

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：32689

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2023

課題番号：18K17867

研究課題名（和文）クロスカンリースキー競技における上肢と下肢による力の貢献度の走法間比較

研究課題名（英文）Comparison of contributions from pole and ski forces between sub-techniques in cross-country skiing

研究代表者

藤田 善也（FUJITA, Zenya）

早稲田大学・スポーツ科学学術院・准教授

研究者番号：30633226

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、上下肢による力の発揮と滑走速度への貢献度を走法間で比較することであった。スケーティング種目およびクラシカル種目でサブ走法が切り替わる斜度と速度を特定した結果、約5度の上り坂では、低速滑走時にはV1スケーティング走法を、高速滑走時にはV2スケーティング走法が選択された。また、約1-4度の斜度ではダブルポーリング走法、約4-7度の斜度ではキックダブルポーリング走法、約7度以上の斜度ではダイアゴナル走法が選択された。さらに平地と上り坂でポール装着の有無による影響を検討した結果、V2スケーティング走法の滑走速度の低下が大きいこと、特に上り坂において顕著であることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

クロスカンリースキーは、両手にポール、両足にスキー板を装着して滑走運動を行うユニークな動作特性を有しており、その歴史は紀元前に遡る。さまざまなサブ走法が開発、改良されたが、競技によって開発が顕著となり、競技会では複数のサブ走法が使い分けられている。このサブ走法の選択は、より速度を高めたり、より運動効率を高めたりする目的で行われており、本研究によって上り坂で選択される走法は下肢の貢献が高いことが示された。このことは平地ではより上肢の貢献が高い走法が選択され、上り坂ではより下肢の貢献が高い走法が選択されることを示しており、走法を変えることで移動運動をより効率的に実施できることが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）： The purpose of this study was to compare the pole and ski forces and their contribution to ski speed between sub-techniques.

The results of identifying the slope and speed at which sub-techniques is switched in skating and classical events showed that on uphill slopes of about 5 degrees, V1 skating was selected when skating at low speeds, and V2 skating was selected when skating at high speeds. In addition, double poling was selected on slopes of about 1-4 degrees, kick double poling on slopes of about 4-7 degrees, and diagonal stride on slopes of about 7 degrees or more.

Furthermore, the effects of poling or not poling on flat ground and uphill slopes were examined, and it was found that there was a large decrease in skating speed with V2 skating, especially on uphill slopes.

研究分野：スポーツバイオメカニクス

キーワード：走法選択 滑走速度 斜度 上肢と下肢 貢献度

1. 研究開始当初の背景

クロスカントリースキー競技は、雪上に設けられたコースを滑走して所要時間を競う競技である。同競技では両手に装着したポールと両足に装着したスキーを利用して「走法」と呼ばれる滑走運動を行う。この滑走運動の特徴は、四肢が発揮した力を雪面に作用させて推進し、且つ、雪面との摩擦抵抗が少ないスキーを片足で 4m 超も滑走させるユニークな運動様式にある^{1),2),3),4)}。環境に応じて道具を用いて移動を行う運動は多種多様であるが、四肢のそれぞれに単体で力を作用させられる道具を持ち、それらを循環運動として成立させたクロスカントリースキー滑走運動はことさら特殊であるといえる。コースの斜度に応じて切り替える数種類の走法は、選手が長年の試行錯誤の末に開発・改良してきたものである。すべての選手が斜度に応じて走法を切り替えることを踏まえると、各走法がそれぞれの起伏において有利となる力学的特性を有していることが予想され、これら組み合わせで効率のよい滑走運動が遂行されている可能性がある。各走法の力学的特性については一部が報告されているものの主要な走法を横断的に比較した研究はなく、なぜ、いくつかの走法を組み合わせた滑走運動を行うのかという核心には触れていない。

雪上の 2 本のトラック(溝)の中でスキーを滑走させるクラシカル種目において、急な上り坂で使用されるダイアゴナル走法(以下,DG 走法とする)では、スキー反力の水平成分の平均値(約 150N)はポール反力の水平成分の平均値(約 48N)よりも高い(斜度 4.4% ,速度 5.6m/s 時)⁴⁾ことから急な上り坂では下肢の貢献度が高い DG 走法を使用しているといえる。申請者らは、平地で使用されるダブルポーリング走法(以下,DP 走法とする)を対象に、ポール反力の水平成分の平均値が約 151N であることを明らかにした(斜度 0.0% ,速度 6.81m/s 時)¹⁾。このことは、平地では上肢の貢献度が高い DP 走法を使用していることを示唆するものである。しかし、緩やかな上り坂で使用されるキックダブルポーリング走法中についての報告はなく、KDP 走法の上肢と下肢の貢献度は明らかとされていない。そのため、平地から上り坂にかけては下肢の貢献度が高い走法が選択されているとは言い切れない。また、スキーを V 字に開いて滑走させるスケーティング種目において、急な上り坂で使用される V1 スケーティング走法では、両スキー反力の水平成分の力積(約 76Ns)は両ポール反力の水平成分の力積(約 54Ns)よりも高い (斜度 12.2% ,速度 4.44m/s 時)³⁾ことから急な上り坂では下肢の貢献がやや高い V1 スケーティング走法を使用していることが明らかとなっている。申請者らは、平地から緩やかな上り坂にかけて使用される V2 スケーティング走法を対象に、両ポール反力の水平成分の平均値が約 126N であり、スキー反力の水平成分の平均値が約 106N であることを示した(斜度 0.0% ,6.07m/s 時)²⁾。このことは平地や緩やかな上り坂では上肢の貢献がやや高い V2 スケーティング走法を使用していることを示唆するものである。しかしこれらのサブ走法を比較した研究はなく、斜度の増加に伴い下肢の貢献度が高くなる走法が選択されるのかは不明となっている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、クラシカル種目の 3 種類の走法およびスケーティング種目の 3 種類の走法中のポール反力とスキー反力を計測し、上肢で発揮する力と下肢で発揮する力の滑走速度への貢献度を走法間で比較することで各走法の力学的特性を明らかにすることとした。本研究は選手が研鑽してきた特殊な運動技術に焦点を当て、選手が専用の道具を使う際の力を計測して力学的特性を明らかにするという点に学術的創造性がある。また研究のメスを入れにくい競技環境(屋外、雪上、スキー)で用いられる運動技術を代替環境(実験室、トレッドミル上、ローラースキー)で再現することで事実上困難であった再現性と客観性の確保が可能となった。代替環境を利用した研究デザインを構築して競技環境では実現困難な研究を行う点に学術的独自性があるといえる。

3. 研究の方法

本研究の目的を達成するために、以下に示した 4 つの研究を実施した。

- (1)ポールとローラースキーから発揮される力の検出のためのセンサシステムの開発
- (2)スケーティング種目のサブ走法の切り替え斜度および速度の特定
- (3)クラシカル種目のサブ走法の切り替え斜度および速度の特定
- (4)ポール装着の有無によるスケーティングサブ走法中の上肢と下肢の貢献度比較

4. 研究成果

上記に示した 4 つの研究によって、以下の成果が得られた。

(1) ボールとローラースキーから発揮される力の検出のためのセンサシステムの開発

センサスキーは、クラシカル種目用に新たに開発し、競技用ローラースキー(Alutech, Swenor)のフレームの底面にひずみゲージを貼付し、ローラースキーの底面へとかかる力を電圧の変化から検出できるようにした。さらに推進力となるローラースキーの水平方向へとかかる力を力センサ(9103A, Kistler)から検出できるようにした。これらのセンサから出力される電圧データは小型データロガーに取り込むことで、記録できるようにした。

センサボールは1成分高感度力センサ(9217A, Kistler)をボールのグリップ部に内蔵し、ボールの圧縮方向の力を検出できるようにした。その際、ボールのたわみによる力の誤検出を防ぐために、先行研究をもとにテレスコープ式のシステムを構成した。先行研究で採用されているテレスコープ式のセンサシステムは検出精度が高く、ボール反力を高い精度で測定するために不可欠な構造である。しかしながらこれまで国内では同方式の検出システムの開発は行われておらず、また詳細なシステム構造も明らかにされていなかったことから、これらのシステムが開発できたことは大きな成果であるといえる。



図．力センサを内蔵したローラースキー



図．力センサを内蔵したボール

(2) スケート種目のサブ走法の切り替え斜度および速度の特定

被験者は日本代表選手を含むクロスカントリースキー競技者であった。被験者には、長さ 50m、斜度約 5 度のアスファルト路面における上り坂において、ローラースキーを用いた低速($V@70\%HR_{max}$)および高速滑走を任意のサブ走法で行わせた。その結果、約 5 度の上り坂では、全被験者が低速滑走時には V1 スケート走法を選択、高速滑走時では V2 スケート走法を選択することが示された。以上の結果より、同一の斜度においても滑走速度の違いによって選択されるサブ走法が異なることが示唆された。

(3) クラシカル種目のサブ走法の切り替え斜度および速度の特定

クラシカル種目においてもサブ走法が切り替わる斜度および速度を特定するための実験を実施した。被験者は実験と同様であった。被験者にはトレッドミル上において、ボールおよびローラースキーを用いた任意のサブ走法で高速滑走($V@90\%HR_{max}$)をさせた。斜度は 1 度から徐々に漸増させ、サブ走法が切り替わった時点の斜度を記録した。その結果、約 1 ~ 4 度の斜度ではダブルポーリング走法が用いられること、約 4 ~ 7 度の斜度ではキックダブルポーリング走法が用いられること、約 7 度以上の斜度ではダイアゴナル走法が用いられることが示された。以上の結果より、クラシカル種目で用いられるサブ走法は、斜度の違いによって選択されることが明らかとなった。

(4) ボール装着の有無によるスケートサブ走法中の上肢と下肢の貢献度比較

被験者は、男子大学生クロスカントリースキー競技者 5 名であった。平地および斜度 5 度の上り坂において V1 および V2 スケート走法中のボールの装着の有無による滑走速度の影響を明らかにした。

その結果、平地では V2 スケート走法の滑走速度($8.79 \pm 0.20\text{m/s}$)は V1 スケート走法($7.28 \pm 0.28\text{m/s}$)より有意に高いものの、上り坂では両者(V2 スケート走法: $6.25 \pm 0.31\text{m/s}$, V1 スケート走法: $6.21 \pm 0.24\text{m/s}$)に有意差はみられなかった。このことは、平地においては V2 スケート走法がより滑走速度を高められやすい走法であることを示すものである。一方で斜度 5 度の上り坂では滑走速度を高めやすいという点では両サブ走法に差はないことが示された。

ボール装着の有無を滑走速度で比較することは、上肢によって行われるボールのプッシュ動作がそれぞれの走法においてどの程度パフォーマンスである滑走速度に貢献しているのかを評価する指標となる。本研究では、平地でボール非装着の場合の滑走速度は、V2 スケート走法では $83.1 \pm 0.7\%$ で、V1 スケート走法では $95.1 \pm 6.3\%$ であり、V1 スケート走法では装着の有無による滑走速度の低下は認められなかった。また上り坂でボール非装着の場合

の滑走速度は、V2 スケーティング走法では $65.0 \pm 2.3\%$ であり、V1 スケーティング走法では $81.5 \pm 2.6\%$ であり、両者においてポール装着の有無による滑走速度の低下が認められた。平地では V2 スケーティング走法においてポールの非装着が滑走速度の低下に影響したのに対し、上り坂ではそれぞれのサブ走法において滑走速度の低下が認められた。このことは、V2 スケーティング走法では、ポールのプッシュ動作による滑走速度の貢献が地形に限らず認められることを示唆するものである。一方で V1 スケーティング走法では、平地ではポールのプッシュオフ動作による滑走速度への貢献はあまりなく、上り坂においては一定の貢献があることが示唆される。しかしながら、V2 スケーティング走法でみられた速度低下よりは低下の割合が小さいことから、下肢によるプッシュオフ動作による滑走速度への貢献が比較的高い走法であることが示唆された。

本研究の結果により、サブ走法間では滑走速度に対する上肢と下肢の貢献度が異なっていることが明らかとなった。このことは、サブ走法の選択が、上肢と下肢の貢献度の割合を変えて移動運動を成立させていることを示唆するものであり、クロスカントリースキー移動運動においては用具を用いることでこのような移動特性の利用が可能となることを示すものである。

5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1．著者名 藤田 善也、岡部 文武、高尾 千穂、佐々木 耕司、土屋 純	4．巻 35
2．論文標題 運動中の足底圧評価のためのインソール型スマートデバイスの特性の検証	5．発行年 2021年
3．雑誌名 コーチング学研究	6．最初と最後の頁 43～50
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.24776/jcoaching.35.1_43	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6．研究組織

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7．科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8．本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------