

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 19 日現在

機関番号：82632

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22700647

研究課題名(和文)形態および筋力の相違を考慮した動作モデルの構築

研究課題名(英文)The relationships between the motion model and body composition

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・スポーツ科学研究部・研究員

研究者番号：80400670

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円、(間接経費) 750,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、身体特性(形態および筋力)が跳動作・走動作の技術におよぼす影響を検討することを目的とした。様々な競技を専門とするアスリート21名を被験者とし、立ち幅跳びおよび7 m/secの走動作と形態特性や最大下肢関節筋力との関係を検討した。その結果、立ち幅跳び踏切動作における各下肢関節のピークパワーは当該関節の最大筋力とは相関がなく、腕振りなどの技術的要素が下肢関節パワーの大小に影響していた。走動作については他人の形態特性を適用して仮想的に走効率を求めても、被験者間の走効率の大小関係は逆転しなかった。技術すなわち目標とすべき動作は、形態や筋力の影響を必ずしも大きく受けないと考えられる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to investigate the effect of body composition on the techniques of broad jump and running motion. The twenty-one athletes who specialized diverse events were participated in this study, and were analyzed on relationships between techniques of standing broad jump and running at 7 m/s and body composition such as body segment parameters and maximum isokinetic joint torques of the lower limb joints. There were no significant relationships between peak powers of the lower limb joints during the broad jump and maximum isokinetic joint torques of the corresponding joints. Technical factor such as an arm motion affected leg power generation during broad jump. The virtual effectiveness using body segment parameters of all other subjects were not so different from those using the subjects' own body segment parameters. It seemed that the model motion, that is the technique, was not necessarily affected by body characteristics and muscle forces.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学 スポーツ科学

キーワード：スポーツバイオメカニクス 形態 身体部分慣性係数 走動作 跳動作

1. 研究開始当初の背景

これまでスポーツバイオメカニクス分野では、パフォーマンスの優れた者の技術を模範としてとらえてきた。しかし、この模範動作を身体特性（特に形態的な特性や筋力）の大きく異なる者にそのまま適用できるかどうかは明確ではない。例えば子ども、高齢者、障害者にとって目標とすべき動作は異なる可能性がある。そこで、身体特性によって模範とすべき動作がどのように変化するかを検討することは技術評価を行う上で重要であろう。また、動作を形態、筋力と関連づけて比較することは、合理的な動作が形態、筋力とどのように関連しているのかに関する重要な資料となり、同分野における技術に対する捉え方を拡張するものとなる。しかし、身体の形状や骨格、最大筋力を詳細に計測し、それらと動作との関係を検討した研究はほとんどないようである。

2. 研究の目的

本研究では、身体特性（形態および筋力）と跳動作・走動作との関係を実験およびシミュレーションにより検討し、身体特性が技術におよぼす影響を検討することを目的とした。

3. 研究の方法

被験者は様々な競技を専門とするアスリート男性 11 名女性 10 名とした。跳動作については、全力の反動付き立ち幅跳びを対象とし、側方から撮影するとともにフォースプラットフォームにより地面反力を計測した。また 7 m/sec の走速度の走動作を 3 次元モーションキャプチャーシステム (MAC3D System; Motion Analysis 社製) により 240Hz で撮影し、同時に地面反力データも計測した。跳動作、走動作ともに得られた身体分析点の座標データと地面反力データから、関節トルク、パワー等を算出した。

また、ボディラインスキャナー（以下、BLS; 浜松ホトニクス社製）を用いて水着で関節点等に反射シールを貼付して全身をスキャンし、3次元人体形状データを収集した。さらに、関節動態用核磁気共鳴装置 (MRI) により各身体部分の断面画像を得た。BLS データから CAD を介して算出した身体部分体積と MRI 画像から算出した身体部分密度をもと

に、被験者本人の身体部分慣性係数（質量中心位置、身体質量比、慣性モーメントから成り、質量分布を反映する変量；以下、BSP）を算出した。

筋力測定としては、Biodex System4 (Biodex Medical Systems 社製) を用いて、股関節、膝関節、および足関節の屈曲（背屈）、伸展（底屈）の等速性最大トルクを計測した。

以上のデータをもとに、立ち幅跳びについては本人が有する最大筋力が全力運動時にどのように反映されるかを中心に検討した。

走動作については BSP、すなわち質量分布が走行時の力学的パワーにどのように影響するかという視点で検討を進めた。被験者自身の実測 BSP を用いて走動作中の関節トルクパワーおよび平均パワー（2 歩における全身の絶対仕事を時間で除したもので走効率の指標として使用）を計算した。これらを部分長と体重のみから推定される従来の慣性係数推定値（阿江ら、1992）を使用した場合と比較した。さらに、大きく質量分布が異なると予想される他人の BSP を用いて逆動力学的にシミュレーションし、その際の平均パワーの挙動を検討した。

4. 研究成果

(1) 立ち幅跳び踏切動作中の膝関節および股関節伸展トルクによるピークパワーは、跳躍距離との間に正の相関関係がみられた。また Biodex により計測した各関節の等速性最大伸展トルクは、その角速度によっては跳躍距離との間に正の相関関係がみられた。表 1 は、Biodex による等速性最大下肢筋力と立ち幅跳び踏切動作中の当該関節のピークパワー、力学的仕事との相関係数を示したものである。Biodex により計測した各関節の等速性最大伸展トルクは、踏切動作におけるそれぞれの関節のピークパワーや正仕事とは相関がなかった。これらのことから、等速性最大下肢筋力は跳躍距離と無関係ではないが、踏切動作中のパワー発揮に直結しないことが示唆された。

図 1 は、バレーボール選手（跳躍距離; 2.91m、踏切中の膝関節ピークパワー; 31.6W/kg）と、自転車選手（跳躍距離; 2.55m、踏切中の膝関節ピークパワー; 18.3W/kg）の離地 0.1 秒前のスティックピクチャーと体重で規格化した地面反力ベクトルを図示したものであ

表 1 Biodex による等速性最大下肢筋力と立ち幅跳び踏切動作中の当該関節のピークパワー、力学的仕事との相関係数

	足関節 ピーク パワー	膝関節 ピーク パワー	股関節 ピーク パワー	足関節 底屈 正仕事	膝関節 伸展 正仕事	股関節 伸展 正仕事
Biodex 角速度						
180deg/sec	0.06	0.28	0.39	0.41	0.25	0.10
60deg/sec	0.23	0.33	0.37	0.48	0.28	-0.03

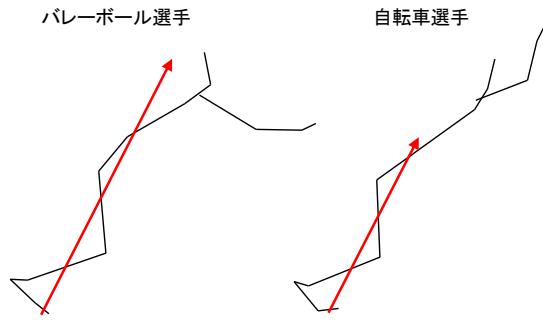


図1 立ち幅跳び離地0.1秒前のスティックピクチャーと地面反力

る。バレーボール選手のほうが腕振りのタイミングが遅くて離地直前に大きな地面反力が得られていたのに対し、自転車選手では腕振りが早めに完了して同局面の地面反力が小さかった。Feltner et al. (1999)およびHara et al. (2008)は、垂直跳びや立ち幅跳びにおける腕振りの役割として体幹の後方回転を抑制することにより下肢関節のパワーを大きくすることを挙げている。以上のことから、バレーボール選手では離地直前に腕振りにより体幹の後方回転を抑制していたことが大きな膝関節パワーが発揮できた一要因と考えられる。バレーボール選手と自転車選手とでは Biodex で計測した膝関節最大筋力には顕著な相違がなかったが（バレーボール選手と自転車選手それぞれ角速度 60 deg/sec では 5.75 Nm/kg と 5.02 Nm/kg、角速度 180 deg/sec では 3.81 Nm/kg と 3.31 Nm/kg）、上肢との協調の巧拙によって立ち幅跳びにおける下肢パワーの大きさが大きく異なることが例示された。これらのことから、高い筋力を有していれば最大努力の運動時に大きなパワーが発揮できるというのではなく、腕振りや反動動作などの技術的要素が下肢関節パワーの大小に影響したと考えられる。

(2)図2は、陸上競技の投てきを専門とする男性被験者の部分質量について、阿江ら(1992)の推定式を用いたもの（以下、推定BSP）と本研究の手法により算出したもの（以下、実測BSP）を比較して示したものである。投てき選手の上脛および下脛の質量は推定よりも実測のほうが大きく、左右の下腿質量については実測のほうが小さかった。また図3は、投てき選手の走動作中の股関節トルクパワーについて推定BSPを用いて算出した場合と実測BSPを用いて算出した場合と比較したものである。股関節トルクパワーのBSPによる相違はわずかであった。他の末端の関節トルクパワーは股関節と比較してBSP間の相違は一層小さかった。また、他の被験者の各関節トルクパワーは、投てき選手に比べて、BSP間の相違はさらに小さかった。これらの結果は、比較的BSP自体が推定値と実測値とで大きく異なる被験者であってもこの相違が関節トルクパワーにおよぼす影響

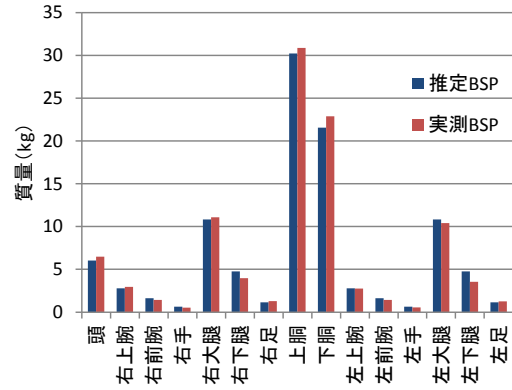


図2 投てき選手の部分質量の推定値と実測値の比較

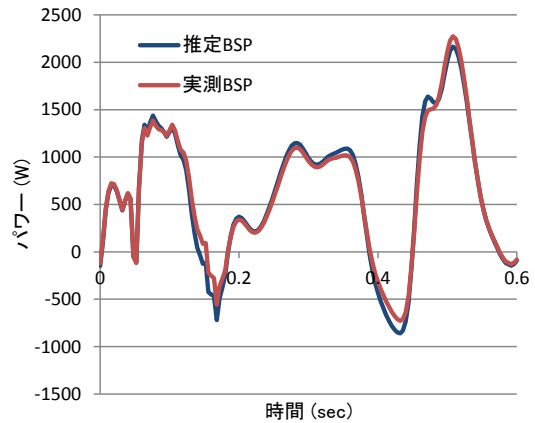


図3 投てき選手の走動作1サイクルにおける股関節トルクパワー（推定BSPと実測BSPを適用した際の比較）

は小さいことを示していると考えられる。

力学的エネルギーを有効に走速度の利用できていたかを評価するために、実測BSPをもとに算出した体重あたりの関節トルクパワーの絶対値を全関節で合計し、これを時間で平均したものを平均パワーと定義し、算出した。平均パワーが走速度の割に小さいほど、力学的エネルギーが有効に走速度に利用できていたことを示す（榎本ら1999）。平均パワーの個人差は大きく、例えばほぼ同速度であった長距離走者A（走速度7.35m/sec、平均パワー35.2W/kg）は元体操選手B（走速度7.34m/sec、平均パワー46.6W/kg）とテニス選手C（走速度7.31m/sec、平均パワー43.3W/kg）と比較して平均パワーが小さかった。図4は被験者A、B、Cについて、全被験者のBSPを仮想的に適用した際の平均パワーを示したものである。適用するBSPによって数W/kgの差は生じたが、いずれのBSPを適用した場合でも被験者AとB、Cとの平均パワーの大小関係が逆転することはなかった。

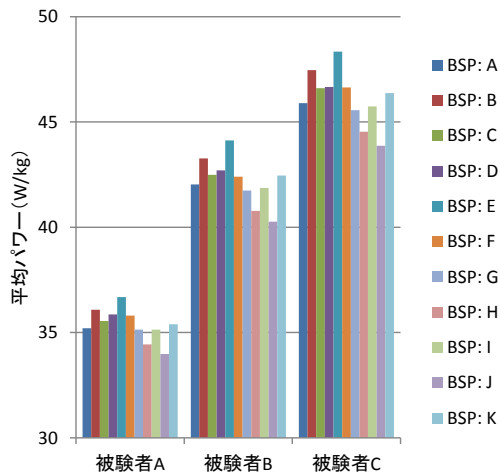


図4 他被験者の BSP を適用した際の平均パワー

すなわち、被験者 A の有効利用度が高かったのは効率の良い走りがしやすい形態特性（質量分布）を有していたからというわけではなく、その原因は走動作にある可能性が高いと考えられる。一方、被験者 B, C については、図示していないが上肢が無駄な力学的仕事をしていることやオーバーストライドだったことなど、走技術に関することが平均パワーを大きくしていた一因と考えられる。以上のことから、力学的エネルギーを有効に走速度に利用できるか否かは、質量分布よりも動作の影響が大きいことが明らかになった。

(3)本研究の一連の結果から、最大努力の運動中に大きなパワーを発揮するための技術的要因が存在することや、効果的に力学的エネルギーを利用する技術が形態特性の影響をあまり受けない場合があることなどが明らかになった。目標とすべき動作が形態や筋力の影響を必ずしも大きく受けないという本研究の知見は、スポーツの技術論に考える上で重要な示唆となる可能性がある。

## 5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 5 件)

①横澤 俊治 他、身体部分慣性特性が走効率におよぼす影響、第 26 回ランニング学会大会 (2014. 3. 22 大阪体育大学)

②横澤 俊治 他、等速性最大下肢筋力と立ち幅跳び踏切動作における下肢関節パワーとの関係、日本体育学会第 64 回大会(2013. 8. 30 立命館大学)

③Hidetaka Okada, et al., Body segment inertial properties of elite athletes in various competitive events, International society of Biomechanics 24th Congress (2013. 8. 8 Brazil)

④辻村諒太 他：核磁気共鳴映像法を用いた身体部分密度推定の試み 核磁気共鳴映像法を用いた身体部分密度推定の試み. 第 32 回

バイオメカニズム学術講演会 (2011. 11. 27 大阪科学技術センター)

⑤Hidetaka Okada, et al., Effects of different athlete morphologies on body segment inertial properties, International Society of Biomechanics 23rd Congress. (2011. 7. 7 Brussels)

## 6. 研究組織

### (1) 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・スポーツ科学

研究部・研究員

研究者番号：80400670