

2011 年度 修士論文

メディシンボール後方投げにおける
ボール重量の違いが発揮パワーと飛距離に
及ぼす影響

Effect of ball weight differences in power and distance in
the back overhead medicine ball throw

早稲田大学 大学院スポーツ科学研究科

スポーツ科学専攻 コーチング科学研究領域

5010A005-4

荒井 進之介

Arai, Shinnosuke

研究指導教員： 岡田 純一 准教授

目次

第Ⅰ章 序論	1
Ⅰ-1 緒言	1
Ⅰ-2 研究小史	2
Ⅰ-2-i パワーを評価すること	2
Ⅰ-2-ii MB 後方投げにおけるパワー評価研究	3
第Ⅱ章 方法	5
Ⅱ-1 被験者	5
Ⅱ-2 試行	5
Ⅱ-3 測定項目	6
Ⅱ-3-i 飛距離の測定	6
Ⅱ-3-ii 床反力の測定	7
Ⅱ-3-iii 動作映像の記録	7
Ⅱ-4 データ分析	8
Ⅱ-4-i 分析項目	9
Ⅱ-5 統計処理	12
第Ⅲ章 結果	13
Ⅲ-1 重量と飛距離の関係	13
Ⅲ-2 重量と発揮パワーの関係	14
Ⅲ-3-i 投球時の床反力(N)	14
Ⅲ-3-ii 床反力の立ち上がり速度(N/s)	17
Ⅲ-3-iii 脚伸展パワー(W)	18
Ⅲ-2-iv ボールに伝えられた平均パワー(W)	21
Ⅲ-2-v MB のリリース速度及び投射高、投射角	23
第Ⅳ章 考察	27
Ⅳ-1 重量と発揮パワーの関係	27
Ⅳ-2 発揮パワーと飛距離の関係	30
Ⅳ-3 MB 後方投げの特徴的傾向 (床反力の様相)	31
第Ⅴ章 結論	33
第Ⅵ章 参考文献	34
謝辞	40

第 I 章 序論

I-1 緒言

急激な力の増加を伴って発揮されるパワー（爆発的なパワー）は様々なスポーツ活動において、成功を収めるための重要な要素であるとされる^{47) 54)}。特にスポーツの中で数多くみられる、跳ぶ、打つ、投げる、蹴る、走るといった運動は、いずれもこのパワーの発揮が運動の良し悪しと大きな関わりを持っている⁴⁾。典型的な爆発的なパワーは、“power zone”と呼ばれる下肢三関節の伸展動作によるものであり³⁾、スポーツ動作のほとんどは主働筋やその使い方に違いはあるが、筋収縮によって発揮されるこのパワー発揮を伴って行われる⁴⁾。

このような爆発的な下肢の発揮パワー向上を目的としたトレーニングの1つとして、「メディシンボール（以下 MB）後方投げ」が挙げられる⁵⁴⁾。MB 後方投げで用いられる MB は、皮やナイロンの素材で作られたボールに砂などをつめて作られ、一般的には 1～5kg ほどの重量のものが使用されている。MB は様々な球技において使用されるボールや投擲種目において用いられる投擲物よりも重量が大きく、大きな投球飛距離を得ようとする場合には、下肢を中心とした爆発的なパワーの発揮が必要とされる。そのため MB 後方投げは全身の爆発的なパワー養成のために有効なトレーニングであるとされ、様々なスポーツトレーニング場面で普及している⁵³⁾。さらに MB 後方投げの飛距離と垂直跳びの垂直高から推定されるパワーとの間に有意な相関関係が認められている⁵⁴⁾ ことから、選手のパワー発揮能力の指標として MB 後方投げ飛距離が用いられることもある。

効果的なトレーニングを実施するためには、適切な負荷・重量を用いることが必要であり^{8) 11) 16) 37) 50) 55)}、レジスタンスエクササイズにお

いてパワーの向上を目的としたトレーニングの場合は、負荷は最大挙上重量の75～85%の重量が適切であるとされている^{5) 10) 11) 16) 24) 25) 32) 36) 49) 52) 54) 55) 56)}。しかしながら、MB 後方投げにおいて使用するボールの重量については、明確な基準は定められておらず、スポーツトレーニングの現場ではMB 後方投げのトレーニングで使用するボールの重量は、選手が投げやすい重量をトレーニング指導者が設定する、もしくは前例を参考に、経験的かつ主観的に設定されることが多い。さらに、パワー発揮能力の指標として用いられるMB 後方投げの飛距離と身体が発揮したパワーとの関係も不明である。したがって、トレーニングにおいて、適切なメディシンボール重量の選択の指針を得ることは、トレーニングの質の向上、それに伴う競技力向上の一助となる。

そこで本研究はMB 後方投げにおいて発揮されるパワーに対するMB 重量の影響、およびMB 後方投げにおいて発揮されるパワーと飛距離との関係を明らかにすることを目的とした。

I-2 研究小史

I-2-i パワーを評価すること

体力とは、人間すべての活動の源となり、顕著に評価することが出来る諸能力を総合したものである⁵⁶⁾。また体力を構成する要素として体力要素という言葉が用いられる。Cureton は体力の要素として6項目を掲げ、その一項目をパワーとしている⁷⁾。

体力要素（身体能力）を評価することは、選手の競技の特性を評価すること、改善の必要な身体機能を特定すること、目標の設定、成長の評価をする上で重要である。またそれらを適確に評価するためには妥当性を考慮し、より目的に適したテストを選択しなくてはならない。特にパ

ワーテストは、総合的な運動能力や特定のトレーニングプログラムの効果を評価するためのフィールドテストとして、広く活用をされている⁵⁴⁾。

I-2-ii 身体が発揮するパワーとその評価方法

パワーとは、最大努力のもとで(筋活動により)爆発的に発揮される機械的パワー、ないしは短時間内に多くの機械的エネルギーを発揮する能力である²⁸⁾。身体が発揮するパワーの評価を行うテストとして、最も代表的なパワーテストは跳躍高を測定する垂直跳びである。このテストは、1921年にD.A. Sargentが考案し⁵¹⁾、L.W. Sargentがパワーテストとして発展をさせた^{14) 52)}。垂直跳びは、床反力計のような専門的技術を必要とする高価な計器⁴¹⁾は使用せず、簡易的なパワー評価指標として広く知られており¹⁴⁾、MacCloyは「垂直跳びはパワーを評価する最上のテストの1つである」とも述べている³⁸⁾。またその他にマルガリア・カラメントテスト^{13) 40)}、立ち幅跳び²⁶⁾、反復バウンディング²⁶⁾、ショットプット^{18) 42) 43) 44)}などのテストによって、局所的または全身的なパワーが評価されている。そして、一種の抵抗運動の器具であったMB²⁰⁾を使用し、Stockbruggerらは全身の爆発的パワーの指標としてMB後方投げを提案した⁵⁴⁾。

I-2-iii MB後方投げにおけるパワー評価研究

Stockbruggerらは、両手でMBを持ち、脚伸展動作を用いて、出来るだけ遠くにMBを後方に投げるよう試みた。そしてMB後方投げでの最大飛距離とPower Indexの関係を調べている。なおこのPower Indexは、垂直跳びの跳躍高からLewisの公式¹²⁾(図1)を用い、算出している。

$$\text{Power Index} = 2.21 \cdot \text{body mass (kg)} \cdot \sqrt{\text{vertical jump (m)}}$$

図1: Lewisの公式

この研究では、男女両性において MB 後方投げの最大飛距離と Power Index は強い相関関係を示し ($r=0.97$)、MB 後方投げはパワー測定の 1 つとして妥当性があるとされた⁵⁴⁾。さらに Stockbrugger らは、バレーボール選手で構成されるジャンプトレーニング群とレスリング選手で構成される非ジャンプトレーニング群の両群において、同様に MB 後方投げの最大飛距離と Power Index は強い相関関係を示す(それぞれ $r=0.87$ 、 $r=0.92$)⁵³⁾と報告している。また Mayhew らは、MB 後方投げでの最大飛距離とフォースプレート上での垂直跳びのピークパワー、平均パワーとの関係を調べている⁴¹⁾。この研究では、ピークパワーをパワーの最大値、平均パワーは床反力の曲線下の面積から求め、40 人の大学フットボール選手において MB 後方投げの最大飛距離とピークパワーは中程度の相関関係を示し ($r=0.59$)、MB 後方投げの最大飛距離と平均パワーは強い相関関係を示す ($r=0.63$)と報告した⁴¹⁾。

以上のように、パワー評価指標として MB 後方投げの飛距離が使用されてきた。しかしながら、従来の研究において飛距離と有意な相関関係が認められているのは、あくまでも垂直跳びにおける発揮パワーの指標 (Power Index) であり、MB 後方投げ動作中のパワーではない。これまでに MB 後方投げの動作中の力を経時的に分析した研究は窪らが行った 3 例のみ^{33) 34) 35)}であり、パワーについては研究されていない。MB 後方投げを爆発的パワー発揮のためのトレーニングとして用いる、あるいは MB 後方投げの飛距離を発揮パワーの指標として用いるためには、MB 後方投げにおいて発揮されるパワーや、発揮パワーと投球飛距離との関係を明らかにすることが重要であろう。

第Ⅱ章 方法

Ⅱ-1 被験者

被験者は、定期的な運動習慣を持つ健康な男性 20 名とした。各被験者の身体特性（平均値±標準偏差）は、年齢 21.3 ± 2.2 歳（18-25 歳）、身長 172.2 ± 5.44 cm、体重 69.6 ± 8.54 kg であった。実験に先立ち、被験者に本研究の目的、方法および実験参加に伴い予期される危険性について、文書ならびに口頭にて十分に説明を行い、全ての被験者から書面による参加の承諾を得た。また本研究は、早稲田大学人を対象とする研究に関する倫理委員会の承認を得て実施された（申請番号 2011-089）。

Ⅱ-2 試行

本試行に先立ち被験者に対して、MB 後方投げの説明を行い、その後デモンストレーションを見せた。そして引き続きウォーミングアップ・練習を行い、「十分に練習が出来た」と被験者の申し出を受けた後に、本試行へ移行した。

MB 重量は 1、2、3、4 および 5kg を使用し（BF9161-9165、Reebok 社製）、各 2 球ずつ計 10 投の投球を行った。始めの 5 投で全重量を投球するように順序をランダムに設定した。また後半の 5 投の順序もランダムに設定した。なお MB の直径は全て 228mm であった。投球動作は Stockbrugger⁵⁴⁾ に倣い、肩幅の広さに足幅をとり、胸の位置に両手で MB を保持した立位静止姿勢から動作を開始した（図 2-a）。股関節と膝関節を屈曲すると同時に MB を胸から腰の高さにかけてボールの高さを下げ（図 2-b）、その後動作を切り返し、下肢三関節を伸展させるとともにボールを挙上させ、自身の後方へ全力で投球をした（図 2-c）。この時の反動動作は 1 回のみとした。なお本試行は全て室内で行われ、全ての投球は裸足にて

行った。

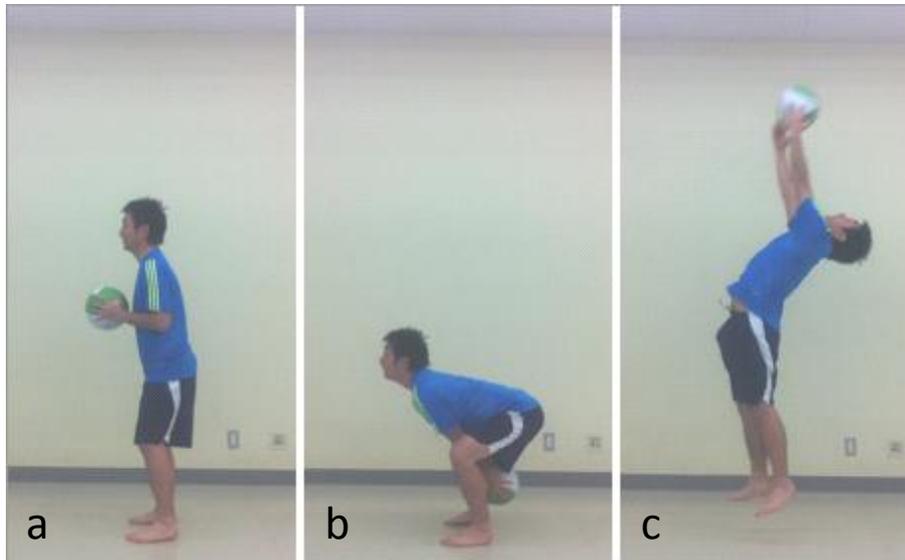


図 2：MB 後方投げ

被験者には出来るだけボールを遠くに飛ばすように指示をした。なお疲労の影響を考慮し、各試行間には少なくとも1分間の休息³⁹⁾をとった。

II-3 測定項目

II-3-i 飛距離の測定

飛距離の測定は、指定の円弧内(図3)に投げられた試行のみを採用し、被験者の踵部から落下地点までの直線距離を、メジャーを用いて計測をした。指定の円弧は、カメラの位置と投球地点を結んだ線に直交するように点線を引き、その点線を中心とし、中心角30度になるように直線を図のように2本引き、その間に同心円弧を1m間隔に描いた。なお円弧から外れた試行は無効試技とし、投球を再度行った。

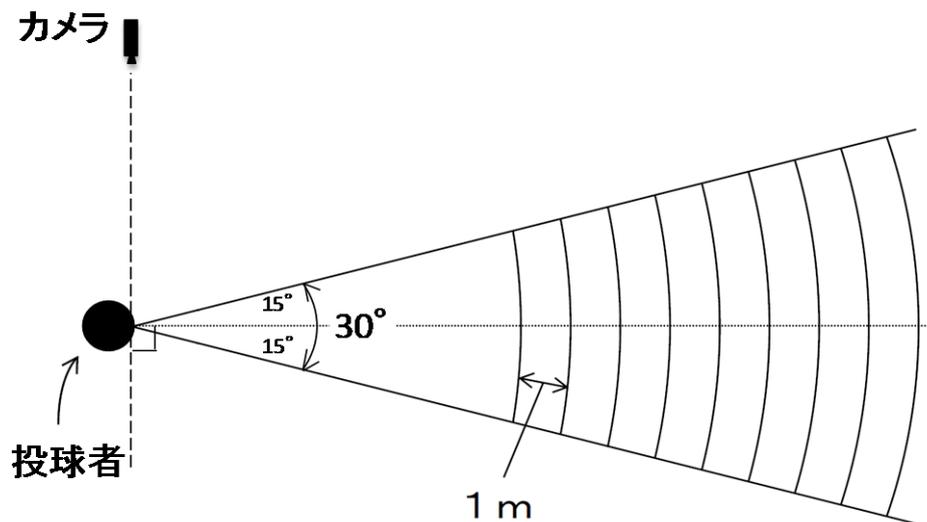


図 3：飛距離測定における円弧

II-3-ii 床反力の測定

投球時の右脚に作用する床反力を Force platform (FP6012-15、Bertec 社製) を用いて測定を行った。右足を Force platform 上に配置させ、体重が左右均等となる立位静止姿勢から投球を行わせた。また Force platform のアナログ信号は専用のアンプによって増幅した後、A/D 変換カード (ADA16-32/2 (CB) F、CONTEC 社製) を介してデジタル変換し、サンプリング周波数 1000Hz でデータ収録ソフト (VitalRecorder2、キッセイコムテック株式会社製) を用いて、パーソナルコンピュータに取り込んだ。

なお予備実験において、両脚それぞれの MB 後方投げ動作中の床反力を測定し、ピーク床反力また床反力の経時的変化に差異が無く、左右対称動作であることを確認した。

II-3-iii 動作映像の記録

ハイスピードカメラ (EX-FH20、カシオ計算機株式会社製) を用いて、被験者の矢状面上の動作を 210fps で撮影した。カメラは被験者の右側方

9.0m、地面から 1.0m の地点に設置をした。被験者の肩峰点、橈骨点、尺骨茎突点、転子点、外側上顆最突点、外果最突点^{30) 31) 45)}、胸骨上縁、肋骨下端、つま先^{1) 48)} および耳垂⁶⁰⁾ の計 9 点に約 4 c m 四方の色マーカーを貼付した (図 4)。またキャリブレーションは、Force platform の中心面から 1.0m の地点を中心として、鉛直方向 1.0m、投球方向 1.0m で行った。

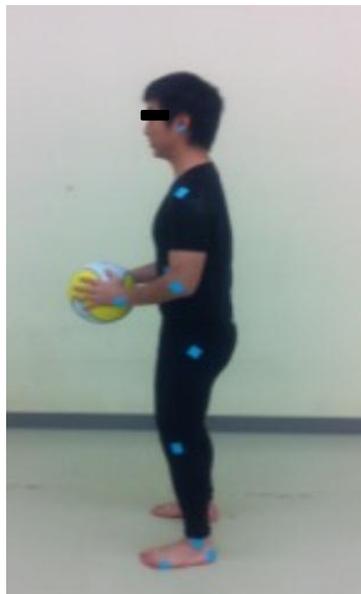


図 4：色マーカー貼付位置

II-4 データ分析

データ解析ソフトウェア (KineAnalyzer、キッセイコムテック株式会社製) を用いて、撮影した動作映像の色マーカーのデジタイズを行った。なお得られた座標データは、8Hz 以上の高周波成分を除去し平滑化を行った後²³⁾、三次スプライン補間を行い、1000 Hz とした。また床反力データ、動作映像の同期はデータ解析ソフトウェア (KineAnalyzer、キッセイコムテック株式会社製) 上で行った。

II-4-i 分析項目

本研究では、MB 後方投げ動作に関連することが予測される動作の要因を、以下の通りに算出した。

- ・ピーク床反力(N)(図 5)：

Force platform から得られた床反力の生データの鉛直成分と推進成分を合成した床反力値の最大値とした。なお投球動作を開始してボールをリリースするまでの間における最大値とした。

$$\text{床反力 (N)} = \sqrt{(\text{床反力 鉛直成分})^2 + (\text{床反力 推進成分})^2}$$

- ・床反力の立ち上がり速度(N/s) (図 5)：

鉛直成分と推進成分を合成した床反力値の立ち上がり速度の最大値とした。ごく短時間の限られた時間内に、いかに素早く大きな力を発揮できるか評価を行った。なお床反力の鉛直成分と推進成分は共に 11 点の移動平均を行った。また立ち上がり速度は、床反力値に 3 点微分公式²⁾を用い、算出した。なお投球動作を開始してボールをリリースするまでの間における最大値とした。

$$\text{床反力の立ち上がり速度 (N/s)} = \{ \text{床反力}_t \text{ (N)} + \text{床反力}_{t+1} \text{ (N)} \} / \text{時間 (s)}$$

床反力_tを時刻tにおける計測データとする

- ・床反力の立ち上がり時間(s) (図 5)：

Force platform から得られた床反力の生データの鉛直成分と推進成分を合成した床反力が最小値から最大値に至るまでの時間とした。

・脚伸展パワー(W) (図 6) :

転子点における速度の鉛直成分に、床反力の鉛直成分を積した値の最大値とした。また床反力の鉛直成分は、Force platform から得られた床反力の生データを採用した。なお投球動作を開始してボールをリリースするまでの間における最大値とした。

脚伸展パワー (W) = 転子点における速度の鉛直成分 (m/s) ・ 床反力の鉛直成分 (N)

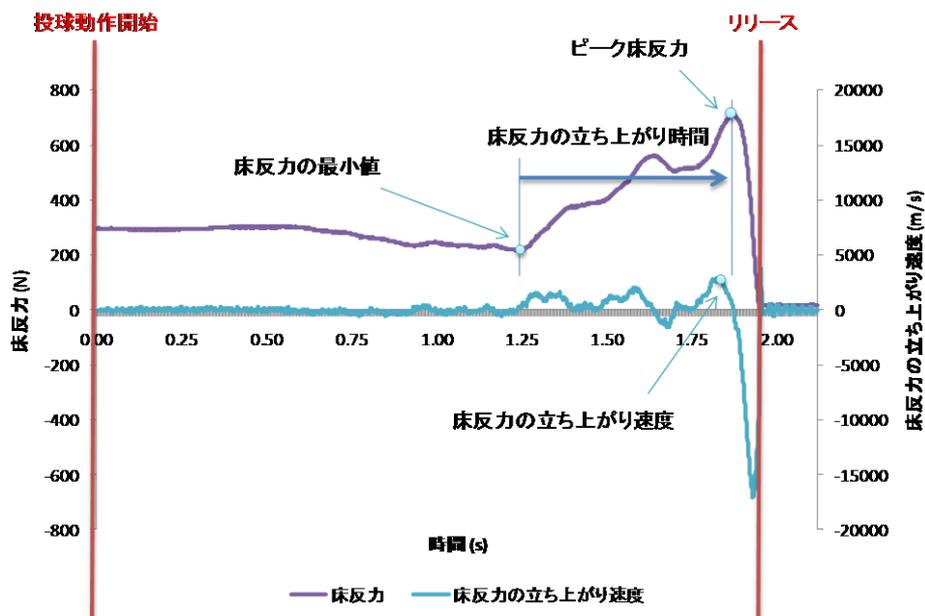


図 5: ピーク床反力、床反力の立ち上がり時間および
床反力の立ち上がり速度

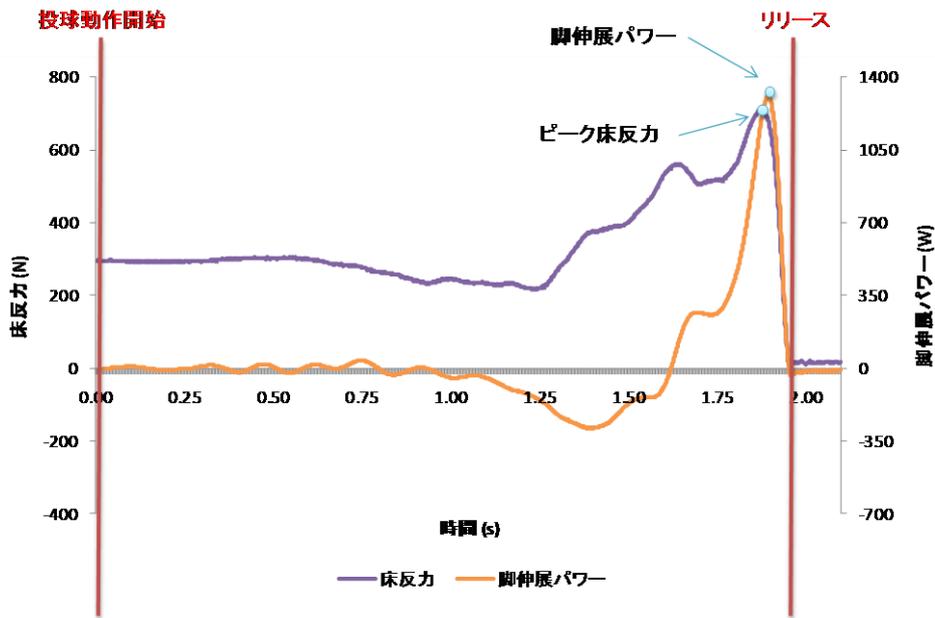


図 6: ピーク床反力と脚伸展パワー

- ・ ボールに伝達された平均パワー (W) :

投球動作を開始し、動作を切り返してからリリースするまでの間におけるボールに加えられたパワーの平均値とした。すなわち投球動作における、ボールの速度が 0 となる動作の切り返し点とリリース地点について、運動エネルギーと位置エネルギーを合わせたものである力学的エネルギーの差を算出し、その値を動作の切り返しからリリースまでの時間で除した。

$$\text{位置エネルギー (J)} = \text{質量 (kg)} \cdot \text{重力加速度 (m/s}^2\text{)} \cdot \text{鉛直方向の座標値 (m)}$$

$$\text{運動エネルギー (J)} = \text{質量 (kg)} \cdot \text{速度 (m/s)}^2 / 2$$

$$\text{ボールに伝達された平均パワー (W)} = \text{力学的エネルギーの差 (J)} / \text{切り返しからリリースまでの時間 (s)}$$

- ・ 転子点における速度 (m/s) :

デジタイズされた座標点に 3 点微分公式²⁾を用い、値を算出した。

- ・ リリース速度 (m/s) :

リリースした瞬間の速度をリリース速度とした。なお MB の中心点と尺骨茎突点の点間距離が動作中の平均点間距離から 2SD 以上点間距離が長くなり、それ以降も点間距離が長く続ける瞬間をリリースとした。

$$\text{リリース速度 (m/s)} = \sqrt{(X_{t+1} - X_t)^2 + (Y_{t+1} - Y_t)^2} / \text{時間 (s)}$$

リリース時刻 t における座標点を (X_t, Y_t) とする

・ 投射高 (m) :

リリースした瞬間において、MB の中心点の地面からの高さを投射高とした。

・ 投射角 (°) :

リリースした瞬間において、地面と投射方向が成す角度を投射角とした。リリースした MB の中心点と 1 フレーム後 (1/210 秒後) の MB の中心点を結ぶ線分が地面と成す角度とした。

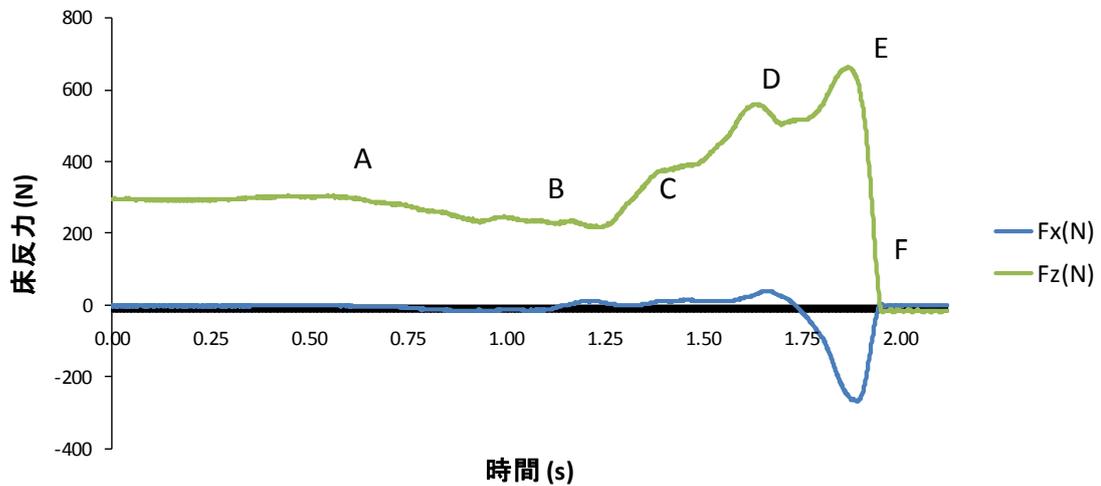
II-5 統計処理

各重量において記録された 2 投のうち、飛距離が長かった試行を分析対象とした。各項目の測定値は、平均値±標準偏差で示した。飛距離および、投球中の床反力、発揮パワーのそれぞれの群間の平均値の差の検定には、一元配置の分散分析を用いた。またそれぞれの測定項目間の相関関係を検討するためにピアソンの積率相関係数を算出した。統計処理には SPSS (PASW Statistics 18、エス・ピー・エス・エス社製) を使用し、いずれの検定も、有意水準を 5% とした。

第 III 章 結果

MB 後方投げにおける床反力波形の代表例(経時的变化)を図 6 に表した。

図 6 : ある被験者の MB 後方投げ動作中の床反力



III-1 重量と飛距離の関係

MB 後方投げにおける飛距離の平均値と標準偏差を表 1 および図 5 に表した。飛距離は 1kg が $16.9 \pm 2.4\text{m}$ 、2kg が $13.2 \pm 2.1\text{m}$ 、3kg が $11.0 \pm 2.0\text{m}$ 、4kg が $9.5 \pm 1.7\text{m}$ 、5kg が $8.2 \pm 1.4\text{m}$ であった。なお全ての重量間について、有意差が認められた ($p < 0.05$)。また飛距離と体重との間に、全ての重量間について、有意な相関関係は認められなかった (表 1)。

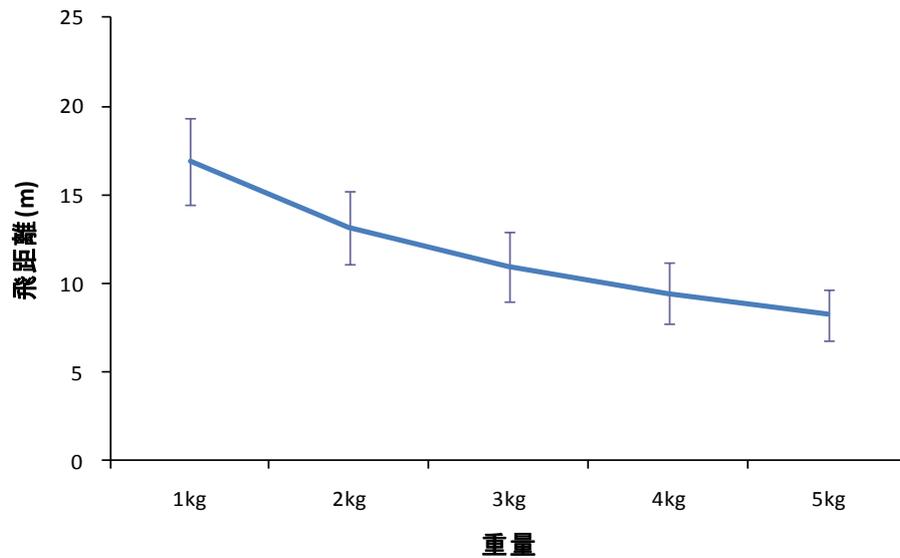


図 5：重量と飛距離の関係

表 1：飛距離と体重の関係

変数	重量	平均±標準偏差	相関係数 飛距離
飛距離 (m)	1kg	16.9±2.4	-0.15
	2kg	13.2±2.1	0.40
	3kg	11.0±2.0	0.37
	4kg	9.5±1.7	0.32
	5kg	8.2±1.4	0.17

Ⅲ-2 重量と発揮パワーの関係

Ⅲ-2-i 投球時の床反力 (N)

MB 後方投げにおけるピーク床反力の全被験者の平均値と標準偏差を算出し、表 2 および図 7 に表した。投球時のピーク床反力は 1kg が $673.3 \pm 131.6\text{N}$ 、2kg が $669.4 \pm 113.7\text{N}$ 、3kg が $695.0 \pm 134.6\text{N}$ 、4kg が $679.4 \pm 108.3\text{N}$ 、5kg が $700.0 \pm 135.3\text{N}$ であった。なお全ての重量間について、有意差は認められなかった。また鉛直成分と推進成分の合成成分であるピーク床反力に対する推進成分の割合は 1kg が $10.6 \pm 4.6\%$ 、2kg が 9.0

±3.7%、3kg が 5.8±2.8%、4kg が 9.1±3.1%、5kg が 1.4±3.2%であった。
 なお全ての重量間について、有意差は認められなかった。

またピーク床反力と飛距離との間に、全ての重量間について、有意な相関関係は認められなかった（表 2、図 8）が、ピーク床反力と体重との間には、全ての重量間について有意な相関関係が認められた（ $p < 0.01$ ）（表 2）。

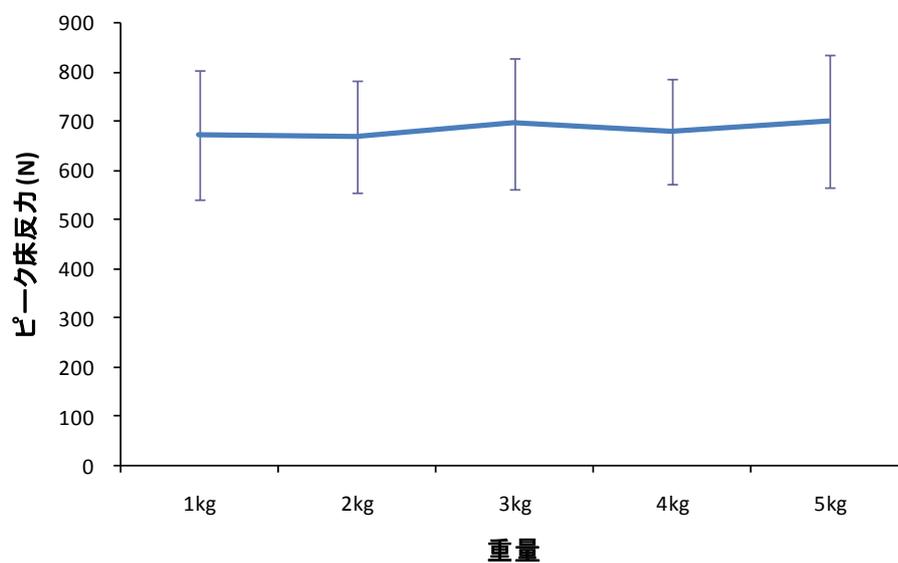


図 7：重量とピーク床反力の関係

表 2：ピーク床反力と飛距離および体重との関係

変数	重量	平均±標準偏差	相関係数	
			飛距離	体重
ピーク床反力 (N)	1kg	673.3±131.6	-0.07	0.78 †
	2kg	669.4±113.7	0.42	0.73 †
	3kg	695.0±134.6	0.40	0.83 †
	4kg	679.4±108.3	0.24	0.71 †
	5kg	700.0±135.3	0.09	0.80 †

†: $p < 0.01$.

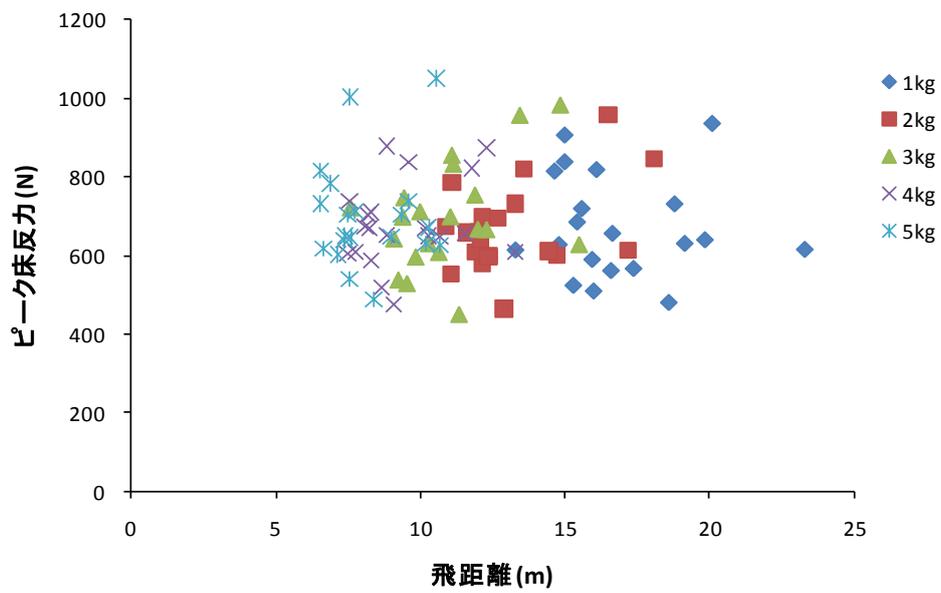


図 8 : 飛距離とピーク床反力の関係

飛距離の値をピーク床反力の値で除し、ピーク床反力 1N 当たりの飛距離を評価した (図 9)。1kg が 2.60 ± 0.63 、2kg が 2.00 ± 0.37 、3kg が 1.62 ± 0.37 、4kg が 1.42 ± 0.31 、5kg が 1.21 ± 0.29 であった。なお全ての重量間について、有意差が認められた ($p < 0.05$)。

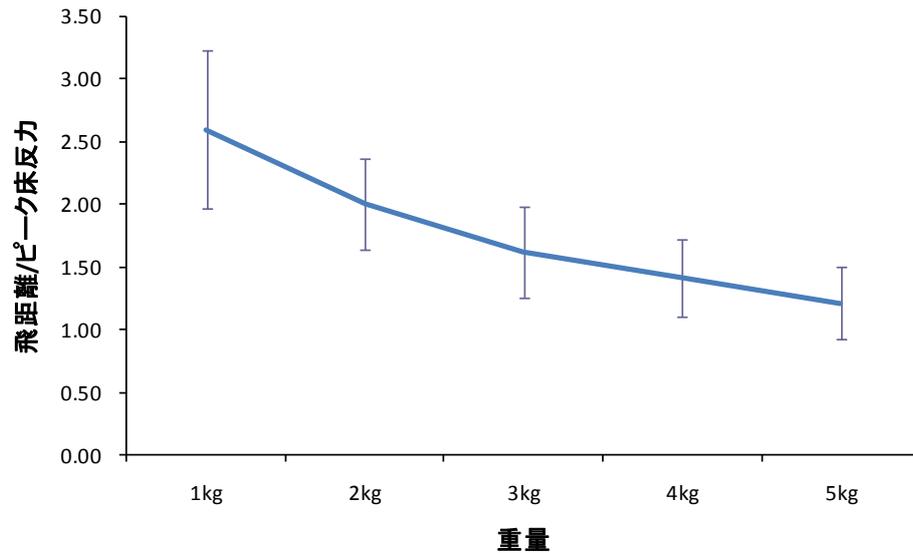


図 9：重量と飛距離/ピーク床反力の関係

III-2-ii 床反力の立ち上がり速度 (N/s)

床反力の立ち上がり速度の平均値と標準偏差を算出し、図 10 に表した。1kg が 4219.9 ± 3118.6 N/s、2kg が 4105.2 ± 2104.7 N/s、3kg が 4524.0 ± 3121.4 N/s、4kg が 3943.1 ± 2059.7 N/s、5kg が 4108.6 ± 2084.4 N/s であった。なお全ての重量間について、有意差は認められなかった。

また床反力の立ち上がり時間は、1kg が 0.71 ± 0.13 s、2kg が 0.69 ± 0.11 s、3kg が 0.76 ± 0.17 s、4kg が 0.75 ± 0.22 s、5kg が 0.76 ± 0.23 s であった。なお全ての重量間について、有意差は認められなかった。

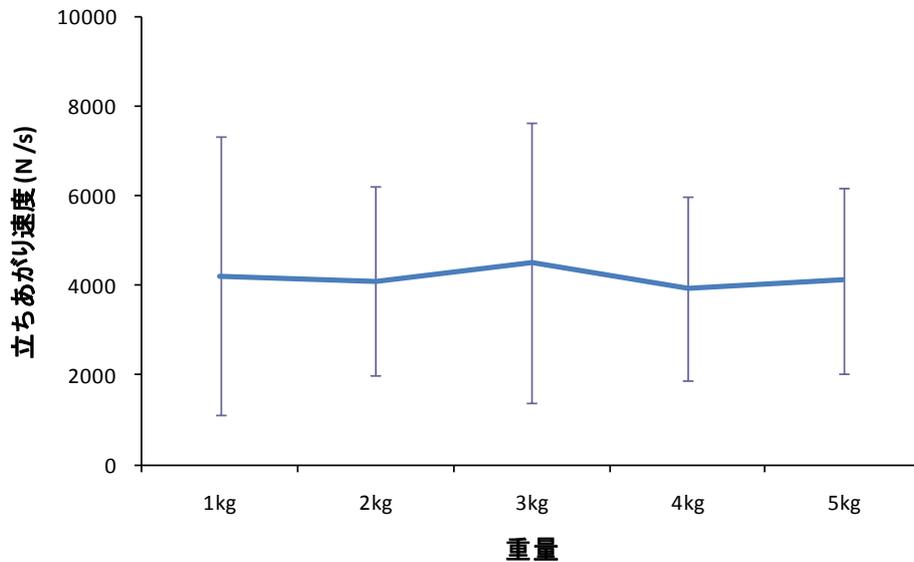


図 10：重量と床反力の立ち上がり速度の関係

III-2-iii 脚伸展パワー (W)

MB 後方投げにおける脚伸展パワーの平均値と標準偏差を算出し、表 3 および図 11 に表した。投球時の脚伸展パワーは 1kg が $825.3 \pm 434.5W$ 、2kg が $756.4 \pm 361.6W$ 、3kg が $927.6 \pm 447.9W$ 、4kg が $802.2 \pm 353.3W$ 、5kg が $912.2 \pm 430.5W$ であり、2kg と 3kg の間に有意な差が認められた ($p=0.031$) が、その他の重量間について、有意差は認められなかった。

脚伸展パワーと飛距離との間に、全ての重量間について、有意な相関関係は認められなかった (表 3、図 12)。一方、脚伸展パワーと体重との間に、3kg ($p<0.05$)、5kg ($p<0.01$) に、有意な相関関係が認められた ($p<0.01$) (表 3)。また脚伸展パワーとピーク床反力との間に、全ての重量間について、有意な相関関係が認められた (表 3)。

飛距離を脚伸展パワーで除した値を、図 13 に表した。1kg が 0.025 ± 0.018 、2kg が 0.021 ± 0.011 、3kg が 0.014 ± 0.008 、4kg が 0.013 ± 0.006 、

5kg が 0.011 ± 0.007 であった。なお 1kg と 3kg ($p=0.002$)、1kg と 5kg ($p=0.002$)、2kg と 3kg ($p<0.001$)、2kg と 4kg ($p=0.025$)、2kg と 5kg ($p<0.001$)、3kg と 5kg ($p=0.001$) の間に有意な差が認められたが、その他の重量間について、有意差は認められなかった。

また転子点における速度の鉛直成分は 1kg が $1.62 \pm 0.44\text{m/s}$ 、2kg が $1.54 \pm 0.41\text{m/s}$ 、3kg が $1.60 \pm 0.50\text{m/s}$ 、4kg が $1.53 \pm 0.44\text{m/s}$ 、5kg が $1.61 \pm 0.52\text{m/s}$ であり、全ての重量間について、有意差は認められなかった。

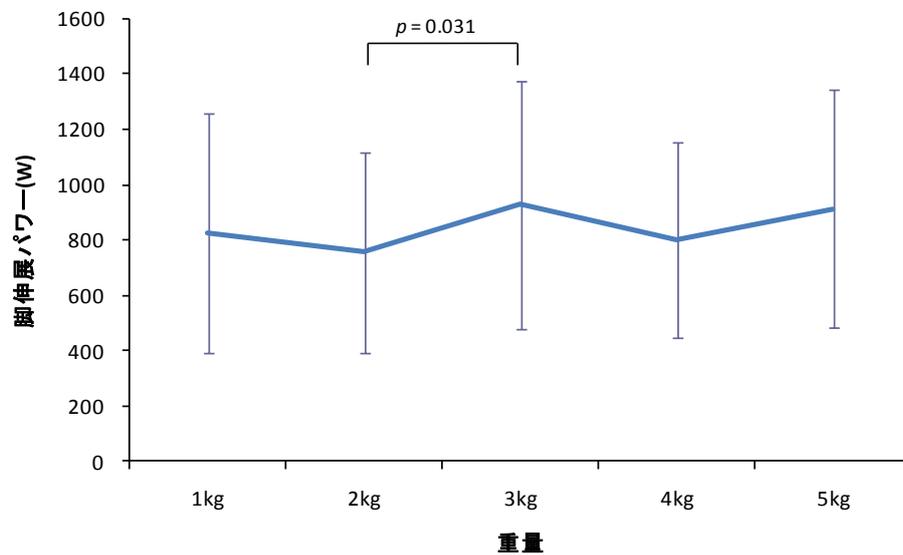


図 11：重量と脚伸展パワーの関係

表 3：脚伸展パワーと飛距離、体重およびピーク床反力との関係

変数	重量	平均±標準偏差	相関係数		
			飛距離	体重	ピーク床反力
脚伸展パワー (W)	1kg	825.3±434.5	-0.17	0.37	0.76 †
	2kg	756.4±361.6	0.23	0.30	0.61 †
	3kg	927.6±447.9	0.35	0.51 *	0.80 †
	4kg	802.2±353.3	0.31	0.30	0.47 *
	5kg	912.2±430.5	0.21	0.57 †	0.71 †

*: $p < 0.05$.

†: $p < 0.01$.

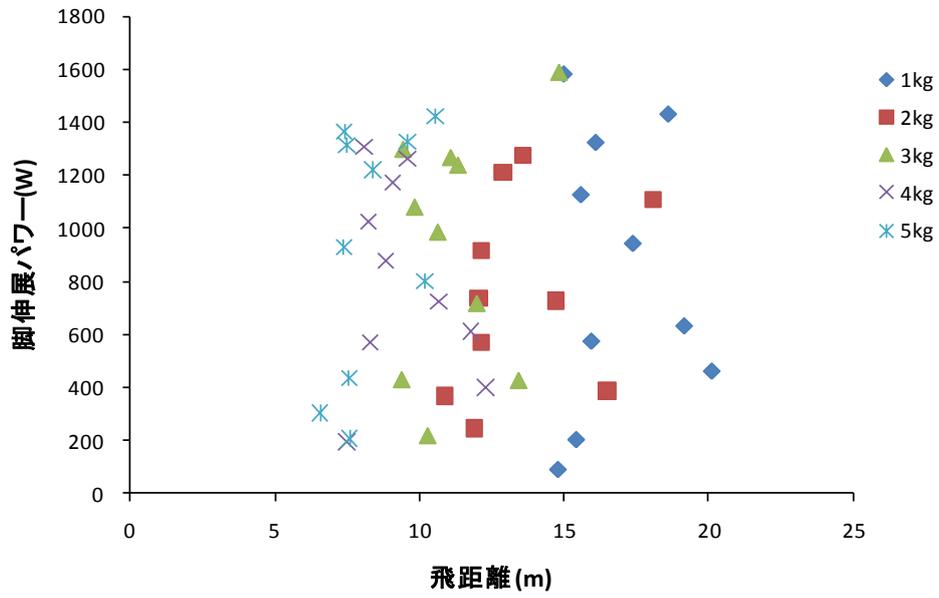


図 12： 飛距離と脚伸展パワーの関係

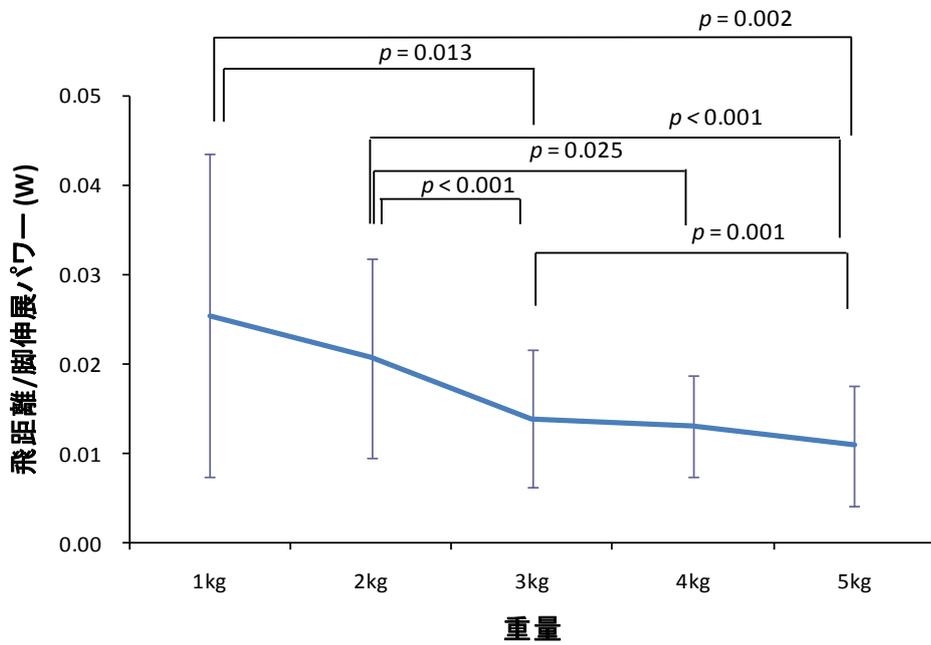


図 13： 重量と飛距離/脚伸展パワーの関係

III-2-iv ボールに伝達された平均パワー (W)

MB 後方投げにおいてのボールに伝達された平均パワーにおける、全被験者の平均値と標準偏差を算出し、図 14 に表した。ボールに伝達されたパワーは 1kg が 369.1 ± 182.6 W、2kg が 481.1 ± 174.6 W、3kg が 567.5 ± 190.4 W、4kg が 692.6 ± 267.4 W、5kg が 765.5 ± 262.7 W であった。なお 1kg と 2kg ($p=0.002$)、1kg と 3kg ($p<0.001$)、1kg と 4kg ($p<0.001$)、1kg と 5kg ($p<0.001$)、2kg と 3kg ($p=0.017$)、2kg と 4kg ($p=0.004$)、2kg と 5kg ($p<0.001$)、3kg と 5kg ($p<0.001$) の間に有意な差が認められたが、その他の重量間について、有意差は認められなかった。

ボールに伝達された平均パワーと飛距離との間に、2kg ($p<0.01$)、3kg ($p<0.01$)、4kg ($p<0.05$)、5kg ($p<0.05$) に、有意な相関関係が認められた (表 4、図 15)。一方、ボールに伝達された平均パワーと体重、ピーク床反力との間に、有意な相関関係は認められなかった (表 4)。

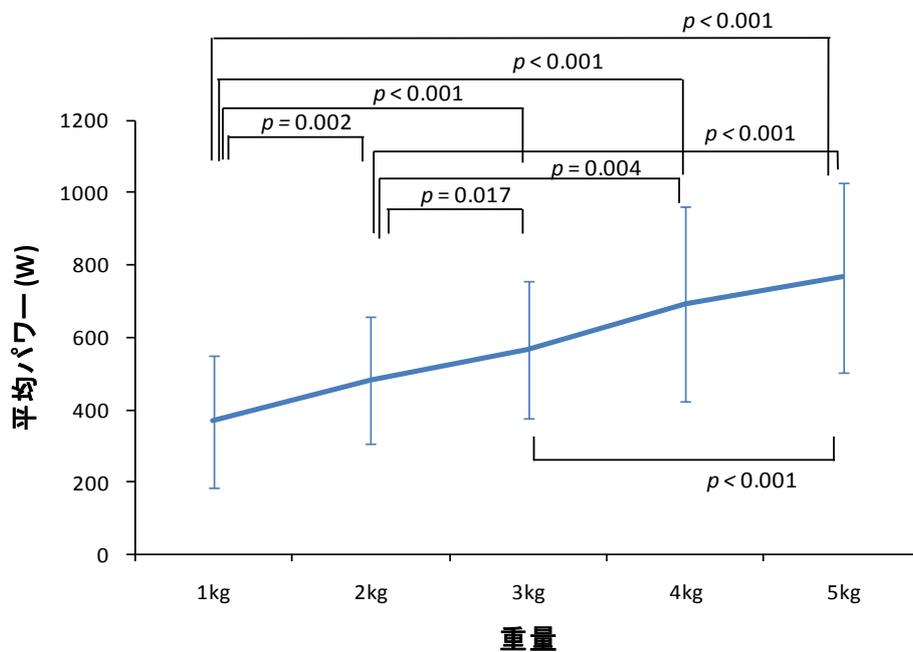


図 14：重量とボールに伝達されたパワーの平均値の関係

表 4：ボールに伝達されたパワーと飛距離、体重および

ピーク床反力との関係

変数	重量	平均±標準偏差	飛距離	相関係数	
				体重	ピーク床反力
ボールに伝達された パワーの平均値 (W)	1kg	369.1±182.6	0.15	0.09	0.10
	2kg	481.1±174.6	0.67 †	-0.07	0.04
	3kg	567.5±190.4	0.68 †	-0.14	-0.06
	4kg	692.6±267.4	0.56 *	0.09	-0.03
	5kg	765.5±262.7	0.50 *	-0.02	-0.03

*: $p < 0.05$.

†: $p < 0.01$.

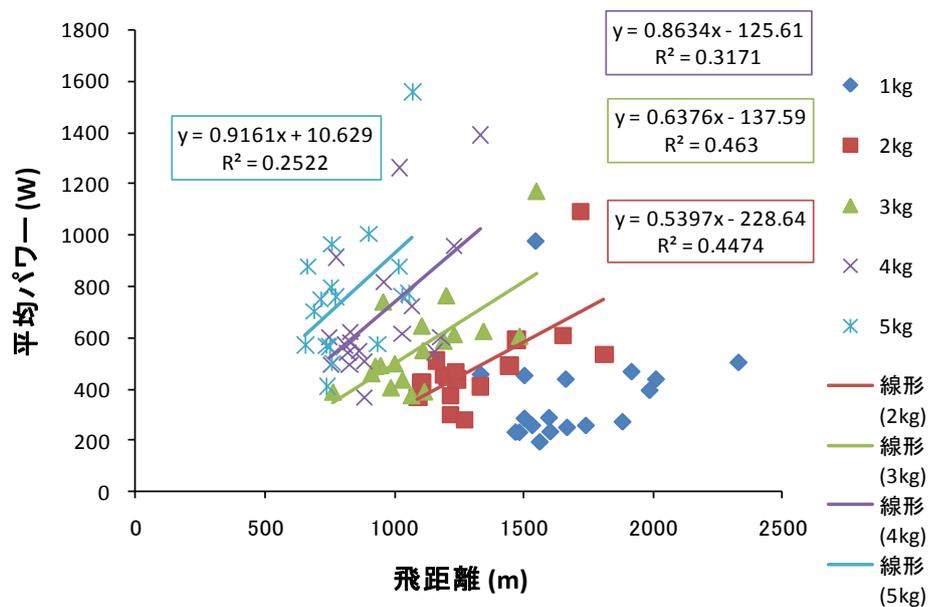


図 15：飛距離とボールに伝達されたパワーの平均値の関係

Ⅲ-2-v MBのリリース速度及び投射高、投射角

MB 後方投げにおけるリリース速度の平均値と標準偏差を算出し、図 16 に表した。なお動画映像に欠落のあった 10 試行を除いたため、 $N=19$ となった。リリース速度は 1kg が $14.1 \pm 3.0 \text{m/s}$ 、2kg が $11.0 \pm 1.7 \text{m/s}$ 、3kg が $10.3 \pm 1.4 \text{m/s}$ 、4kg が $10.1 \pm 1.9 \text{m/s}$ 、5kg が $9.5 \pm 1.2 \text{m/s}$ であった。なお 1kg と 2kg ($p=0.005$)、1kg と 3kg ($p<0.001$)、1kg と 4kg ($p<0.001$)、1kg と 5kg ($p<0.001$)、2kg と 3kg ($p=0.005$)、2kg と 4kg ($p=0.027$)、2kg と 5kg ($p<0.001$) の間に有意な差が認められたが、その他の重量間について、有意差は認められなかった。

またリリース速度と飛距離との間に、2kg ($p<0.05$)、3kg ($p<0.05$) について、有意な相関関係が認められた (表 5、図 17)。しかしリリース速度と体重、ピーク床反力 (図 18) および脚伸展パワー (図 19) との間に、全ての重量間について、有意な相関関係は認められなかった (表 5)。

また身長に対する投射高の相対値は、1kg が 0.97 ± 0.06 、2kg が 0.97 ± 0.07 、3kg が 0.99 ± 0.05 、4kg が 0.98 ± 0.06 、5kg が 0.96 ± 0.06 であった。なお全ての重量間について、有意差は認められなかった。リリース時の投射角は、1kg が $35.1 \pm 11.1^\circ$ 、2kg が $39.4 \pm 6.2^\circ$ 、3kg が $41.2 \pm 9.3^\circ$ 、4kg が $44.5 \pm 11.9^\circ$ 、5kg が $42.2 \pm 9.7^\circ$ であった。なお全ての重量間について、有意差は認められなかった。

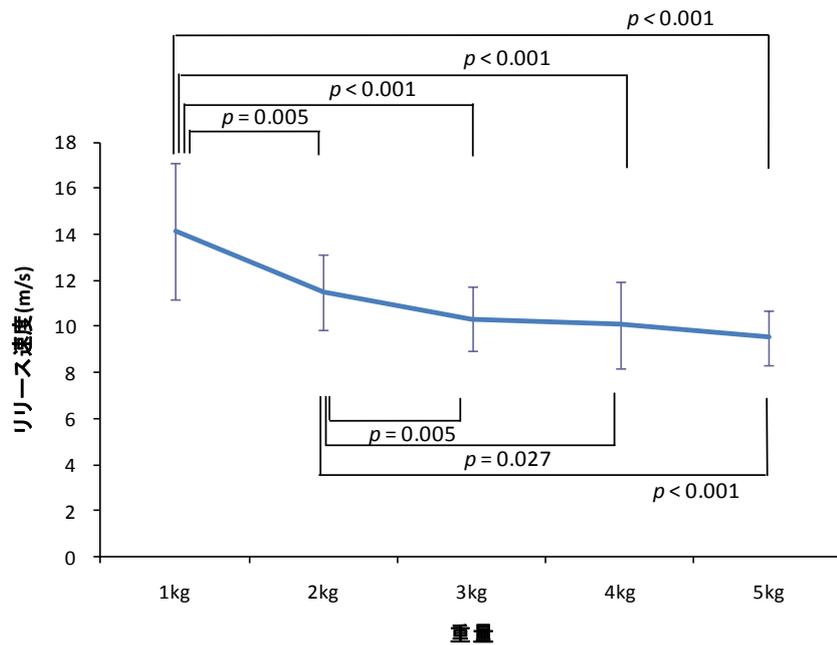


図 16：重量とリリース速度の関係

表 5：リリース速度と飛距離、体重、ピーク床反力および脚伸展パワーとの関係

変数	重量	平均±標準偏差	飛距離	相関係数		
				体重	ピーク床反力	脚伸展パワー
リリース速度 (m/s)	1kg	673.3±131.6	0.05	0.21	0.31	0.45
	2kg	669.4±113.7	0.65 †	-0.15	0.02	0.28
	3kg	695.0±134.6	0.70 †	-0.03	0.12	0.36
	4kg	679.4±108.3	0.39	0.18	0.21	0.34
	5kg	700.0±135.3	0.31	0.04	0.00	0.17

†: $p < 0.01$.

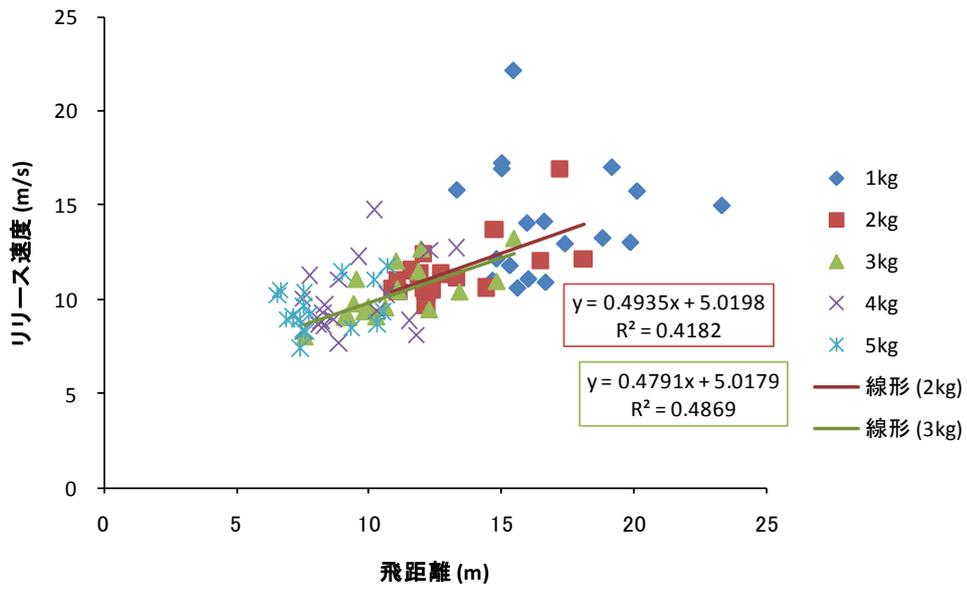


図 17： 飛距離とリリース速度の関係

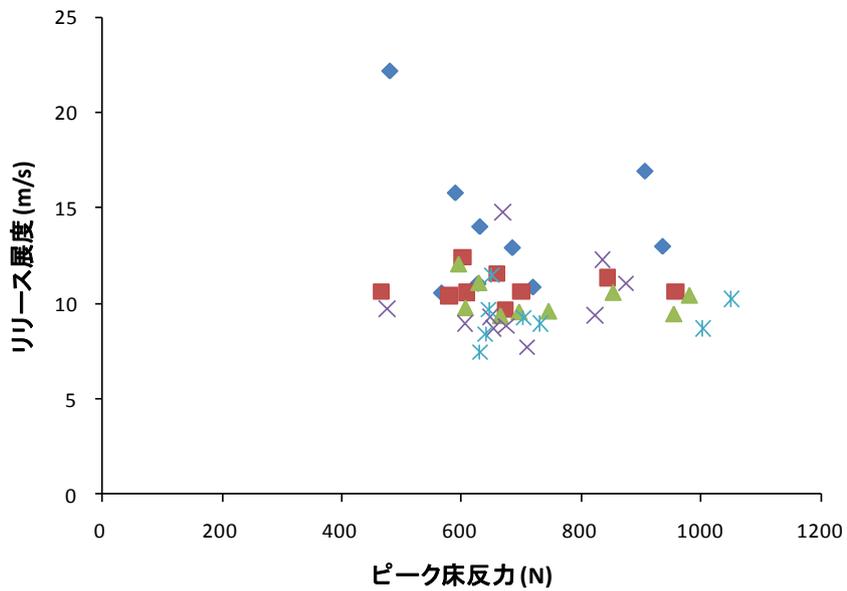


図 18： ピーク床反力とリリース速度の関係

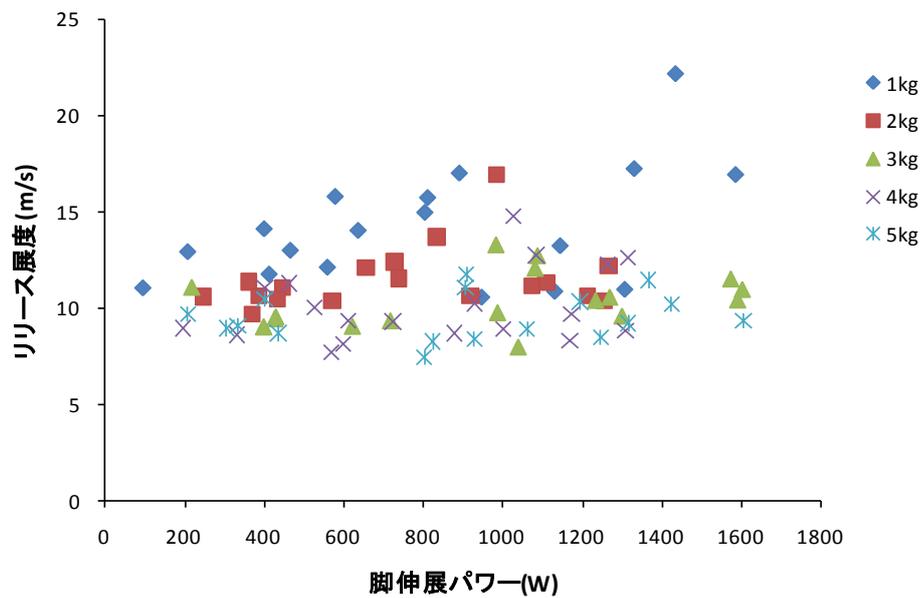


図 19：脚伸展パワーとリリース速度の関係

第IV章 考察

本研究は MB 後方投げにおいて発揮されるパワーに対する MB 重量の影響、および MB 後方投げにおいて発揮されるパワーと飛距離との関係を明らかにすることを目的とした。

飛距離と重量について、飛距離は全ての重量間について有意な差が認められ、重量が増すごとに飛距離が短くなった。ピーク床反力、脚伸展パワーについては、全ての重量について、ほぼ同じ値であった。また MB のリリース速度に関しては、重量の一番軽い 1kg が最も速いリリース速度であり、一番重い重量の 5kg は全ての MB の中で最も遅いリリース速度であった。

IV-1 重量と発揮パワーの関係

一般的にレジスタンスエクササイズにおいて、負荷重量が増していくと、最大挙上重量の約 80%までは、人体が発揮するパワーは上昇していく^{17) 32) 46)}。同様に MB 後方投げにおいても、重量が増すごとに、人体が発揮するパワーも増していくと予測された。またトレーニングを行う上で適切な至適重量があるとすれば、一般的に使用されている 1~5kg 重量の中で、脚伸展パワーが最大になる重量があると推察された。しかし脚伸展パワーにおいて、本研究で用いた重量の範囲で、極大値を得る結果には至らなかった。

身体が発揮する力の変化により、力を加える対象物の速度に変化をもたらす。したがって、リリース速度の大小を決定している因子の一つは、身体が発揮する力である。また身体が発揮する力に、力を発揮する身体を積したものが、身体が発揮するパワーである。従って、身体が発揮するパワーもリリース速度の大小を決定している因子の一つと言う

ことが出来る。

しかし、本研究で測定を行った脚伸展パワーは、2kg と 3kg の間に有意な差が認められたが、その他の重量間では有意な差を認めなかった。

投球時におけるピーク床反力は、全ての重量間について有意差は認められなかった。また床反力の立ち上がり速度、立ち上がり時間においても有意差は認められなかった。つまり、投球動作中の床反力の経時的変化については、重量および被験者に関わらず、ほとんど同じ様相を呈していた。そして脚伸展速度の指標とした、転子点における速度の鉛直成分に関しても、全ての重量間について、有意な差は認められなかった。

以上のように、床反力と脚伸展速度は全ての重量間についてほぼ同じであり、その積である脚伸展パワーにおいても 2kg と 3kg の間以外には有意な差は認められなかった。

本研究における脚伸展パワーは、先行研究と同様に垂直跳びと比較を行うため、鉛直成分のみを分析対象としている。しかし床反力に関しては、図 6 に代表されるように、全ての重量において、推進成分に対して、鉛直成分がより大きな値を示している。従って、鉛直方向の脚伸展パワーは、下半身が発揮しているパワーに対して大きな割合を占めていると推測することが出来る。また脚伸展パワーは、転子点における速度の鉛直成分に、床反力の鉛直成分を積した値である。鉛直方向のパワー発揮指標として算出したが、本手法では、足関節、膝関節が発揮するパワーは含まれているものの、股関節が発揮するパワーが全て含まれていると言いきれない。

またピーク床反力、脚伸展パワーについては、全ての重量について、ほぼ同じ値であったにも拘らず、ボールに伝えられた平均パワーは、重量が増すごとに大きくなった（図 14）ことから、本研究で測定対象とし

なかった、上半身が発揮するパワー、もしくは股関節が発揮するパワーの方が、飛距離により強く影響していることが考えられる。これはリリース速度と、ピーク床反力あるいは脚伸展パワーとの間に、いずれの重量間についても、有意な相関関係が認められなかったことから推察することが出来る。

上半身が発揮するパワーは、体幹、肩関節、肘関節、手関節が発揮するパワーを総合したものであり²²⁾、6つの身体セグメントから成る下肢と比べ、上半身は9つという多くのセグメントから構成されており、これらのセグメント間に発生し、総合されたパワーが飛距離を決定していると考えられる。

また飛距離を決定する上半身が発揮するパワーの強弱に、影響を及ぼす因子の1つとして挙げる事が出来るのが、投擲テクニックである。

一般に飛距離を決定する要因はリリース速度、投射高、投射角とされている²⁹⁾。本研究では投射高、投射角について、全ての重量間に有意な差が認められなかったが、投射高に対して適切な投射角で、投擲を行うことは、より遠くへ投げることを目的としたトレーニングにおいて重要である。従って、MB後方投げは技術的要素が強いというトレーニング指導者の意見が在るのも、このような上半身のパワー発揮の難しさ、投擲テクニックが原因の一つと言えるかもしれない。

このように、MB後方投げ動作はピーク床反力ならびに脚伸展パワーは、全ての重量について、有意な差は認められず、上半身が発揮するパワーの方が、飛距離により強く影響していることが考えられた。つまり、脚を重視した競技種目においては、MB後方投げを下肢のトレーニングとして、もしくは測定評価として使用することは有効でないことが推察される。

IV-2 発揮パワーと飛距離の関係

スポーツ活動、トレーニング現場では、MB 後方投げにおける飛距離が、パフォーマンス評価の指標として認識され扱われている。これは Stockbrugger らが評価を行った Power Index^{53) 54)}であったり、Mayhew らが評価を行ったピークパワー、平均パワー⁴¹⁾のように、パワーを評価する指標が、MB 後方投げの最大飛距離と強い相関関係を示した先行研究の結果に依るところが大きい。

しかし本研究では、MB 後方投げ動作中の脚伸展パワーと飛距離に有意な相関関係は認められなかった(表 3、図 12)。しかし被験者の体重とそれぞれが評価を行ったパワーとの関係では、Mayhew ら⁴¹⁾はピークパワー、平均パワーは各々相関関係を示し ($r=0.36$ 、 $r=0.29$)、Stockbrugger ら⁵⁴⁾も相関関係を示している ($r=0.79$) のと同様に、本研究でも、被験者の体重と MB 後方投げ動作中の脚伸展パワーの間に有意な相関関係が認められた。

本研究では身体全体が発揮するパワーではなく、脚伸展パワーという局所的なパワーを評価したことが最大の理由であると考えられる。脚伸展パワーは、飛距離と有意な相関関係が認められなかった一方で、飛距離を決定する因子の1つである、リリース速度では 2kg、3kg においては、飛距離と有意な相関関係が認められた。この変数は、本研究で得られたデータの中で唯一、飛距離と有意な相関関係が認められた。先行研究と同じ結果が得られた理由として、リリース速度は MB が単独で運動を開始する際の1つの変数であるということ、身体全体が発揮するパワーの大小に依存することが挙げられる。また Stockbrugger ら^{53) 54)}が同様に 3kg の MB を使用して研究を行っていることが挙げられる。(Mayhew ら⁴¹⁾は 7kg の MB を使用している。)

ピーク床反力および脚伸展パワーが飛距離と有意な相関関係が認められなかったことから、強く地面を押せば押すほど、遠くに投げられるという結果にはならなかった。しかし同じ床反力であれば、最も影響を受けるのは 1kg であり(図 9)、リリース速度においても一番速かったのが 1kg であった。効率という面では、1kg を選択することがトレーニングに適していると示唆される(図 9、13)。

また本研究で測定を行ったボールに伝達された平均パワー、脚伸展パワーおよびピーク床反力の値において、本研究で用いた重量の範囲では、極大値を得られなかった。これより一般的に使用されている 1~5kg の MB の中では、どの重量がトレーニングの至適重量なのか、本研究で言及するには至らなかった。

IV-3 MB 後方投げの特徴的傾向(床反力の様相)

投球動作中の床反力には、特徴的な傾向がみられた。投球動作開始後にしゃがみ込み、その後投球に至るまでに床反力に 2 つの凸形状がみられた(図 6)。5 つの投球の中で 1 つでも 2 つの凸形状を示した者は、20 人中 18 人を占めた。また 5 回全ての投球において 2 つの凸形状を示した者は、15 人いた。これはスナッチ、クリーン種目における、重量を挙上する際に一度膝を後方へ引き、その後下肢 3 関節を伸展させる「ダブルニーベンド」動作^{6) 9) 15) 19) 21) 27)}に類似している。挙上重量はスナッチ、クリーン種目と異なるものの、床に近い、低い位置から、最大努力で脚伸展を行うという点でも同じような動作を行うトレーニング種目であることが分かる。熟練したエクササイズテクニックが必要とされるスナッチ、クリーン種目と異なり、挙上重量が軽くなるものの、同じような床反力の様相を呈している MB 後方投げは、クリーン、スナッチ種目の

導入種目として、レジスタンストレーニングプログラムに導入することも方法の1つであろう。

第 V 章 結論

本研究は MB 後方投げにおいて発揮されるパワーに対する MB 重量の影響、および MB 後方投げにおいて発揮されるパワーと飛距離との関係を明らかにすることを目的とした。

その結果、投球時における脚伸展パワーはほぼ同じであり、またボールに伝達された平均パワー、脚伸展パワーおよびピーク床反力の値において、本研究で用いた重量の範囲では、極大値を得られなかった。これより一般的に使用されている 1～5kg の MB の中では、どの重量がトレーニングの至適重量なのか、本研究で言及するには至らなかった。

第VI章 参考文献

- 1) 阿江通良. 日本人アスリートの身体部分慣性特性の推定. *バイオメカニズム学会*. 東京大学出版会. 22-23. 1992.
- 2) 阿江通良, 藤井範久. *スポーツバイオメカニクス 20 講*. 東京:朝倉書店. 165-172. 2002.
- 3) Armstrong, D. F. Power training: The key to athletic success. *National Strength & Conditioning Association Journal*. 15(6): 7-11. December 1993.
- 4) 浅見俊雄. *現代の科学・スポーツ科学 スポーツトレーニング*. 東京:朝倉書店. 75 1985.
- 5) Berger, R. A. Strength improvement. *Strength & Health*. August 1972.
- 6) Burdett, R. G. Biomechanics of snatch technique of highly skilled and skilled weightlifters. *Res. Q. Exerc. Sport*. 53: 193 -197. 1982.
- 7) Cureton, T. K. *Physical fitness appraisal and guidance*. The C. V. Mosby Co. 1947.
- 8) DeLorme, T. L. Relationship of muscle power by heavy-resistance exercises. *J. Bone. Joint. Surg.* 25:645. 1945.
- 9) Enoka, R. M. The pull in Olympic weightlifting. *Med. Sci. Sports. Exerc.* 11: 131-137. 1979.
- 10) Fleck, S. J., and W. J. Kraemer. *Designing Resistance Training Programs*. Champaign, IL: Human Kinetics. 1997.
- 11) Fleck, S. J., and W. J. Kraemer. *Designing Resistance Training Programs*, 2nd ed. Champaign, IL: Human Kinetics. 1997.
- 12) Fox, E. L., and D. Mathews. *The Physiological Basis of Physical Education and Athletics*. Philadelphia: Saunders College Publishing. 1981.

- 13) Fox, E. L., R. W. Bowers, and M. L. Foss. *The Physiological Basis for Exercise and Sport*. Brown & Benchmark Pub; 5th. 1993.
- 14) 深代千之. *跳ぶ科学*. 東京:大修館. 24. 1990.
- 15) Garhammer, J. Power production by Olympic weightlifters. *Med. Sci. Sports. Exerc.* 12: 54-60. 1980.
- 16) Garhammer. J. *Sports Illustrated Strength Training*. New York: Harper & Row. 1986.
- 17) Garhammer, J. A review of power output studies of Olympic and powerlifting: Methodology, performance prediction and evaluation tests. *Journal of Strength and Conditioning Research.* 7(2): 76-89. 1993.
- 18) Gillespie, J., and S. Keenum. A validity and reliability analysis of the seated shot put as a test of power. *J. Hum. Mov. Stud.* 13:97-105. 1987.
- 19) Gourgoulis, V, Aggelousis, N, Mavromatis, G, and Garas, A. Threedimensional kinematic analysis of the snatch of elite Greek weightlifters. *J. Sport. Sci.* 18: 643-652. 2000.
- 20) 浜田靖一, 前田満信. *メディシンボール<体力ボール>*. 東京:泰流社. 12. 1971.
- 21) Hakkinen, K., and Kauhanen, H. A biomechanical analysis of selected assistant exercises of weightlifting. *J. Hum. Mov. Stud.* 12: 271-288. 1986.
- 22) Hanavan E. P., A mathematical model of the human body. *AMRL Technical report* 64-102. Wright-Patterson Air Force Base. 1964.
- 23) 原島鮮. *質点系・剛体力学 (基礎物理学選書3) 改定14版*. 東京: 裳華堂. 1985.
- 24) Hedrick, A. Training for hypertrophy. *Strength & Conditioning Journal.* 17(3): 22-29. 1995.
- 25) Hedrick, A. R., and M. H. Stone. The effects of periodization versus progressive resistance exercise on upper and lower body strength in women. *Journal of Strength*

and Conditioning Research. 10(2): 72-76. 1996.

26) Hortobagyi, T., J. Havasi, and Z. Varga. Comparison of two stretch-shorten exercise programmes in 13-year-old boys: Nonspecific training effects. *J. Hum. Mov. Stud.* 18:177-188. 1990.

27) Isaka, T, Okada, J, and Funato, K. Kinematic analysis of the barbell during the snatch movement of elite Asian weightlifters. *J. Appl. Biomech.* 12: 508-516. 1996.

28) 金子公宥. 瞬間的パワーからみた人体筋のダイナミクス. 東京: 杏里書院. 5. 1974.

29) 金子公宥. スポーツ・バイオメカニクス入門 絵で見る講義ノート. 東京: 杏林書院. 2006.

30) 河内まき子. ～口伝 人体寸法・形状・運動計測編～ 人体寸法計測 -その 1- バイオメカニクス学会誌. Vol26. No1. 2002.

31) 河内まき子. ～口伝 人体寸法・形状・運動計測編～ 人体寸法計測 -その 2- バイオメカニクス学会誌. Vol26. No2. 2002.

32) Kramemer, W. J., and L. P Koziris. Muscle strength training: Techniques and considerations. *Physical Therapy Practice.* 2: 54-68. 1992.

33) 窪康之, 阿江通良, 藤井範久. 技術トレーニングによる動作の変化に関するバイオメカニクス的研究-メディシンボールのバック投げにおける力学的エネルギーの流れに着目して-. *バイオメカニクス研究.* 3(3). 170-178. 1999-10.

34) 窪康之, 阿江通良, 藤井範久. メディシンボールバック投げにおける身体各部の力学的エネルギーの変化におよぼす関節パワーの影響. *日本体育学会大会号* (48): 340, 1997-08-29.

35) 窪康之, 阿江通良, 藤井範久, 高松潤二, 篠原邦彦. 運動量の伝達に関する基礎的研究: メディシンボール投げを例にして. *日本体育学会大会号* (47): 371. 1996-08-25.

36) Lombardi, V. P. *Beginning Weight Training.* Dubuque, IA: W. C. Brown. 1989.

- 37) MacDonagh, M. J. N., and C. T. M. Davies. Adaptive response of mammalian skeletal muscle to exercise with high loads. *Eur. J. Appl. Physiol.* 52: 139-155. 1984.
- 38) McCloy, C. H. Recent studies in the Sargent Jump. *Res. Quart.* 3(2): 235-242. 1932.
- 39) Matuszak, M. E., A. C. Fry, L. W. Weiss, T. R. Ireland, and M. M. Mcknight. Effect of Rest Interval Length on Repeated 1 Repetition Maximum Back Squats. *Journal of Strength and Conditioning Research.* 17(4). 634-637. 2003.
- 40) Mayhew, J. L., F. C. Piper, G. L. Ethridge, T. M. Schwegler, S. E. Beckenholdt, and M. A. Thomas. The Margaria-Kalamen anaerobic power test: Norms and correlates. *J. Hum. Mov. Stud.* 18:141-150. 1990.
- 41) Mayhew, J. L., M. Bird, M. L. Cole, A. J. Koch, J. A. Jacques, J. S. Ware, B. N. Buford, and K. M. Fletcher. COMPARISON OF THE BACKWARD OVERHEAD MEDICINE BALL THROW TO POWER PRODUCTION IN COLLEGE FOOTBALL PLAYERS. *Journal of Strength and Conditioning Research.* 19(3): 514-518. 2005.
- 42) Mayhew, J. L., M. G. Bemben, D. M. Rohrs, F. C. Pipers, and M. K. Willman. Comparison of upper body power in adolescent wrestlers and basketball players. *Pediatr. Exerc. Sci.* 7: 422-431. 1995.
- 43) Mayhew, J. L., M. G. Bemben, D. M. Rohrs, J. Ware, and D. A. Bemben. Seated shot put as a measure of upper body power in college males. *J. Hum. Mov. Stud.* 21: 137-148. 1991.
- 44) Mayhew, J. L., M. G. Bemben, F. C. Piper, J. S. Ware, D. M. Rohrs, and D. A. Bemben. Assessing bench press power in college football players: The seated shot put. *Journal of Strength and Conditioning Research.* 7: 95-100. 1993.
- 45) 持丸正明. 口伝 - 人体寸法・形状・運動計測編 第3回人体運動計測 - その1- バイオメカニズム学会誌. Vol127. No1. 2003.
- 46) Newton, R. U., B. Humphries, A. Murphy, G. J. Wilson, and W. J. Kraemer. Biomechanics and neural activation during fast bench press movements: Implications for power training. Presented at NSCA Conference. New Orleans, June 1994.

- 47) Neptune, R. R., I. C. Wright, and A. J. Van Den Bogert. Muscle coordination and function during cutting movements. *Med. Sci. Sports. Exerc.* 31: 294-302. 1999.
- 48) 岡田英考, 阿江通良, 藤井範久, 森丘保典. 日本人高齢者の身体部分慣性特性. *バイオメカニズム学会*. 東京大学出版会. 125-128. 1996.
- 49) O' shea, J. P. *Scientific Principles and Methods of Strength Fitness*. Reading, MA: Addison-Wesley. 1976.
- 50) Pauletto, B. Choice and order of exercise. *National Strength & Conditioning Association Journal*. 8(2): 71-73. 1986.
- 51) Sargent, D. A. The physical test of a man. *Am. Physical Education Rev.* 26(4): 188-194. 1921, *School and Society*. 13(318): 128-135. 1921.
- 52) Sargent, L. W. Some observations on the Sargent Test of neuro-muscular efficiency. *Am. Physical Education Rev.* 29(2): 47-56. 1924.
- 53) Stockbrugger, B. A., and R. G. Haennel. Contributing factors to performance of a medicine ball explosive power test: a comparison between jump and nonjump athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 17: 768-774. 2003.
- 54) Stockbrugger, B. A., and R. G. Haennel. Validity and Reliability of a Medicine Ball Explosive Power Test. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 15(4): 431-438. 2001.
- 55) Stone, M. H., and H. S. O' Bryant. *Weight training: A Scientific Approach*. Minneapolis, MN: Burgess. 1987.
- 56) 鈴木敏夫. *体力の診断と評価*. 東京: 大修館. 23. 1977.
- 57) Tesch, P. A. Training for bodybuilding. In: *Strength and Power in sports*, P. V. Komi, ed. London: Blackwell Scientific. 1993. Pp. 370-380.
- 58) Tesch, P., and Larson. Muscle hypertrophy in body builders. *Eur. J. Appl. Physiol.*

49: 301-306. 1982.

59) Verhoshansky, Y. *Fundamentals of Special Strength Training in Sport*. Livonia, MI: Sportivny Press. 1976.

60) Winter, D. A., A. E. Patla, F. Prince, and M. Ishac and K. Gielo-Perczak. Stiffness Control of Balance in Quiet Standing. *J. Neurophysiol.* 80: 1211-1221. 1998.

謝辞

本研究は、主査岡田純一准教授、副査川上泰雄教授、副査磯繁雄教授のもと行われました。岡田純一准教授には、実験計画から文章構成に至るまで、丁寧な指導をして頂きました。また杉崎範英助教には、いつも多くの助言を頂きました。諸先生方には深く感謝いたします。

また快く実験の被験者を引き受けて頂いた皆様、多大なご協力を頂いたコーチング科学研究領域の皆様に、心より厚く御礼申し上げます。

最後に、応援してくれた家族に感謝いたします。

2012年1月13日

早稲田大学スポーツ科学研究科 荒井 進之介