

# 両手砲丸投げ運動の特性

瓜田吉久\*, 金高宏文\*, 松下雅雄\*, 平田文夫\*

## Characteristic of both hands throwing a shot

Yoshihisa URITA\*, Hirofumi KINTAKA\*, Masao MATSUSHITA\*, Fumio HIRATA\*

### Abstract

The purposes of this study were to clarify the mechanical power and works of each of the upper and lower limb joints in both hands when throwing a shot, and to identify the functions of the upper and lower limb muscles and their contributions to the throwing.

The subjects were three male throwers who were college student. They performed forward throwing (FT) and backward throwing (BT) of a shot on a force platform, and were recorded with a high speed video camera. A link segment modelling was used to compute joints torques of the upper and lower limb. Mechanical absolute, positive, and negative works done by the muscles were calculated by integrating mechanical power (product of joint torque and joint angular velocity) during each of two types of throwing (FT and BT).

The major functions and the contributions of the upper and lower limb muscles could be summarized as follows;

- 1) The mechanical powers exerted by the lower limb muscles were larger than the upper limb muscles.
- 2) It was showed that the maximum mechanical powers of the muscles about the ankle joint in FT was twice as large as in BT.
- 3) The muscles about the knee joint exerted mechanical powers in the latter half of throwing in both FT and BT.
- 4) The mechanical power exerted by the muscles about the hip joint was the largest of all joints in both FT and BT.
- 5) There was a difference between FT and BT in the appearance of maximum mechanical power in the muscles about the lower limb joints.
- 6) The muscle work in FT was larger than BT, and the muscles about the hip joint contributed greatly to the total work of both FT and BT.

---

\*鹿屋体育大学 National Institute of Fitness and Sports in Kanoya, Kagoshima, Japan.

**KEY WORDS:** *Both Hands Throwing, Mechanical Power, Muscle Work, Forward Throwing, Backward Throwing*

## 緒 言

タイムや距離によってパフォーマンスを表示できるスポーツ種目において、パフォーマンスを客観的に評価、判定できるようなテスト種目を用意することは合理的なトレーニングを実践して行く上で必要不可欠なことである。このような観点から、主に東欧・ソビエト圏を中心に、専門種目の適性（タレント発掘・選手選抜の指標）やトレーニングの状況（トレーニングの管理、パフォーマンスの予測・診断）を簡便に評価、判定できる種々のパフォーマンステスト（いわゆる“コントロールテスト”<sup>7),8),9)</sup>が実施されている。中でも、両手砲丸投げ運動は、スピード・パワー・筋力系に大きく依存する陸上競技の投てき種目や跳躍種目の競技達成度合と相関が高く、非常に重要なテスト種目といわれている。

しかし、これまでのところ、両手砲丸投げ運動は陸上競技に対する適性やトレーニング状況の評価・判定に際し、多用されるテスト種目でありながら、その運動特性について十分な吟味が行われていなかったようである。

そこで本研究では、両手砲丸投げ運動の前投及び後投を取り上げ、上肢及び下肢の各関節まわりの筋パワー、筋トルク、力学的仕事を手掛かりとし、その運動特性について生力学的観点から明らかにすることを目的とした。

## 方 法

被験者は、3名の陸上競技投てき選手（身長：174.4 ± 7.5cm, 体重：75.8 ± 2.4kg, 年齢：19.6 ± 0.5歳, 飛距離：〔前投〕13.25 ± 0.18m, 〔後投〕14.56 ± 0.34m）を用いた。これら被験者の身体特性を表1に示した。

### 1. 実験試技

被験者は、高校男子砲丸（5.443kg）を両手で保持し、頭上まで拳上した後、腰関節最大屈曲位（以下、HF）になるまで振り降ろし、前投の場合は、身体の前方向に、また、後投の場合には、頭上越しに身体の後方向に放り投げる、2種類の運動をそれぞれ2試技ずつ行った。実験の前には、十分な練習を行い、実験セッションでの試技間の休息は少なくとも2分間以上とり、疲労の影響がでないようにした。

### 2. 実験

被験者の両手砲丸投げ運動のフォームを側方（前投の場合は右側、後投の場合は左側に位置）25m地点から、ハイスピードビデオカメラ（Nac社製HSV-200）により200コマ/秒で撮影した。また、撮影と同時に、地面反力のデーターを得るため、Force Platform（AMTI OR6-6-1型）に前投の場合は右足（母指球）、後投の場合には左足（母指球）をのせて、両手砲丸投げ運動を実施させた。（実験機器配置の概略を図1に示す）

### 3. データーの分析及び処理

地面反力のデーター（前後、左右、鉛直方向の力および力の作用点）は、サンプリング周波数500 HzでA/D変換した後、フロッピーディスクに格納した。

Kinematicなデーターを得るために、VTRの画

表1. 被験者の身体的特性と両手砲丸投前投および後投の飛距離

被験者	年齢 (yr)	性別	身長 (cm)	体重 (kg)	前投 (m)	後投 (m)
S. M	20	男	181.0	77.5	13.11	14.90
T. K	20	男	164.0	72.5	13.50	14.67
N. T	19	男	178.3	77.5	13.15	14.10
$\bar{X}$	19.6	—	174.4	75.8	13.25	14.56
S D	0.5	—	7.5	2.4	0.18	0.34

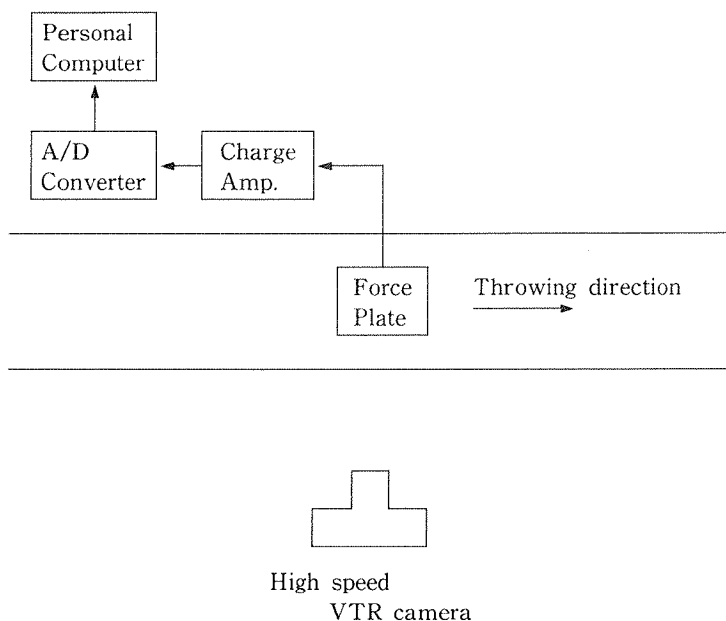


図1. 実験機器の配置

像をパーソナルコンピュータのモニター上にスーパーインポーズし、コマ毎に13個の分析点(図2参照)の座標をマウスにより読み取った。分析は、両手で保持した砲丸が被験者の肩の鉛直線上(肩の下)にある点から、投動作により砲丸が手からリリースされたポイント(以下、RP)まで行ったが、後の平滑化や微分演算を考慮して、分析範囲の前後10コマを加えた。ビデオに写し込んだリファレンスマークをもとに、各点の座標を実長に換算した後、デジタルフィルターにより8Hzで平滑化した。

以上によって得られた空間座標データと地面反力のデータは、足(前投は右足、後投は左足)の離地(以下、TO)を同期点とし、図3に示した下肢平面リンクモデルに入力した後、上肢及び下肢各関節まわりの筋群(手、肘、肩、足、膝、腰)の筋トルク、角速度、筋パワー、力学的仕事を求めた。力学的仕事は、符号に着目して、正の仕事、負の仕事に分け、2つの絶対値の和を絶対仕事とした。

なお、これらの計算に必要な各部分の質量比、重心位置、慣性モーメントは、横井ら<sup>11)</sup>の方法によって求めたものを用いた。

## 結 果

### 1. 上肢及び下肢各関節まわりの筋トルク、角速度、筋パワーの経時的变化

図4は前投、図5は後投における上下肢各関節(手、肘、肩、腰、膝、足)の筋トルクについて、3名の被験者の平均を経時的变化で示したものである。時間軸はHF、TO、RPを基準に規格化されている。これらの図において、上肢は、正のトルクが屈筋群、負のトルクは伸筋群、また下肢では、正のトルクが伸筋群(ただし、足関節は足底屈筋群)、負のトルクは屈筋群が優位であることを示している。さらに、最上段のスティックピクチャーは、前投及び後投の動作を表している。

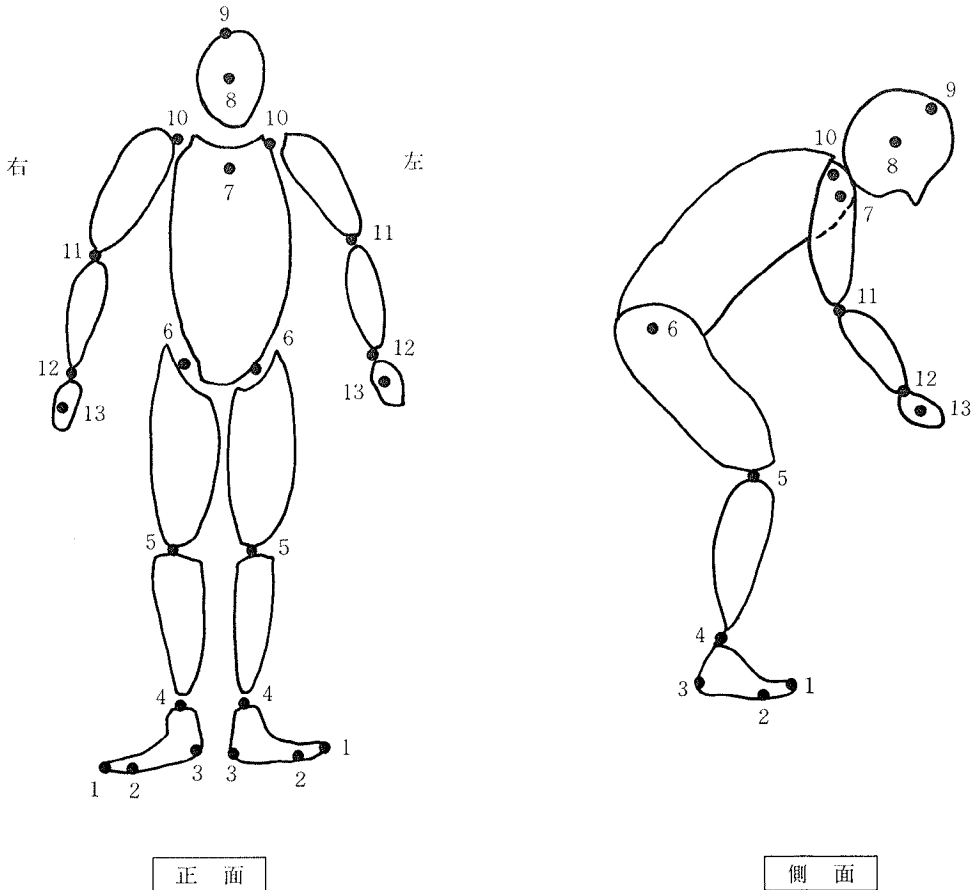
ここで、上肢及び下肢の筋トルクは、前投・後投ともに同様の傾向を示した。さらに下肢の筋トルクについてのみ、前投と後投を比較すると、前投の腰関節は、HFから若干高い伸筋群優位の筋トルクを示し、膝関節では、屈筋群優位の筋トルクを示していた。

図6は前投、図7は後投における各関節(手、肘、肩、腰、膝、足)の角速度について、3名の被験者の平均を経時的变化で示したものであり、

時間軸は先と同様の基準で規格化されている。これらの図において、上肢は、正の角速度が屈筋群、負の角速度は伸筋群優位を表し、また下肢では、正の角速度が伸筋群（ただし、足関節は足底屈筋群）、負の角速度は屈筋群が優位であることを示している。さらに、最上段のスティックピクチャー

は、先と同様の動作を表している。

ここで、角速度についてみると、上肢の各関節は、前投及び後投とも同様の傾向を示したが、下肢の各関節では、前投が後投に比較し、TOの前に角速度の急激な低下が認められた。さらに、膝関節と足関節においては、HFとTO間で急激な



- |           |          |            |
|-----------|----------|------------|
| 1. つま先    | 5. 膝関節中心 | 9. 頭頂      |
| 2. 母指球    | 6. 大転子   | 10. 肩峰     |
| 3. 踵最突起点  | 7. 胸骨上縁  | 11. 肘関節中心  |
| 4. 足首関節中心 | 8. 耳珠点   | 12. 手首関節中心 |
|           |          | 13. 中指根部   |

注：(1) 点6は正面の場合大腿と骨盤を結ぶ関節の中心  
 (2) 点7, 8は正面と側面で位置が異なる  
 (3) 分析の際、前投は右側面、後投は左側面から行う

図2. 全身の分析点 (13点)

伸筋群優位の角速度の上昇がみられた。

図8は前投, 図9は後投における各関節(手, 肘, 肩, 腰, 膝, 足)の筋パワーについて, 3名の被験者の平均を経時的変化で示したものであり, 時間軸は先と同様の基準で規格化している。これらの図において, 正の筋パワーは concentric な収縮, 負の筋パワーは eccentric な収縮を示している。さらに, 最上段のスティックピクチャーは, 先と同様の動作を表している。

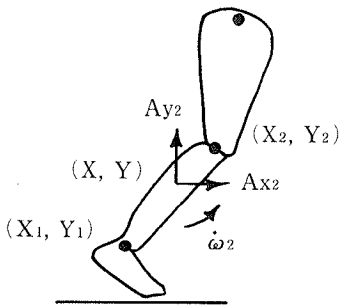
ここで, 筋パワーについてみると, 上肢の各関節は, 前投・後投ともに同様の傾向を示した。しかし, 下肢の各関節では, 各関節の最大筋パワー出現に時間的ずれが認められた。つまり, 前投は,

腰関節→膝関節→足関節, 後投は, 腰関節→足関節→膝関節の順で最大筋パワーが出現していた。

つぎに, 下肢の各関節について詳しくみると, 腰関節では, 前投が後投に比べ, TO 前に筋パワーの減少が認められた。また前投の足関節は, HF からしばらくの間 eccentric な収縮が認められたが, その後, 投動作の後半からは, 後投に比べ, 2倍強の concentric な収縮を示していた。

さらに, 各関節の最大筋パワー値の大きさについて前投及び後投でみると, 腰>膝>足>肩>肘>手の順で大きな値を示していた。これを, 上肢のみ及び下肢のみでそれぞれ合計すると, 下肢の方が大きな値を示していた。

筋トルク



$$F_{x2} = -m_2 A_{x2} + F_{x1}$$

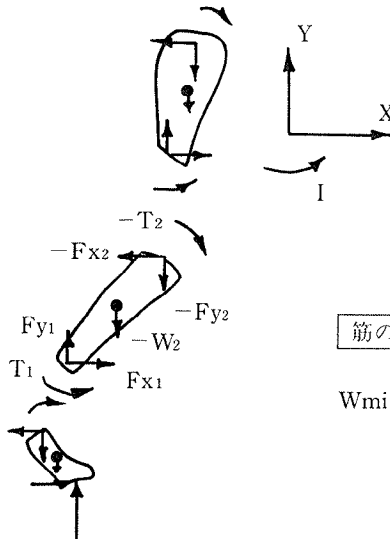
$$F_{y2} = -m_2 A_{y2} + F_{y1} - W_2$$

$$T_2 = I_2 \dot{\omega} + T_1 + (X_1 - X) F_{y1} - (Y_1 - Y) F_{x1} - (X_2 - X) F_{y2} + (Y_2 - Y) F_{x2}$$

ここで

- ( $X_i, Y_i$ ) ; 身体部分末端及び部分重心の座標
- ( $A_x, A_y$ ) ; 身体部分重心の加速度
- $\dot{\omega}$  ; 身体部分の角加速度
- $W$  ; 身体部分の重量
- $m$  ; 身体部分の質量
- $T$  ; 筋トルク (筋モーメント)
- $I$  ; 慣性モーメント

筋パワー



$$P_{mi} = T_i \cdot A_{vi}$$

ここで

- $P_m$  ; (機械的) 筋パワー
- $A_v$  ; 関節角速度

筋の仕事

$$W_{mi} = \int_{t_1}^{t_2} P_{mi} dt$$

ここで

- $W_m$  ; 筋によってなされた機械の仕事

図3. 平面リンクモデル

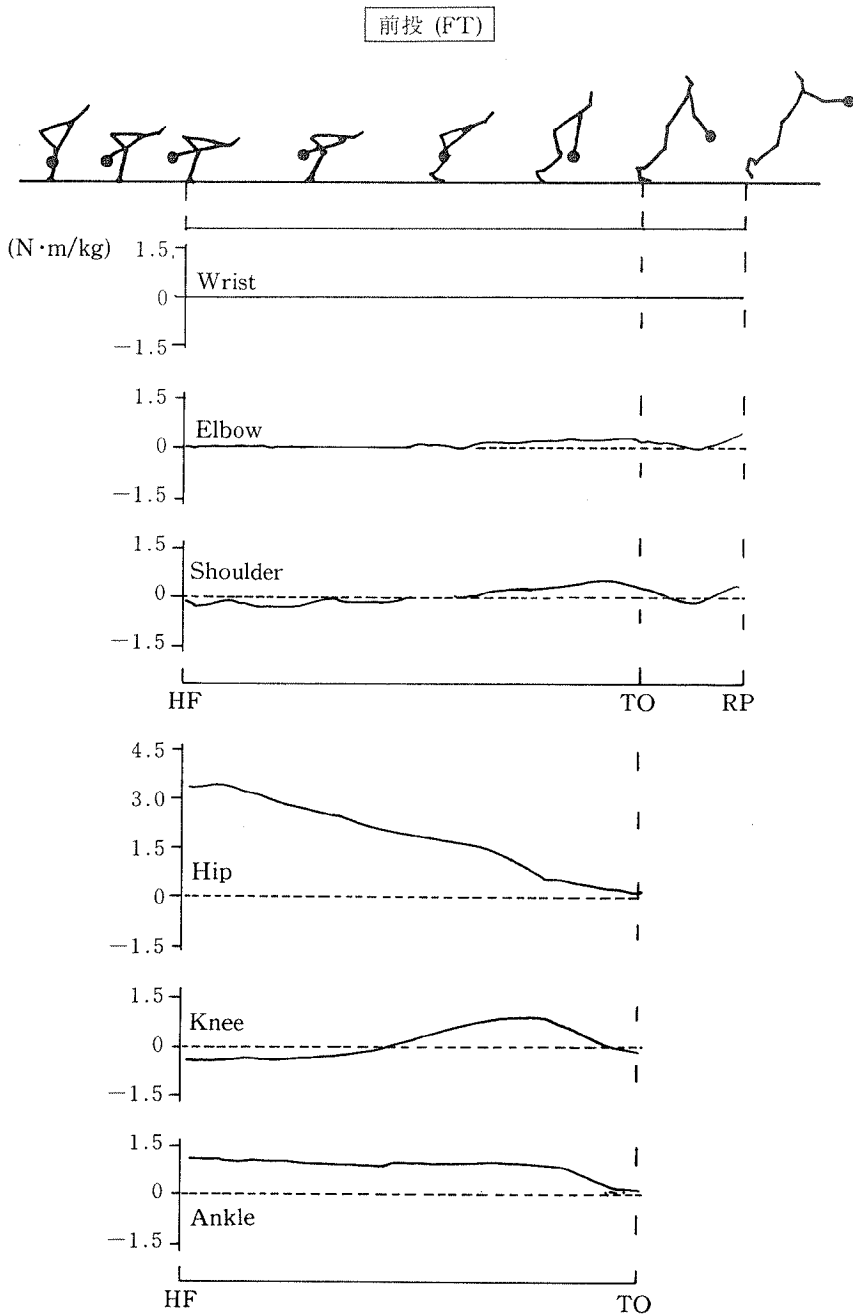


図4. 両手砲丸投前投における各関節の筋トルクの経時変化  
 (HF: 腰関節最大屈曲時, TO: 離地時, RP: リリースポイント)  
 (《上肢: (+)屈筋群, (-)伸筋群》, 《下肢: (+)伸筋群, (-)屈筋群》)

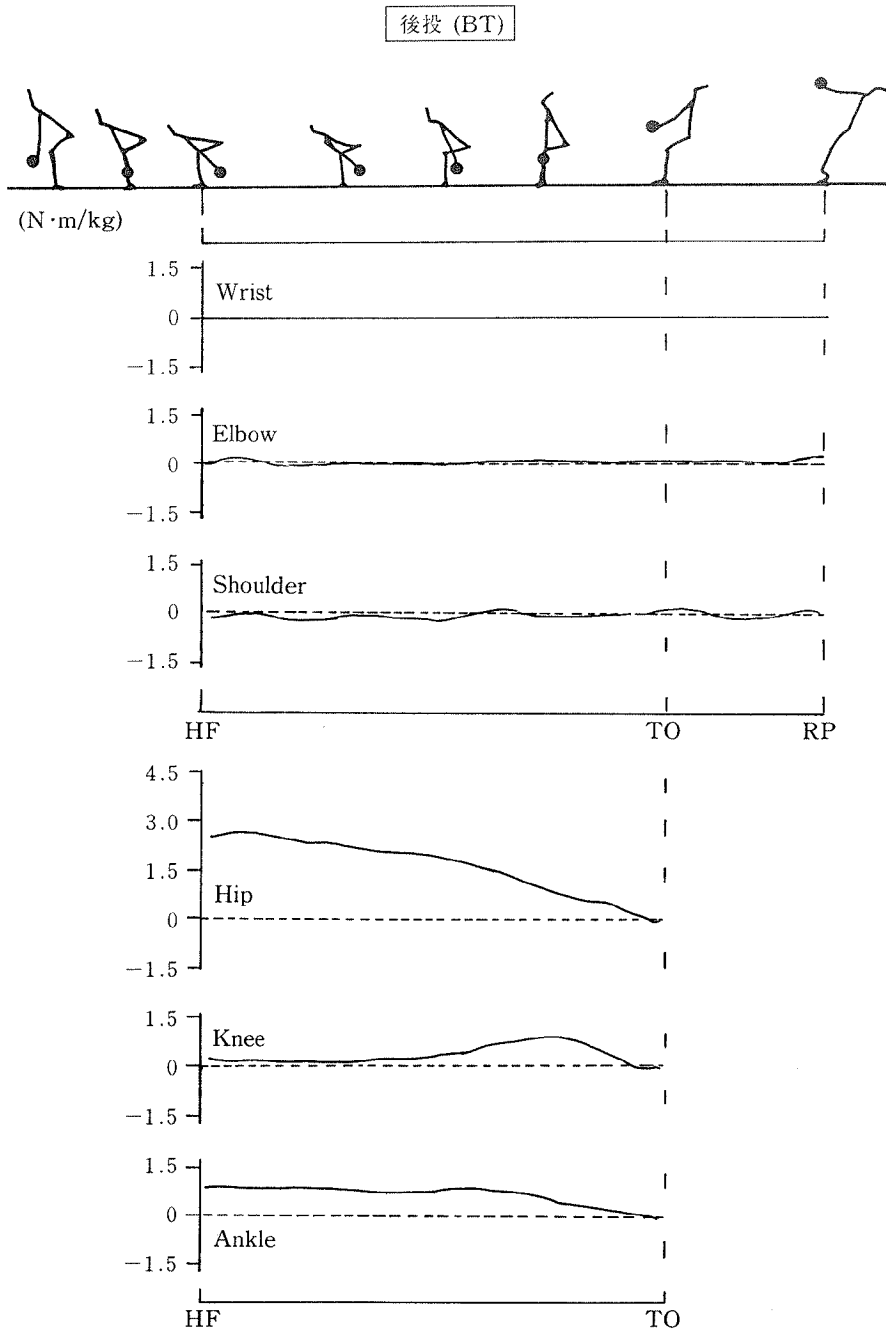


図5. 両手砲丸投後投における各関節の筋トルクの経時的变化  
 (HF: 腰関節最大屈曲時, TO: 離地時, RP: リリースポイント)  
 (《上肢: (+)屈筋群, (-)伸筋群》, 《下肢: (+)伸筋群, (-)屈筋群》)

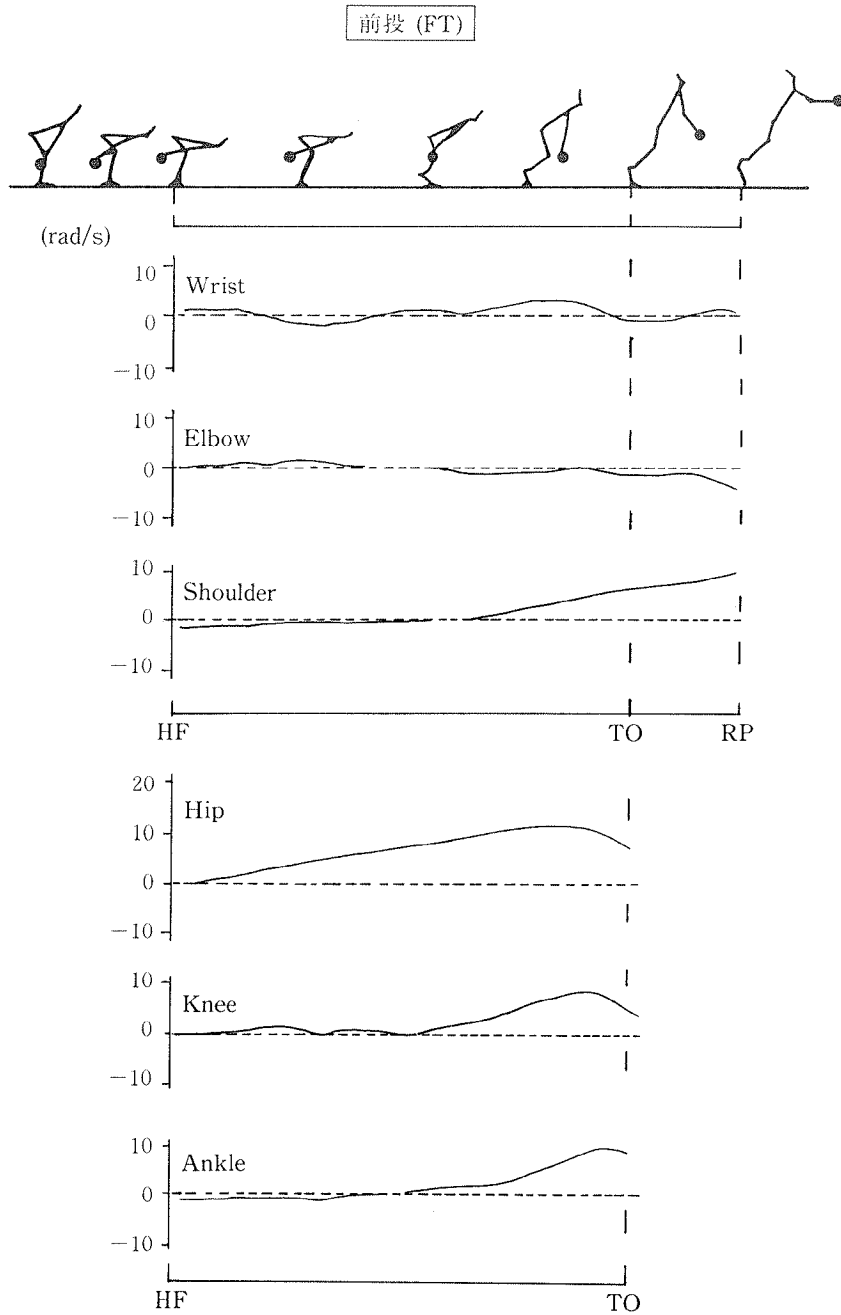


図6. 両手砲丸投前投における各関節の角速度の経時的変化  
 (HF: 腰関節最大屈曲時, TO: 離地時, RP: リリースポイント)  
 (《上肢: (+)屈筋群, (-)伸筋群》, 《下肢: (+)伸筋群, (-)屈筋群》)



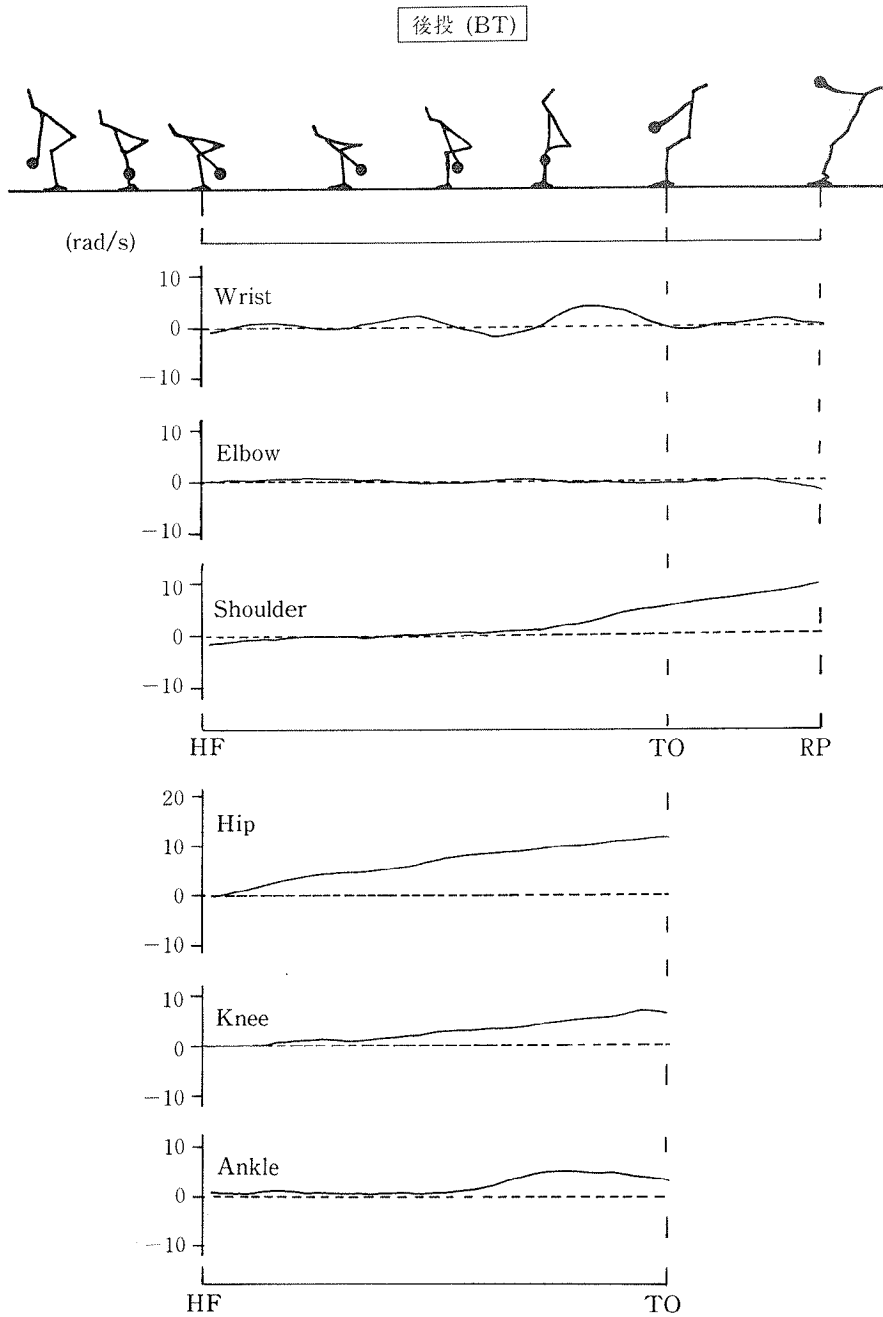


図7. 両手砲丸投げ後投における各関節の角速度の経時変化  
 (HF: 腰関節最大屈曲時, TO: 離地時, RP: リリースポイント)  
 (《上肢:(+)屈筋群, (-)伸筋群》, 《下肢:(+)伸筋群, (-)屈筋群》)

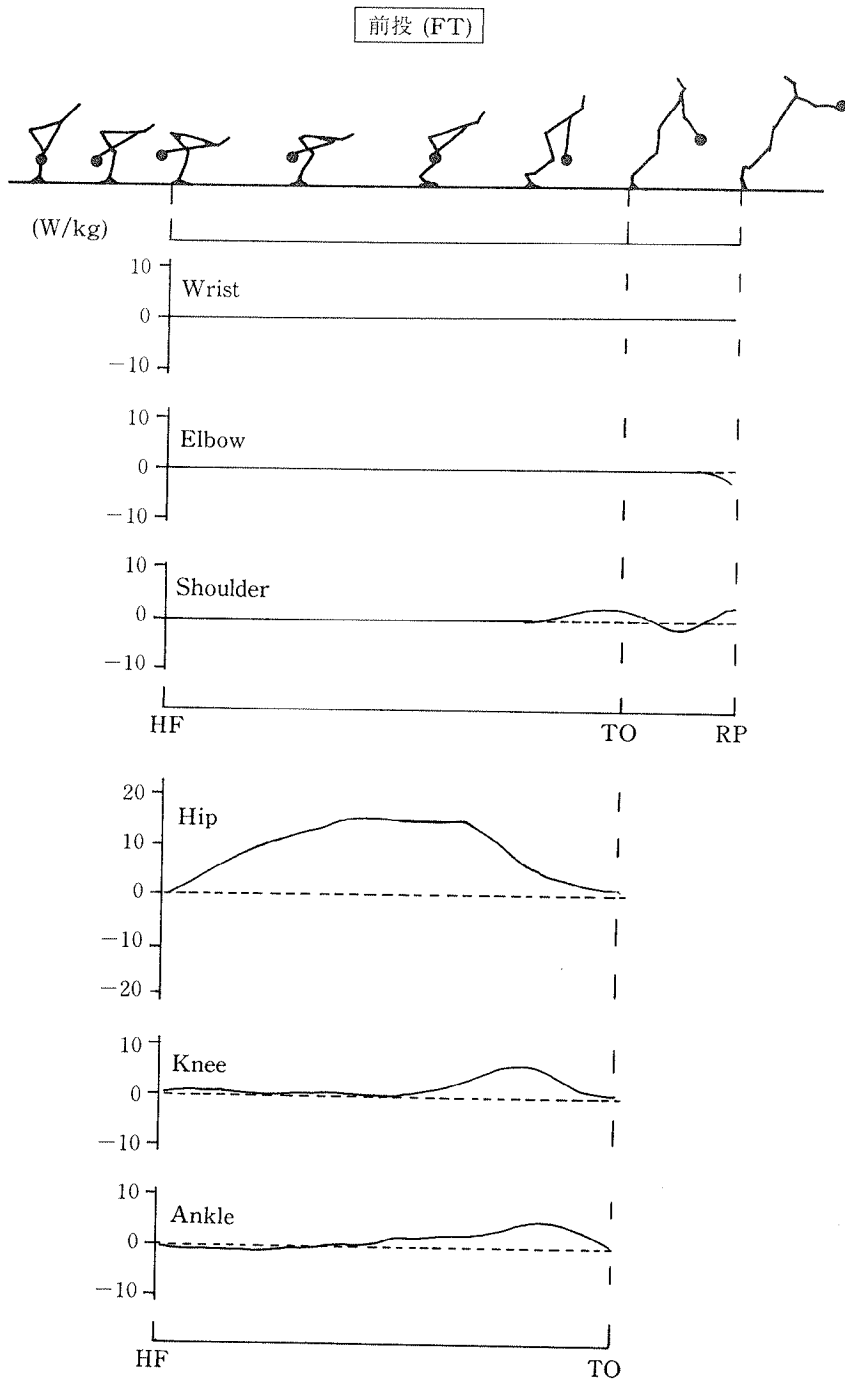


図8. 両手砲丸投前投における各関節の筋パワーの経時的変化  
 (HF: 腰関節最大屈曲時, TO: 離地時, RP: リリースポイント)  
 (+: CONCENTRIC CONTRACTION, -: ECCENTRIC CONTRACTION)

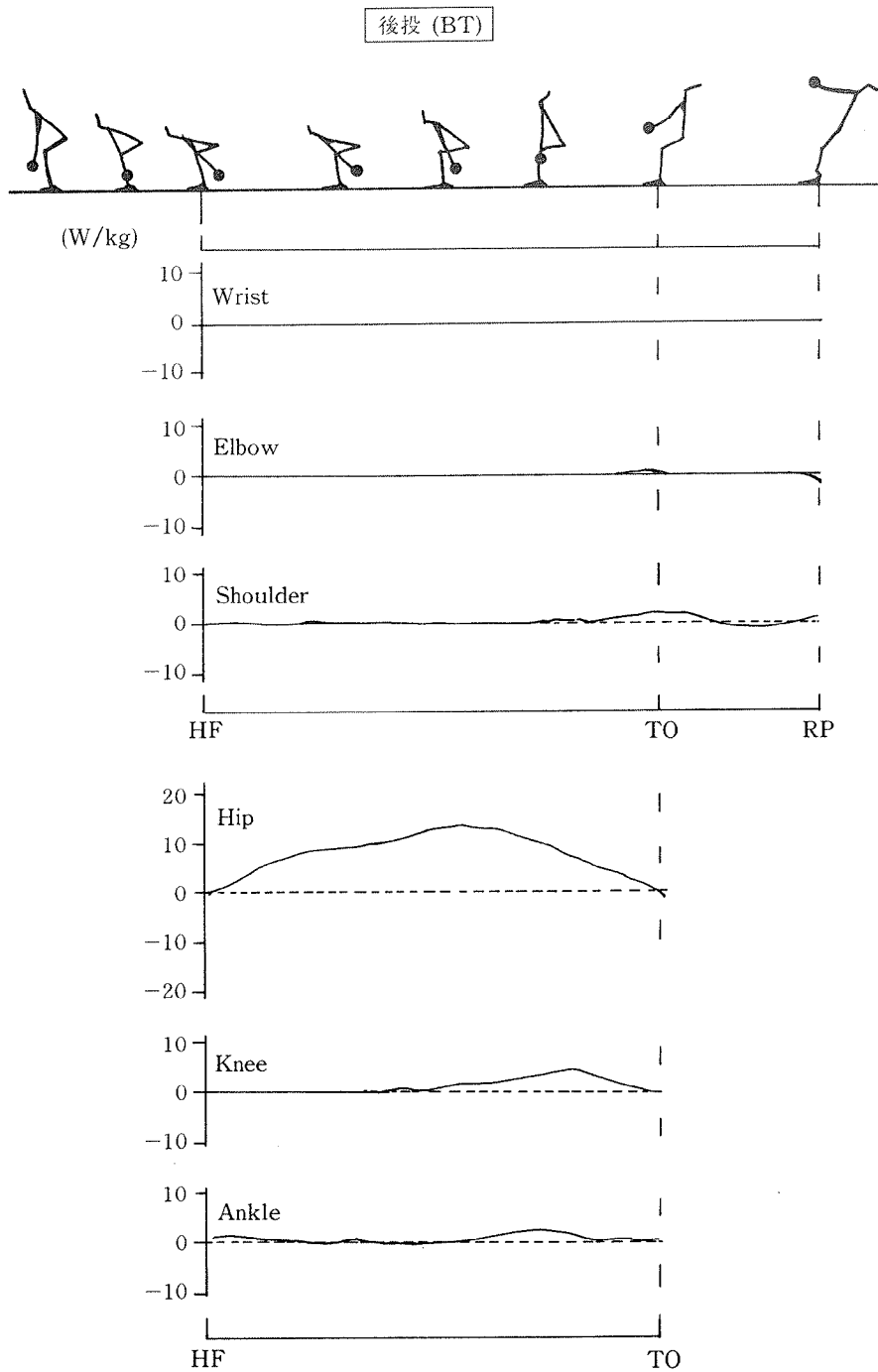


図9. 両手砲丸投げ後投における各関節の筋パワーの経時的变化  
 (HF: 腰関節最大屈曲時, TO: 離地時, RP: リリースポイント)  
 (+: CONCENTRIC CONTRACTION, -: ECCENTRIC CONTRACTION)

表2. 両手砲丸投前投および後投における下肢各関節の最大筋パワーの平均と標準偏差

関節名	前投 (FT)		後投 (BT)	
	Mean	SD	Mean	SD
足関節	380.97	(78.47)	183.35	(103.66)
膝関節	443.93	((67.27)	351.96	(146.24)
腰関節	1,179.49	(198.01)	1,033.96	(111.06)

(単位: watt)

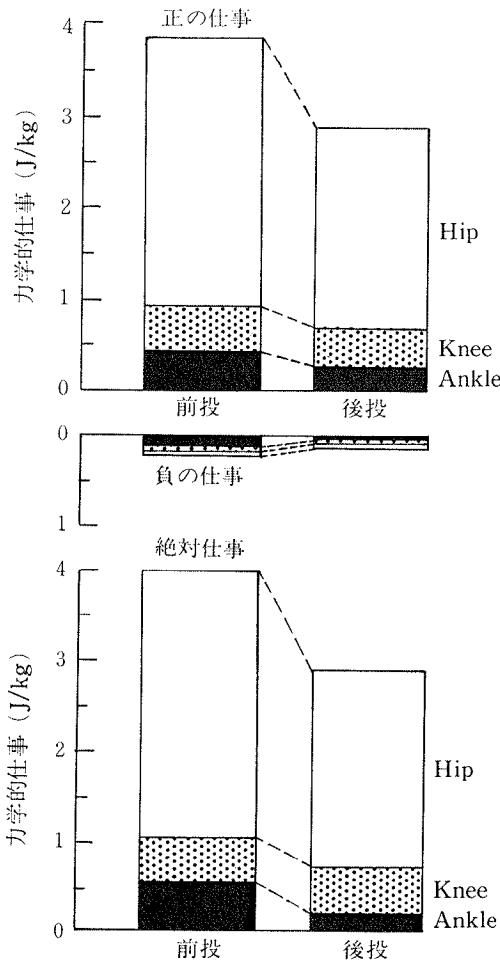


図10. 両手砲丸投前後および後投における下肢筋群の力学的仕事

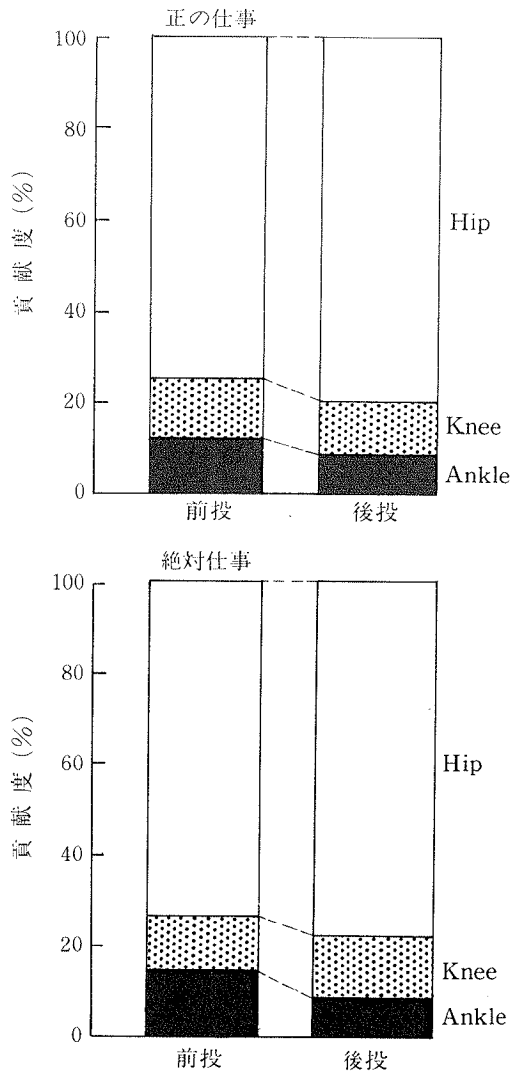


図11. 両手砲丸投前投および後投における下肢筋群の貢献度

表2は、3名の被験者における前投及び後投の下肢各関節の最大筋パワーの平均と標準偏差を表したもので、各関節とも、前投の方が後投よりも高い値であった。特に、足関節は、前投が後投より2倍強高い値を示した。

## 2. 下肢筋群の力学的仕事と貢献度

図10は、前投及び後投における下肢各関節まわりの筋群の力学的仕事を表したもので、被験者3

名の平均値を質量当りで割ったものである。上から順に正の仕事, 負の仕事および絶対仕事を示している。

ここで, 下肢筋群の力学的仕事についてみると, 正の仕事は, 前投が後投に比べ, 全ての関節において大きな値を示した。また, 前投及び後投ともに正の仕事は, 腰>膝>足関節の順で大きな値を示した。その中でも特に, 腰関節まわりの筋群は他の筋群(膝関節, 足関節)と比較してもかなり大きな値を示した。このことは, 絶対の仕事についても同様であった。

図11は, 総仕事に対する下肢各関節まわりの筋群の貢献度をパーセントで表したもので, 上から正の仕事, 絶対仕事を示している。

ここで, 下肢各関節の貢献度についてみると, 正の仕事は, 前投及び後投とも腰関節の貢献度が他の関節よりも高い割合を示した。さらに, 腰関節の貢献度について前投と後投を比較した場合, 後投が前投よりも全貢献度に占める腰関節の割合が高く, その分, 足関節の占める割合が減少していた。このことは, 絶対仕事の貢献度についても同様であった。

## 考 察

### 1. 上肢と下肢の各関節まわりの筋群の筋パワー

前投及び後投における上肢と下肢の各関節まわりの筋群の筋パワーについて見ると, 上肢は, 主に肩関節まわりの筋群が, また下肢では, 主に腰関節まわりの筋群が筋パワーを発揮していた。また, 上肢と下肢で筋パワーの出力を比較すると, 下肢が上肢よりも大きな筋パワーを発揮していることが認められた。これらのことから, 両手砲丸投げ運動は, 下肢各関節まわりの筋群が中心となる運動であると思われる。

### 2. 下肢各関節まわりの筋群の機能

#### (1) 足関節まわりの筋群

前投の足関節の筋パワーは, スプリントの支持期<sup>2)</sup>同様, HF から投動作前半において, 足底屈筋群が eccentric な収縮により負パワーを生じ, 身

体の機械的エネルギーを吸収し, その後, 投動作の後半では concentric な収縮により, 正パワーを生じていた。これより, 前投における足関節の役割は, 身体を前方へ推進させる力となっているものと考えられる。また, 前投と後投の足関節の最大筋パワーを比較すると, 前投が後投の2倍強の値であった。このことから, 前投の足関節の方が後投の足関節より, 足関節の身体推進にはたす役割が大きいことを意味しているものと思われる。これに対し, 身体推進における後投の足関節の役割が前投よりも要求されないのは, 後投が砲丸を頭上越しに後方に投げ出す(倒れ込みを用いた投動作)という運動の特徴を持ち, 身体を後方へ推進させるためと思われる。

#### (2) 膝関節まわりの筋群

前投及び後投ともに, HF から投動作の前半では, 筋パワーの出力が殆ど見られないが, 後半から concentric な収縮により筋パワーを発揮し, 機械的エネルギーを増大して身体の推進に寄与していた。さらに, 前投と後投を比較した場合, 前投の筋パワーの波形は, 後半急激な立ち上がりを示すのに対し, 後投では, 緩やかな立ち上がりであった。これは, 前投がスタートダッシュのように身体を前方に推進するという動作のため比較的容易に膝の伸展をなしえるのに対し, 後投では, 後方への倒れ込みを用いた投動作のため, 動作時に膝関節の急激な伸展を必要としないことが考えられる。

#### (3) 腰関節まわりの筋群

前投及び後投ともに, 腰関節まわりの筋群の筋パワーは, 他の下肢各関節まわりの筋群よりも大きな筋パワーを発揮し, 投動作に大きく寄与していた。このことから, 両手砲丸投げ運動は, 腰関節まわりの筋群に大きく依存する運動であると考えられる。

さらに, 前投及び後投における腰関節まわりの筋群の後半の筋パワー出力にも違いが認められた。つまり, 前投は後投に比べ, 投動作の後半急激に筋パワーが減少していた。その理由として, 前投は投動作後半で腰関節の伸展をほぼ終了し, それと同時に腰関節まわりの筋群が体幹の保持固定に

まわり、続く膝関節や足関節まわりの筋群に力を伝え、効果的な投動作を遂行するための役割を演じているものと考えられる。

### 3. 下肢各関節まわりの筋群の筋パワー値

下肢各関節まわりの筋群の最大筋パワーについて、本研究は、阿江ら<sup>2)</sup>、Wood<sup>10)</sup>、深代ら<sup>5)</sup>がスプリントに関して、Bobbertら<sup>3),4)</sup>、阿江ら<sup>1)</sup>がジャンプに関して報告しているものと大きな違いがみられた。先の研究<sup>1),2),3),4),5),10)</sup>では、足関節や膝関節まわりの筋群の筋パワーが腰関節まわりの筋群に比べ大きな値を示したと報告しているが、本研究では、腰関節まわりの筋群の筋パワーの値が他の2つの関節よりも大きな値を示していた。これは、前投・後投ともに認められ、中でも、前投が後投よりも高い筋パワーの値を示した。これらの理由として、スプリントやジャンプ運動は、比較的上体が立った姿勢により運動がなされるため、腰関節屈曲位からの伸展が少なく、腰関節まわりの筋群の筋パワーの出力が小さいものと思われる。また同時に、身体の推進、移動のためには、足関節や膝関節の利用が高まり、負担が増えるものと思われる。逆に、両手砲丸投げ運動は、HF時に腰関節の大きな屈曲姿勢を取り、その状態から、上体の急激な伸展がなされるため腰関節まわりの筋群の負担が増えるものと思われる。

さらに、腰関節の最大筋パワーについて、前投と後投を比較した時、後投の方が前投よりも小さいのは、後投は後方への倒れ込みを利用した投動作のためではないかと考えられる。

### 4. 下肢各関節まわりの筋群の最大筋パワー出現順序

前投の場合、下肢各関節まわりの筋群の最大筋パワーの出現順は、深代ら<sup>5)</sup>がスプリント・スタートにおける下肢筋群の役割について、Fukashiro<sup>6)</sup>、Bobbertら<sup>3),4)</sup>がジャンプにおける筋パワー発揮のメカニズムや調整について報告しているものと同様なパターンを示し、その出現順は、腰関節→膝関節→足関節という結果であった。しかし、後投では、若干相違し、腰関節→足関節→膝関節

の順であった。これらのことから、前投及び後投では、先ず最初に腰関節が投動作のリードを行うものと考えられる。また、前投は上部から下部(腰関節→膝関節→足関節)へと筋パワーの流れがあり、スタート動作<sup>5)</sup>と同様、前方に推進力を与える運動であるため、このような筋パワーの流れが投てき物に効率のよい機械的エネルギーを与えることになるものと思われるが、後投では、投てき物を後方へ投げるといった特徴から、腰関節の伸展動作に続き、膝関節の伸展を行うことは身体を必要以上に後傾し危険な状態へと導くことが考えられ、危険防止の身体制御として、前投とは異なった筋パワーの出現順を示す導くものと思われる。

### 5. 下肢筋群の力学的仕事と砲丸の飛距離

下肢筋群の力学的仕事を見た場合、正の仕事、絶対仕事のいずれも前投の方が後投より大きな値を示した。また、前投及び後投のいずれも、正の仕事、絶対仕事において、腰関節が他の2つの関節よりも大きな仕事を行っていた。特に、前投の腰関節の力学的仕事は後投のそれよりも大きな値であった。また、前投及び後投の砲丸の飛距離は、後投の方が前投より高い飛距離であった。これらのことから、前投は後投に比べ、腰関節伸筋群の能力に大きく左右される運動と考えられる。一方、後投は比較的腰関節伸筋群に大きな負担を要しないで、腰関節伸筋群に依存する程度が前投よりも低いものと思われ、効率的な力の伝ぱん能に大きく関係する投動作と考えられる。

下肢各関節の力学的仕事や貢献度について、阿江ら<sup>2)</sup>は、スプリント、Fukashiro<sup>6)</sup>は、ジャンプに関する報告をしており、その中で、最大努力や全力の運動では、腰関節まわりの筋群の力学的仕事や貢献度が大きくなるとしている。本研究でも腰関節まわりの筋群の力学的仕事や貢献度が大きいという結果を得た。しかし、先の研究で報告された下肢の各関節の貢献度の割合と本研究の割合とを比較すると、腰関節において、本研究は先の研究よりも高い割合を示した。それとは逆に、足関節や膝関節の貢献度は低い割合であった。中でも、足関節の貢献度は低かった。さらに、前投と

後投における足関節の貢献度をみた場合、正の仕事、絶対仕事とも後投が前投より低い傾向がみられた。以上のことから、両手砲丸投げ運動は、スプリントやジャンプ運動よりも腰関節まわりの筋群が中心となる運動であると思われる。さらに、前投に比較して後投の腰関節まわりの貢献度は若干高いが、足関節の貢献度は低くなっている。このことから、後投では、足関節まわりの筋群の貢献度を腰関節まわりの筋群の貢献度が補っているものと考えられる。

## 結 論

以上の結果及び考察から、両手砲丸投げ運動の運動特性に関して、次のような結論を引き出すことができよう。

- (1) 前投及び後投において、上肢と下肢の各関節まわりの筋群の筋パワーを比較したところ、下肢の方がより大きな筋パワーを発揮していた。このことから、両手砲丸投げ運動は、下肢各関節まわりの筋群が主として働く運動であると思われた。
- (2) 足関節の最大筋パワーにおいて、前投が後投の2倍強の値を示した。このことから、前投は後投より身体の推進に対する足関節まわりの筋群の果たす役割が大きいものと考えられる。
- (3) 膝関節まわりの筋群は、前投及び後投ともに、投動作の後半から筋パワーを発揮し、機械的エネルギーを増大して身体に推進力を与えていた。
- (4) 前投及び後投とも、腰関節まわりの筋群が特に大きな筋パワーを発揮していた。このことから両手砲丸投げ運動は、腰関節まわりの筋群に大きく依存する運動であると考えられる。
- (5) 前投と後投を比較すると、下肢各関節まわりの筋群の最大筋パワーの出現時間にずれが認められた。これは、前投及び後投の投動作の違いによるものであると考えられた。
- (6) 正の仕事及び絶対仕事は、前投が後投よりも大きな値を示した。中でも、腰関節が大きな仕事をしており、それは、前投が顕著であった。また貢献度では、前投及び後投ともに、腰関節

まわりの筋群が大きな貢献をしていた。このことから、砲丸の飛距離との関係を推察すると、前投は腰関節伸筋群の能力に大きく左右される運動であり、それに比べ、後投は腰関節伸筋群の能力よりも効率的な力の伝ばん能に左右される運動であると思われた。

## 文 献

- 1) 阿江通良, 安藤真太郎, 結城匡啓: 垂直跳の踏切における努力度が下肢各部の貢献度に及ぼす影響. ジャンプ研究: 40-45, 1990.
- 2) 阿江通良, 宮下 憲, 横井孝志, 大木昭一郎, 渋川侃二: 機械的パワーからみた疾走における下肢筋群の機能および貢献度. 筑波大学体育科学系紀要, 9: 229-239, 1986.
- 3) Bobbert, M. F., G. J. Van Ingen Schenau: Coordination in vretical jumping. J. Biomech, 21: 249-262, 1988.
- 4) Bobbert, M. F., P. A. Huijing, and G. J. Van Ingen Schenau: Drop jumping. I. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. Med. Sci. Sports Exerc, 19(4): 332-338, 1987.
- 5) 深代千之, 芝山秀太郎: スプリント・スタートにおける下肢関節の役割. 日本体育学会第38回大会: 661, 1987.
- 6) Fukashiro, S: Moment of force and mechanical power in joints during leg extension. Biomechanics IX-B, 938-942, 1988.
- 7) ホメンコフ, L. S. (小野耕三訳): 陸上競技トレーナー用教科書. 第1版, ベースボール・マガジン社, 東京, 1978.
- 8) クズネツォフ, V. V. (渡辺 謙訳): スポーツマンの特殊筋力トレーニング (第5回). 陸上競技マガジン, 28(7): 135-142, 1978.
- 9) 岡野 進: ソ連のトレーニング方法論を学ぶ(第1回)ーV. ポポフ. コーチング・クリニックよりー. 陸上競技マガジン, 37(7): 72-77, 1987.
- 10) Wood, G. A: Biomechanical Limitations to Sprint Running. Med. Sports Sci., 25: 58-71, 1987.
- 11) 横井孝志: 形態学的要因が走動作におよぼす影響に関する生力学的研究. 昭和62年度筑波大学大学院博士論文, 1987.