

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 5 月 2 日現在

機関番号：32689

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23650396

研究課題名（和文） クロスカントリースキー滑走動作におけるパフォーマンス分析

研究課題名（英文） A study of performance cross-country skiing movement

研究代表者

土屋 純 (TSUCHIYA JUN)

早稲田大学・スポーツ科学学術院・教授

研究者番号：60236908

研究成果の概要（和文）：

2012年度には、クロスカントリースキー競技における最大努力中のサイクル特性、滑走動作および滑走中のポール・ローラースキー反力について明らかにした。また、滑走動作および力が疲労の影響に伴って変化することを明らかにした。

2013年度には、トレッドミルにおけるローラースキー滑走中のクロスカントリースキー選手の心拍数、酸素摂取量を示した。さらに、滑走中の仕事量が負荷の増大によって増加することを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

In fiscal year 2012, we revealed cycle characteristics, kinematics and kinetics of maximal effort during cross-country skiing. Therefore, we showed that kinematics and kinetics were changed with influence of fatigue.

In fiscal year 2013, we showed heart rate and V02max of cross-country skiers on treadmill roller-skiing. And, it was revealed that the mechanical efficiency of roller-skiing increased with the increase of the treadmill load.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,100,000	630,000	2,730,000

研究分野：スポーツコーチング学，スポーツバイオメカニクス

科研費の分科・細目：

キーワード：スポーツ科学，競技パフォーマンス科学，スポーツ生理学，スポーツバイオメカニクス，スポーツコーチング学，スキー

1. 研究開始当初の背景

近年のスポーツ技術の進歩に対するスポーツ科学の果たす役割は大きい。クロスカントリースキーの分野でも、生理学的観点から体力に関連する呼気ガス、心拍数や血中乳酸濃度の計測によって一流競技者の体力が究明されてきた。一方、バイオメカニクスの観点からは滑走動作に関する三次元動作解析

などのアプローチによって、優れた成績を出すための技術的要因の究明がなされてきた。しかしクロスカントリースキー競技は長距離種目であることから、ある一側面を捉えた従来の研究では、体力の変化によって動作がどう変わるのか、「長距離の滑走中に滑走技術がどう変化するか」など、競技パフォーマンスを言及するには限界がある。これは、スポーツ生理学およびスポーツバイオメカ

ニクスの分野が、それぞれは応用科学として高い評価法を有しているものの、それらの情報を融合してパフォーマンスに結び付けるという手法がなされていないことに起因すると考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、高い体力要素（生理学）と運動技術（バイオメカニクス）を必要とするクロスカンリースキー競技を対象とし、滑走中の体力および技術がいかに変化してパフォーマンスに影響を及ぼすのかを明らかにすることである。

上記の目的を達成するために、以下の2つの目的を設定した。

(1) 滑走中の動作および力を取得し、パフォーマンスへの影響についてバイオメカニクスの手法を用いて明らかにする。

(2) 滑走中のバイオメカニクスの指標および生理学的指標を取得し、パフォーマンスへの影響について明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 滑走中の動作および力とパフォーマンスとの関係についての研究は、それぞれ下記の方法を用いて実施した。

① V2 スケーティング走法中の推進力に対する上肢および下肢の貢献を定量化するために、5名の被験者に、力センサを組み込んだポールおよびスキー板を装着させた。6 m/s の滑走速度で滑走させ、反力を測定し、2台のハイスピードカメラを用いて三次元座標を取得した。得られたポールおよびスキー板反力と三次元座標値から、静止座標系における各軸方向の力成分を算出し、上肢および下肢の貢献を求めた。

② V2 スケーティング走法中のポールおよびローラースキー反力の滑走速度の増加に伴う変化を明らかにするために、9名の被験者に力センサを組み込んだポールおよびローラースキーを装着させた。実験は、平地の100 mのアスファルト路面において実施した。スタートから50 m地点までを加速区間、50 m地点から70 m地点を速度計測区間、70 m意向を減速区間とした。低速度、中速度、高速度の3種類の速度下におけるポールおよびローラースキー反力を測定し、試行間を比較した。

③ V2 スケーティング走法中のフライト局面を発生させる指導がパフォーマンスに及ぼす影響を明らかにするために、7名の被験者に力センサを組み込んだポールおよびロ

ーラースキーを装着させた。まず最大努力による50 mのV2 スケーティング走法の滑走を行わせた。その後、ローラースキーの接地中に一度ローラースキーを地面から浮かせるフライト局面を発生させる指導を行った。その後、再度最大努力による滑走を行わせた。

④ ダブルポーリング走法中の疲労の影響による動作と力の変化を明らかにするために、5名の被験者に力センサを組み込んだポールセンサを装着させ、3分間の最大努力による滑走を、雪上に設けた1周320 mのトラックにて行わせた。滑走中の被験者の左速報にハイスピードカメラを設置し、滑走中の動作を記録した。2次元DLT法を用いて2次元座標値を取得した。滑走中の疲労の影響は、1周目と3周目の動作および力を比較することで明らかにした。

⑤ 2名の被験者を対象に、専用トレッドミル上においてローラースキーを用いて、3分毎に速度および傾斜のいずれか、あるいは両方を増加させる漸増負荷試験を行い、運動力学的データを計測した。計測に当たり、2名のうち、1名はダイアゴナル走法を、もう1名はダブルポーリング走法を用いて実施させた。滑走中のポール反力は、キスラー社製フォーストランスデューサーを、選手のポール下部に専用の治具によって固定し、鉛直方向の反力を検出した。

(2) 滑走中のバイオメカニクスの指標および生理学的指標とパフォーマンスとの関係についての研究はそれぞれ下記の方法を用いて実施した。

① 滑走中の負荷（速度および斜度）の増加に伴う生理学的指標（心拍数、血中乳酸濃度および酸素摂取量）を測定するために大型トレ

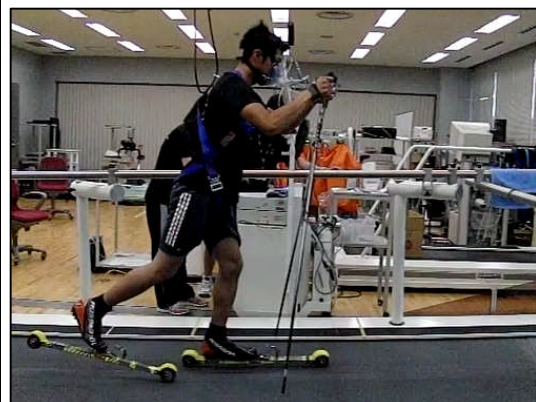


図1. トレッドミルを用いた漸増負荷試験による心拍数、血中乳酸濃度および酸素摂取量の測定

ッドミルを用いた漸増負荷試験を実施した(図1)。試験中の心拍数は、ハートレートモニター(RS800, Polar社製)を用いて測定した。試験中の血中乳酸濃度は、簡易血中乳酸測定器(ラクテートプロ, アークレイ社製)を用いて測定した。また、試験中の酸素摂取量は呼吸代謝測定装置(V_{max} , 日本光電社製)を用いて測定した。

②滑走中の負荷の増加に伴う機械的仕事率を算出するために、1名の被験者に大型トレッドミルを用いた漸増負荷試験を実施した。機械的効率 η は、滑走中の酸素摂取量と仕事量より算出した。試験中の酸素摂取量は呼吸代謝測定装置(V_{max} , 日本光電社製)を用いて測定した。また、ハイスピードカメラ(EX-F1, Casio社製)によって撮影した映像をもとに動作解析ソフトウェア(Frame-diasIV, DKH社製)を用いて、全身の2次元座標値を取得して算出した。得られた座標データから1サイクル中の各時点におけるそれぞれのセグメントが有する力学的エネルギーを算出した。このうち、1サイクル間の総力学的エネルギーの増加分の合計に相当する positive work の総和を1サイクル間に行われる内的仕事量とした。また、外的仕事量は、トレッドミルとローラースキーとの間のすべての外的負荷にこうして推進するための力を測定して算出した。外的負荷は、ローラースキーを装着した被験者をトレッドミル前部から牽引し、牽引力を測定することで求めた。以上の方法で得られた内的仕事量および外的仕事量を、被験者の総質量と1サイクルに要した時間で除して総仕事率を算出した。総仕事率を酸素摂取量から算出したエネルギー消費率で除して、net efficiency を算出した。

4. 研究成果

(1) 滑走中の動作および力とパフォーマンスとの関係については、下記の①~④の研究成果が得られた。

①V2スケーティング走法中の推進力に対する上肢および下肢の貢献を定量化した。その結果、上肢では両ポールを用いたポーリング動作によって、進行方向に約 200 ± 40 Nのポール反力を発揮していることが示された。また、下肢では、片方のスキー板を用いたプッシュオフ動作によって、進行方向に 202 ± 48 Nのスキー板反力を発揮していることが示された。これらの結果より、V2スケーティング走法において、 6 m/sの速度下では、推進力に対する上肢と下肢の貢献は同程度であり、上肢と下肢の両方によってパフォーマンスを発揮していることが明らかとなった。

②V2スケーティング走法中のポールおよびローラースキー反力の滑走速度の増加に伴う変化を明らかにした。その結果、滑走速度の増加に伴い、ポール反力およびローラースキー反力が増加することが示された。また、V2スケーティング走法中の二峰性の力発揮曲線は、滑走速度の増加に伴ってより顕著な曲線へと変化し、二峰性のピークの谷にあたる反力の最小値が減少することが示された(図2)。

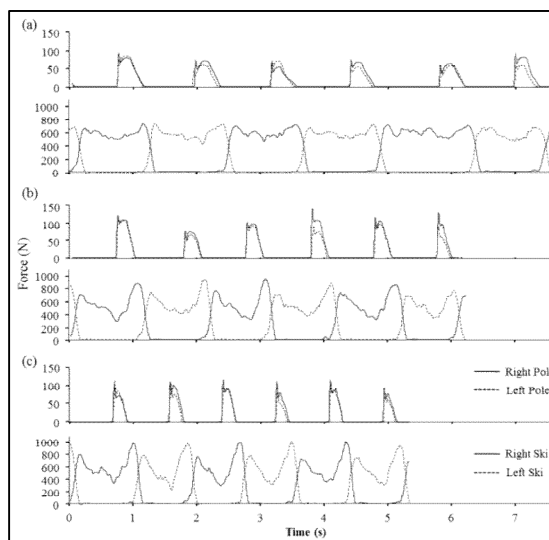


図2. (a)低速度、(b)中速度、(c)高速度滑走中のポールおよびローラースキー反力

これらの結果より、パフォーマンスである滑走速度を高めるためには、ポールおよびローラースキー反力を高めること、二峰性の力発揮をより顕著なものへと変化させることが重要であることが示された。

③V2スケーティング走法中のフライト局面を発生させる指導がパフォーマンスに及ぼす影響について検討した結果、全被験者にフライト局面の発生が認められた。また指導後の滑走速度(6.30 ± 0.18 m/s)が、指導前の滑走速度(5.95 ± 0.22 m/s)と比較して有意に高いことが示された。これらの結果から、フライト局面を発生させる指導は、選手のパフォーマンス向上に有効であることが示唆された。一方で、被験者から、「フライト局面の発生に恐怖感がある」、「バランスを崩しそうな感覚がある」との内省が得られた。このことは、実際の競技においてはフライト局面を発生させた滑走動作をきちんと習得させ、転倒などによってパフォーマンスが低下しないようにする対策が必要であることが示唆された。

④3分間の最大努力によるダブルポーリング走法を用いた滑走によって疲労の影響に

よる動作と力の変化を明らかにした。その結果、3周目(670m地点)では、1周目(30m地点)と比較してポール反力が有意な減少を示した。また、3周目ではポーリング動作によって推進力を得るポーリング局面において、股関節および膝関節の関節角度がより伸展位になること、ポールを前方へ振り戻すスイング局面において、股関節および膝関節の伸展角度がより屈曲位になることが示された。これらの結果は、疲労の影響によって、下肢の動作が制限された結果、推進力となるポール反力が減少したことを示唆するものである。この結果は、上肢のポーリング動作によって推進力を得るダブルポーリング走法といえども、パフォーマンスである滑走速度を高めるためには下肢の動作が重要であることを示すものである。

⑤トレッドミルにおけるダイアゴナル走法およびダブルポーリング走法中のポール反力を測定した結果、負荷の増加に伴い、ポール反力の増加が認められた(図3)。漸増負荷試験は、最大酸素摂取量を測定する一般的な試験であり、同測定時に反力を測定することは、測定における技術的側面の検討や、仕事量、エネルギー効率を算出するうえで必要不可欠であり、同時計測する方法を構築することが重要であることが考えられる。

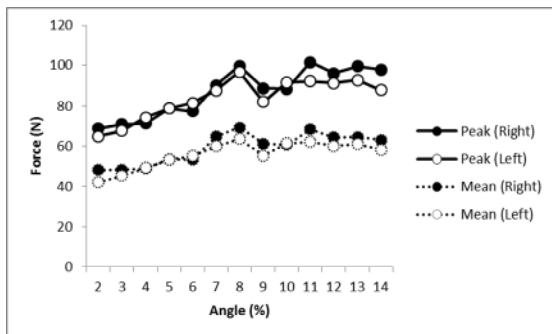


図3. 漸増負荷試験中の左右のポール反力ピーク値および平均値の変化

(2) 滑走中のバイオメカニクスの指標および生理学的指標とパフォーマンスとの関係については、下記の①、②の研究成果が得られた。

①滑走中の負荷の増加に伴う生理学的指標を測定した結果、負荷の増加に伴い、心拍数、酸素摂取量および血中乳酸濃度が増加することが示された。また、クラシカル走法を用いた測定で被験者は、負荷の増加に伴い、ダブルポーリング走法からキックダブルポーリング走法へと走法を変更すること、さらにキックダブルポーリング走法からダイアゴナル走法へと走法を変更することが示され

た。走法の変更によって、滑走中の機械的効率が変化するため、走法ごとのパフォーマンスを明らかにすることが重要であることが示唆された。

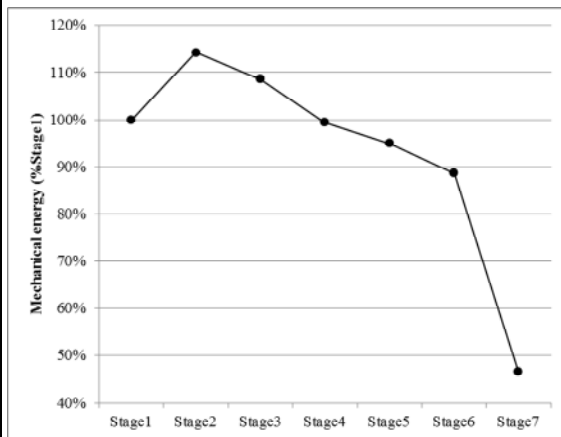


図4. 漸増負荷試験中の機械的効率の変化

②滑走中の負荷の増加に伴う機械的効率を算出した結果、ステージ2および3では、ステージ1と比較して機械的効率が上がる傾向がみられた。また、ステージ4以降は機械的効率が低下する傾向がみられた(図4)。このことは、トレッドミルにおけるローラースキーを用いた漸増負荷試験において、ダブルポーリング走法では機械的効率が最大となる至的速度および斜度が存在することが示唆された。

被験者は、ステージ1～6までをキックダブルポーリング走法で滑走し、ステージ7をダイアゴナル走法で滑走した。ステージ7では、急激に機械的効率が低下しており、ダイアゴナル走法が、キックダブルポーリング走法と比較して、機械的効率が低い傾向にあることが示唆された。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計3件)

- 1) 藤田善也, 石毛勇介, 吉岡伸輔, 田内健二, 土屋純. クロスカントリースキー競技・スプリント種目の疲労の影響によるバイオメカニクスの変化—ダブルポーリング走法に着目して—. バイオメカニクス研究, 16(2): 64-73, 2012.
- 2) 藤田善也, 吉岡伸輔, 石毛勇介, 田内健二, 土屋純. クロスカントリースキー・V2 スケーティング走法中の推進力に対する上肢と下肢の貢献. スポーツ科学研究, 9, 41-55, 2012.
- 3) 藤田善也, 吉岡伸輔, 石毛勇介, 田内健二, 土屋純. 女子クロスカントリースキー選手の滑走速度を高める技術に関する

る事例研究：フライト局面発生を伴った
V2 スケーティング走法に着目して．体育
学研究，57(2)，653-662，2012.

〔学会発表〕（計1件）

- 1) Zenya Fujita, Jun Tsuchiya.
Contribution of upper- and lower-limb
to propulsive force during V2 skate in
cross-country skiing. The 5th
International Sport Science Symposium
on “Active Life” . Waseda University,
Japan. 2011. Aug.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

土屋純（早稲田大学スポーツ科学学術院）

研究者番号：60236908