

スピードスケートの高い滑走速度を生み出す 関節パワー発揮特性の解明

国立スポーツ
科学センター 木村 裕也
(共同研究者) 同 横澤 俊治

Elucidation of Joint Power Characteristics that Generate High Skating Velocities in Speed Skating

by

Yuya Kimura, Toshiharu Yokozawa
Japan Institute of Sports Sciences

ABSTRACT

This study aimed to identify the mechanical factors necessary for achieving higher skating velocities and better race times by estimating blade reaction forces using wireless insole-type foot pressure sensors, and by characterizing lower limb joint torques and joint torque powers during skating under conditions closely simulating actual races. Simulated races were conducted and analyzed with 16 skilled skaters. The results showed that skaters with superior race times and higher velocities exhibited greater hip and knee extension torque power in the right lower limb during both straight and curve skating. Additionally, greater hip abduction torque power was observed in the right lower limb during curve skating. These findings suggest that generating such torque power is critical for achieving better performance. Furthermore, during curve skating, ankle plantarflexion torque power in the right lower limb and knee extension torque power in the left lower limb showed sex-related differences, indicating that these power outputs may be particularly important for female skaters.

キーワード

スピードスケート, 足圧センサ, 関節トルク, 関節トルクパワー, キネティクス

Keyword

speed skating, foot pressure sensor, joint torque, joint torque power, kinetics

要 旨

本研究は、ワイヤレス式インソール型足圧センサを使用してブレード反力を推定し、実際のレースにより近いパフォーマンス発揮時での、滑走中における下肢の関節トルクおよび関節トルクパワーの特徴を明らかにすることで、高い滑走速度獲得およびより良いゴールタイムのために必要な力学的要因を解明することを目的とした。熟練選手16名を対象に模擬レースを実施し分析を行った結果、ゴールタイムが優れ、滑走速度の高い成績上位選手は、ストレート滑走およびカーブ滑走右下肢の股関節・膝関節伸展トルクパワーが大きく、さらに、カーブ滑走右下肢の股関節外転トルクパワーも大きかった。これらのパワー発揮がより良いパフォーマンスのためには重要であることが示唆された。加えて、カーブ滑走右下肢の足関節底屈および左下肢の膝関節伸展トルクパワーは男女で傾向が異なり、特に女子ではこれらのパワー発揮も重要である可能性が示唆された。

緒 言

スピードスケートのパフォーマンス改善に有効な示唆を得るためには、滑走中に発揮した力学的パワーとパフォーマンスとの関係を検討することが有効であると考えられる。スピードスケートでは、フォースプレートなどを用いて反力測定を行うことが困難なため、氷上滑走のキネティクスの分析は、特製センサブレードを利用することによって行われてきた。de Koning et al.¹⁾は、競技レベルの異なる男子選手3名を対象に、ストレート

ト滑走中にブレードの上下軸方向に作用する圧縮力を計測し、プッシュオフ力と滑走速度との関係について検討している。また、結城ほか²⁾は、ブレードの上下軸に加えて左右方向に加わる力についても検出できるセンサブレードを作成し、当時の世界記録保持者を含む男子熟練選手10名を対象に、ストレート加速滑走中におけるブレード反力を計測し、ブレード反力の側方成分が加速に大きく影響することを明らかにしている。その後スラップスケートが主流となった2000年代に、Yuda et al.³⁾が、男子長距離選手8名を対象に、4,000m滑走中におけるカーブ滑走左ストローク中のブレード反力を計測し、レース後半では側方成分が減少していたことを報告している。また、左ストロークのプッシュオフ動作には膝関節が大きく貢献していることを明らかにしている(湯田ほか⁴⁾。近年では、van der Kruk et al.⁵⁾が、スラップアーム(スケート靴とブレードが踵で離れる機構を可能にするためにスケート靴底面に固定されているアーム部分)内部に小型の力覚センサとデータトリガを取り付けたワイヤレス性のセンサブレードを開発し、男女熟練競技者7名のブレード反力を測定している。

これまでのキネティクスの研究から、ストレートおよびカーブ滑走におけるプッシュオフのメカニズムは明らかになってきた。これらは「滑る」動作の解明として学術的な意義が非常に高い。しかし、実際の公式競技会におけるパフォーマンスを分析することが技術的に困難なため、パフォーマンス向上に直結する知見の提供はまだ不十分である。従来、特製ブレードを用いたブレード反力

の計測が行われてきたが、この方法は、靴やロガー等の機器が重く、動作を阻害する要因が大きい。この問題点を改善するためには、実験環境をより実際の公式競技会に近づけるよう、選手自身が普段から使用しているスケート靴およびブレードを使用し、身体には測定機器類を極力装着しない状態で試技を行わせ、力学的指標を取得することで、より競技現場にとって有益な知見が得られると考えられる。センサブレードを用いない方法として足圧センサによる圧力データからブレード反力を算出する方法が考えられるが(皆川⁶⁾)、従来はロガーなどを含む重量やケーブルの存在によって競技会に近い感覚で滑走することは困難だった。近年ではケーブルのない軽量の足圧センサが開発されており、長時間でも継続して収集し続けられるようになっている。これを活用することによって、ブレード反力を推定し、キネティクスの分析がより詳細に行えると考えられる。

以上のことから、本研究では、ワイヤレス式インソール型足圧センサを使用してブレード反力を推定し、実際のレースにより近いパフォーマンス発揮時での、滑走中における下肢の関節トルクおよび関節トルクパワーの特徴を明らかにすることで、高い滑走速度獲得およびより良いゴールタイムのために必要な力学的要因を解明することを目的とする。

1. 研究方法

1.1 被験者

被験者には、スピードスケート長距離種目を専門とする男女熟練競技者16名(男子、年齢:20.4歳 \pm 0.86歳、体重:64.3kg \pm 4.65kg、女子、年齢:20.8歳 \pm 1.48歳、体重:58.2kg \pm 3.59kg)を用いた。内訳は、男子大学生選手8名、女子大学生選手6名、女子社会人選手2名であり、そのうち男子2名および女子2名は日本スケート連盟シニア強化指定選手である。実験に先立ち、被験者には実験の目

的と内容、データの取り扱い等の説明をした後、実験参加の同意を得た。なお、実験は鹿屋体育大学自然科学系倫理審査小委員会の審査を経て承認を得た上で行った。

1.2 模擬レース

模擬レースは、長野県長野市オリンピック記念アリーナ(エムウェーブ)で行った。被験者には、事前に十分なウォーミングアップを陸上および氷上で行わせた。模擬レースは、3,000mシングルトラックレーススタート位置から検者の合図でスタートした後、1周387.36mのリンクを7周と約1/3周滑走することで行った。被験者は、ダブルトラックレースのインナーレーンにあたるレーン内側半分(幅4m)を常に滑走した。

1.3 インソール型足圧センサ

本研究では、滑走中に足底面に加わる圧力を計測するために、ワイヤレス式インソール型足圧センサ(moticon, Moticon社製, 100Hz, 図1)を用いた。インソールの厚さは、コイン型リチウム



図1 インソール型足圧センサ

電池が内蔵される土踏まず部分が10.5mm, その他の箇所が2.8mmとなっている。被験者の足のサイズに最も合うインソールを選択し, スケート靴内底部に敷いた状態でスケート靴を着用させた。また, インソール装着への順応を目的として, 被験者には模擬レースの前日および当日の氷上ウォーミングアップにて, インソールを敷いた状態でのスケート靴の着用および氷上滑走を十分に行わせた。スケート靴およびブレードは被験者が所有し普段から使用しているものを用いた。データの記録開始および停止等の操作は, インソールとBluetooth接続されたスマートフォンから行った。測定中のデータは, インソール内部のロガーに記録および保存され, 模擬レース終了後, インソールからノートパソコンに移送された。スケート靴内の着圧による影響を除去するため, スケート靴の着用が完了した後, 地面から足を浮かせた状態でゼロ補正を行った。足圧データと3次元撮影用映像(後述)との同期のために, 模擬レース発走直前にて被験者にインソールを装着した状態で床面を強く踏み込ませ, センサに衝撃が加わった瞬間と, その後の模擬レース中にて被験者が3次元撮影計測範囲を通過する際に点灯するワイヤレスLED型シンクロナイザを, 同期用のビデオカメラ(*a 7s II*, SONY社製, 120 frames/s)で撮影し, 同一の映像データに記録することで, 衝撃とシンクロナイザ点灯との時間間隔を算出した。同時に, シンクロナイザの点灯を3次元撮影用カメラにも取り込むことによって足圧データと3次元撮影用映像との同期を行った。

1. 4 位置計測システムによる滑走速度算出

会場天井に設置された28台のモノクロカメラ(*UI-5240CP-M-GL*, iDS社製)を用い, レース全体を通して同期撮影した(60 frames/s, 露出時間1/1000s)。カメラパラメータは, 予めコース上に設置された基準点のカメラ画像上における位置,

ならびにカメラの絶対位置にもとづいて算出した。頭部および胴体を模式化したテンプレートを準備し, 保存された画像からカメラごとにテンプレートにマッチする選手を自動識別し, 頭頂部の水平面内の2次元座標値を同定した。得られた被験者の座標値より, 計測範囲(後述)であるストレート区間およびカーブ区間の中央を通過する前後1秒の平均速度を算出し, 滑走速度とした。

1. 5 3次元撮影および3次元座標算出

ホームストレート中央付近に幅4m, 長さ48m, 高さ1.25m, 第1カーブ中央付近に幅4m, 長さ24m, 高さ1.25mの計測範囲を設定した(図2)。ストレートとカーブそれぞれについて, 3台のハイスピードカメラ(ストレート:*Phantom v311*, *MIRO LC111*, *VEO 410S*, カーブ:*MIRO LC111*, *VEO 410S*, *Vision Research*社製)により被験者の前方, 後方(固定)および側方(パンニング)から通過中の被験者を撮影した(300 frames/s, 露出時間1/1000s)。ビデオの同期はワイヤレスLED型シンクロナイザ(*PTS-168*, *DKH*社製)を用いて行った。周回ごとに得られた映像データから, ストレート滑走では3周目(1,000m付近), カーブ滑走では2周目(720m付近)の試技を分析対象とした。計測範囲での1サイクルについて, ビデオ動作解析システム(*Frame-Dias IV*, *DKH*社製)により身体分析点21点およびブレード両端4点を50Hzでデジタイズした(図3)。パンニングDLT法により得られた分析点25点の3次元座標を, 4次のButterworth low-pass digital filterにより遮断周波数2.0-6.5Hzで平滑化した(Winter⁷⁾)。得られた3次元座標より, 横澤ほか⁸⁾による男女別スピードスケート選手の身体部分慣性係数を用いて, 身体部分重心座標を算出した。

1. 6 推定ブレード反力の算出

インソール内部の16個の各圧力センサに加わっ

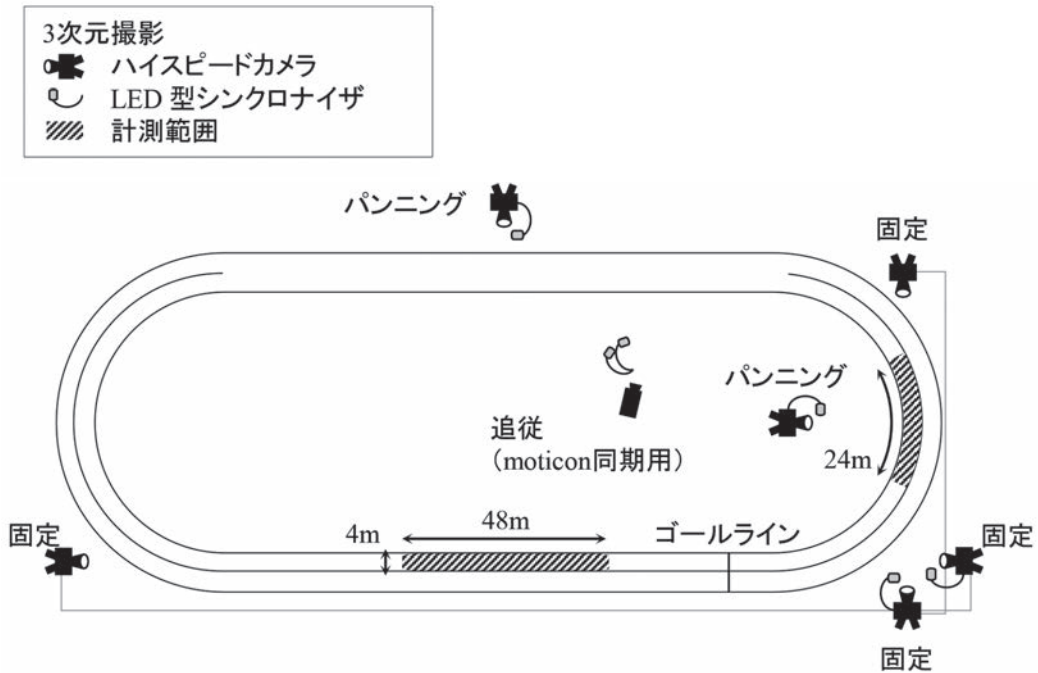


図2 撮影計測範囲およびカメラ配置

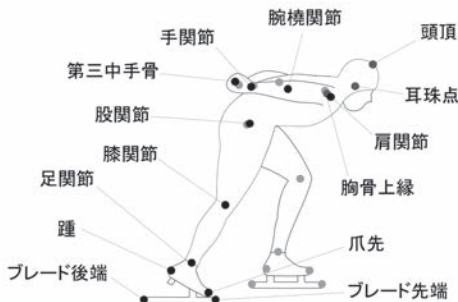


図3 座標算出点

た圧力 (単位: N/cm^2) に, 各圧力センサの面積 (単位: cm^2) を乗じて力 (単位: N) を算出し, 16個のセンサに加わった力の合計を推定ブレード反力の大きさとした. 先行研究 (皆川⁶⁾) およびフォースプレート上をインラインローラースケートで滑走した事前検証の結果から, 推定ブレード反力の作用方向を推定した. 同側ブレードの後端から前端を結ぶベクトルを y_b 軸, 同側ブレード後端と同側下肢膝関節を結ぶベクトルを s 軸として, y_b

と s との外積を x_b 軸とする. そして, ベクトル x_b と y_b との外積によって得られたベクトル z_b 軸を, 推定ブレード反力の作用方向とした (図4).

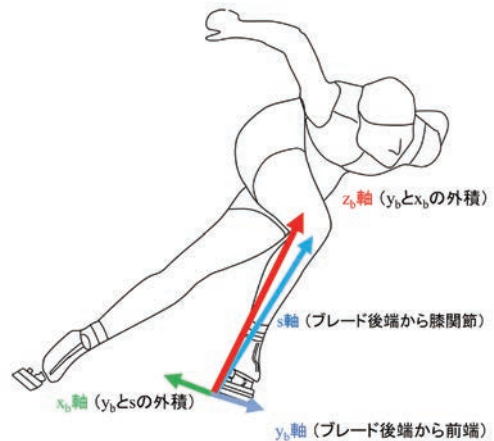


図4 推定ブレード反力の作用方向

また, 16個の圧力センサに加わった圧力の分布から, 圧力中心位置を算出した.

1. 7 下肢関節トルクの算出

本研究では、湯田ほか⁴⁾の方法に従って、静止座標系における下肢の3次元関節トルクを算出し、座標変換行列によって運動座標系に変換した。氷面とブレードの間に加わる鉛直軸回りのフリーモーメントについては考慮しないこととした。設定した下肢関節の運動軸は、股関節では内外転軸、屈伸軸および内外旋軸の3軸、膝関節では屈伸軸と内外旋軸の2軸、足関節では底背屈軸と回内外軸の2軸であり、各運動軸は股関節点、膝関節中点、足関節外果、足先、踵を用いて以下のように定義した。

・股関節：内外旋軸は股関節と膝関節を結ぶベクトルとした。また、股関節と膝関節を結ぶベクトルと股関節と足関節外果を結ぶベクトルとのベクトル積を算出し、屈伸軸とした。そして、このようにして得られた2つの軸のベクトル積を算出し、内外転軸とした。それぞれの軸において外旋、伸展および外転方向を正とした。

・膝関節：内外旋軸は膝関節と足関節外果を結ぶベクトルとした。また、膝関節と足関節外果を結ぶベクトルと膝関節と股関節を結ぶベクトルとのベクトル積を算出し、屈伸軸とした。それぞれの軸において外旋および伸展方向を正とした。

・足関節：回内外軸は足関節外果と足先を結ぶベクトルとした。また、足関節外果と足先を結ぶベクトルと踵と足先を結ぶベクトルとのベクトル積を算出し、底背屈軸とした。それぞれの軸において回外および底屈方向を正とした。

1. 8 下肢関節トルクパワーの算出

湯田ほか⁴⁾の方法に従って算出された静止座標系における遠位セグメントの角速度から近位セグメントの角速度を減じることによって関節を構成する2つのセグメントの相対角速度を求め、座標変換行列によって運動座標系に変換した。このようにして得られた運動座標系における関節角速

度と関節トルクを乗じることにより関節トルクパワーを算出した。

1. 9 データ規格化および群分け

本研究で算出した関節トルクおよびトルクパワー、力学的仕事はスケート靴を含む被検者の身体質量 (kg) で規格化した。また、本研究で算出した時系列データは、分析を行う下肢側ブレードの着氷から同側ブレードの離氷までの接氷時間で規格化した。

ストレート滑走右脚およびカーブ滑走右脚、左脚のデータについて、日本スケート連盟シニア強化指定男子選手2名 (以下、Top男子)、同強化女子選手2名 (以下、Top女子)、その他の男子選手6名 (以下、Sub男子)、その他の女子選手6名 (以下、Sub女子) を平均して比較した。

2. 研究結果

2. 1 ゴールタイムおよび滑走速度

模擬レースのゴールタイムは、Top男子が235.68秒 \pm 1.98秒、Sub男子が252.01秒 \pm 5.64秒、Top女子が263.23秒 \pm 0.94秒、Sub女子が274.92秒 \pm 5.85秒であった。ストレート滑走速度は、Top男子が13.37m/s \pm 0.02 m/s、Sub男子が12.40 m/s \pm 0.39 m/s、Top女子が11.70 m/s \pm 0.07 m/s、Sub女子が11.30 m/s \pm 0.28 m/sであった。カーブ滑走速度は、Top男子が13.51 m/s \pm 0.04 m/s、Sub男子が12.48 m/s \pm 0.45 m/s、Top女子が11.83 m/s \pm 0.07 m/s、Sub女子が11.44 m/s \pm 0.24 m/sであった。

2. 2 ストレート滑走

図5～7にストレート滑走におけるそれぞれ右脚股関節、膝関節、足関節各軸回りの関節トルク、関節角速度および関節トルクパワーについて、Top男子、Sub男子、Top女子、Sub女子の平均パターンを示した。

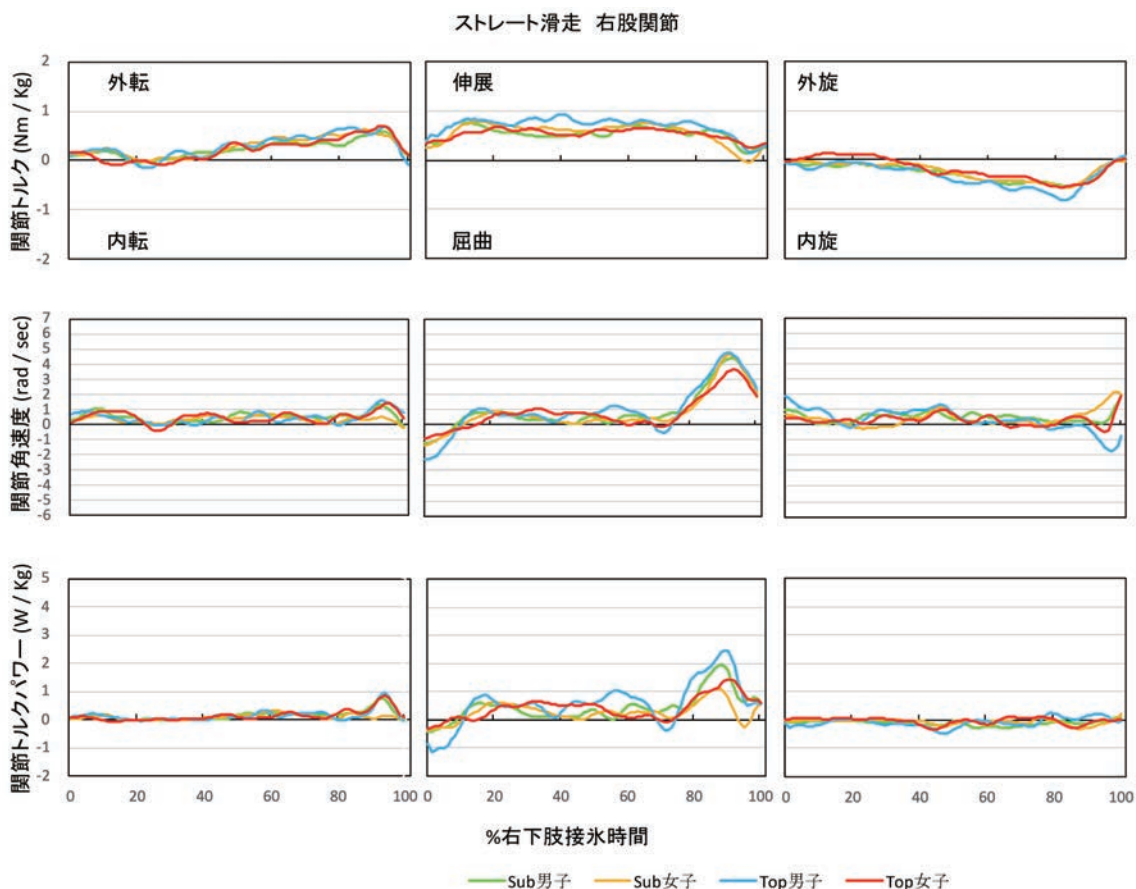


図5 ストレート滑走右下肢接水時間における右股関節トルク,角速度,トルクパワー

・ 股関節 (図5)

内外転軸では、いずれのパターンも40%時付近から外転トルクが増大し、90%時付近でピークを迎えていた。Sub女子以外の関節トルクパワーは、90%時付近で正パワーのピークがみられた。

屈伸軸では、いずれのパターンも80%時付近まで一定の伸展トルクがみられた。伸展角速度は70%時付近から増大し、90%時付近でピークを迎えていた。関節トルクパワーも90%時付近で正パワーのピークを迎えており、ピーク値はTop男子, Sub男子, Top女子, Sub女子の順に大きかった。

内外旋軸では、いずれものパターンも40%時付近から内旋トルクが大きくなり、80%時付近でピークを迎えていた。関節トルクパワーはいずれのパターンも値が小さかった。

・ 膝関節 (図6)

屈伸軸では、いずれのパターンも10~90%時付近にかけて一定の伸展トルクがみられた。伸展角速度は80%時付近から増大し、90%時付近でピークを迎えていた。関節トルクパワーも80%時付近から増大し、90%時付近で正パワーのピークを迎えており、ピーク値はTop男子, Sub男子, Top女子, Sub女子の順に大きかった。

内外旋軸では、いずれのパターンも関節トルク, 角速度および関節トルクパワーの値が小さかった。

・ 足関節 (図7)

底背屈軸では、いずれのパターンも10~90%時付近にかけて一定の底屈トルクがみられた。底屈角速度は、80%時付近からブレード離水に向け

ストレート滑走 右膝関節

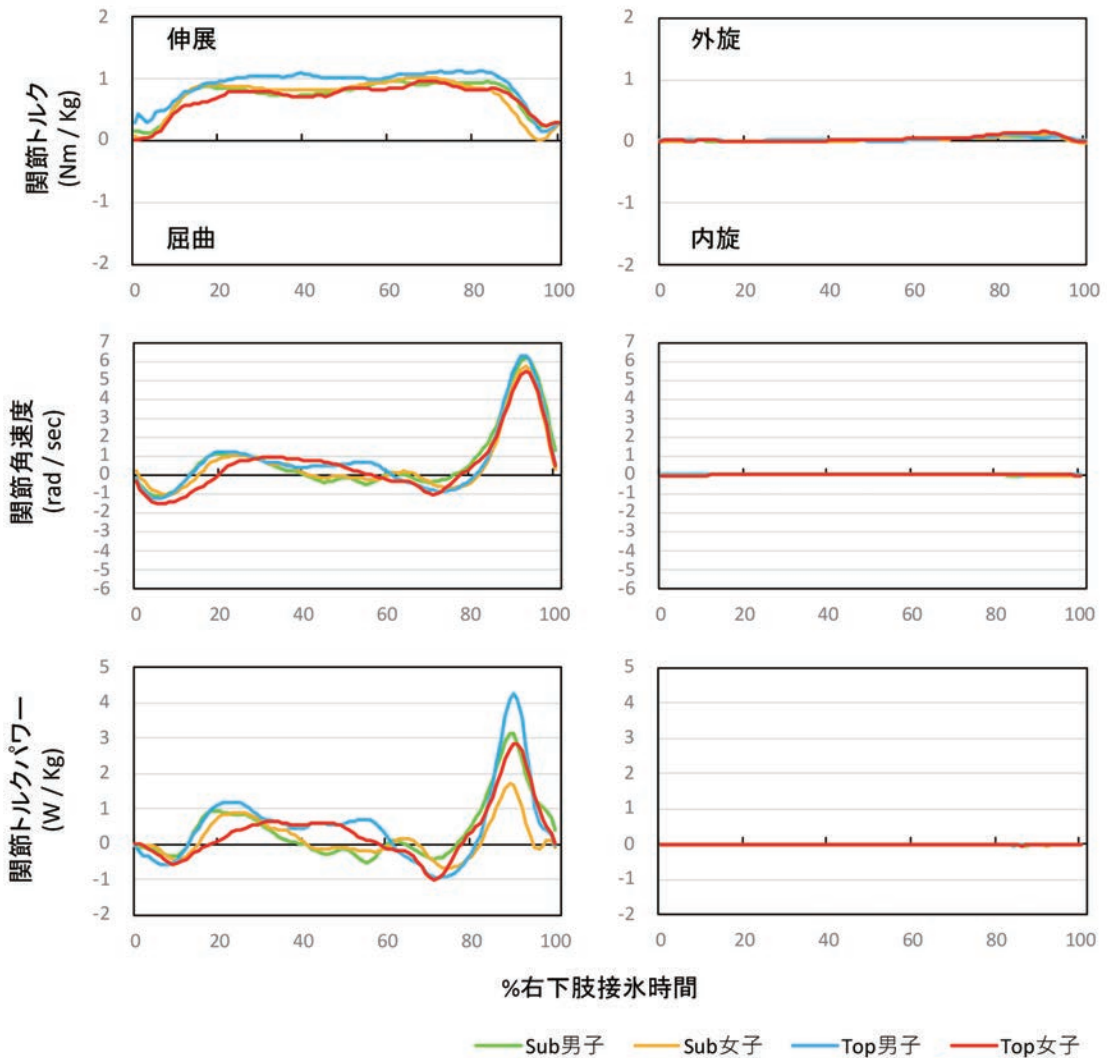


図6 ストレート滑走右下肢接氷時間における右膝関節トルク,角速度,トルクパワー

て増大していた。関節トルクパワーは、0～20%時付近で負のパワー、90～100%時付近で正のパワーが発揮されていた。

回内外軸では、いずれのパターンも50%時付近から回内トルクが発揮されていた。関節トルクパワーはいずれも値が小さかった。

2. 3 カーブ滑走右下肢

図8～10にカーブ滑走におけるそれぞれ右脚

股関節、膝関節、足関節各軸回りの関節トルク、関節角速度および関節トルクパワーについて、Top男子、Sub男子、Top女子、Sub女子の平均パターンを示した。

・股関節 (図8)

内外軸では、いずれのパターンも0～10%時付近まで内転トルクが発揮され、20%時付近から外転トルクに転じ徐々に増大し、90%時付近でピークを迎えていた。関節トルクパワーは、80

ストレート滑走 右足関節

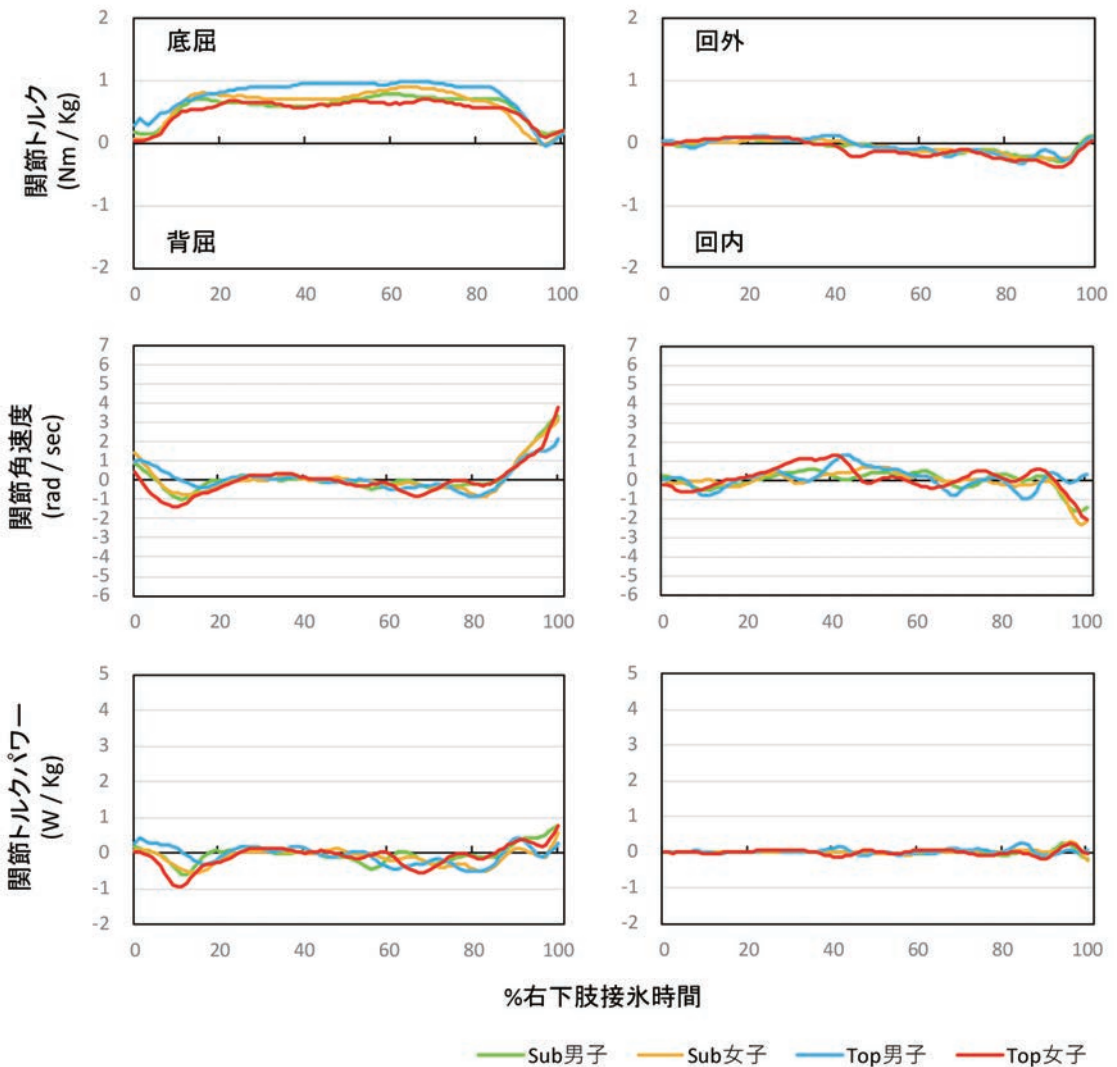


図7 ストレート滑走右下肢接氷時間における右足関節トルク,角速度,トルクパワー

～90%時付近で正パワーのピークを迎えており、ピーク値はTop女子、Top男子、Sub男子、Sub女子の順に大きかった。

屈伸軸では、いずれのパターンも80%時付近まで一定の伸展トルクがみられた。角速度は、0～10%時付近は屈曲方向を示し、10%付近から伸展方向に転じた。その後、70%時付近から増大し、90%時付近でピークを迎えていた。関節トルクパワーは、10～80%時付近で正パワーを示し

た。80%時の値はTop男子、Top女子、Sub男子、Sub女子の順に大きかった。

内外旋軸では、いずれものパターンも10～90%時付近にかけて一定の内旋トルクがみられた。関節トルクパワーは、いずれのパターンも値が小さかった。

・膝関節 (図9)

屈伸軸では、いずれのパターンも10～90%時付近にかけて一定の伸展トルクがみられた。角速

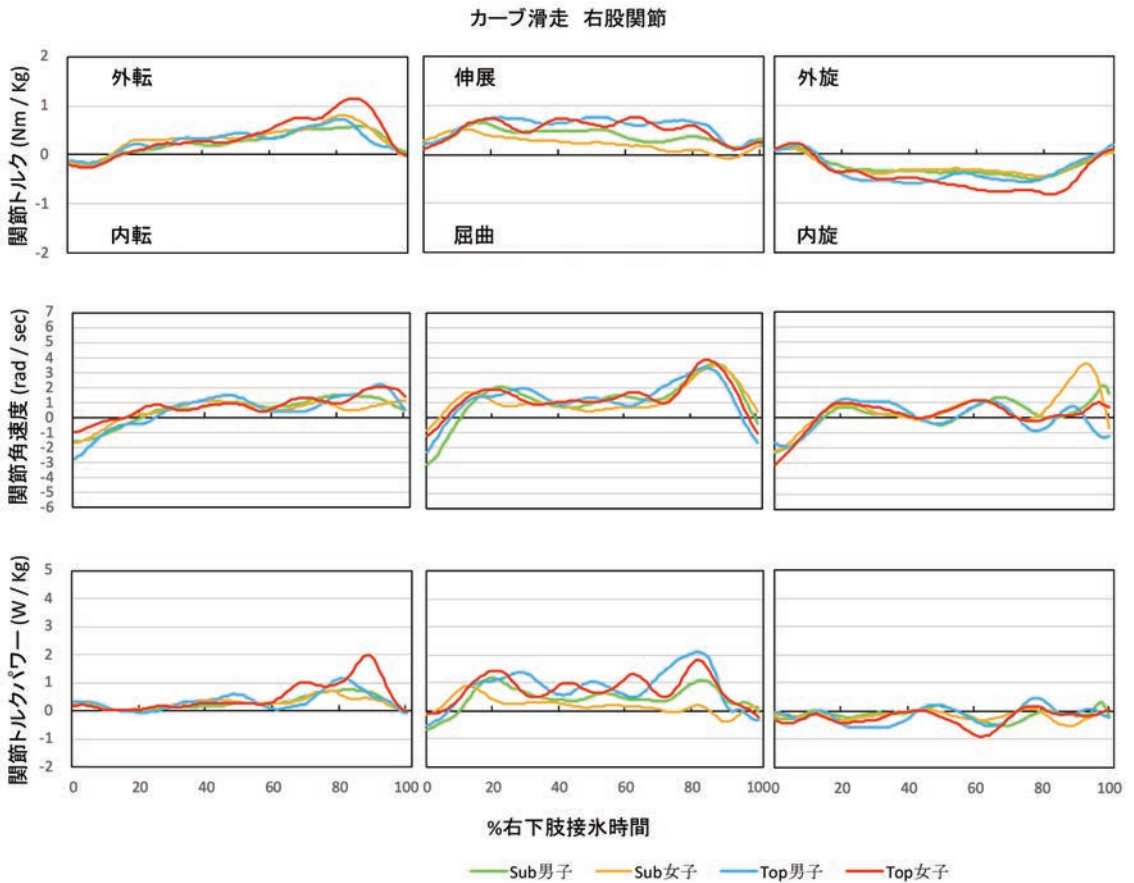


図8 カーブ滑走右下肢接氷時間における右股関節トルク,角速度,トルクパワー

度は、0～20%時付近にかけて屈曲方向を示し、20%時付近で伸展方向に転じた。その後、伸展角速度は70%時付近から増大し、90%時付近でピークを迎えていた。関節トルクパワーも、70%時付近から増大し、80～90%時付近で正パワーのピークを迎えており、ピーク値はTop女子、Top男子、Sub男子、Sub女子の順に大きかった。

内外旋軸では、いずれのパターンも80%時付近で外旋トルクがみられたが、値は小さかった。角速度および関節トルクパワーは、いずれも値が小さかった。

・足関節 (図10)

底背屈軸では、いずれのパターンも10～80%時付近にかけて一定の底屈トルクがみられた。背屈角速度は、ブレード着氷後10%時付近でピー

クがみられた。その後、80%時付近から底屈角速度が増大し、90%時付近でピークを迎えていた。関節トルクパワーは、10～20%時付近で負のパワーのピークがみられた。また、80～90%時付近で正パワーのピークを迎えており、ピーク値はTop女子、Sub男子、Top男子、Sub女子の順に大きかった。

回内外軸では、いずれのパターンも20%時付近から回内トルクが発揮され、80～90%時付近でピークを迎えていた。回内角速度は90%時付近でピークを迎えていた。関節トルクパワーは、80～90%時付近で正のピークを迎えていた。

2. 4 カーブ滑走左下肢

図11～13にカーブ滑走におけるそれぞれ左

カーブ滑走 右膝関節

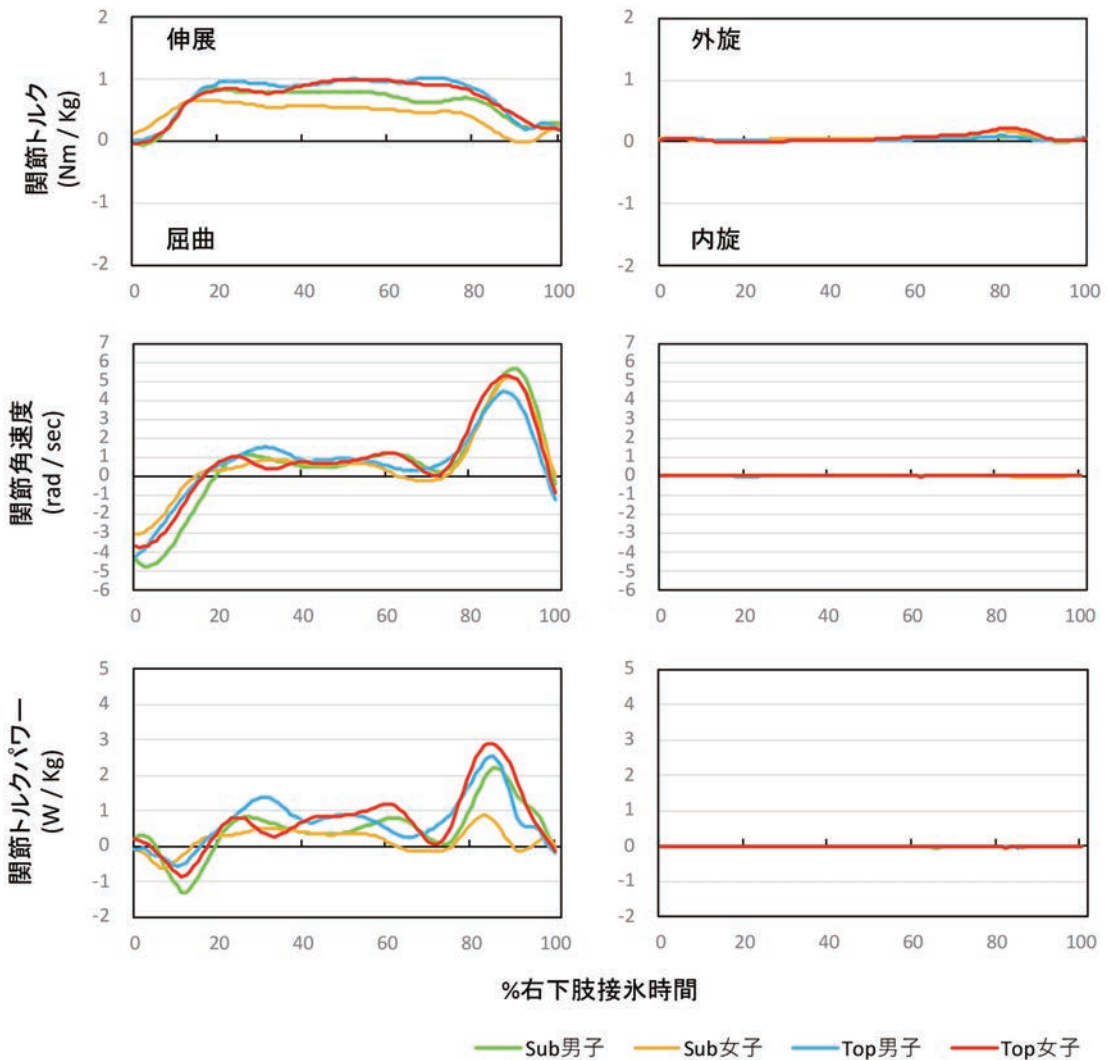


図9 カーブ滑走右下肢接氷時間における右膝関節トルク,角速度,トルクパワー

脚股関節, 膝関節, 足関節各軸回りの関節トルク, 関節角速度および関節トルクパワーについて, Top男子, Sub男子, Top女子, Sub女子の平均パターンを示した。

・股関節 (図11)

内外転軸では, いずれのパターンも20~80%時付近にかけて外転トルクがみられたが, 値は小さかった。関節トルクパワーに関しては, いずれのパターンも値が小さかった。

屈伸軸では, いずれのパターンも一定の伸展トルクがみられた。伸展角速度は90%時付近でピークを迎えていた。関節トルクパワーに関して, Top男子は60%時付近, Top女子およびSub男子は80%時付近で正パワーのピークを迎えていた。Sub女子については, 40%時付以後, 関節トルクパワーが小さかった。

内外旋軸では, いずれのパターンも関節トルクおよび関節トルクパワーが小さかった。

カーブ滑走 右足関節

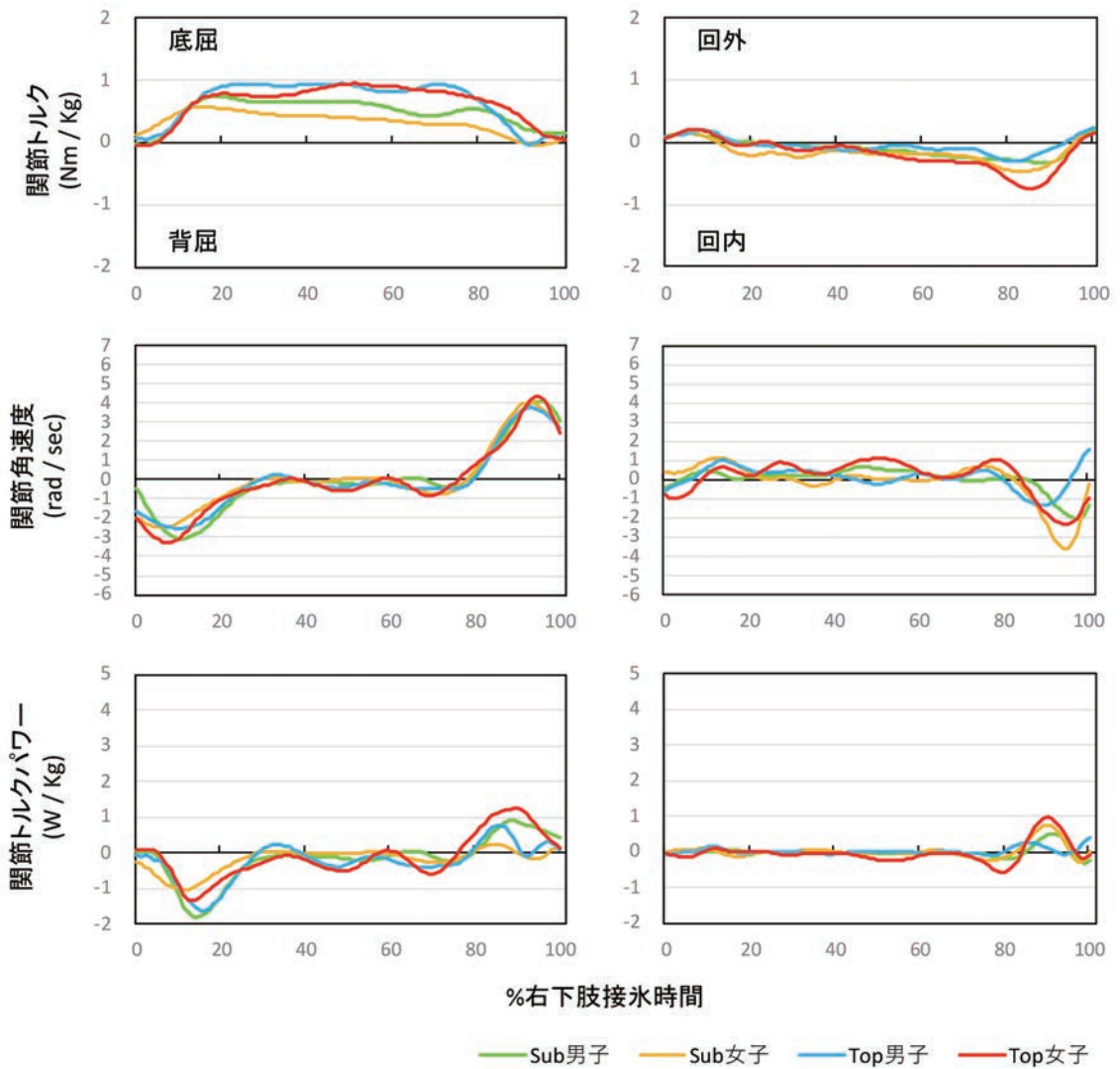


図10 カーブ滑走右下肢接水時間における右足関節トルク,角速度,トルクパワー

・膝関節 (図12)

屈伸軸では、いずれのパターンも10～90%時付近にかけて一定の伸展トルクがみられた。伸展角速度は、70%時付近から増大し、90%時付近でピークを迎えていた。Sub女子以外の関節トルクパワーは、70%時付近から増大し、80～90%時付近で正パワーのピークを迎えていた。80%時以後におけるピーク値はTop女子、Sub男子、Top男子、Sub女子の順に大きかった。

内外旋軸では、いずれのパターンも、関節トルク、角速度および関節トルクパワーの値が小さかった。

・足関節 (図13)

底背屈軸では、いずれのパターンも0～60%時付近にかけて底屈トルクがみられた。底屈角速度は、80%時付近からブレード離氷に向けて増大していた。関節トルクパワーは、10～20%時付近で負のパワーが発揮されていた。

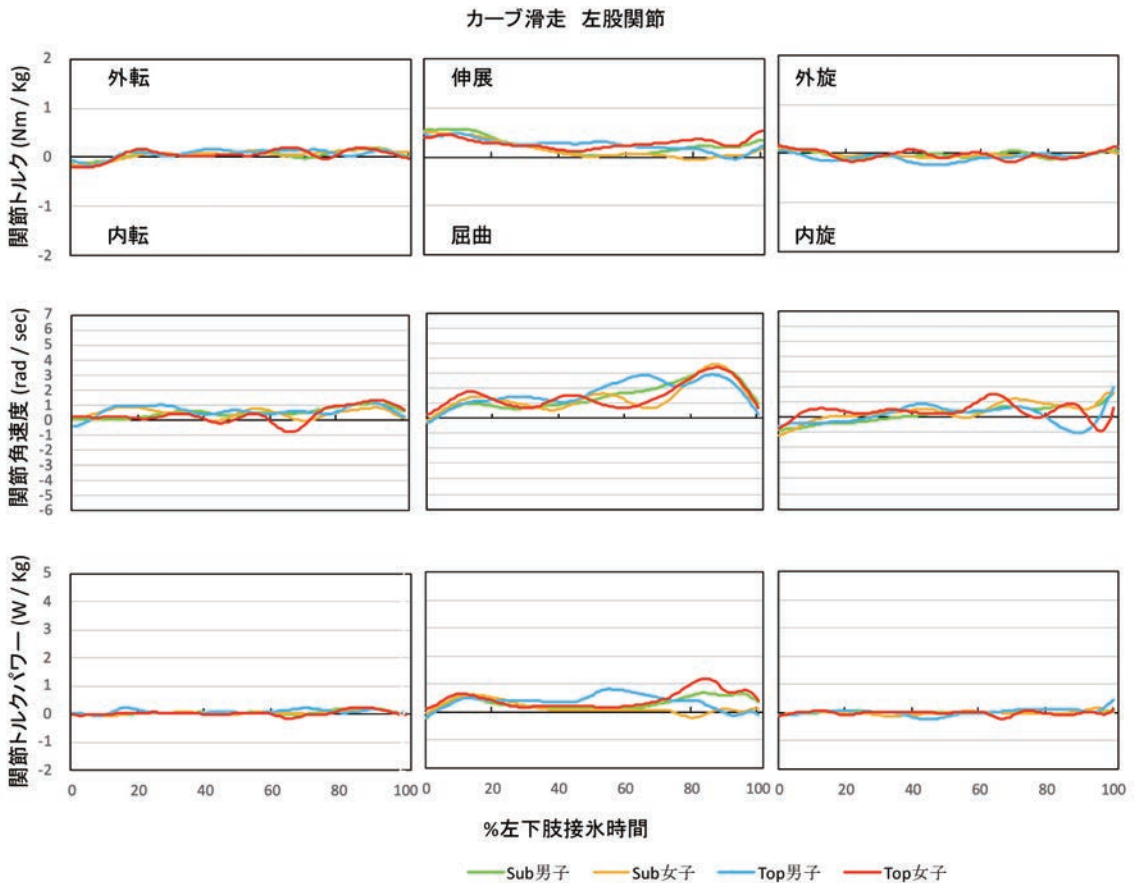


図11 カーブ滑走左下肢接水時間における左股関節トルク,角速度,トルクパワー

回内外軸では、いずれものパターンも関節トルクおよび関節トルクパワーが小さかった。

3. 考 察

ゴールタイムとストレートおよびカーブ滑走速度は、男女ともにいずれもTopの方がSubよりも優れていた。このことからTopとSubの比較を行うことで、高い滑走速度獲得およびより良いゴールタイムのために必要な要因を探ることができると考えられる。

ストレート滑走における右股関節伸展および右膝関節伸展トルクパワーのピーク値について、男女ともにSubよりもTopの方が大きい値であった(図5, 6)。スラップしないブレードを着用して400mを滑走した際のストレート滑走について、

全力高速滑走時は低速滑走時に比べて、股関節伸展トルクパワーの発揮が大きかったことが報告されている(結城⁹⁾)。本研究ではスラップスケートを用いて3,000m模擬レースを行い、競技水準間で比較を行った結果、ストレート滑走では股関節伸展および膝関節伸展トルクパワーの発揮が重要であることが考えられる。

カーブ滑走における右股関節外転および右膝関節伸展トルクパワーのピーク値について、男女ともにSubよりもTopの方が大きい値であった(図8, 9)。また、右股関節伸展トルクパワーの80%時における値は、男女ともにSubよりもTopの方が大きい値であった(図8)。カーブ滑走右下肢の関節トルクおよび関節トルクパワーに関する先行研究は見当たらない。カーブ滑走右下肢では、ス

カーブ滑走 左膝関節

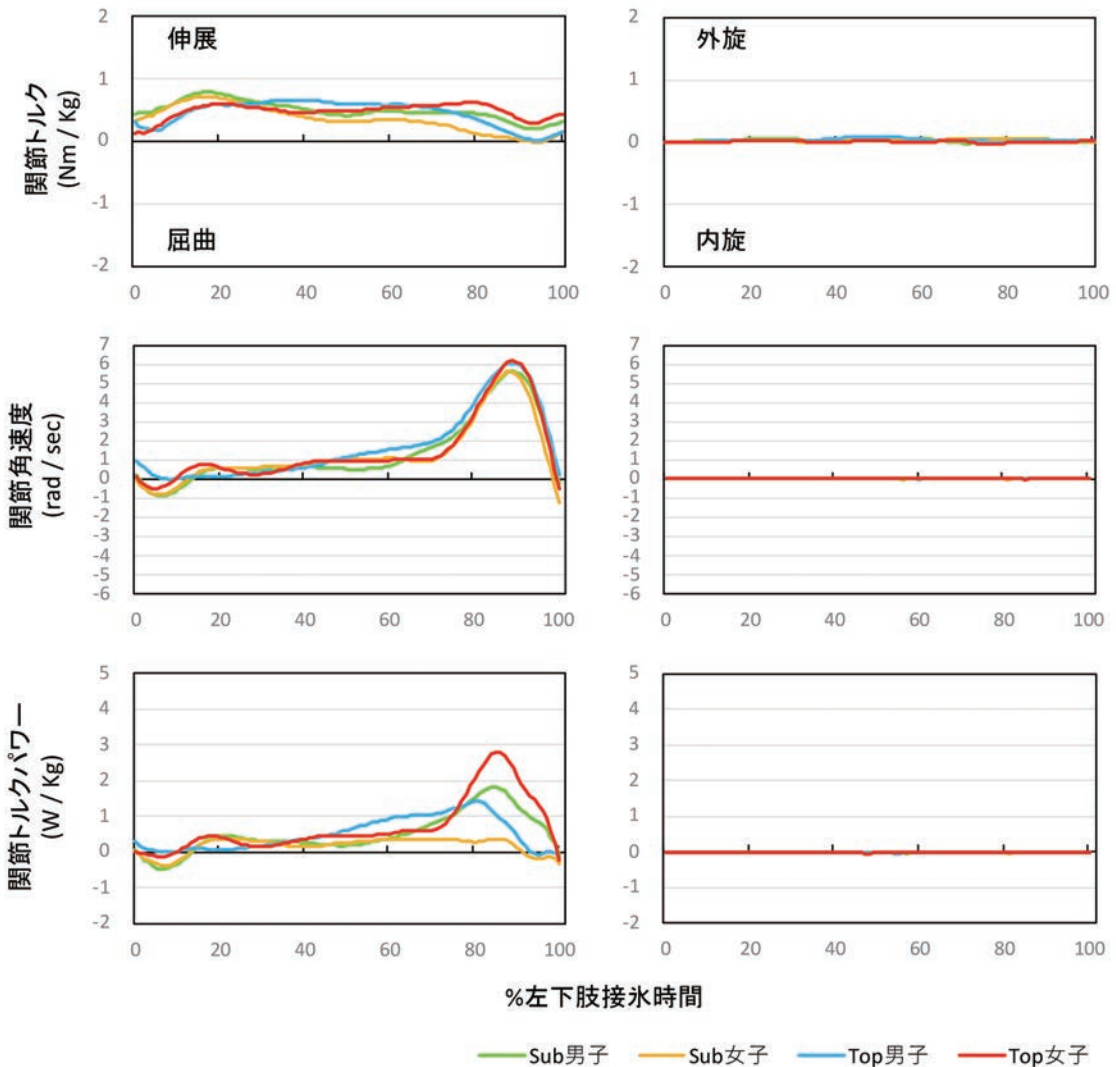


図12 カーブ滑走左下肢接氷時間における左膝関節トルク,角速度,トルクパワー

トレート滑走右下肢と同様に身体の右側後方へ氷面を押し出すため、ストレート滑走と同様に股関節伸展および膝関節伸展トルクパワーの発揮が重要となることが考えられる。さらに加えて、カーブ滑走右下肢ではストレート滑走よりも股関節外転トルクパワーの発揮が重要であることが考えられる。一方、カーブ滑走における右足関節底屈トルクパワーについては、男女で異なる傾向がみられ、女子ではSubよりもTopの方が大きいピーク

値であったのに対し、男子ではTopよりもSubの方が大きいピーク値を示していた(図10)。女子選手においては、右足関節底屈トルク発揮も、滑走速度獲得のために重要である可能性が考えられ、今後より詳細な分析が必要である。

カーブ滑走における左股関節外転、および右股関節伸展トルクパワーについては、ストレート滑走およびカーブ滑走の右股関節に比べて小さい値であった(図11)。カーブ滑走における左膝関節

カーブ滑走 左足関節

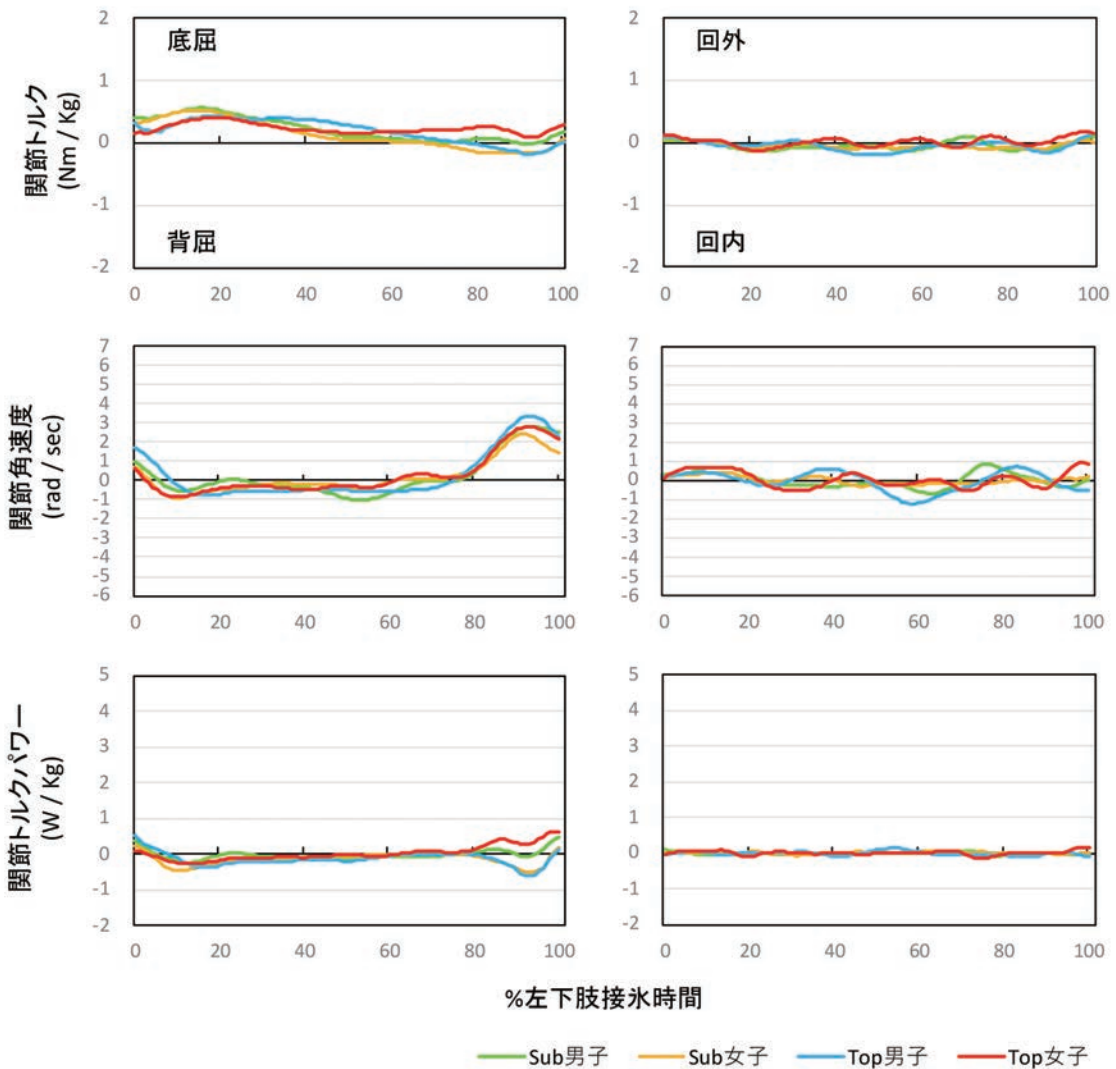


図13 カーブ滑走左下肢接氷時間における左足関節トルク,角速度,トルクパワー

伸展トルクパワーについては、男女で異なる傾向がみられ、女子ではSubよりもTopの方が大きいピーク値であったのに対し、男子ではTopよりもSubの方が大きいピーク値を示していた(図12)。男子選手による4,000m模擬レースを行った際のカーブ滑走左下肢について、レース後半ではレース前半よりも膝関節伸展トルクパワーが小さく、滑走速度を維持するためには膝関節伸展トルクの減少を抑えることが重要であると報告されている
 デサントスポーツ科学 Vol. 47

(湯田ほか⁴⁾)。本研究の結果、特に女子選手において、カーブ滑走で左膝関節伸展トルクパワーの発揮が重要であると考えられる。今後、レース経過に伴う変化も観察し、競技水準間および男女間での比較を行い、検討を深める必要がある。

結論

本研究の目的は、ワイヤレス式インソール型足圧センサを使用してブレード反力を推定し、実際

のレースにより近いパフォーマンス発揮時での、滑走中における下肢の関節トルクおよび関節トルクパワーの特徴を明らかにすることで、高い滑走速度獲得およびより良いゴールタイムのために必要な力学的要因を解明することを目的とすることであった。

本研究の結果、ゴールタイムが優れ、滑走速度の高い成績上位選手は、ストレート滑走およびカーブ滑走右下肢の、股関節伸展および膝関節伸展トルクパワー発揮が大きかった。またカーブ滑走右下肢の股関節外転トルクパワーの発揮が大きかった。より良いパフォーマンスのためにはこれらのパワー発揮が重要であることが示唆された。さらに、カーブ滑走右下肢の足関節底屈およびカーブ滑走左下肢の膝関節伸展トルクパワーについては男女で異なる傾向となり、特に女子選手ではこれらのパワー発揮も重要であることが示唆された。

謝 辞

本研究に対してご助成賜りました公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に厚く御礼申し上げます。また、本研究を実施するにあたり、実験にご協力いただいた公益財団法人日本スケート連盟ならびに選手、コーチの皆様に御礼申し上げます。

文 献

- 1) de Koning, J. J., de Boer, R. W., de Groot, G., van Ingen Schenau, G. J., Push-off force in speed skating., *International Journal of Sport Biomechanics*, **3**: 103-109(1987)
- 2) 結城匡啓・阿江通良・藤井範久, スピードスケート滑走中のブレード反力. *バイオメカニズム*, **13**: 41-51(1996)
- 3) Yuda J., Yuki M., Aoyanagi T., Fujii N., Ae M., Changes in blade reaction forces during the curve phase due to fatigue in long distance speed skating., *International Journal of Sport and Health Science*, **2**: 195-204(2004)
- 4) 湯田淳・結城匡啓・青柳徹・藤井範久・阿江通良, スピードスケート長距離種目におけるカーブ滑走中の下肢キネティクスの変化. *バイオメカニクス研究*, **9** (2) : 53-68(2005)
- 5) van der Kruk, E., den Braver, O., Schwab, A. L., van der Helm, F. C. T., Veeger, H. E. J., Wireless instrumented klapskates for long-track speed skating., *Sports Engineering*, **19**: 273-281(2016)
- 6) 皆川唯, インラインローラースケート滑走動作における支持脚関節の役割. 平成25年度筑波大学大学院修士論文(2014)
- 7) Winter, D. A., Kinematics. In Winter, D.A. (Eds.), *Biomechanics and motor control of human movement*, 3rd edition., *John Wiley and Sons: New York*, pp.13-58(2005)
- 8) 横澤俊治・辻村諒太・窪康之・高橋英幸・岡田英孝, 国内一流競技者の競技別身体部分慣性係数. *Japanese Journal of Elite Sports Support*, **8**: 11-27(2015)
- 9) 結城匡啓, 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—, 平成8年度筑波大学大学院博士論文(1996)