

氏名(本籍)	湯田 淳 (秋田県)
学位の種類	博士(体育科学)
学位記番号	博甲第3480号
学位授与年月日	平成16年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査研究科	体育科学研究科
学位論文題目	スピードスケート長距離種目におけるカーブ滑走スピードの持続技術に関するバイオメカニクス的研究
主査	筑波大学教授 教育学博士 阿江 通 良
副査	筑波大学教授 医学博士 高 松 薫
副査	筑波大学助教授 博士(学術) 藤 井 範 久
副査	筑波大学教授 博士(心身障害学) 中 田 英 雄

論文の内容の要旨

1. 研究目的および課題

スピードスケート長距離種目では高い滑走スピードを後半いかに持続するかが重要な運動課題となる。しかし、スピードスケートに関するバイオメカニクス的研究の多くは、短距離種目を中心とした高い滑走スピードの獲得に関するものであり、滑走スピードの持続に着目した研究は少ない。また、先行研究の多くはストレート滑走を対象としたものであり、技術的難易度が高いとされるカーブ滑走に関する研究は少ない。したがって、長距離種目における競技力向上に役立つ十分な知見を得るためには、カーブにおける一流選手の滑走スピードの持続技術についてバイオメカニクス的により詳細に検討する必要があるといえる。

そこで、本研究では、スピードスケート長距離種目におけるスピード持続とレースペースとの関係を検討するとともに、一流長距離選手の滑走動作をバイオメカニクス的に分析することによって、カーブ滑走スピードの持続技術を明らかにし、トレーニングへの示唆を得ることを目的とした。

本研究では、以下の5つの研究課題を設定した。

研究課題1：世界一流長距離5000m選手のレースペースを滑走スピードおよびサイクル頻度の変化などから分析することにより、世界一流選手のレースペースの特徴を明らかにし、レースペースに影響を及ぼす要因について検討する。

研究課題2：三次元動作分析法を用いることにより世界一流選手のカーブ滑走動作をキネマティクスの的に分析し、滑走動作とレースペースとを関連づけることにより、長距離種目における優れたカーブ滑走スピードの持続技術を明らかにする。

研究課題3：滑走中のブレード反力測定と三次元動作分析法と併用することにより、長距離種目におけるカーブ滑走動作の特徴や疲労に伴う動作の変化をキネティクスの的に検討し、カーブ滑走スピードの持続に影響を及ぼすキネティクスの要因を明らかにする。

研究課題4：世界一流長距離選手のカーブ滑走におけるレース前半および後半でのキネティクスの変化について検討し、カーブ滑走スピードの持続に有効な滑走技術を明らかにする。

研究課題5：得られた知見をもとにして、スピードスケートにおいてカーブ滑走スピードを持続するための

技術的要因を明らかにし、トレーニングへの示唆を引き出す。

2. 方法

研究課題1では、第18回長野冬季オリンピックおよび2000年世界スピードスケート距離別選手権大会における男子5000m競技を2台のVTRカメラを用いて追従撮影し、得られたVTR画像からストレートおよびカーブごとの滑走スピードおよびサイクル頻度を算出した。また、レース前半に対する後半での平均スピードの低下の割合（スピード低下率）を算出し、これらのパラメータについて競技成績と関連づけて検討した。

研究課題2では、2000年世界スピードスケート距離別選手権大会における男子5000m競技を2台の高速VTRカメラを用いて撮影し、得られたVTR画像からパンニングDLT法によって分析点25点の三次元座標を求めた。分析は、右ブレード離氷から引き続く右ブレード離氷までの1サイクルとし、支持側の脚を基準に左右それぞれのストロークに分けて行った。分析対象は上位16名とし、レース前半および後半における下肢関節角度などのキネマティクスのパラメータの変化についてカーブ滑走スピードの持続と関連づけて検討した。

研究課題3では、8名の男子スピードスケート長距離選手に最大努力での4000m滑走を行わせ、キック力を計測できるセンサーラップスケートを用いてカーブ滑走中の左ストロークにおけるブレード反力を算出した。なお、ブレード反力については氷上の静止座標系におけるキック力の鉛直および水平成分とした。また、2台のVTRカメラで撮影したVTR画像からパンニングDLT法によって分析点25点の三次元座標を求めた。分析は試技前半および後半について行い、逆動力学的手法を用いて算出された支持脚（左脚）および遊脚（右脚）における関節トルクなどのキネティクスのパラメータの変化について検討した。

研究課題4では、研究課題2と同様の方法で求めた三次元座標から、世界一流長距離選手におけるカーブ滑走中の両ストロークでの遊脚の関節トルクなどのキネティクスのパラメータを算出した。そして、レース前半および後半におけるこれらのパラメータの変化についてカーブ滑走スピードの持続と関連づけて検討した。

3. 研究結果

研究課題に関して得られた知見をまとめると、以下ようになる。

(1) スピードスケート5000m競技における滑走スピードとレースペース（研究課題1）

レース前半において高い滑走スピードを獲得し、後半においても高い滑走スピードを持続するため、レース全体を通してのカーブにおいて高いサイクル頻度を持続することが重要である。

(2) カーブ滑走スピードの持続に影響を及ぼす技術的要因の三次元キネマティクスの分析（研究課題2）

レース後半において両ストロークにおけるプッシュオフ開始点を早め、滑走局面を短くするため、左ストロークでは滑走局面において支持脚の下腿を起こさずに大腿を前傾した姿勢をとること、右ストロークでは支持脚の膝および股関節が屈曲しないようにプッシュオフを行うことが重要である。また、左ストロークにおける遊脚の引き付けや、右ストロークにおける右の腕振りのタイミングを早めることもプッシュオフ開始点を早めることに役立つ。

(3) カーブ滑走スピードの持続に関連した長距離種目における滑走動作の三次元キネティクスの分析（研究課題3および4）

疲労に伴うブレード反力の水平成分におけるピーク値および力積の低下を抑えるため、カーブ滑走での左脚の伸展動作においては滑走局面における股関節伸展トルクおよびプッシュオフ局面における膝関節伸展トルクの発揮によるストローク中の支持脚伸展パワーを増大させる必要がある。カーブ滑走におけるキネティクスの特徴として、支持脚（左ストローク）の伸展では膝関節の貢献が大きく、プッシュオフ局面において

は極めて大きな股関節外転トルクが要求されること、遊脚の引き付けでは両ストロークともにストローク前半における股関節屈曲トルクが重要であることが明らかとなった。また、右ストロークでは、左ストロークと異なり、ストローク後半において前方へ引き出された左遊脚下腿の勢いを止めるための膝関節屈筋群のエキセントリックな筋活動がみられ、これはレース経過に伴って増大する傾向にあった。

これらの知見から、スピードスケート長距離種目におけるカーブ滑走スピードの持続技術は、疲労状態においてもカーブ滑走でのプッシュオフ開始のタイミングを早め、高いサイクル頻度を維持できるものであることが明らかとなった。

4. 滑走技術およびトレーニングへの示唆

以下のようなカーブ滑走スピードの持続技術およびトレーニングに関する示唆を引き出すことができた。

- ①疲労状態においては身体重心をより前方に位置させることによって支持脚を伸展しやすい姿勢をとる必要がある、そのためには左ストローク滑走局面において左支持脚下腿が後方に起き上がらないようにする。
- ②疲労に伴う左ストローク中の水平ブレード反力の低下を抑えるため、支持脚における滑走局面での股関節伸展トルクおよびストローク中の膝関節伸展トルクの発揮を強調する。また、左スケートブレードを十分に傾けた状態で着氷することによって、左ストローク前半におけるスケートブレードのリンク内側への十分な傾斜を得る。
- ③疲労状態においても大きな支持脚伸展パワーを発揮できるようにするためには、大きな膝関節伸展力に加え、膝および股関節の深い関節角度での力発揮を目的とした筋の持久性トレーニングが有効である。
- ④遊脚の引き付けのタイミングを遅れないようにするため、ブレード離氷直後における遊脚の股関節屈曲トルクの発揮を強調する。遊脚の引き付けには股関節屈筋群のトレーニングが重要であり、特に左ストロークでは矢状面において右遊脚が支持脚と交差する局面における股関節屈曲トルク発揮の持続を意識したトレーニングが有効である。
- ⑤疲労状態におけるプッシュオフ開始点を早めるため、両ストロークでの右腕の腕振り動作のタイミングを早める。

審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文では、スピードスケート長距離種目におけるスピード持続とレースペースとの関係を検討するとともに、一流長距離選手の滑走動作をバイオメカニクス的に分析することによって、カーブ滑走スピードの持続技術を明らかにし、トレーニングへの示唆を得るため、5つの課題を設定して研究をすすめた。その結果、研究例の少ないスピードスケートのカーブ滑走動作やスピードの持続技術に関して多くの知見が得られ、①左ストローク滑走局面において左支持脚下腿が後方に起き上がらないようにする、②支持脚における滑走局面での股関節伸展トルクおよびストローク中の膝関節伸展トルクの発揮が重要である、③大きな膝関節伸展力に加え、膝および股関節の深い関節角度での力発揮を目的とした筋の持久性トレーニングが有効である、④遊脚の引き付けには股関節屈筋群のトレーニングが重要であり、特に左ストロークでは矢状面において右遊脚が支持脚と交差する局面における股関節屈曲トルク発揮の持続を意識したトレーニングが有効である、⑤疲労状態におけるプッシュオフ開始点を早めるため、両ストロークでの右腕の腕振り動作のタイミングを早めるなどの示唆が得られた。

審査では、直線滑走動作に関する先行研究との関連性について質疑が行われ、疲労時の動作に関する示唆の表現、動作のタイミングの示し方などについて今後検討する必要があるとの指摘があった。また、両脚のブレード反力を測定してより詳細な分析をすすめてほしいとの要望があった。しかし、スケート靴にセンサー

を組み込んだ装置を用いた手堅い研究手法を用いていること、詳細なバイオメカニクスデータにもとづいて実践に有用な示唆を多く引き出していることなど、本論文には特筆すべき点が見られると評価された。

よって、著者は博士（体育科学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。