

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：32305

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K20011

研究課題名（和文）スピードスケート競技力に関連する身体機能および滑走スキルの解明

研究課題名（英文）Physical Factors and Skills Related to the Performance of Speed Skating

研究代表者

富田 洋介（Tomita, Yosuke）

高崎健康福祉大学・保健医療学部・講師

研究者番号：10803158

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：スピードスケート競技は強靱な身体機能と高度な滑走スキルの両立が重要となる。一方で競技力と関連する身体機能および滑走スキルは不明確なままとなっている。本研究では若年スピードスケート競技者における競技力と身体機能・滑走スキルの関連性を検証した。新型コロナウイルスの影響で中学生・高校生の測定については予定通り実施することができなかったが、大学生での測定は計画通り実施することができた。その結果、身体機能では特に最大無酸素パワーおよび乳酸代謝域値が競技パフォーマンスに関連していた。氷上滑走スキルでは、両足着氷時間や滑走中の減加速の時間およびその量がパフォーマンスとよく関連してい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

スピードスケート競技者はトレーニングを通して身体機能と滑走スキルの向上を図る一方で、競技力向上に向けた明確な数値目標がないままトレーニングに臨んでいる。本研究では若年スピードスケート競技者における競技力に関連する身体機能・滑走スキルを明らかにした。本研究の知見に基づいて、今後は、測定した身体機能や滑走スキルを効果的に向上するための支援システム構築を行う。

研究成果の概要（英文）：Performance of speed skating requires both physical function and skating skills. However, the physical functions and skating skills associated with the athletic performance of speed skating remain unclear. In the present study, we examined the relationship between competitiveness, physical function, and skating skill in young speed skaters. We completed data collection in university-level athletes as we originally planned, while we were unable to conduct measurements on junior high and high school students due to the Covid-19 pandemic. The results showed that among physical function, maximal anaerobic power and lactate metabolic threshold were significantly related to the speed skating performance. In terms of skating skills, the double stance duration, as well as the duration and amount of deceleration, were found to be related to the performance of speed skating.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：スピードスケート スポーツ科学 バイオメカニクス

1 . 研究開始当初の背景

スピードスケートは冬季オリンピック種目の中では最も長い歴史を持つ種目の 1 つであり、1924 年の第 1 回冬季オリンピック大会から正式種目となっている。スピードスケートは約 1mm のブレードを操り氷からの反力を得ることで最高時速 50km/h 以上のスピードで 400m リンクを滑走する極めて高度な身体機能とスキルを要するスポーツ競技である。本研究では筋力、有酸素能力、無酸素能力、柔軟性、身体組成を測定することで、各年代別の身体機能を包括的に評価した。スキル面としてはスケート靴の踵部分が可動するスラップスケートが 1990 年代半ばに導入されて以降、ブレードへの反力を中心とした力学的な解析の報告は散見されるが(結城ら 1996、湯田ら 2005)、力学的な指標のみでは滑走フォームに関する情報がなく、選手への指導が困難である。そこで本研究は、3 次元動作解析とスケート靴内の足底圧を同時計測することでスピードスケート滑走中の運動学的・運動力学的指標の特徴と競技パフォーマンスとの関連性を検証した。本研究は慣性計測装置(IMU)を用いた動作解析を行った。また本研究は IMU と足圧センサーを用いて氷上での滑走スキルを運動学的・運動力学的に記述した上で競技パフォーマンスとの関連性を検討した。

2 . 研究の目的

身体機能面における研究目的は、高校生・大学生スピードスケート競技者において身体機能データと競技成績との関連性を検討することで、各年代で競技成績と関連性の強い身体機能特性を明らかにすることである。

スキル面では、2 つのことを明らかにする。まず氷上測定での IMU を用いた滑走中の動作イベント同定が足圧システムと同程度の精度で行うことができることを検証する。その後、氷上測定で得られる運動学的・運動力学的指標と滑走パフォーマンスとの関連性を検討することで、滑走パフォーマンスと関連性の強い滑走スキルを明らかにする。

3 . 研究の方法

1) 身体機能測定

(1) 対象

大学生スケート競技者 35 名、高校生スケート競技者 16 名

(2) 方法

筋力(大学生のみ)・有酸素能力・無酸素能力・柔軟性・身体組成を測定した。疲労を考慮し、筋力測定と有酸素能力の測定が別日になるよう 2 日間に分けて実施した。また、競技成績との関連性を Spearman の相関係数を用いて検証した。

2) 滑走スキル測定

(1) 対象

大学生スケート競技者 35 名

(2) 方法

測定は屋内スケートリンクで実施した。動作解析には IMU システム(MyoMOTION、Noraxon 社)を使用し、足圧測定には可搬式足圧測定システム(F-Scan、ニッタ社)を使用した。F-Scan

では 0.1 mm 厚のセンサーシートをスケート靴内に固定して足底圧を記録した(サンプリング周波数 100Hz)。トリガーユニットを使用して F-Scan と IMU システムとを時間同期した。測定は 1000m の全力滑走を十分な休息を挟んで 2 本実施した。足圧センサーから得られたデータを用いて立脚・遊脚の相分けを行い、IMU での相分けとの一致度を検証した。その後、各相における関節角度および立脚時間を算出し、競技成績との関連性を検証した。

4. 研究成果

1) 身体機能測定

各距離別のベストタイムと身体機能との関連性を表 1 に示す。短距離種目(500m, 1000m)では有酸素・無酸素能力の両者がベストタイムと中程度から強い相関を示した。中・長距離種目(1500m, 3000m, 5000m)では無酸素能力の関連性は低く、一方で有酸素能力はベストタイムと中程度の相関を示した。

表 1. 各距離別ベストタイムと身体機能との関連性

	垂直飛び高	VO2 max 負荷値	LT 負荷値	無酸素パワー 体重割	ウィングート 平均パワー 体重割
500m (n=48)	-0.713*	-0.762*	-0.578*	-0.681*	-0.806*
1000m (n=51)	-0.720*	-0.736*	-0.525*	-0.669*	-0.740*
1500m (n=38)	-0.665*	-0.715*	-0.653*	-0.645*	-0.678*
3000m (n=38)	-0.358*	-0.459*	-0.507*	-0.392*	-0.327
5000m (n=11)	-0.017	-0.389	-0.533	-0.091	-0.133

*: P<0.05

2) 滑走スキル測定

(1) IMU を用いたスケート動作イベント同定の精度検証

IMU システムと足圧システムで測定されたストレートにおけるデータ例を図 1 に示す。両データとも立脚開始・終了が明確に判別可能である。

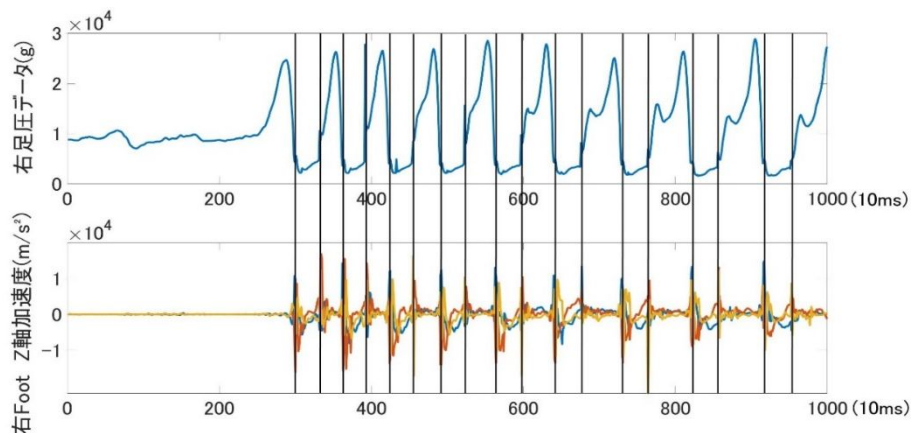


図 1. ストレート滑走中の足圧および足部加速度の例

IMU システムと足圧システムで同定された動作イベントの類似度を級内相関係数 ICC (2,1) で検証した結果を表 2 に示す。右足ではストレート・コーナーともに高い類似度が確認された。左足ではストレート・コーナーともに加速度と膝関節角度を組み合わせたタイミング同定は中程度以上の類似度が確認された一方で、加速度のみではコーナーでの類似度は 0.66 と比較的 low 値であった。これらの結果から、IMU を用いたタイミング同定には加速度と膝関節角度の両者を組み合わせることが適切であることが示された。

表 2. 動作イベントの級内相関係数 ICC (2,1)

区間	条件	右	左
ストレート	足圧 vs 加速度	0.93 (0.90-0.94)	0.88 (0.85-0.91)
	足圧 vs 加速度+膝角度	0.94 (0.92-0.96)	0.87 (0.81-0.89)
コーナー	足圧 vs 加速度	0.88 (0.84-0.91)	0.66 (0.59-0.72)
	足圧 vs 加速度+膝角度	0.87 (0.81-0.95)	0.70 (0.64-0.75)

ICC (2,1) (95%信頼区間)

(2) 運動学的・運動力学的指標と滑走パフォーマンスとの関連性

各運動学的指標の滑走距離による変化

スタート直後を除く区間において、前半、中間、後半の各 100m との間で運動学的指標を Friedman 検定で比較した (表 3, 4)。滑走後半になるにつれて立脚時間は延長し、片脚着氷時間は延長、膝関節屈曲角度は減少していた。

表 3. 滑走距離による運動学的指標の変化 (ストレート)

		前半	中間	後半	P value
立脚時間 (ms)	右	756.7±71.7	880.0±58.3	885.0±20.0	<0.01
	左	822.5±135.2	895.0±58.8	885.0±40.0	<0.01
片脚着氷時間 (ms)	右	516.7±54.3	643.3±127.1	653.3±90.8	<0.01
	左	487.5±42.5	623.3±78.3	635.0±55.0	<0.01
着氷時膝関節角度 (°)	右	93.0±15.3	90.3±10.5	83.1±7.7	<0.01
	左	86.6±6.2	82.1±5.6	82.1±6.0	<0.01
切り返し時膝関節角度(°)	右	77.1±11.2	69.4±9.9	66.6±13.0	<0.01
	左	86.0±7.3	73.3±6.9	72.6±9.5	<0.01

表 4. 滑走距離による運動学的指標の変化 (コーナー)

		前半	中間	後半	P value
立脚時間 (ms)	右	567.5±26.3	635.0±28.8	656.7±34.7	<0.01
	左	560.0±36.7	590.0±35.0	653.3±50.0	<0.01
片脚着氷時間 (ms)	右	440.0±71.0	480.0±80.8	476.0±72.3	<0.01
	左	396.7±33.4	436.7±59.2	464.0±46.9	<0.01
着氷時膝関節角度 (°)	右	55.0±2.2	56.5±8.6	54.4±6.1	<0.01
	左	82.6±2.3	80.5±4.6	79.2±9.2	0.06

運動学的・運動力学的指標と競技成績の関連性

測定時の 1000 m 滑走タイムと各運動学的指標の相関関係を検証した。ストレートにおいては、1000 m 滑走タイムと股関節運動範囲($r=0.56, p<0.05$)、前方加速度最大値($r=0.59, p<0.05$)、前方加速度範囲($r=0.59, p<0.05$)に有意な正の相関が認められた。コーナーにおいては、股関節運動範囲が 1000 m 滑走タイム有意な正の相関関係が認められた($r=0.69, p<0.05$)。

3) 考察・まとめ

本研究は高校生および大学生スピードスケート競技者において競技力に関連する身体機能および滑走スキルを明らかにすることを目的とした。身体機能面においては、 $VO_2 \max$ および LT 値は総合的な体力の指標として短距離から長距離にかけて競技力に関連していた。またウィングゲート平均パワー・ピークパワーおよび最大無酸素パワーといった自転車のパワー指標は特に短距離・中距離種目の競技力と関連していた。本研究では身体機能と競技力の関連性を示すものであり因果関係を直接証明するものではないが、これらの身体機能の改善が競技力の向上に寄与する可能性が示された。

また、慣性センサー(IMU)システムを用いたスケート氷上滑走中のイベント同定が、十分な信頼性と妥当性を有していることを確認することができた。400m と広いリンクを複数名で滑走する競技特性を考慮すると、光学式モーションキャプチャーと比べて IMU はトレーニングでの測定を実施しやすい解析手法であるといえる。本研究は多チャンネル IMU システムを用いてスピードスケート滑走スキルを包括的に検証した初めての研究であり、測定に使用するセンサー配置を含めた測定手法を確立することができた点で、今後の研究に寄与することが期待される。

滑走スキルのうち、特に立脚時間や片脚着氷時間などの時間的な指標がストレート・コーナーともに滑走距離による変化を鋭敏に反映していた。このことは、これらの時間的な指標が滑走スピードと密接に関連していることを示唆している。本研究では、大学生競技者における氷上滑走を各選手の専門種目に関わらず 1000m の全力滑走で統一して実施した。しかし、今後は大学生のみならず中学生・高校生における各種専門種目での測定を行うことで、年代別に競技力との関連性を詳細に検証することが可能になると考える。

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 Tomita Yosuke, Iizuka Tomoki, Irisawa Koichi, Imura Shigeyuki	4. 巻 21
2. 論文標題 Detection of Movement Events of Long-Track Speed Skating Using Wearable Inertial Sensors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 3649 ~ 3649
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/s21113649	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4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Tomoki Iizuka, Yosuke Tomita, Koichi Irisawa, Shigeyuki Imura
2. 発表標題 Validation of an inertial measurement unit for the quantification of knee joint kinematics during simulated speed skate movement
3. 学会等名 23th International Society of Electrophysiology and Kinesiology（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yosuke Tomita, Tomoki Iizuka, Koichi Irisawa, Shigeyuki Imura
2. 発表標題 Kinematic measurement of long track speed skating performance using an IMU system
3. 学会等名 23th International Society of Electrophysiology and Kinesiology（国際学会）
4. 発表年 2020年

〔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
研究協力者	飯塚 智樹 (Iizuka Tomoki)		研究測定・解析の協力者

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	入澤 孝一 (Irisawa Koichi)		研究測定・解析の協力者

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