 閲覧日.
- ・ 厚生労働省 (2019) 介護保険事業状況報告の概要 (令和元年度 7 月暫定版), <https://www.mhlw.go.jp/topics/kaigo/osirase/jigyo/m19/1907.html>, 2019/10/19 閲覧日.
- ・ 松本浩実, 中祖直之, 松浦晃宏, 秋田朋子, 萩野浩 (2016) ロコモティブシンドロームの重症度と転倒頻度, 低骨密度およびサルコペニアの関連性について. 理学療法学, 43(1) 38-46.
- ・ 松谷之義, 中谷敏昭 (2009) 目的に応じたノルディックウォーキング手法の確立. ウォーキング研究, 13:27-32.
- ・ 三浦望慶, 高橋直博, 富岡徹, 藤田和樹, 竹田正樹 (2015) ノルディックウォーキング:-効果的な健康運動-, アイオーエム.
- ・ 本宮文嗣, 山本澄子 (2017) ノルディック・ウォーキングが高齢者の歩行に与える影響. 理学療法学, 44(1) 11-18.
- ・ 岡田英孝, 阿江通良, 藤井範久, 森丘保典 (1996) 日本人高齢者の身体部分慣性特性. バイオメカニズム, 13: 125-139, 東京大学出版会.
- ・ 坂戸洋子, 田辺解, 半谷美夏, 久野譜也 (2007) 虚弱高齢者における自重負荷およびラバーバンドを用いた筋力トレーニング効果に関する研究. 体力科学, 56:365-376.
- ・ 志波直人 (2016) 筋肉のエイジング・アンチエイジング - サルコペニアと運動の効果について. 臨床整形外科, 51(4) 361-366.
- ・ 田井中幸司, 青木純一郎 (2002) 高齢女性の歩行速度の低下と体力. 体力科学, 51:245-252.
- ・ 田中ひかる, 新野弘美, 田邊智, 熊本和正, 伊藤章, 佐川和則 (2012) ノルディックウォーキングにおける種々速度に対する生理的および力学的負荷の関係. 体育学研究, 57:21-32.
- ・ 田中ひかる, 松浪登久馬, 佐川和則 (2018) 介護予防のためのポールを用いた歩行法の開発. 大阪

体育学研究, 56:1-8.

- ・ 山田陽介, 山縣恵美, 木村みさか(2012)フレイルティ&サルコメニアと介護予防. 京府医大誌, 121(10)535-547.
- ・ Yu, B., Gabriel, D., Noble, L., and An, K.(1999)Estimate of the optimum cut off frequency for the butterworth low-pass digital filter. Journal of Applied Biomechanics, 15(3):318-329.