

平成 30 年 6 月 14 日現在

機関番号：32690

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01584

研究課題名(和文) 全身のセグメント間相互作用に着目した野球の投球における運動スキル評価法の開発

研究課題名(英文) Analysis of the skill and efficiency in sports movements of multi-joint kinetic chain including fast throwing and striking

研究代表者

内藤 耕三 (Naito, Kozo)

創価大学・教育学部・准教授

研究者番号：10734824

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)：計測したモーションデータと自作の解析プログラムを用いて運動依存トルクを計算した。力学モデルを上肢-体幹の18自由度とし、関節運動間の力学的相互作用を分析した。投球では全身を協調させて、手先に望ましい速度と軌道を与えることが要求される。この全身の協調性を、力学モデルを用いて分析し、運動スキルの評価を可能とする研究方法を確立した。加えて、投球動作の違いによる運動の効率性の差異を評価した。これらの分析方法を通して、最適な投球動作に対する理論的理解を発展させた。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to investigate the mechanical relationship between joint kinematics and kinetics. The research outcomes were summarized as the follows. First, a novel method to investigate a multi-joint kinetic chain was developed. Second, the results and findings were published in the several International journals. Lastly, the study approaches established by this project have being applied to current studies of various sports movements including throwing, striking, and hitting.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：バイオメカニクス スポーツ動作 キネティックチェーン セグメント相互作用 エネルギー伝達 運動効率

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

1. 研究開始当初の背景

野球の投球は極めて高速な動作であり、肩の内旋や肘の伸展など、多くの関節運動を組み合わせて手先を加速する複雑な動作である。投球動作は多関節間の力学的相互作用を含む動作であり、投球動作における関節ストレスがどのような力学的機序から生じるのか、その詳細は明らかとなっていない。従来のバイオメカニクス研究から、熟練した投球は運動連鎖（むち様動作）の特徴を示すことが報告されてきた。しかしながら、運動連鎖の特徴を持つ投球フォームが実際に効率的な投球であるのか理論的に示した研究は少ない。効率的な投球フォームの習得は運動指導の現場において重要視されている。スポーツの指導および臨床の現場において、パフォーマンス向上と障害予防の観点から投球動作のメカニズムを解明する社会的ニーズは高い。しかしながら、投球動作の効率性を、エネルギー論などの観点から力学的に定量化した研究は少なく、その重要性に比較して研究アプローチが不足している。このように、投球のバイオメカニクス研究の進展は投手のパフォーマンス向上と傷害予防に大きく貢献できる可能性を持っている。

2. 研究の目的

本研究は野球の投球メカニズムをバイオメカニクスの観点から理解することを意図し、全身多関節運動間の相互作用を分析する力学モデルの開発（Induced-Acceleration Analysis: IAA）、運動の効率性とスキルの定量的評価、パフォーマンス向上と障害予防に関する知見の獲得の3項目を目的に実施された。

3. 研究の方法

本研究は、1) 多関節運動間のコーディネーションを分析するための全身モデルの開発、2) 開発したモデルを用いた仮説、検証アプローチによる応用研究の2つの

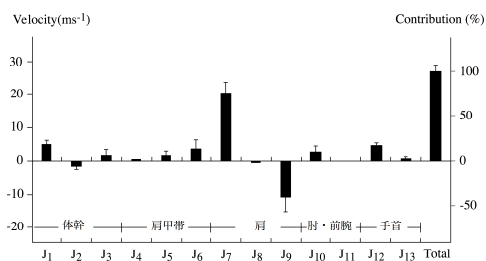
段階を経て実施された。これらの段階的な実施によりスポーツの指導と臨床現場に有用な知見を得ることを目指した。独自に開発した計算プログラム（IAA）は、セグメント間の動力学定期相互作用関係を詳細に分析することが可能なモデルである。これまでの国際的な研究動向において同手法を投球などの多関節運動に施した研究は稀であり、本手法の適用が研究の新奇性を保つ上で欠かせない。IAAは、投球動作中に発生するセグメント端点の速度や関節の運動を発生要因にさかのぼって分析する手法である。この手法を用いて投球中の肩関節に作用する剪断力、手先に生じる速度ベクトル、投球腕セグメントの運動エネルギーを筋力に起因する成分（筋トルク依存成分）と筋力に起因しない遠心力やコリオリ力に起因する成分（運動依存成分）とに分解した。さらに、IAAを拡張することでエネルギー論に踏む込むことが可能である。投球動作中の身体各部に生じる力学的エネルギーの発生要因をIAAを拡張したエネルギー分析モデル（Induced-Power Analysis: IPA）を用いて分析した。IPAを異なる投手の投球に適用し、投球動作パターンの違いに応じた運動効率の違いについて分析した。なお、運動効率は全身の関節で発揮されるパワーの総和に対する手先運動エネルギーの獲得割合と定義した。異なる投球パフォーマンスにともなう運動効率の変化の発生要因を、筋トルク依存成分、運動依存成分の貢献に基づいて考察した。

4. 研究成果

従来の投球のバイオメカニクスではキネマティクス、キネティクス分析が多く、動作中に生じる運動や力の“発生要因”に踏み込んだ研究は稀であった。本研究プロジェクトで開発したIAAおよびIPAは、キネ

マティクスとキネティクスを結びつけたものであり、従来のバイオメカニクス研究から一方踏み込んだ詳細な分析を可能とする。同手法のプログラム開発は本研究アプローチのオリジナリティーを保つ上で重要であり、これが円滑に進んだことで、一定の研究成果を示すことができたと考えている。現時点において、国際誌に2本の論文を掲載することができた。

IAAを用いた研究では、投球腕末端の速度の発生要因について、筋トルクおよび運動依存トルクのそれぞれの貢献度を示した。これらは従来のキネマティクスでは示されてなかったものである。過去の研究では、末端速度の発生に肩の内旋、手首の掌屈、肘の進展などが重要とされてきた。本研究のキネマティクスデータは先行研究と同様の結果を示す一方(図1)、IAAを用いた分析結果によって、これらが異なる発生要因に基づくことを提示している(図2)。すなわち、肩の内旋は筋トルク、手首の掌屈と肘の進展は運動依存トルクに基づいており、関節運動ごとに発生メカニズムが異なることが明らかとなった。このような発生メカニズムにまで遡った研究アプローチは、投球動作の指導において重要である。なぜなら、優れた投球パフォーマンスの特徴を理解するだけでなく、どのように投球するか、あるいはどのように運動指導すべきか、といった観点にまで踏み込むことで、運動者(投手)の主体性に関与することが可能となるからである。バイオメカニクスを客観的分析のための利用にとどめるだけでなく、運動指導にまで応用可能範囲を広げる意味において、IAAは有効な手法と考えられる。



(Notes) 100% indicates the fingertip velocity increased after stride foot contact until ball release (27.7±2.4 m/s).

手先速度に対する各関節の貢献度 (%)

図1 手先速度と各関節(J1-J13)の貢献

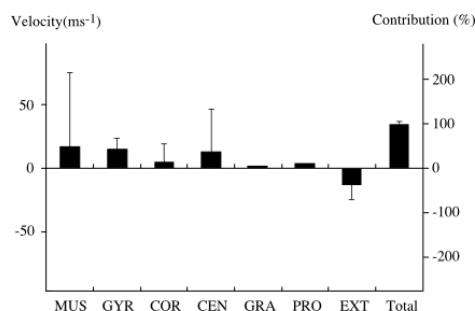


図2 手先速度と動力的依存成分の割合

MUS:筋トルク、GYR:ジャイロ効果、COR:コリオリ力、CEN:遠心力、GRA:重力、PRP:近位端点の加速度、EXT:ボール反力

さらに、IAAを拡張したIPA分析では動作中の運動エネルギー動態の発生要因について示している。IAAの結果と同様、筋トルクだけでなく運動依存トルクの関与が大きいことが示された。これら研究結果は、これまで概念的に捉えられてきた運動の協調性(コーディネーション)に関する理解を進め、定量的データを用いて裏付けたといえる。筋トルクを大きく高めるためには、筋力の強化が必要であるが、運動依存トルクを高めるためには筋力の強化ではなく多関節間の運動協調性が必要となる。関節ごとに発生メカニズムが異なる事実は、投球動作指導のあり方に一考をもたらす結果といえよう。

運動の効率性の概念はパフォーマンス向上と障害予防の観点から重要視されてきた。しかしながら、従来のバイオメカニクス分

野で論じられてきた効率的な投球動作に関する概念は推論に基づくところが大きく、定量的に運動効率を示した研究は少ない現状がある。研究プロジェクトで、運動効率の算出方法が進歩したことで、今後、投球動作の効率計測が進歩する可能性がある。より多くのデータ収集と併せて、新しい知見の集積により、パフォーマンス向上や障害予防のための運動指導の合理化が期待できるだろう。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

Kozo Naito, Tokio Takagi, Hideaki Kubota, Takeo Maruyama, Multi-body dynamic coupling mechanism for generating throwing arm velocity during baseball pitching, Human Movement Science, 査読有, 54, 2017, pp.363-376.
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167945717303998>)

Kozo Naito, Tokio Takagi, Hideaki Kubota, Takeo Maruyama, The effect of multiple segment interaction dynamics on elbow valgus load during baseball Pitching. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology, 査読有, 2017 (Epub ahead of print), DOI:1754337117745239.

〔学会発表〕(計 2 件)

内藤耕三、野球の投球動作におけるスキル評価のための全身多自由度動力学分析-上肢末端を加速する多関節運動のコーディネーション-、第 66 回日本体育学会(国士舘大学世田谷キャンパス)、2015 年 8 月 25 日

内藤耕三、野球の投球におけるダイナミックカップリング-投球腕の速度を生み出すために身体各部の運動をいかに組み合わせるか-、第 4 回日本野球科学研究会(東京大学駒場キャンパス)、2016 年 12 月 3 日

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者 内藤 耕三
(Naito Kozo)
創価大学・教育学部・准教授
研究者番号：10734824

(2)研究分担者 なし
()

研究者番号：

(3)連携研究者 なし
()

研究者番号：

(4)研究協力者 なし
()