

令和元年6月21日現在

機関番号：82632

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K01583

研究課題名(和文)筋骨格モデルを用いた一流競技者の多角的動作評価システムの考案

研究課題名(英文)A multiple evaluation system by a musculoskeletal model for elite athletes

研究代表者

横澤 俊治 (Yokozawa, Toshiharu)

独立行政法人日本スポーツ振興センター国立スポーツ科学センター・スポーツ研究部・研究員

研究者番号：80400670

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、十種競技およびスピードスケート競技の国内一流競技者を対象に、体力の推移と各専門競技の運動中の筋活動との関係を調査することによってパフォーマンス向上のための課題を特定する評価方法を検討した。その結果、発揮した筋パワーを有効に競技につなげられるかがパフォーマンスを左右するタイプ、体力の状態がパフォーマンスに直結するタイプ、本来有している高いパワーを対象の競技中にも発揮できるかどうかパフォーマンスに影響するタイプの3つに分類できた。一方、体力の種類によってシーズン内の推移のしかたが異なり、一般的には準備期に向上した有酸素能力が試合期に低下することが確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

体力の評価を目的とする「体力測定」や動作をバイオメカニクス的に分析する「動作分析」から得られる知見は、本来互いに関係してパフォーマンスに影響しているにもかかわらず、通常はそれぞれを独立に評価し、選手にフィードバックしてきた。本研究の成果として個々の選手に対する課題を多角的な検討により抽出することができたため、この手法は今後様々な競技において応用されることが予想される。さらに、本研究の結果から単純に体力の状況がパフォーマンスに直結しやすい選手もいればそうでない選手もいることが明らかとなったことから、選手や競技特性に応じて類型化した上で総合的に評価することの重要性を示すことができた。

研究成果の概要(英文)：This study examined an evaluation method to extract the limiting factor for performance improvement by investigating the relationship between transition of physical fitness in seasons and muscle activity during each sport event. We could break down into 3 types: 1) the performance such as the sprint was affected by the effectiveness to use the muscle power, 2) the performance was connected directly by their fitness condition, 3) the performance was affected by whether they could generate large muscle power in the event that they essentially possess. On the other hand, transition in seasons depended on the type of physical fitness such that aerobic capacity improved during the preparation period and decreased during the competitive period in general.

研究分野：スポーツバイオメカニクス

キーワード：スポーツバイオメカニクス 縦断的体力評価 筋骨格モデル 関節トルクパワー 全身の総パワー 国内一流アスリート 期分け 国

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

高いパフォーマンスを発揮するためには、動作の評価と診断を経てそのパフォーマンスの制限要因を究明し、改善に向けてトレーニングして再び評価・診断するというサイクルによって実現される。一方、縦断的に体力測定を実施し、パフォーマンス向上のための課題を抽出することは競技場面で頻繁に行われているが、これらの推移がパフォーマンスとどのように関連しているかについてはコーチが主観的に判断しているのが現状であろう。そこで動作解析に用いる身体モデルに体力の特性を反映することによって、体力評価項目に直接関与する筋の発揮特性などと実際の競技中に発揮されるものと関連づけて検討することでより効果的な体力測定の評価が可能になると考えられる。一方、競技者は目標とする競技会で最高のパフォーマンスを発揮できる状態にするためにシーズン内のトレーニングを組み立てるため、移行期、準備期、試合期といった期分けに基づく体力の推移にも着目して評価することが重要と考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、スピードを競う複数の競技における国内一流競技者を対象に、期ごとの体力の推移と各専門競技の運動中の筋活動との関係を調査することによって、移動速度の制限要因、すなわちパフォーマンス向上のための課題を特定する評価方法を検討することである。

3. 研究の方法

(1) 陸上競技十種競技の国内一流競技者 6 名を被験者とし、4 年間にわたり縦断的にフィールドテストを実施した。同時に、全力疾走中の動作をモーションキャプチャーシステムにより撮影した。なお、怪我や引退等のため被験者によって実施回数は異なり、最小で 4 回、最大で 9 回であった。

フィールドテスト項目は、膝関節および股関節の等速性筋力を「下肢筋力」、前方および後方へのメディシンボール投げを「投能力」、腕振りありの垂直跳び、腕振りなしの垂直跳び、スクワットジャンプの跳躍高、立ち幅跳びの距離距離を「跳能力」、リバウンドジャンプにおける RJ インデックス (図 3、1993)、立五段跳びにおける跳躍距離を「Plyometrics」としてまとめ、T スコアで評価した。

また、疾走中の身体の三次元座標を元に、関節角度、関節トルク、関節トルクパワーを算出した。全身の関節トルクパワーの時間平均を平均パワーと定義し、疾走中に発揮したパワーの指標とした。さらに、筋骨格モデリングソフトウェア SIMM (Software for Interactive Musculoskeletal Modeling, MusculoGraphics 社製) を用いて、33 の筋を有する下肢の筋骨格モデルを構築した (図 1、Delp et al., 1990, Zajac, 1989)。筋張力とモーメントアームとの積を筋トルクとし、各関節まわりの筋トルクの総和が正味の関節トルクと等しくなるように最適化計算によって筋張力を推定した。さらに、筋張力と筋収縮速度との積を筋パワーとして算出し、その絶対値を 1 サイクルで平均した。



図 1 本研究で使用した下肢の筋骨格モデル

(2) スピードスケートの国内一流競技者 23 名を被験者とし、1 年につき 3 回 (移行期: 5 月もしくは 6 月、準備期: 8 月もしくは 9 月、試合期: 1 月) 計 4 年間にわたり垂直跳び、自転車エルゴメーターによる Wingate test および漸増負荷試験を実施した。なお、怪我等のため被験者によって測定回数異なる。垂直跳びについては腕振りあり、腕振りなし、スクワットジャンプの 3 種類の跳躍高、Wingate test についてはピークパワーと 30 秒平均パワー、漸増負荷試験については最大酸素摂取量と運動終了時負荷値を評価に用いた。これらの計測結果については T スコア化して測定項目ごとにまとめた。

一方、国際競技会において 1,500m レースのカーブおよびストレートの動作分析を実施した。これについては、比較のために世界一流競技者 (カーブは 10 名、ストレートは 8 名) についても対象とした。ハイスピードカメラ 3 台から得られた身体の 3 次元座標から、遊脚期における関節トルクパワーを算出した。レースラップ、滑走動作、および遊脚関節トルクパワーの特徴を体力特性との関係に着目して検討した。

4. 研究成果

(1) 図 2 は、十種競技を専門とする被験者の疾走速度と疾走時の平均パワーとの関係を示したものであり、色とマークによって選手を識別している。平均パワーは毎回同程度であるにも関わらず疾走速度が変動する者が 2 名いたが (白抜き、以下、タイプ A) 他の選手では平均パワーが高い時ほど疾走速度が高い傾向がみられた。一方、平均パワーと疾走速度に関係があった 4 名のうち、平均パワーが高い時ほどフィールドテストの記録が優れている傾向がみられた者が 2 名 (タイプ B)、フィールドテストのほとんどの項目で常に T スコアが 60 以上と安定して高い値を示していた者が 2 名であった (タイプ C)。タイプ A は、パワー発揮能力よりも発揮したパワ

ーを有効に疾走速度につなげられるかが疾走速度を左右すると考えられる。タイプ B は、多関節運動において大きなパワーを発揮できる状態にあることが疾走中の高いパワー発揮や高い疾走速度と関係していると考えられる。タイプ C では、本来有している高いパワーを疾走中にも発揮できるかが重要であると考えられる。

これらのことから、スプリントパフォーマンスとフィールドテストとの間には関係性が認められる選手が多かったものの、その詳細については様々なタイプがあることが明らかになった。したがって、個々の選手のタイプを認識した上で課題を検討することが重要であると考えられる。

図 3 は、タイプ B に分類された被験者 K の疾走中の平均筋パワーおよびフィールドテスト T スコアと疾走速度との関係を示したものである。筋パワーに関しては、膝関節伸展筋群および足関節まわりの筋群の筋パワーが大きかった時ほど疾走速度が高い傾向が見られた。フィールドテストについては、跳能力および Plyometrics の能力が高い時ほど疾走速度が高い傾向が見られた。これらのことから、被験者 K については、体力が優れた状態にあると疾走時にも大きなパワーを発揮して高い疾走速度が得られるため、跳能力に代表されるフィールドテストのパフォーマンスをいかに高い水準に上げられるかが重要と考えられる。ただし、股関節伸展筋群については筋パワーが小さい時ほど疾走速度が高い傾向が見られたため、足関節底屈および膝関節伸展重視の跳躍ができることがこの被験者にとって重要な点であろう。以上のように、選手によってフィールドテスト、疾走中のパワー発揮、疾走速度の 3 者の関係は異なっていたが、その選手の特性を把握することによって、フィールドテストの結果から効果的に課題を抽出できる事例を示すことができた。

(2) 図 4 はスピードスケート競技を専門とする被験者の期ごとの垂直跳び、Wingate test、漸増負荷試験の T スコアを全被験者の平均と標準偏差で示したものである。垂直跳びは期ごとの相違はなかったが、Wingate test については試合期が移行期よりも有意に高いスコアを示した。漸増負荷試験については準備期、試合期、移行期の順に高いスコアを示した。スピードスケートの選手は一般に、3 月前後にシーズンを終了後、少し回復に努め（移行期）その後自転車トレーニングや筋力トレーニングなどの陸上におけるトレーニング主体の時期（準備期）を経て、滑走主体のトレーニングへ移行して試合期を迎える。漸増負荷試験の結果には、準備期を経て有酸素運動能力が向上し、試合期に入ると一般的体力から専門的体力への移行することが表れていると考えられる。とは言え、準備期に向上した有酸素運動能力を試合期にも維持できていなかったと読み取る

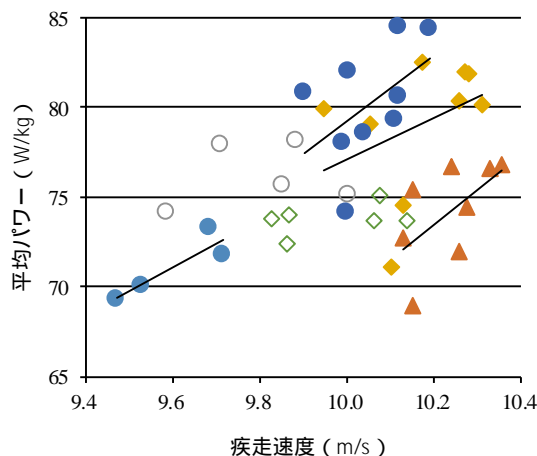


図 2 十種競技を専門とする被験者ごとの疾走速度と疾走中平均パワーとの関係

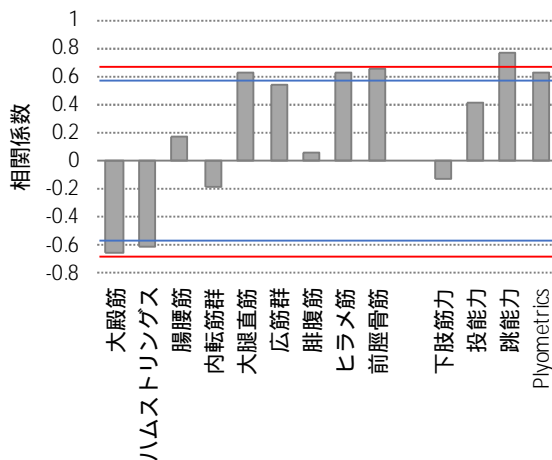


図 3 十種競技を専門とする被験者 K の疾走中の平均筋パワーおよびフィールドテストの T スコアと疾走速度との相関係数。青線は $p < 0.05$ 、赤線は $p < 0.01$ を示す。

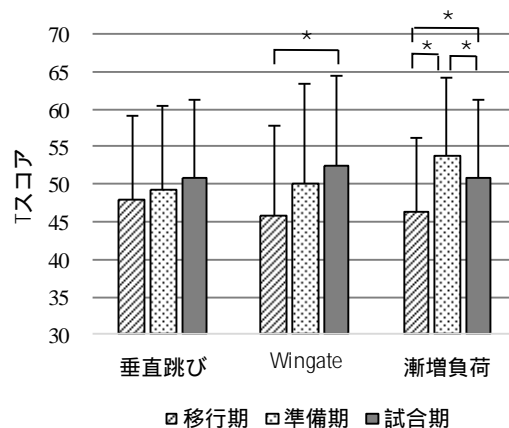


図 4 スピードスケート競技を専門とする被験者の期ごとにおける体力測定項目の T スコア

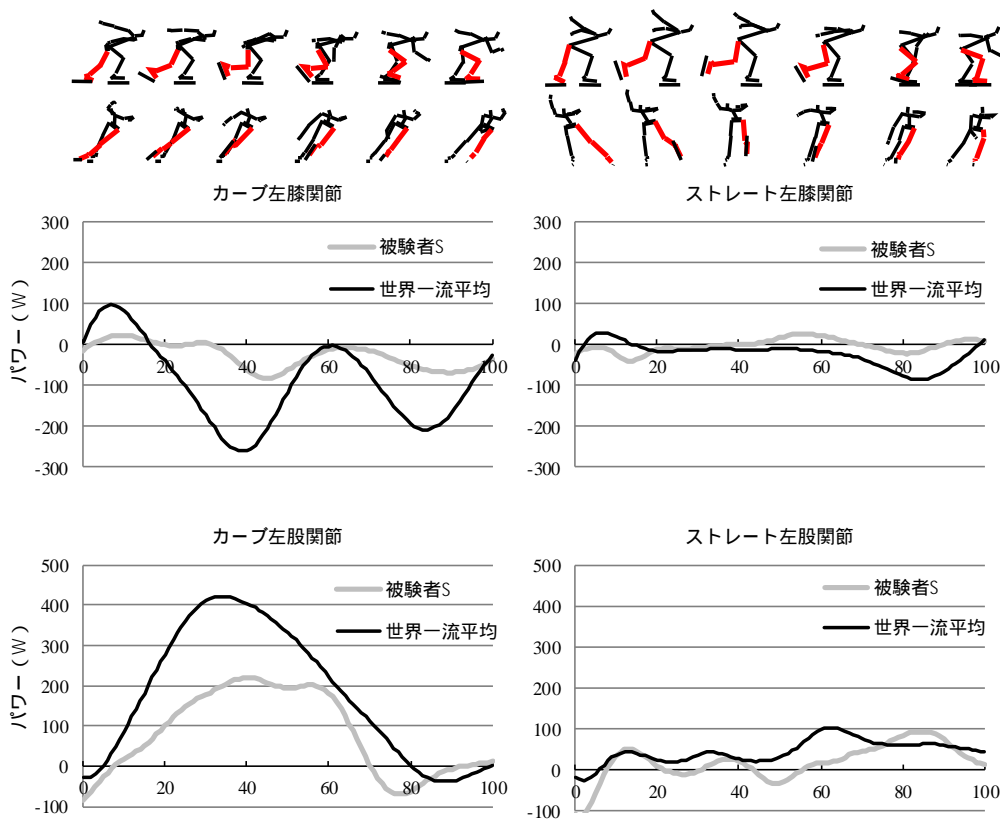


図 5 スピードスケート競技における被験者 S および世界一流競技者のカーブおよびストレート滑走中の遊脚期左膝関節および左股関節のパワー

こともでき、試合期の有酸素トレーニングの在り方については再考の余地があると考えられる。一方、準備期から試合期では滑走主体のトレーニングに移行するため、インターバルトレーニングなどが多く組まれる。したがって Wingate test の結果から、無酸素性のパワーおよび持久力が試合期に向けて向上できることが示された。

一方、スピードスケート競技会における滑走中の滑走動作やパワーについては、上記の体力測定の結果との明確な関係は認められなかった。図 5 は、スピードスケートの 1,500m レースにおける被験者 S および世界一流競技者のカーブおよびストレート滑走中の遊脚期左膝関節および左股関節のパワーを示したものである。カーブでは、被験者 S の遊脚期の前半から中盤にかけて膝関節の伸展トルクによる大きな負のパワーおよび左股関節屈曲トルクによる正のパワーが世界一流選手と比較して著しく小さかったことが分かる。ストレートについては被験者 S、世界一流平均ともにカーブと比較して小さい値であったが、膝関節の負のパワーおよび股関節の正のパワーが被験者 S のほうが小さいという点はカーブと共通していた。また、図示していないが被験者 S のカーブの滑走動作には、離氷時にブレードが進行方向に対して外側に進んでしまい、遊脚が外側後方に流れるという特徴が見られた。さらに、被験者 S の垂直跳び、Wingate test、漸増負荷試験の T スコアの平均はそれぞれ 47.8、54.6、57.0 であり、中距離選手にとって重要と予想される持久力の指標については優れていたことから、膝関節の伸展トルクや股関節屈曲トルクを発揮する体力が備わっていなかったとは考えにくい。以上のことから、動作が世界一流と大きく異なる場合には、本人が有する体力が氷上でのパワー発揮につながらない場合もあることが示唆された。

(3) 十種競技選手を対象としたフィールドテスト、疾走中のパワーの発揮能力、疾走速度の関係や、スピードスケートにおける体力と滑走動作との関係に関する結果から、体力の推移が実際の運動中のパフォーマンスに直結しやすいケースと直結しづらいケースが混在していることが明らかになった。選手のタイプや競技特性を理解した上で体力測定を競技に活用することが重要と考えられる。一方、垂直跳びに代表される最大パワーの発揮能力、Wingate test に代表される無酸素性持久力、漸増負荷試験に代表される有酸素性持久力では、シーズン内の推移のしかたが異なることが確認できた。

< 引用文献 >

Delp SL, Lone JP, Hoy MG, Zajac FE, Topp EL, and Rosen JM, An interactive graphics-based model of lower extremity to study orthopaedic surgical procedures. IEEE Transaction Biomed. Eng. 37, 1990, 757-756.

Zajac, FE, Muscle and tendon: Properties, models, scaling, and application to biomechanics and motor control. Critical Rev. Biomed. Eng. 17, 1989, 359-411.

図子 浩二、高松 薫、古藤 高良、各種スポーツ選手における下肢の筋力およびパワー発揮に関する特性、体育学研究、38 巻 4 号、1993、265-278

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 1 件)

横澤 俊治、加藤 恭章、紅椋 英信、熊川 大介、スピードスケート国際競技会の中長距離レースにおける滑走軌跡と速度の分析、Sports Science in Elite Athlete Support、3 巻、2018、27-38

DOI : 10.32155/jiss.3.0_27

[学会発表](計 4 件)

横澤俊治：ランニングエコノミーが優れた選手の走動作の特徴 . 第 31 回ランニング学会大会シンポジウム「ランニングパフォーマンスを決定するもの」, 2019

横澤俊治ほか：スピードスケート長距離種目におけるストレートとカーブの加減速 . 第 25 回日本バイオメカニクス学会大会 , 2018

横澤俊治：JISS のスピードスケートサポート～滑走軌跡計測システムの活用を中心に～ . スポーツ情報処理時限研究会 , 2018

横澤俊治ほか、国内一流十種競技選手の疾走動作とパワー発揮能力との関係に関する縦断的研究 . 第 24 回日本バイオメカニクス学会大会 , 2016

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：稲葉 優希

ローマ字氏名：(INABA Yuki)

所属研究機関名：独立行政法人日本スポーツ振興センター国立スポーツ科学センター

部局名：スポーツ科学部

職名：研究員

研究者番号 (8 桁) : 30709431

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。