

氏名(本籍)	結城匡啓(茨城県)
学位の種類	博士(体育科学)
学位記番号	博甲第1,745号
学位授与年月日	平成9年3月24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	スピードスケート滑走動作のバイオメカニクスの研究 —加速動作の力学的メカニズム—
主査	筑波大学教授 医学博士 浅見高明
副査	筑波大学教授 医学博士 高松 薫
副査	筑波大学助教授 教育博士 阿江通良
副査	筑波大学助教授 中田英雄

論文の内容の要旨

1. 研究目的

100分の1秒を争うスピードスケート競技では、いかに滑走速度を大きくすることが最大の運動課題である。その課題を達成するためには、合理的で、効率のよい滑走動作を習得する必要があるが、日本スケート界の現場をみると、滑走技術の改善が選手やコーチの多大な試行錯誤によってのみ行われている。さらに、教育としての体育においても、スケート滑走技能の指導法は十分には確立されていないようである。これらのことは、滑走動作を三次元的に計測することやブレードに作用する力を測定することが困難なため、滑走速度を有効に獲得するための身体動作、すなわち滑走動作のメカニズムが明らかになっていないことに起因すると考えられる。

本研究では、スピードスケートの滑走速度に影響を及ぼす要因をバイオメカニク的に検討することにより、滑走動作の力学的メカニズムを明らかにするとともに、スピードスケートのトレーニングへの示唆を得ることを目的とした。

2. 研究課題

研究目的を達成するために、以下に示す4つの研究課題を設定した。

研究課題1：スピードスケート競技会における一流選手の滑走動作を三次元的分析し、滑走速度に影響を及ぼす技術的要因を明らかにする。

研究課題2：スピードスケート滑走中のブレードに作用する二分力(ブレード反力)を計測できるセンサースケートを開発し、滑走速度とブレード反力との関係を明らかにする。

研究課題3：スピードスケートの滑走速度に影響を及ぼす滑走動作、特に加速動作の力学的メカニズムを明らかにする。

研究課題4：滑走速度に影響を及ぼす動作のメカニズムに関する知見をもとにスピードスケートの滑走技術およびトレーニングへの示唆を引き出す。

3. 研究課題に関連して得られた知見

研究課題に関連して得られた知見は、以下のようまとめられる。

(1) 一流選手の滑走速度に影響を及ぼす技術的要因(研究課題1)

スピードスケート500m競技における一流選手22名の直線滑走動作を10台のVTRカメラを用いて撮影し、

DLT法により身体各部位の三次元座標を算出した。そして、重心速度、下肢関節角度などのパラメータを競技成績と関連づけて検討した。

その結果、片脚滑走開始時およびプッシュオフ開始時の膝関節角度が小さいこと、プッシュオフ局面における足関節の屈曲が大きいことが、滑走速度に影響を及ぼす重要な技術的要因であることがわかった。また、プッシュオフ動作によって生じる速度変化ベクトル重心速度方向成分が重心の加速に大きく影響を及ぼすことが明らかになった。

これらのことから、「スピードスケート滑走における重心の加速は、プッシュオフによる重心速度方向に対し水平面内で垂直な速度成分の増加のみでなく、重心速度方向の速度成分の増加によっても生じる」というスピードスケートの加速理論を提唱した。

(2) 滑走中のブレード反力と滑走速度との関係 (研究課題2)

スピードスケート滑走中のブレードに作用する力を測定するため、ブレードの上下および左右方向の二分力が計測できるセンサースケートを開発した。そして、低速および高速滑走試技におけるブレード反力鉛直および水平成分、作用点の位置などを測定し、滑走速度に関連づけて検討した。

その結果高速滑走では低速滑走に比べて、ストローク前半における外向きの水平ブレード反力のピーク値が大きく、ストローク後半では、鉛直ブレード反力、内向きの水平ブレード反力およびフリーモーメントのピーク値が大きいことがわかった。また、滑走速度の大きい試技ほど、内向きの水平ブレード反力の平均が大きい傾向がみられた。

(3) スピードスケート加速動作の力学的メカニズム (研究課題3)

スピードスケート競技を専門とする男子12名にセンサースケートを履かせ、低速滑走と全力高速滑走を行わせた。滑走速度の安定する250 m 通過付近の直線滑走中のブレード反力を測定し、さらに、選手の滑走動作を8台の8 mm VTR カメラを用いて撮影し、DLT法により身体各部位の三次元座標を算出した。そして、重心速度や三次元関節トルクおよび関節トルクパワーなどを算出した。

1) 水平ブレード反力と重心速度の関係について

水平ブレード反力とストローク中の重心速度の変化を関連づけて検討した。

その結果、ブレードの滑走方向と重心速度の方向には水平面内において約10 deg 以内の開き角があり、その開き角により水平ブレード反力は重心速度方向成分とそれに直交する水平成分の2つの成分をもつことがわかった。

これらのことから、スピードスケートにおける重心の加速が、水平ブレード反力の重心速度方向成分とそれに直交する水平成分によって生じることが明らかになり、研究課題1で提示した加速理論が力学的に検証された。

2) シミュレーションによる加速に影響する要因の検討

身体重心とスケートブレードに作用する外力の二次元モデルにより、スケートの曲線運動による求心力成分と力学的有効パワーの実測値からストローク中の重心速度の変化を推定し、加速の大きさに影響を及ぼす力学的要因について検討した。

その結果、スケートの曲線運動による内向きの求心力、および片脚滑走開始時の開き角 Φ_0 が、大きな加速を得るための重要な要因であることがわかった。また、パワー発揮のタイミングを早めることは、減速を小さく抑え、平均滑走速度を大きくするために有効であることがわかった。

3) 加速動作のメカニズムについて

下肢関節の三次元関節トルクと水平ブレード反力、ブレードに直交する方向の重心の相対加速度 (RCGAcc) の関係から、加速動作の力学的メカニズムについて検討した。

その結果、プッシュオフ局面ではブレード反力と関節トルクとの間に有意な関係はなかったが、滑走局面では股関節の外転トルクと水平ブレード反力に有意な関係がみられた ($r=0.838$)。また、RCGAccの伸展加速度成

分が股関節の伸展トルクと、内傾加速度成分が股関節の外転および伸展トルクと有意な相関がみられた。さらに倒立振子モデルにより、股関節の外転トルクと重心の伸展加速度成分から水平ブレード反力を推定したところ、実測値と推定値はよく一致した。

これらのことから、水平ブレード反力は、身体の股関節外転トルクによる内傾動作と股関節伸展トルクによる伸展動作が主要因となって生じることがわかった。

(4) スピードスケートの滑走技術およびトレーニング (研究課題4)

得られた知見をもとに滑走技術について検討し、ブレード反力を大きくする滑走技術のポイントは、股関節の外転トルクにより、支持脚、特に下腿の内傾を生み出し、スケートの内向きの曲線運動を生じることにあること、股関節外転筋群の強化の重要性などの技術およびトレーニングに関する示唆を得た。

4. 結論

(1) 加速動作の力学的メカニズムについて

①スピードスケートにおける重心の加速は、水平ブレード反力の重心速度方向成分とそれに直交する水平成分によって生じる。

②スピードスケートの加速動作とは、スケートの曲線運動による内向きの求心力に加え、主として身体の股関節外転トルクによる内傾動作と股関節伸展トルクによる伸展動作により水平ブレード反力を発揮することである。

(2) 滑走技術およびトレーニングへの示唆

①水平ブレード反力を大きくするための滑走技術のポイントは、アウトエッジ滑走において股関節外転トルクを發揮して支持脚の素早い内傾を生み出し、滑走スケートに内向きの求心力を生じることにある。

②重心の加速を大きくするためには、片脚滑走開始時の開き角を小さくすることが重要であり、そのためには着氷時に「スケートの位置」より「スケートの向き」を指導することが有効である。

③ストローク中の減速を小さくして平均滑走速度を大きくするためには、「強く蹴ること」よりも「蹴り始めのタイミングを早めること」によりブレード反力の平均を大きくすることが有効である。

④身体とスケートの関係でみると、スケートに対しては垂直に力を加えながら身体を前方に運ぶようなプッシュオフ運動が有効といえる。

⑤スピードスケートのトレーニングでは、股関節外転筋群を強化することが極めて重要である。また、これらの筋群は、着氷時にエキセントリックな筋収縮によって力を発揮することが要求されるので、このこともトレーニングでは考慮すべきである。

審査の結果の要旨

副査より今回の発表では下半身の分析が主であったが、腕の振りと下肢のコーディネーションの問題はどうか。また、コーナーリング動作に関する分析はやらなかったのかという質問が出され、腕振りによって生じる力学的エネルギーは、最も大きい被験者で下肢によるエネルギーの10%と小さかったため、今回はとりあげなかった。また、コーナーリング動作については、本研究で開発した実験方法、センサースケートがそのまま使えるので、今年9月以降に計測予定であるという解答があった。「一流選手にみられる着氷直後のエキセントリックな股関節外転トルクの発揮」という表現の動作のイメージがわからないという質問に対しては、脚が外傾しながら外転トルクを發揮する動作を表現したもので、いわゆる“壁をつくる”イメージのことであると解答があった。また、「ブレードに垂直に力を加えながら重心を前に運ぶ動作」もイメージしにくいという指摘があった。さらに、従来のオランダのIngen Schenauらの理論に対する反論ならば、英文で論文を發表したほうがよいこと、スケート界の裾野を広げる為にはトップアスリートだけでなく、初心者や子供達に対する滑走のコツを指導する方向に研究をもっていく必要があることなどの指摘があった。しかしながら、現段階では優秀選手の滑走を詳細にかつ

丁寧に分析しており，これ以上を望むことは無理であろう。

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。