

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 3 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2014

課題番号：23500723

研究課題名(和文) 末端を加速するスポーツ動作における力学的エネルギー利用の有効性に関する研究

研究課題名(英文) A study on the effectiveness of utilizing mechanical energy in sport motions that aim at maximizing end-point velocity

研究代表者

飯野 要一 (Iino, Yoichi)

東京大学・総合文化研究科・助教

研究者番号：50345063

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、野球の投球動作と卓球のフォアハンドストロークについて、力学的エネルギー利用の観点から効率的な動きの特徴を明らかにすることを目的とした。関節トルクパワーをもとに算出した力学的エネルギー消費と全身の運動エネルギーに対する末端の運動エネルギーの比に着目した。全身の位置エネルギーを利用できる投球ではその利用による運動エネルギーの生成が、末端の位置エネルギーを増加させる必要のあるフォアハンドでは体幹の位置エネルギーの増加させすぎないことが効率性の高い動きであることが示唆された。また、投球においては体幹上部の運動エネルギーが投球腕に伝わる割合が末端へのエネルギーの集中度を左右した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to elucidate the characteristics of efficient motions in terms of utilization of mechanical energy in baseball throwing and table tennis forehand drives. The mechanical energy expenditure calculated using joint torque power and the ratio of the end-point kinetic energy to the kinetic energy of the whole body were determined. It was suggested that in baseball throwing in which the gravitational potential energy is available, the degree of its utilization affects the efficiency in terms of mechanical energy expenditure and in table tennis forehand in which the potential energy is required to increase, increasing potential energy of the trunk excessively was thought to be less efficient. In baseball throwing, the reduction of upper trunk kinetic energy affects the degree to which the kinetic energy was concentrated on the ball kinetic energy at ball release.

研究分野：スポーツバイオメカニクス

キーワード：効率的動作 打動作 投動作 力学的エネルギー

1. 研究開始当初の背景

スポーツにおけるパフォーマンスの向上のためには、むだのない効率的動きを獲得することが良いと考えられる。長距離走のような持久的運動では特にその重要性が指摘され、消費された生理的エネルギーに対する力学的仕事の比である力学的効率を指標として運動の効率性が評価されてきた。しかし、この力学的効率は、生理的エネルギーを力学的エネルギーに変換する過程における効率性を含んだ評価であり、動きそのものの質を表す指標とはならない。動きそのものの質を評価する指標として、生み出された力学的エネルギーがどの程度パフォーマンスあるいは運動課題に有効な力学的エネルギーに変換されたかを評価する力学的エネルギー利用の「有効性指数」という指標が提案されている(阿江と藤井、筑波大学体育学紀要19:127-137, 1996)。しかし、野球の投動作やテニスのストローク動作のように末端を加速して速度を大きくすることが目的である動作では、この指標が適切であるとは言い切れない。例えば、前腕を固定させ手首だけでラケットを振り、そのとき手首でなされた仕事がすべて手とラケットの運動エネルギーとなる場合、手とラケットの運動エネルギーを有効な力学的エネルギーと考えると、有効性指数は100%となる。しかし、手首だけを使ったスイングが、ラケットの速度を大きくすることを目的とした場合において、有効でないことは明白だからである。

2. 研究の目的

末端を加速しその速度を大きくすることを目的とする運動において動きの効率性を評価する指標として、力学的エネルギー消費(Mechanical Energy Expenditure)と全身の運動エネルギーに対する末端部の運動エネルギーの割合に着目した。本研究で、力学的エネルギー消費は関節トルクパワーの絶対値を積分値とした。これは、関節トルクが負のパワーを発揮しているときも正のパワーを発揮しているときと同様にエネルギーを消費していると仮定する。この力学的エネルギー消費は、生理的エネルギーが力学的エネルギーに変換される過程は考慮していないため、力学的エネルギー消費に対する末端部の運動エネルギーの比は、末端部の速度を最大化する動きの質を評価する指標となりうる。また、全身の運動エネルギーに対する末端の運動エネルギーの比も、同じ末端速度試行を評価する場合には、有効な指標となるかもしれない。本研究は、野球の投球と卓球のフォアハンドストロークを対象として、力学的エネルギー消費から見た効率性と運動エネルギーの末端部の割合を算出し、これらの指標と関連するパラメータを求めることにより、効率的な動きの特徴を明らかにすることを目的として行った。

3. 研究の方法

(1) 実験 1

被験者

被験者は、男子大学野球選手 19 名であった。平均年齢 21.3 ± 1.4 歳、身長 1.76 ± 0.05 m、体重 73.8 ± 6.9 kg、野球経験 12 ± 2 年であり、東都大学リーグ 1 部の選手 9 名を含む上・中級者であった。本研究における実験は、東京大学の倫理委員会の承認を受け、すべての被験者は、書面による実験の説明を受けた上で、書面によって実験に参加する同意を示した。

実験課題

被験者に 3m 前方にある立位での眼の高さにある的に向かって野球のボールを全力で投球するよう指示した。

データ収集と分析

投球動作をモーションキャプチャーシステムとフォースプレートを用いて分析した。全身の動きと床反力データから、身体セグメントの運動エネルギー、位置エネルギー、また逆動力学法を用いて全身の関節力、関節トルクを算出した。さらに、関節トルクによる仕事率の絶対値を時間積分し、力学的エネルギー消費を算出した。分析区間は、前(踏み込み)脚の膝が最も高くなった位置からボールリリース時までとした。ストライド期(前脚着地まで)、アームコッキング期(前脚着地から肩関節最大外旋位まで)、加速期(肩最大外旋位からリリースまで)に分けて各パラメータを算出した。

力学的エネルギー消費に対するリリース時のボールの運動エネルギーの割合、全身の運動エネルギーに対する末端の運動エネルギーの割合を算出した。仕事やエネルギーに関連するパラメータは、被験者の体重の違いを考慮して、体重で規格化した。

(2) 実験 2

被験者

被験者は、男子大学卓球選手 20 名であった。平均年齢 20.9 ± 1.2 歳、身長 1.71 ± 0.06 m、体重 62.9 ± 5.9 kg、経験 11 ± 2 年であり、関東学生リーグ 1 部の選手 12 名、3 部選手 8 名の上・中級者であった。実験 1 と同様に、倫理委員会の承認を受け、被験者は書面によって実験に参加する同意を示した。

実験課題

被験者にボールマシンから出された下回転ボールに対して全力でフォアハンドドライブで返球するよう指示した。

データ収集と分析

すべて裏ソフトグリップを使用したシェークハンドラケットを使用した。モーションキャプチャーシステムとフォースプレートを用いて、床反力データとマーカーの 3 次元座標を計測した。分析区間は全身の運動エネルギーが最小になる時刻からボールインパクトまでとして、実験 1 と同様に分析した。

4. 研究成果

(1) 野球の投球

野球の投球においては、前脚の膝が最高位置に達してからボールのリリースまでに、全身の位置エネルギーは $3.21 \pm 0.46 \text{ J/kg}$ 減少した。一方、全身の運動エネルギーは、 $4.30 \pm 0.46 \text{ J/kg}$ 増加した。従ってこの間、 1.09 J/kg の力学的エネルギーが増えたことを示す。全身の関節トルクの正の仕事の総和は $7.99 \pm 0.99 \text{ J/kg}$ 、負の仕事の総和は $-6.71 \pm 0.89 \text{ J/kg}$ であった。これは、正味の仕事の総和が 1.28 J/kg であったことを意味する。力学的エネルギーの変化 1.09 J/kg と正味の仕事 1.28 J/kg との差は、身体の剛体モデル化や測定誤差などの要因によるものと考えられる。本研究の結果は、この程度の誤差を含んでいるものとして解釈する必要がある。

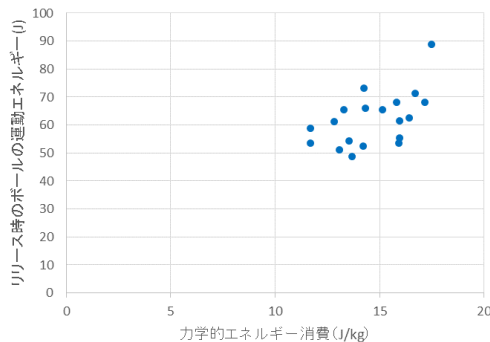


図 1. 体重あたりの全身の力学的エネルギー消費とリリース時のボールの運動エネルギーの関係。

全身の力学的エネルギー消費とリリース時のボールの運動エネルギーには正の相関 ($r = 0.545$) があった (図 1)。力学的エネルギー消費あたりのボールの運動エネルギーすなわち力学的エネルギー消費から見た効率には個人差 ($3.35 \sim 5.26$) があった。リリース時のボールの運動エネルギーで規格化したストライド期の後ろ脚股関節と膝関節の伸展トルクによる力学的エネルギー消費は、全身の力学的エネルギー消費に対するボールの運動エネルギーと有意な負の相関 ($r = -0.782$) があった (図 2)。

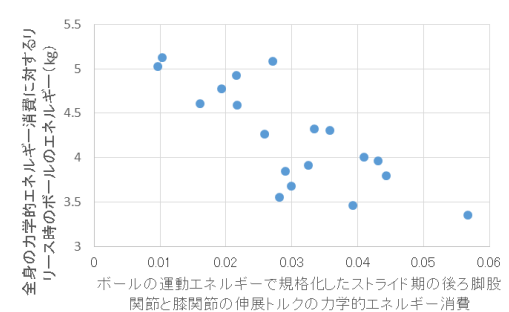


図 2. ストライド期の後ろ脚股関節と膝関節伸展トルクの力学的エネルギー消費と全身の力学的エネルギー消費に対するリリース時のボールの運動エネルギーの割合の関係。

すなわち、全身の力学的エネルギー消費に対するリリース時のボールの運動エネルギー

の割合が高いほど、ストライド期の後脚股関節と膝関節の力学的エネルギー消費が小さいことがわかった。しかし、コッキング期の後ろ脚股関節外転トルク、前脚股関節伸展トルク、肩関節内旋トルク、加速期の肩関節内旋トルクの力学的エネルギー消費と全身の力学的エネルギー消費に対するリリース時のボールの運動エネルギーの割合とに有意な相関は見られなかった。このことから、ストライド期の後ろ脚の過度の屈伸動作は、力学的エネルギー利用の観点から効率が悪い可能性が示唆された。

一方、ボールリリース時の全身の運動エネルギーに対するボールの運動エネルギーの割合は、体幹上部の運動エネルギーのピークからリリースまでの減少率と有意な相関があり、体幹上部の運動エネルギーを投球腕に伝えることの効率性が効率の違いを生み出している可能性が示唆された。

(2) 卓球のフォアハンド

卓球のフォアハンドにおいては、バックスイングで全身の力学的エネルギーが最小になる時刻からボールインパクトまでに、全身の運動エネルギーは $2.21 \pm 0.34 \text{ J/kg}$ 増加し、全身の位置エネルギーは $1.11 \pm 0.39 \text{ J/kg}$ 増加した。したがって、力学的エネルギーは 3.34 J/kg 増加したことを意味する。この間、全身の関節トルクの正の仕事の総和は $4.397 \pm 0.60 \text{ J/kg}$ 、負の仕事の総和は $-1.00 \pm 0.27 \text{ J/kg}$ であり、正味 3.40 J/kg の仕事なされた。

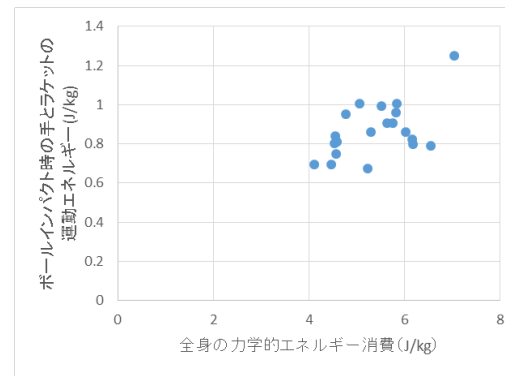


図 3. 体重あたりの全身の力学的エネルギー消費とボールインパクト時の手とラケットの運動エネルギーの関係。

全身の力学的エネルギー消費とインパクト時の手とラケットの運動エネルギーには正の相関 ($r = 0.545$) があった (図 3)。力学的エネルギー消費あたりの手とラケットの運動エネルギーすなわち力学的エネルギー消費から見た効率には個人差 ($0.12 \sim 0.20$) があった。インパクト時の手とラケットの運動エネルギーで規格化したフォワードスイング期の体幹上部の位置エネルギーの変化は、力学的エネルギー消費から見た効率と有意な負の相関 ($r = -0.541$) があった (図 4)。

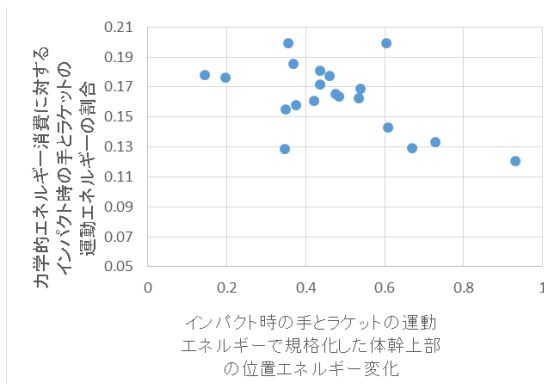


図 4. フォワードスイング期の体幹上部の位置エネルギーの変化と全身の力学的エネルギー消費に対するインパクト時の手とラケットの運動エネルギーの割合の関係。

全身の力学的エネルギー消費に対するインパクト時の手とラケットの運動エネルギーの割合が高いほど、フォワードスイング期の体幹上部の位置エネルギーの変化が小さいことがわかった。また、フォワードスイング期の後脚股関節伸展トルクの仕事は、力学的エネルギー消費から見た効率と有意な負の相関($r=-0.581$)があった(図 5)。

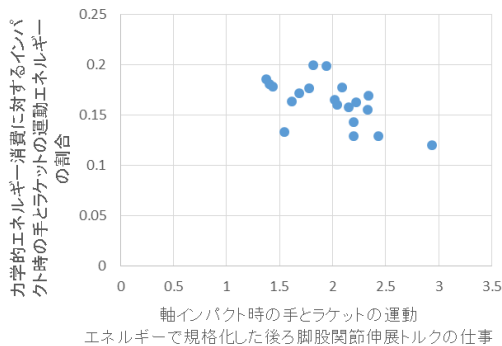


図 5. フォワードスイング期の後脚股関節伸展トルクの仕事と全身の力学的エネルギー消費に対するインパクト時の手とラケットの運動エネルギーの割合の関係。

しかし、フォワードスイング期の体幹後屈トルク、体幹回旋トルク、肩関節内転トルクの仕事と全身の力学的エネルギー消費に対するインパクト時の手とラケットの運動エネルギーの割合とに有意な相関は見られなかった。このことは、卓球のフォアハンドドライブにおいて、股関節の伸展トルクを使って体幹の位置エネルギーを大きく増加させることは効率の悪い動きであることを示唆した。

また、インパクト時の全身の運動エネルギーに対するラケットと手の運動エネルギーの割合は、体幹の運動エネルギーの減少率と有意な相関は見られなかった。

(3)まとめ

力学的エネルギー消費から見た効率性の観点からは、位置エネルギーが利用可能な打球では位置エネルギーを運動エネルギーに効果的に変換すること、末端の位置エネルギーを増加させる必要のある卓球のフォアハ

ンドドライブでは体幹の位置エネルギーを過度に増加させないことが良い動きであると示唆された。また、力学的エネルギー消費から見た効率性の指標は、位置エネルギーの増減の大きい動作ではその増減に関連する効率性に影響を受けるために、セグメント間のエネルギー移動の効率性を評価しにくい可能性がある。また、打球では運動エネルギーを末端に集中させていることが、体幹の運動エネルギーを末端により効果的に伝えていることと関連があることが示唆された。

本研究の手法では、腱等の弾性エネルギーの利用を評価できないなど、まだ多くの課題が残されているといえる。

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)

〔学会発表〕(計 3 件)

飯野要一 卓球のフォアハンドドライブにおける角運動量とラケットスピードの関係 第 23 回日本バイオメカニクス学会、2014/9/15、国立スポーツ科学センター(東京都・北区)

飯野要一 野球の投球動作における力学的エネルギー利用の有効性 日本体育学会 第 64 回大会、2013/8/28、立命館大学(滋賀県・草津市)

飯野要一、小嶋武次 卓球のフォアハンドドライブにおける力学的エネルギーの生成と移動 日本体育学会 第 63 回大会、2012/8/22、東海大学(神奈川県・平塚市)

6. 研究組織

(1)研究代表者

飯野 要一(IINO, Yoichi)

東京大学・大学院総合文化研究科・助教

研究者番号：50345063