

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 4 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01666

研究課題名(和文) スポーツ動作における体幹捻転と回転軸の究明と応用

研究課題名(英文) Investigation and application of trunk torsion and rotation axis in sports

研究代表者

深代 千之 (Fukashiro, Senshi)

東京大学・大学院総合文化研究科・教授

研究者番号：50181235

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、スポーツ動作中の移動運動における体幹の役割について、モーションキャプチャとフォースプレートを用い、逆ダイナミクスによる実験的解析を行った。対象動作は、スプリントスタート動作、中間疾走のスピードを5段階に変えた動作、方向転換走の動作について、骨盤と股関節の3次元トルクと機械的仕事について解析した。スタートでは、腰仙関節伸展仕事が、重要な力学的エネルギー生成源であった。スプリント走中の腰仙関節の軸回転トルクは、特に高いスピードで大きく貢献していた。方向転換走では、腰仙軸回転トルクが主に骨盤を回転させていた。以上より、スポーツの移動運動における骨盤の役割が明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、スポーツやトレーニングの現場では、体幹の重要性が指摘されている。それは、四肢を動かす主動筋が体幹に位置しているという解剖学的な指摘からである。しかし、実際の動作局面での体幹の働きのメカニズムについて、客観的に解析されているわけではなかった。そこで、本研究では、スポーツにおける移動運動を対象に、体幹特に骨盤の動きに注目してバイオメカニクス解析を行った。その結果、スポーツにおける骨盤の働きが明らかとなり、パフォーマンス向上に具体的な示唆ができる結果が得られた。

研究成果の概要(英文)：In this study, the role of the trunk in locomotion during sports was experimentally analyzed by inverse dynamics using motion capture and force plate system. The target motions were the sprint start, the different five speeds of the sprint running, and the direction change motions, and the three-dimensional torques and mechanical work of the pelvis and hip joint were analyzed. At the start, lumbosacral joint extension work was an important source of mechanical energy. The axial rotation torque of the lumbosacral joint during sprinting contributed significantly at a particularly high speed. In the direction change run, the lumbosacral axis rotation torque mainly rotated the pelvis. From this study, the role of the pelvis in locomotion in sports was clarified.

研究分野：スポーツバイオメカニクス

キーワード：3次元解析 スポーツ動作 体幹 骨盤

## 1. 研究開始当初の背景

近年、スポーツやトレーニングの現場では、体幹の重要性が指摘されている。それは、四肢を動かす主働筋が体幹に位置しているという解剖学的な指摘からである。しかし、実際の動作局面での体幹の働きのメカニズムについて、客観的に解析されているわけではなかった。

スポーツ科学の中心の一つであるバイオメカニクスは、モーションキャプチャを用いて動作を観察し、そのデータから関節トルクや骨格筋張力を推定する「逆ダイナミクス」(Fukashiro ら 2006)と、コンピュータの中に筋骨格モデルをつくり、筋張力を最適化することで動作を構築する「フォワードソリューション」(Yoshioka ら 2013)からなる。この筋骨格系モデルは、神経活動と動作を繋ぐスポーツ科学研究の基盤でもある。従来、我々のスプリント走研究(深代ら 1997)は日本の陸上短距離のレベルアップに貢献し、北京・リオ五輪での 400m リレー銀メダル獲得に結びついた(深代 2014)。ただ、これまでの研究は、機器と手法の限界から、3次元ではなく2次元解析と、体幹ではなく下肢を対象としてきた。そこで、我々は研究として扱にくくブラックボックスとされてきた「体幹」に3次元で焦点を当て、最初にゴルフスウィングや野球のバッティングなど体幹捻転の機序を究明してきた。そして、さらなる客観的解析として、移動運動に注目して、体幹の役割を明らかにすることが急務であった。

## 2. 研究の目的

我々は、これまで身体運動におけるゴルフやバッティングのような打動作中の体幹の捻転に注目して、そのメカニズムつまり体幹の機械的エネルギー生成や伝播の機序を明らかにしてきた。本研究では、この研究をさらに進め、様々なスポーツの基本動作である移動運動に注目して、体幹の役割を究明することを目的とした。すなわち、本研究での対象動作は、スプリントスタート動作、中間疾走のスピードを5段階に変えた動作、方向転換走の動作について、骨盤と股関節の3次元トルクと機械的工作について解析することを目的とした。

## 3. 研究の方法

バイオメカニクスの典型的な解析システムであるモーションキャプチャとフォースプレートを用い、移動運動における体幹の役割について、逆ダイナミクスによる実験的解析を行った。対象動作は、①スプリントスタート動作、②中間疾走のスピードを5段階に変えた動作、③方向転換走の動作について、骨盤と股関節の3次元トルクと機械的工作について解析した。

身体バイオメカニクスモデルは、体幹を上胴と骨盤の2セグメントに仮定し、仮想のピンジョイントを関節とした。このように体幹を2セグメントモデルに仮定することによって、体幹捻転の機序が客観的に明らかにすることができた。

#### 4. 研究成果

本研究で対象とした次の3研究より、それぞれの研究成果をまとめる。

- ① クラウチングスタートにおいて3次元的な視点から体幹における力学的エネルギーの生成機序を検討した。その結果、矢状面では下肢だけでなく、腰仙関節伸展仕事が両脚支持期の  $14\pm 4\%$  を占めており、重要な力学的エネルギー生成源であることが明らかになった。また、前額面では腰仙関節側屈仕事と股関節外転仕事の和が  $9\pm 3\%$  を占めており、こちらもまた重要であることが示唆された。すなわち、スタートでは、腰仙関節伸展仕事が、重要な力学的エネルギー生成源であった。
- ② スプリント走中の最大を含む5段階の中間疾走動作を解析した結果、走中の腰仙関節の軸回転トルクは、特に高いスピードで貢献が顕著であった ( $0.33\sim 1.96\text{Nm/kg}$ )。その軸回転トルクは、屈曲・伸展トルクよりも大きかった。これに対して、腰仙関節の屈曲・伸展トルクはスピードが増加しても、ほぼ一定の値を示した。この傾向は、関節トルクだけでなく、関節における機械的仕事でも同様であった。本研究により、スプリント走におけるスピード変化に対応する、体幹の腰仙関節の役割が明らかになった。
- ③ 方向転換走つまり90度のサイドステップ動作を対象に、3次元解析を行った。その結果、胸郭は骨盤に先取りして目的の移動方向に回転した（体幹の軸回転は  $21.0\pm 6.0^\circ$  で最大）。腰仙部軸の回転トルクは、立脚初期の段階で目的方向に作用し、その後、立脚後期および空中局面で逆になり、体幹の軸回転速度の増減と一致した。また、立脚初期局面では、骨盤回転の腰仙軸方向の回転トルク由来の要因 ( $0.074\pm 0.033\text{Nms/kg}$ ) は、他の要因よりも大きいことが示された。そして、立脚後期および空中局面では、腰仙軸回転トルクが主に骨盤を回転させていた。以上より、体幹の軸の回転トルクが、体幹の動きを最小化するのではなく、体幹の軸回転を積極的に誘発するために発揮されるということが示された。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Sado, N., Yoshioka, S., Fukashiro, S.,	4. 巻 39
2. 論文標題 Hip abductors and lumbar lateral flexors act as energy generators in running single-leg jumps	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Int. J. Sports Med. 3	6. 最初と最後の頁 1001-1008
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 佐渡夏紀, 深代千之	4. 巻 68
2. 論文標題 ヒトの走・跳のパフォーマンス規定因子	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 体育の科学	6. 最初と最後の頁 579-584
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 o, Y., Yoshioka, S., Fukashiro, S.	4. 巻 56
2. 論文標題 Uncontrolled manifold analysis of joint angle variability during table tennis forehand.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Hum Mov Sci,	6. 最初と最後の頁 98-108
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Sado, N., Yoshioka, S., & Fukashiro, S.	4. 巻 16
2. 論文標題 The three-dimensional kinetic behaviour of the pelvic rotation in maximal sprint running.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Sports Biomechanics,	6. 最初と最後の頁 258-271
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Takahito Suzuki, Kohei Shioda, Ryuta Kinugasa, Senshi Fukashiro,	4. 巻 31
2. 論文標題 Simultaneous knee extensor muscle action induces an increase in voluntary force generation of plantar flexor muscles	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Strength and Conditioning Research	6. 最初と最後の頁 365-371
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takahito Suzuki, Ryuta Kinugasa, Senshi Fukashiro,	4. 巻 12
2. 論文標題 Activation of plantar flexor muscles is constrained by multiple muscle synergies rather than joint torques	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 PLoS ONE	6. 最初と最後の頁 e0187587
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Sado, N., Yoshioka, S., Fukashiro, S.,
2. 発表標題 Effects of segmental rotations on vertical and horizontal energies during take-off of a long jump.
3. 学会等名 36th International Society of Biomechanics in Sports, (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 深代千之、内海良子	4. 発行年 2018年
2. 出版社 東京大学出版会	5. 総ページ数 197
3. 書名 身体と動きで学ぶスポーツ科学	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----