

氏名	木村 裕也
学位の種類	博士（体育学）
学位記番号	第 5 9 号
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位授与年月日	令和 4 年 9 月 1 6 日
学位論文題目	スピードスケート 3,000m 競技における高い滑走速度持続のための力学的要因に関する研究
論文審査委員	主査 前田 明 副査 横澤 俊治 副査 高橋 仁大

論 文 概 要

1. 研究目的および課題

本研究の目的は、スピードスケート 3,000m 競技を対象にレース経過に伴う滑走動作の変化をバイオメカニクスの的に分析することによって、高い滑走速度持続のための力学的要因を明らかにすることである。

本研究の目的を達成するために、以下の研究課題を設定した。

研究課題 1: 世界一流女子長距離選手の 3,000m レース中の滑走速度およびストローク数について、レース経過に伴う変化と競技成績との関係を明らかにする。

研究課題 2: 世界一流女子長距離選手の 3,000m レース中におけるストレートおよびカーブの滑走動作をキネマティクスの的に分析し、レース経過に伴う変化と競技成績との関係を明らかにする。

研究課題 3: 3,000m 模擬レース中のブレード反力を分析し、高い滑走速度の持続に必要な力学的要因を明らかにする。

2. 方法

研究課題 1 では、2016 年ワールドカップ長野大会女子 3,000m 競技を対象に、位置計測システムおよび追従撮影から、レース中の速度、ストレートおよびカーブ区間内における速度変化量、ストローク数を算出し、レース経過に伴う変化と競技成績との関係を検討した。

研究課題 2 では、2016 年および 2019 年ワールドカップ長野大会女子 3,000m 競技を対象に、ストレートおよびカーブ滑走動作の左右ストロークを 3 次元撮影し、キネマティクスの的に分析した。キネマティクスの分析は、レース序盤、中盤、終盤にて行った。算出した各パラメータについて、レース局面間での比較からレース経過に伴う変化を検討し、競技成績、滑走速度、速度変化量との相関からパフォーマンスとの関係を検討した。

研究課題3では、14名のスピードスケート長距離選手に3,000m 模擬レースを行わせ、インソール型足圧センサを用いてストレートおよびカーブ滑走の左右ストローク中におけるブレード反力を推定した。分析は、レース序盤、中盤、終盤にて行った。算出した各パラメータについて、レース局面間での比較からレース経過に伴う変化を検討し、競技成績、滑走速度、区間内の速度変化量との相関からパフォーマンスとの関係を検討した。

3. 結果および考察

3.1 レース経過に伴う変化について

女子 3,000m レースでは、ストレートでの速度低下とカーブでの速度上昇を繰り返しながら、レース全体では徐々に滑走速度が低下するという中距離種目のようなレースパターンを示すことが明らかになった。また、7 周目以降のストレート区間では、ストローク数を増加させてストレート滑走を行うことが、ストレート区間内における速度低下を抑えるために有効であることが示唆された。同様に、レース終盤では、ストレートおよびカーブともにストローク時間を短くし、ストローク頻度を増大させることが、ストレートおよびカーブ区間内における速度増加量を獲得するために有効であることが示唆された。

ストレート滑走およびカーブ滑走の左右ストロークいずれにおいても、大腿および下腿が起き上がることで身体重心高の高い姿勢となることが滑走速度低下の一因であると考えられた。また、下腿傾斜角の減少に伴うブレード反力の側方成分 ($F_{x'}$) の減少がレース中の滑走速度の低下に影響していると考えられた。そして、ストレート滑走とカーブ滑走左ストロークでは、レース経過に伴い、圧力中心位置の前方移動に伴って膝関節伸展を強調したプッシュオフが困難になると推察された。

3.2 パフォーマンスとの関係について

女子 3,000m レースでは、レース中盤および終盤における滑走速度が高い選手ほどゴールタイムが優れており、レース中盤以降における滑走速度の低下を抑えることがより優れた競技成績にとって重要であると考えられた。

模擬レースにおけるブレード反力の推定結果から、レース局面に関わらず、ストレート滑走では下腿が内傾位となつてからの $F_{x'}$ 内側方向成分を大きくすることが当該局面の高い滑走速度と優れたゴールタイムに関係していることがわかった。また、女子 3,000m レースにおいてゴールタイムが優れた選手にみられたレース序盤の下腿外傾時間の長い滑走動作は、直接的に滑走速度増加に貢献するものではないが、レース中盤およびレース終盤の速度維持のために効率的であった可能性がある。

カーブ滑走では、レース終盤においてストローク頻度を大きくすること、右ブレード離氷時に踵を大きく挙上させないことが重要であると考えられた。また、レース局面に関わらず、カーブ滑走では片脚支持局面中の $F_{x'}$ を大きくすることが当該局面の大きな滑走速度と優れたゴールタイムを獲得するために重要であり、特に、レース終盤においてカーブ

右片脚滑走中の F_x' を低下させないことが滑走速度を維持するために不可欠と考えられた。

また、ストレート滑走、カーブ滑走ともに、 F_x' を大きくするためには下腿をより傾斜させることが重要であることがわかった。

さらに、レース終盤は、左右非対称であるカーブ滑走動作の特徴によって特に左下肢が疲労しプッシュオフ力が低下しているため、ストレート、カーブともに、右ストロークにおいて右足が後方に流れずに大腿の角変位を確保したプッシュオフ動作が、滑走速度およびゴールタイムのために重要である可能性がある。

3.3 高い滑走速度持続のための力学的要因

第一に、ストレート滑走、カーブ滑走ともにレース終盤まで下腿の前傾位を維持して身体重心を低く保つことや、ストレート滑走とカーブ滑走左ストロークにおいて膝伸展を強調して踵により近い位置で氷をプッシュし続けることができれば滑走速度は維持されると予想される。第二に、レース序盤のストレート滑走において下腿外傾時間が長い効率的な滑走動作がその後の滑走速度の維持につながる可能性がある。第三に、ストレート滑走の場合は身体の内側方向、カーブ滑走の場合はカーブ中心方向に、下腿を大きく傾斜させることにより大きな F_x' を得ることが重要と考えられた。

論文審査の要旨

本研究の目的は、スピードスケート 3,000m 競技を対象にレース経過に伴う滑走動作の変化をバイオメカニクスの的に分析することによって、高い滑走速度持続のための力学的要因を明らかにすることであった。

研究課題 1 では、世界一流女子長距離選手の 3,000m レース中の滑走速度およびストローク数について、レース経過に伴う変化と競技成績との関係を明らかにした。その結果、レース終盤では、ストレート、カーブともにストローク時間を短くし、ストローク頻度を増大させることが、速度増加量を獲得するために有効であることなどを示唆している。

研究課題 2 では、3,000m レース中におけるストレートおよびカーブの滑走動作をキネマティクスの的に分析し、レース経過に伴う変化と競技成績との関係を明らかにした。その結果、ストレートおよびカーブ滑走の左右ストロークいずれにおいても、大腿および下腿が起き上がることで身体重心高の高い姿勢となることが滑走速度低下の一因であると考えられた。またゴールタイムが優れた選手にみられたレース序盤の下腿外傾時間の長い滑走動作は、直接的に滑走速度増加に貢献するものではないが、レース中盤およびレース終盤の速度維持のために効率的であった可能性があると提案している。

研究課題 3 では、3,000m 模擬レース中のブレード反力を分析し、高い滑走速度の持続に必要な力学的要因を明らかにした。その結果、下腿傾斜角の減少に伴うブレード反力の側方成分 (F_x') の減少がレース中の滑走速度の低下に影響していると考えられた。さらに、ストレート滑走とカーブ滑走の左ストロークでは、レース経過に伴い、圧力中心位置の前方移動に伴って膝関節伸展を強調したプッシュオフが困難になると推察された。ストレート滑走では下腿が内傾位となつてからの F_x' 内側方向成分を大きくすることが当該局面の高い滑走速度と優れたゴールタイムに関係していることがわかった。カーブ滑走では、レース終盤においてストローク頻度を大きくすること、右ブレード離氷時に踵を大きく挙上させないことが重要であること、などを提示している。

以上の結果から、スピードスケート 3,000m 競技における高い滑走速度持続のための力学的要因について一定の成果を得ることができた。しかしながら、総括論議をもっと充実させることができるとの指摘があった。以上のような論文審査の結果、総括論議の加筆をすることで、本論文は審査基準を満たすものと認められた。