

砲丸投の指導法に関するバイオメカニクス的研究
- “FreeArm”の動きに着目して -

大学院教育学研究科修士課程教育科学専攻

芸術・スポーツ系教育領域

214M032

岡南 遼

平成 28 年 2 月 15 日

目次

序章	1
1. 研究背景	1
2. 研究目的	4
第 1 章 未熟練者の動作特徴	5
第 1 節 本章の目的	5
第 2 節 方法	5
(1) 対象者の身体特性	5
(2) 測定方法	6
(3) 分析項目	11
1) 投擲に関する項目	12
(i . 投擲距離 ii . 投射角度 iii . 投射速度 iv . 突出し速度)	
2) 体幹に関する項目	13
(i . 肩回転角度 ii . 肩回転角速度	
iii . 腰回転角度 iv . 腰回転角速度 v . 捻り角度)	
3) 重心に関する項目	15
(i . 身体重心移動速度 ii . FreeArm 重心移動速度)	
(4) 統計処理	15
第 3 節 結果	16
(1) 投擲に関する項目	16
(2) 体幹に関する項目	17
(3) 重心に関する項目	18
第 4 節 考察	19
(1) 未熟練者の動作における分析項目間の関係について	19

(2) 未熟練者の動作特徴について	26
第 5 節 本章まとめ	37
第 2 章 FreeArm の動きとパフォーマンスの関連性	39
第 1 節 本章の目的	39
第 2 節 方法	39
(1) 対象者の身体特性	39
(2) 測定方法	40
(3) 分析項目	45
1) 投擲に関する項目	45
(i . 投擲距離 ii . 投射角度 iii . 投射速度 iv . 突出し速度)	
2) 体幹に関する項目	45
(i . 肩回転角度 ii . 肩回転角速度	
iii . 腰回転角度 iv . 腰回転角速度 v . 捻り角度)	
3) 重心に関する項目	45
(i . 身体重心移動速度 ii . FreeArm 重心移動速度)	
4) 床反力に関する項目	45
(4) 統計処理	45
第 3 節 結果	46
(1) 投擲に関する項目	46
(2) 体幹に関する項目	47
(3) 重心に関する項目	48
(4) 床反力に関する項目	49
第 4 節 考察	50
(1) FreeArm の動きについて	50
(2) FreeArm の動きと投擲の関係について	52

(3) FreeArm の動きと体幹の動きの関係について	54
(4) FreeArm の動きと床反力の関係について	59
第 5 節 本章まとめ	65
第 3 章 FreeArm の動きに着目した指導	67
第 1 節 本章の目的	67
第 2 節 方法	67
(1) 対象者の身体特性	67
(2) 測定方法	68
(3) 分析項目	71
1) 投擲に関する項目	71
(i . 投擲距離 ii . 投射角度 iii . 投射速度 iv . 突出し速度)	
2) 体幹に関する項目	71
(i . 肩回転角度 ii . 肩回転角速度	
iii . 腰回転角度 iv . 腰回転角速度 v . 捻り角度)	
3) 重心に関する項目	71
(i . 身体重心移動速度 ii . FreeArm 重心移動速度)	
4) 床反力に関する項目	71
(4) 統計処理	72
第 3 節 結果	73
(1) 投擲に関する項目	73
(2) 体幹に関する項目	75
(3) 重心に関する項目	76
(4) 床反力に関する項目	77
第 4 節 考察	78
(1) 初期動作 (pre 動作) と指導後動作 (post 動作) の比較について ...	78

(2) 投擲距離が増大した群 (UP 群) について	88
(2) 投擲距離が増大しなかった群 (no-up 群) について	94
第 5 節 本章まとめ	114
終章	116
引用・参考文献	119
謝辞	

序章

1. 研究背景

学校体育において砲丸投は高等学校から学習内容として取り扱われ、その歴史は古く 1900 年頃から学校で行われていたという記録がある(竹千代 1909)．現在、高等学校学習指導要領（文部科学省，2009）の中で砲丸投は「C 陸上競技ウ．投てき」に分類され、「ア．競走」「イ．跳躍」の内から選択して履修できることとしている．伊藤ら（2002）は大学生に対して中・高等学校時の体育授業における運動種目の履修実態調査を行った結果、砲丸投を履修した者は中学校で 19.9 %，高等学校で 16.4 %と走・跳種目に比べて履修者が少ないと述べている．また、浅見ら（2001）は大学生を対象に陸上競技の授業全体を占める各種目の割合を検討した結果、中・高等学校において授業全体に対して投擲種目が占める割合は 3 年間を通じてそれぞれ 4.2 %，11.1 %であった報告している．平成 21 年に学習指導要領は改訂されたものの、現在でも陸上競技の授業全体に占める投擲種目の割合は低く、学習時間がごく限られたものになっていることが考えられる．したがって、短時間で砲丸投を指導できる方策を示すことも重要であるだろう．

投げるとは「手に持っている物体に、持っている手によって速度を与えて空中に放す動作である」と定義される（桜井，1992）が、砲丸投はその投げ方に関してルール日本陸上競技連盟競技規則（2013）の制約を受けている．そのため THROW（投げ）ではなく PUT（押し出す）の動作を行う運動である．

砲丸投はスコットランド地方で行われていた石投げにその起源をみることができ（植屋，1980），1896 年にオリンピック種目として位置づいたころより、動作フォームの変遷を繰り返した．植屋（1980，1988）は砲丸投の動作フォームの変遷は横向きホップスロー（1900 年～），斜め横向きホップスロー（1949

年～), 後ろ向きグライドスロー (1953 年～), オブライエン改良型 (1965 年～), トルク投法 (1973 年～), 回転式投法 (1976 年～) というように辿ったと述べている. さらに, 植屋 (2004) は投擲フォームの変遷は, 投擲動作の拡大化, 弾道距離の増大化, スピード化, パワー化, 動的バランスやリズム性の活性の変遷であるとも述べている. 近年はグライド投法と回転投法の 2 種類の投法が主流になっている. 日本国内ではグライド投法の需要が圧倒的に高い (大山下, 2010) ことやグライド投法に比べ回転投法の指導は困難である (Klaus E. Bartonietz, 1994) といった報告より, 本研究ではグライド投法に主眼を置き, 研究を進めるものとする.

「グライド投法」とは右投げの場合, 投擲方向とは正反対の後ろ向きに構え, しゃがみこんだ後, 左脚を投擲方向へ投げ出しながら移動した (グライド動作) 後に上体の起こし, 腰の捻りを用いて投擲距離を伸ばそうと考案された投擲方法である (寺尾ら, 2012). 「glide」とは直訳すると「滑るように動く」と訳される. つまり, グライドによる移動は単に身体が投擲方向へ移動するのではなく, 滑らかな移動でなければならないといえる.

突出しにより放たれた砲丸の投擲距離は砲丸が手から離れた瞬間の水平速度 ($V \cos \theta$), 鉛直速度 ($V \sin \theta$), 投射角度 (θ), 投射高 (h), 重力加速度 ($g: 9.8 \text{ m/sec}^2$) によって決定され, 以下の式で表すことができる.

$$\text{投擲距離} = \frac{V \cos \theta \left[V \sin \theta + \sqrt{(V \sin \theta)^2 + 2 g h} \right]}{g}$$

砲丸の投擲距離は重量や形状から空気抵抗は無視することができ (D. B. Lichtenberg ・ J. G. Wills, 1976), 投射速度, 投射角度, 投射高の順に投擲距離に与える影響は大きい (植屋, 2004). そのため, 投射速度を高めることがもっとも重要である.

投射速度を高めるために必要な技術に関してこれまでいくつか議論されてき

た．渋川ほか（1968）は投げに至るまでに動作中に全身で大きなエネルギーを生み出し無駄なくそのエネルギーを砲丸へ与えるようなフォームの必要性を述べている．西藤（1969）はグライド開始直前のしゃがみこんだ姿勢から支持足離地の瞬間までの重心移動速度が熟練者の方が速いと述べている．マイネル（1981）はグライド動作を伴った砲丸投を非循環運動と捉え、グライド動作は導入動作を行った後、主動作と同じ方向に行い追加的に準備する動作であり、主要局面のはじめの運動に入ることで、主要局面においてエネルギーを増大させる働きがあるとした．また、陸上競技指導書（金原，1964；古藤，1975）の中には「砲丸になるべく大きな速度を与える．」「構えから投射までに身体の移動スピードに切れ目がなく、さらに砲丸へは加速度的に力を加える．」などといった記述がある．これらの報告はグライド動作によって水平方向への移動速度を高めることで投射速度を高める技術を示している．

しかし、小山・青山（1999）は、グライド投法は真後ろを向いた状態から動作が始まり投擲方向へ反転する際に水平方向への速度が低下してしまうとし、直線を意識することで水平方向への移動速度を減速せずスムーズに投射する技術を考案している．野口（2012）はいくら良いグライド動作を行い、移動速度を高めても体幹を中心に身体を投擲方向へ水平回転させる動作がスムーズでなければより爆発的な突出し動作が行えないとし、捻り戻しの際に骨盤の水平回転を伴い突出しにスムーズに移行するグライド投法の有効性を示した．また、田内ほか（2006）は突出しの際に体幹の長軸回転が投射速度に大きく影響すると述べている．白井ほか（2011）は上肢へ効率的に力を伝達するために必要な体幹の起こしを意識したトレーニングを行い、その有効性を示唆した．瓜田・金高（2002）はグライドの基本的な技術構造を重心の崩しによる後方移動する技術と、グライドと突出しを結び付けるために前傾姿勢を保持したまま両脚接地時には投げの構えに入る先取り技術であると述べている．

つまり、これらの報告はグライド動作によって水平方向への移動速度を高めることで投射速度を高める技術に加え、体幹の動きによって減速せず砲丸へ力を伝え投射する技術を示していると考えられる。

そこで、グライドで得た力を砲丸へ伝えるために体幹の動きを有効に行う動作が必要になる。しかし、小山・青山（1999）や野口（2012）、白井ら（2011）などの研究は国内外の競技者を対象にした長期間のトレーニングによって達成されたものであり、同一の指導を短時間で初心者に行ったとしても効果は小さいと考えられる。また、単にグライドのスピードを速くする指導では初心者の場合不完全な姿勢からの投げになり記録が停滞してしまう（武田，1998）。

ある陸上競技指導書（野口，2013）をみると、グライド動作から投げにつながる局面においてグライド後は先ず左腕のみを投擲方向へ開く、と記されている。また、Gunter Tidow(1990)はグライド後に非投射腕（以下：FreeArm）を振上げる動きは回転しながら突出す動きをサポートすると述べている。FreeArmの動きと体幹の動きは密接な関係にあると思われ、FreeArmに着目した指導のみを行うことによって身体の動きを改善することができるならば、短時間で砲丸投指導がすることが可能になると考えられる。

2. 研究目的

グライド投法による砲丸投において FreeArm の動きに着目しバイオメカニクス（主としてキネマティクス）的な視点から砲丸投の未熟練者を対象にした指導方法を検討する。

第 1 章 未熟練者の動作特徴

第 1 節 本章の目的

グライド投法による砲丸投に熟練した者と未熟練な者の動作を FreeArm の動きに着目して比較することで、未熟練者の動作特徴を明らかにすることを本章の目的とする。

第 2 節 方法

(1) 対象者の身体特性

本章における熟練の対象者は男子大学生競技者 2 名，未熟練の対象者は健常な男子大学生 20 名とした。熟練者および未熟練者の身体特性を表 1 に示した。熟練者 A の身体特性は年齢 23 歳，身長 179.7 cm，体重 93.5 kg，競技歴 10 年であった。熟練者 B の身体特性は年齢 20 歳，身長 166.0 cm，体重 72.9 kg，競技歴 8 年であった。未熟練者の身体特性の平均値および標準偏差は年齢 19.5 ± 0.8 歳，身長 172.3 ± 5.9 cm，体重 64.7 ± 5.9 kg であった。

表 1 対象者の身体特性

		熟練者		未熟練者(n=20)		
項目		A	B	Mean	±	S.D.
年齢	(歳)	23.0	21.0	19.5	±	0.8
身長	(cm)	179.7	166.0	172.3	±	5.9
体重	(kg)	93.5	72.9	64.7	±	5.9
競技歴	(年)	10.0	8.0	—		—

(2) 測定方法

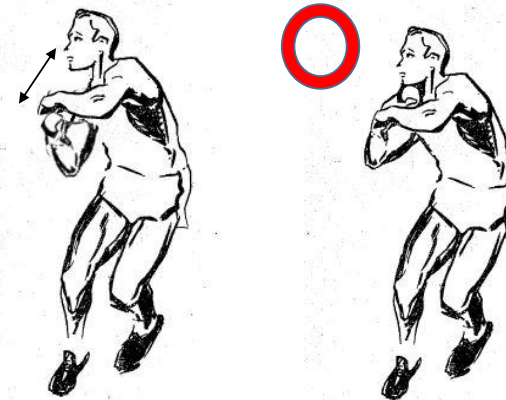
本測定は 2015 年 4 月 3 日～22 日にかけて M 大学陸上競技場で行われた。対象者には動作特徴を把握するために撮影を行う，という測定の主旨を説明し承諾を得た。測定者は日本陸上競技連盟競技規則（2013）に則る砲丸投のルールについて図 1 を用い，グライド投法について熟練者の実演と図 2 を用い説明した。その後，各自でウォーミングアップを行い，グライド投法を含めた練習投擲を 5 回以内で行った。この時，技術的な指導は一切行わなかった。未熟練者はケガのリスクを抑えるため一般女子砲丸投げの標準規格である 4.00kg の鉄製砲丸を用い，熟練者は平時に近い状態で優れたパフォーマンスを達成するため一般男子砲丸投の標準規格である 7.26kg の鉄製砲丸を用いて測定を実施した。

砲丸投のルール(簡易) ×

首辺りにつけておく！

砲丸は肩から片手だけで投射する。競技者がサークルの中で投射を始めようと構えた時には、砲丸はあごまたは首につけるか、あるいは近接した状態に保持しなければならない。投射の動作中は、その手をこの状態より下におろしてはならない。また、砲丸を両肩を結ぶ線より後にもっていてもいけない。

(日本陸上競技連盟,2013)



サークル内に入って投てきを始めた後、身体のどの部分でも、サークルの外側の地面に触れはいけない。砲丸投で身体のどの部分でも足留材の内側以外に触れてはいけない。

(日本陸上競技連盟,2013)



足留材より前に
出てはいけない！

図 1 砲丸投の簡易ルール

「グライド投法」とは投擲方向とは正反対の後ろ向きに構え、しゃがみこんだ後、左脚を投擲方向へ投げ出しながら移動した(グライド動作)後に上体の起こし、腰の捻りを用いて投擲距離を伸ばそうと考案された投擲方法である(寺尾ら2012)



写真:野口(2012)

図 2 グライド動作の説明

測定は対象者に頭頂および、左右の肩関節、肘関節、手関節、大転子、膝関節、外踝に身体マーカーを貼付し、グライド投法での砲丸投を最大努力で 3 回実施した。分析の対象は 3 回中最も大きい投擲距離を示した試技とした。

測定に際して、動作の全体が映るように 2 台のデジタルビデオカメラ（Panasonic 社製 HC-W870M, HC-V750M）を右斜め前方と左斜め前方に光軸が直交するように設置し動作を毎秒 60 コマのスピードで撮影した（図 3）。

この時、光刺激を差し込み 2 台のカメラを同期した。三次元 DLT 法を用いて三次元座標を算出するために、スケール（1 辺 2m のポールを組合わせた立方体）を組立て撮影し、21 ポイントのコントロールポイントを得た。

撮影した映像はコンピュータに取り込み動画変換ソフト（株式会社ペガシス社製 TMPGEnc Video Mastering Works 5）を用い AVI ファイルへ変換した後、動作解析ソフト（nac 社製 MOVIAS Neo）を用い毎秒 60 コマのスピードでデジタイズを行い、三次元座標を算出した。デジタイズポイントは頭頂および、左右の肩関節、肘関節、手関節、大転子、膝関節、外踝、爪先、踵の身体 17 ポイントに砲丸を合わせた計 18 ポイントとした（図 4）。算出された三次元座標はデータのノイズを除去するために Winter（1979）の Butterworth low-pass digital filter を用い 8.5 Hz で平滑化した。

分析区間は支持足離地の 25 コマ前からリリース 10 コマ後までとした。

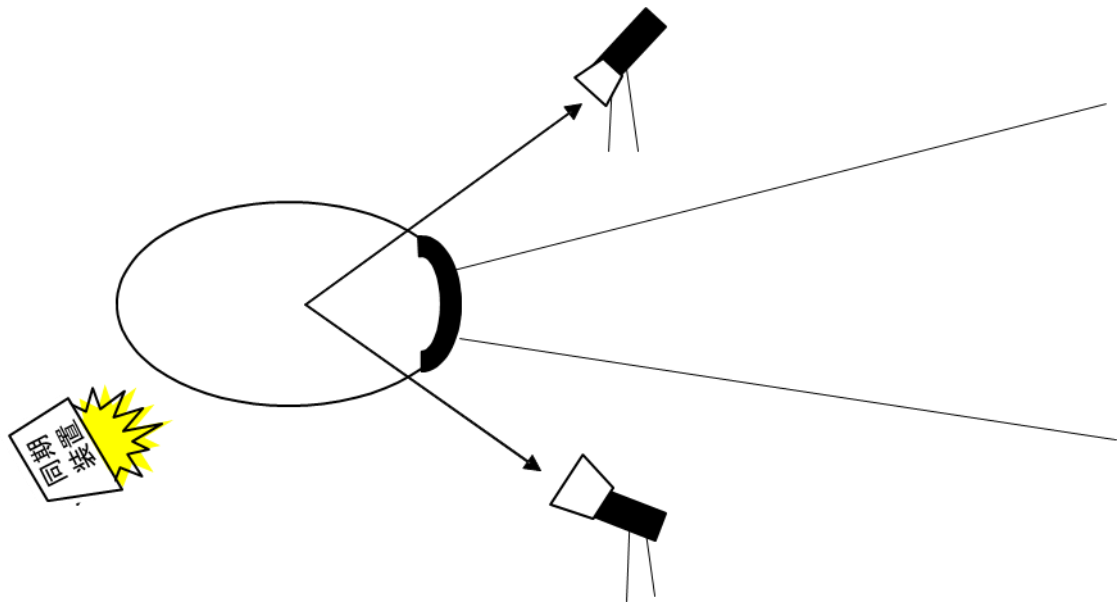


図 3 撮影方法模式図

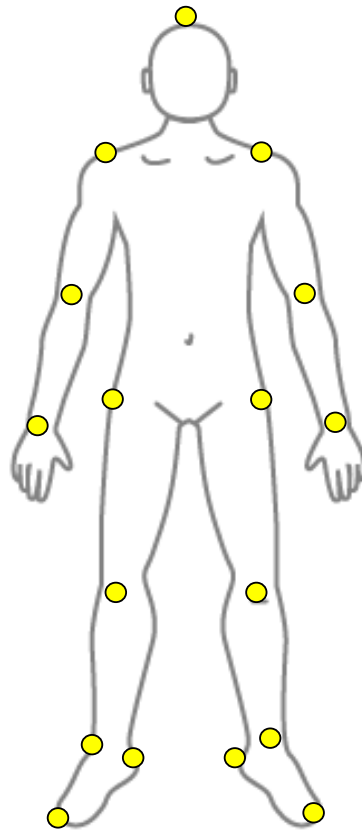


図 4 身体デジタイズポイント

(3) 分析項目

分析の際，三軸に対して投擲方向を水平軸，上下方向を鉛直軸，左右方向を左右軸と定義した（図 5）．また，投擲動作に関して G.Marhold（1974）の局面分けに従い，支持足離地の瞬間を R-off，支持足着地の瞬間を R-on，先行する足が着地する瞬間を L-on，砲丸が手から放たれる瞬間を Release とした（図 6）．

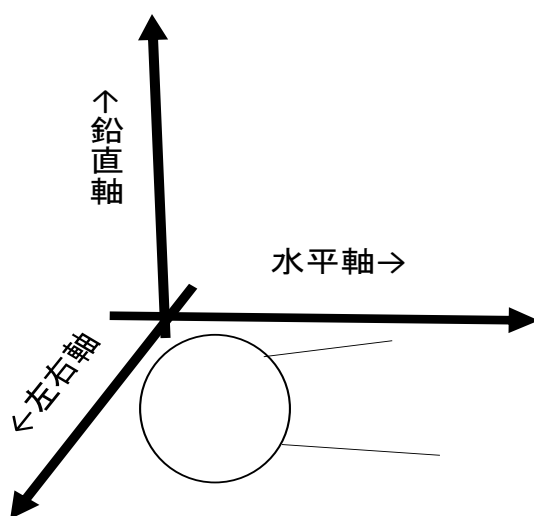


図 5 軸定義

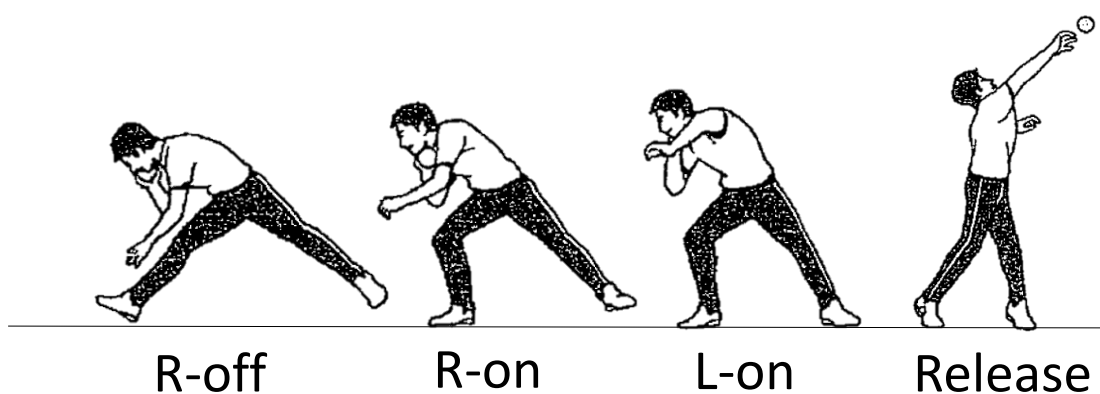


図 6 G. Marhold の投擲動作局面分け

1) 投擲に関する項目

i. 投擲距離

日本陸上競技連盟競技規則（2013）に従った方法で砲丸の落下点を，メジャーを用いて測定した飛距離を投擲距離とする．

ii. 投射速度

投射速度は Release 時の値を抽出した．砲丸の水平方向への移動速度を投射水平速度とする．砲丸の鉛直方向への移動速度を投射鉛直速度とする．砲丸の水平方向と鉛直方向の合成方向への移動速度を投射合成速度とする．

iii. 投射角度

Release 時の砲丸が投げ出された角度を投射角度とする．

$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{\text{投射鉛直速度}}{\text{投射合成速度}} \right)$ で算出した．

iv. 突出し速度

突出し速度は R-on から Release 間における最大値を抽出した．投射側手関節が水平方向へ移動する最大速度を突出し水平速度とする．投射側手関節が鉛直方向へ移動する最大速度を突出し鉛直速度とする．投射側手関節が水平方向と鉛直方向の合成方向へ移動する最大速度を突出し合成速度とする．

2) 体幹に関する項目

i . 肩回転角度

L-on 時における上方から見た，両肩を結んだ線分と水平軸のなす角（図 7）を肩回転角度とする．水平軸と平行に立った時を 0deg.とし投擲方向へ回転すると（+），反対方向へ回転すると（-）を示す．

ii . 肩回転角速度

R-on から Release 間において肩が回転する最大速度を肩回転角速度とする．肩回転角度を時間微分し算出した．

iii . 腰回転角度

L-on 時における上方から見た，両大転子を結んだ線分と水平軸のなす角（図 7）を腰回転角度とする．水平軸と平行に立った時を 0 deg.とし投擲方向へ回転すると（+），反対方向へ回転すると（-）を示す．

iv . 腰回転角速度

R-on から Release 間において腰が回転する最大速度を腰回転角速度とする．腰回転角度を時間微分し算出した．

v . 捻り角度

L-on 時における肩回転角度と腰回転角度の差を捻り角度とする．

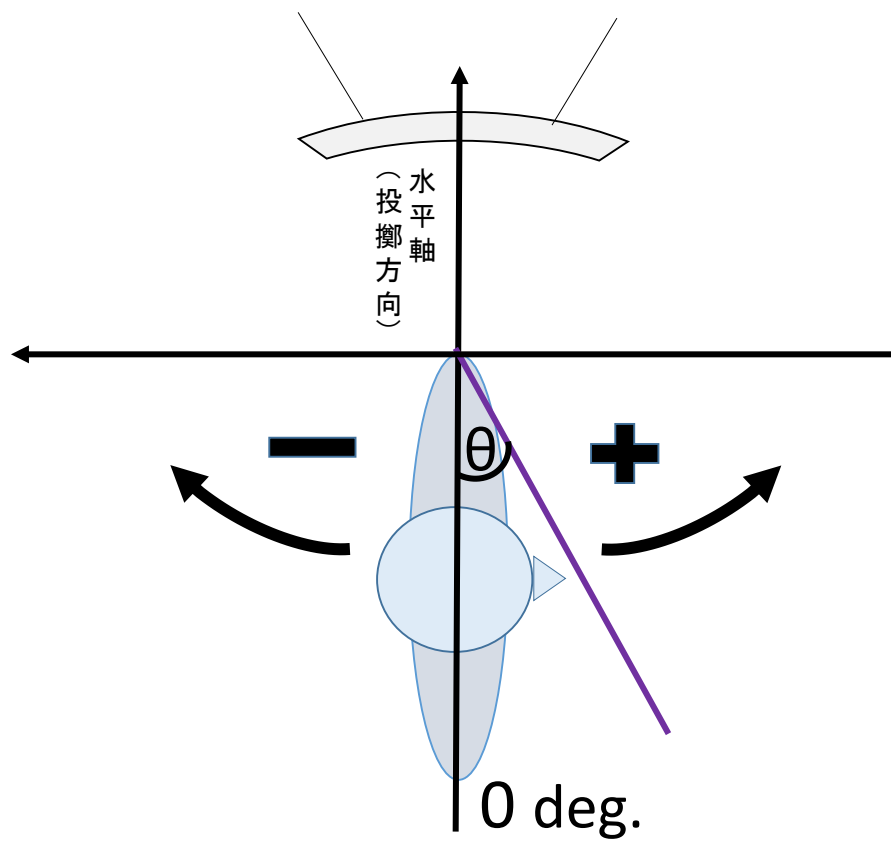


図 7 肩回転角度および腰回転角度

3) 重心に関する項目

身体重心および部分重心は阿江（1996）の日本人青年アスリート身体部分慣性係数に従い算出し，R-on から Release 間における最大値を抽出した．

i . 身体重心移動速度

身体重心の水平方向への移動速度を身体重心移動水平速度とする．身体重心の鉛直方向への移動速度を身体重心移動鉛直速度とする．身体重心の水平方向と鉛直方向の合成方向への移動速度を身体重心移動合成速度とする．

ii . FreeArm 重心移動速度

非投射腕の上腕部分重心と前腕部分重心から算出した上肢部分重心を FreeArm 重心とする．FreeArm 重心の水平方向への移動速度を FreeArm 重心移動水平速度とする．FreeArm 重心の鉛直方向への移動速度を FreeArm 重心移動鉛直速度とする．FreeArm 重心の水平方向と鉛直方向の合成方向への移動速度を FreeArm 重心移動合成速度とする．

(4) 統計処理

未熟練者における投擲距離と分析項目間の相関を調べるため，ピアソンの積率相関係数を算出した．なお，有意水準は 5 %未満とした．

第 3 節 結果

(1) 投擲に関する項目

投擲に関する項目の結果を表 2 に示した．投擲距離は熟練者 A 11.96m，熟練者 B 10.32 m，未熟練者 8.48 ± 1.09 m（平均値±標準偏差）であった．投射水平速度は熟練者 A 7.55 m/sec.，熟練者 B 7.20 m/sec.，未熟練者 6.51 ± 0.57 m/sec.であった．投射鉛直速度は熟練者 A 5.88 m/sec.，熟練者 B 5.01 m/sec.，未熟練者 4.51 ± 0.73 m/sec.であった．投射合成速度は熟練者 A 9.57 m/sec.，熟練者 B 8.77 m/sec.，未熟練者 7.95 ± 0.60 m/sec.であった．投射角度は熟練者 A 37.93 deg.，熟練者 B 34.84 deg.，未熟練者 34.60 ± 5.13 deg.であった．突出し水平速度は熟練者 A 7.11 m/sec.，熟練者 B 6.45 m/sec.，未熟練者 5.86 ± 0.74 m/sec.であった．突出し鉛直速度は熟練者 A 5.01 m/sec.，熟練者 B 4.77 m/sec.，未熟練者 4.15 ± 0.62 m/sec.であった．突出し合成速度は熟練者 A 8.39 m/sec.，熟練者 B 7.60 m/sec.，未熟練者 7.13 ± 0.64 m/sec.であった．

表 2 投擲に関する項目結果（熟練者×未熟練者）

		熟練者		未熟練者(n=20)		
項目		A	B	Mean	±	S.D.
投擲距離	(m)	11.96	10.32	8.48	±	1.09
投射水平速度	(m/sec.)	7.55	7.20	6.51	±	0.57
投射鉛直速度	(m/sec.)	5.88	5.01	4.51	±	0.73
投射合成速度	(m/sec.)	9.57	8.77	7.95	±	0.60
投射角度	(deg.)	37.93	34.84	34.60	±	5.13
突出し水平速度	(m/sec.)	7.11	6.45	5.86	±	0.74
突出し鉛直速度	(m/sec.)	5.01	4.77	4.15	±	0.62
突出し合成速度	(m/sec.)	8.39	7.60	7.13	±	0.64

(2) 体幹に関する項目

体幹に関する項目の結果を表 3 に示した。肩回転角度は熟練者 A -62.2 deg., 熟練者 B -60.5 deg., 未熟練者 -20.0 ± 15.7 deg.であった。肩回転角速度は熟練者 A 994.5 deg./sec., 熟練者 B 841.1 deg./sec., 未熟練者 715.4 ± 132.1 deg./sec.であった。腰回転角度は熟練者 A -36.1 deg., 熟練者 B -47.6 deg., 未熟練者 -12.1 ± 14.0 deg.であった。腰回転角速度は熟練者 A 676.9 deg./sec., 熟練者 B 840.7 deg./sec., 未熟練者 567.0 ± 86.3 deg./sec.であった。捻り角度は熟練者 A -26.1 deg., 熟練者 B -12.8 deg., 未熟練者 -7.9 ± 9.9 deg.であった。

表 3 体幹に関する項目結果（熟練者 × 未熟練者）

項目		熟練者		未熟練者(n=20)		
		A	B	Mean	±	S.D.
肩回転角度	(deg.)	-62.2	-60.5	-20.0	±	15.7
肩回転角速度	(deg./sec.)	994.5	841.1	715.4	±	132.1
腰回転角度	(deg.)	-36.1	-47.6	-12.1	±	14.0
腰回転角速度	(deg./sec.)	676.9	840.7	567.0	±	86.3
捻り角度	(deg.)	-26.1	-12.8	-7.9	±	9.9

(3) 重心に関する項目

重心に関する項目の結果を表 4 に示した。身体重心移動水平速度は熟練者 A 2.20 m/sec., 熟練者 B 2.29 m/sec., 未熟練者 1.74 ± 0.20 m/sec.であった。身体重心移動鉛直速度は熟練者 A 1.08 m/sec., 熟練者 B 1.31 m/sec., 未熟練者 1.76 ± 0.25 m/sec.であった。身体重心移動合成速度は熟練者 A 2.22 m/sec., 熟練者 B 2.42 m/sec., 未熟練者 1.78 ± 0.21 m/sec.であった。FreeArm 重心移動水平速度は熟練者 A 6.29 m/sec., 熟練者 B 6.14 m/sec., 未熟練者 2.73 ± 0.83 m/sec.であった。FreeArm 重心移動鉛直速度は熟練者 A 3.21 m/sec., 熟練者 B 2.20 m/sec., 未熟練者 0.74 ± 0.53 m/sec.であった。FreeArm 重心移動合成速度は熟練者 A 6.74 m/sec., 熟練者 B 6.35 m/sec., 未熟練者 2.78 ± 0.86 m/sec.であった。

表 4 重心に関する項目結果（熟練者 × 未熟練者）

項目	熟練者		未熟練者(n=20)		
	A	B	Mean	±	S.D.
身体重心移動水平速度 (m/sec.)	2.20	2.29	1.74	±	0.20
身体重心移動鉛直速度 (m/sec.)	1.08	1.31	0.76	±	0.25
身体重心移動合成速度 (m/sec.)	2.22	2.42	1.78	±	0.21
FreeArm重心移動水平速度 (m/sec.)	6.29	6.14	2.73	±	0.83
FreeArm重心移動鉛直速度 (m/sec.)	3.21	2.20	0.74	±	0.53
FreeArm重心移動合成速度 (m/sec.)	6.74	6.35	2.78	±	0.86

第 4 節 考察

(1) 未熟練者の動作における分析項目間の関係について

未熟練者を対象に分析項目間の関係について検討した。はじめに、投擲距離と投射速度の相関関係をみると、投射水平速度との間に $r=0.53$ で有意 ($p<0.05$) な正の相関関係、投射鉛直速度との間に $r=0.73$ で有意 ($p<0.01$) な正の相関関係、投射合成速度との間に $r=0.91$ で有意 ($p<0.01$) な正の相関関係がそれぞれ認められた (図 8)。本測定においても従来の報告 (植屋, 2004) 通り投擲距離は投射速度に依存していたといえる。

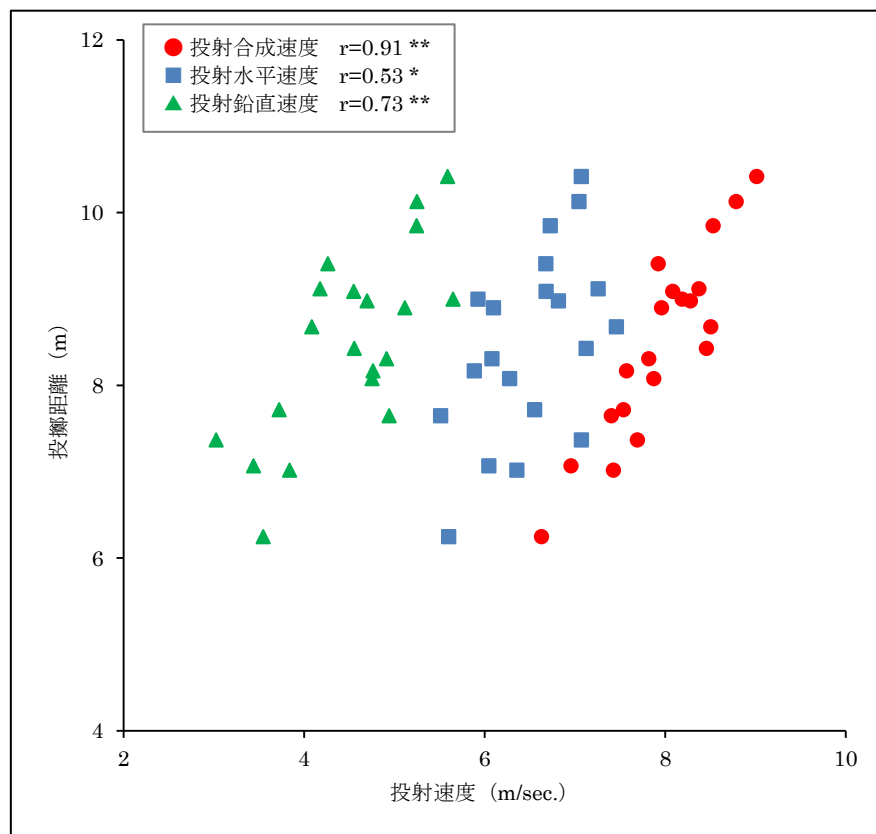


図 8 投擲距離と投射速度の関係 ($n=20$, $*p<0.05$, $**p<0.01$)

投擲距離と最も相関の高かった投射合成速度および投擲距離と突出し速度の相関関係をそれぞれみると、投射合成速度と突出し水平速度の間に $r=0.67$ で有意 ($p<0.01$) な正の相関関係、突出し鉛直速度との間に $r=0.54$ で有意 ($p<0.05$) な正の相関関係、突出し合成速度の間に $r=0.88$ で有意 ($p<0.01$) な正の相関関係がそれぞれ認められた (図 9)。また、投擲距離と突出し水平速度の間に $r=0.69$ で有意 ($p<0.01$) な正の相関関係、突出し鉛直速度との間に $r=0.61$ で有意 ($p<0.01$) な正の相関関係、突出し合成速度の間に $r=0.94$ で有意 ($p<0.01$) な正の相関関係がそれぞれ認められた (図 10)。

最終的に砲丸に力を加える突出し動作は重要である (中雄ほか, 2015) が、砲丸投未熟練者は突出し動作を「つまづき」として訴える者が多いといわれている (菅原ほか, 1980)。しかし、投射合成速度および投擲距離と突出し速度の各値の間に正の相関が認められ、本測定の対象とした未熟練者は突出しのスピードを維持したまま最終的に砲丸を投射することができていたと考えられる。よって、本測定の対象者は突出し速度を高めることが投擲距離を伸ばすために重要であるといえる。

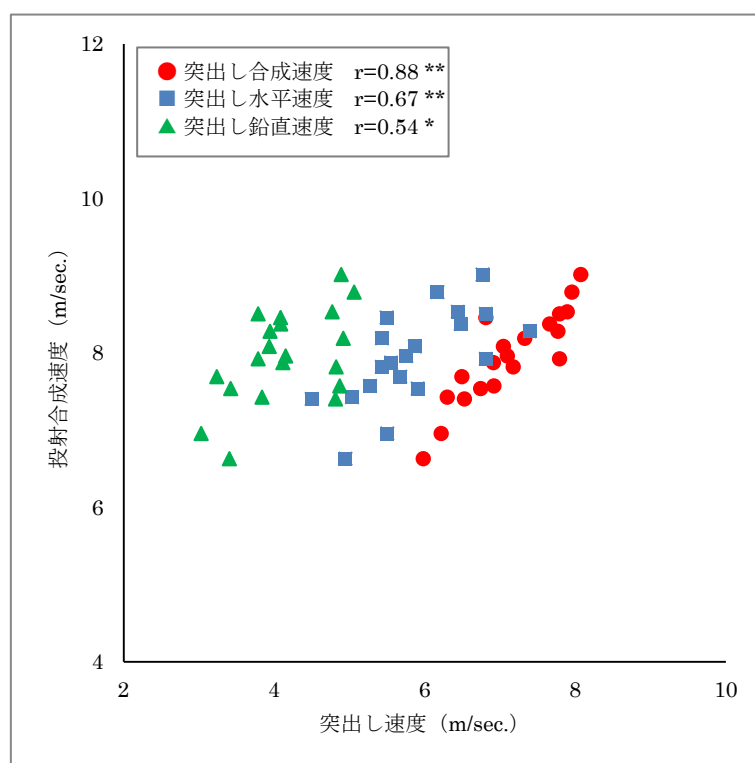


図 9 投射合成速度と突出し速度の関係 ($n=20$, $*p<0.05$, $**p<0.01$)

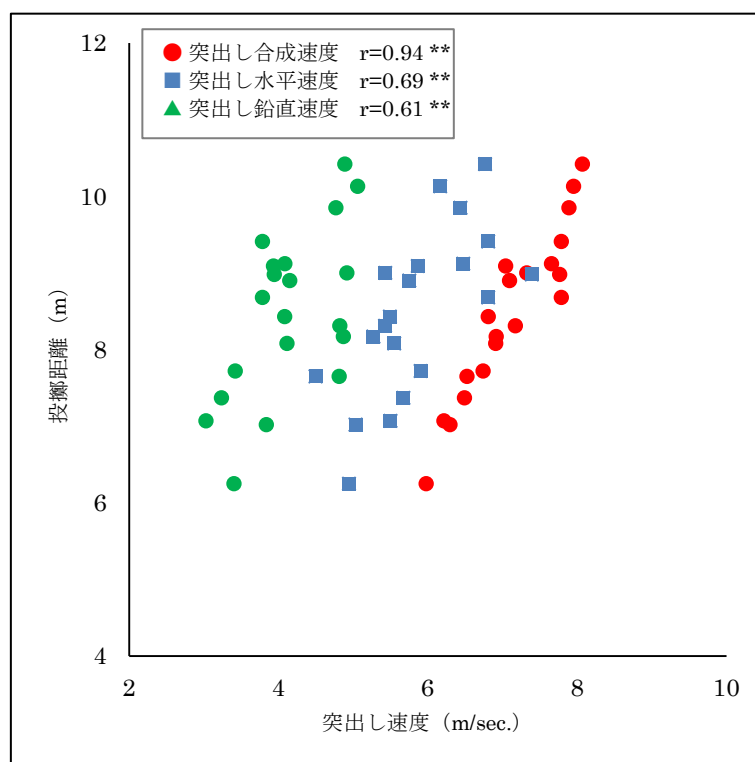


図 10 投擲距離と突出し速度の関係 ($n=20$, $*p<0.05$, $**p<0.01$)

突出し動作の直前には肩の回転が伴う．そこで，突出し速度および投擲距離と肩回転角速度に関して検討した結果，肩回転角速度と突出し水平速度の間に $r=0.67$ で有意 ($p<0.01$) な正の相関関係，突出し合成速度の間に $r=0.59$ で有意 ($p<0.01$) な正の相関関係が認められた．しかし，突出し鉛直速度との間には $r=0.07$ で有意な相関関係は認められなかった (図 11)．また，肩回転角速度と投擲距離の間には $r=0.45$ で有意 ($p<0.05$) な正の相関関係が認められた (図 12)．

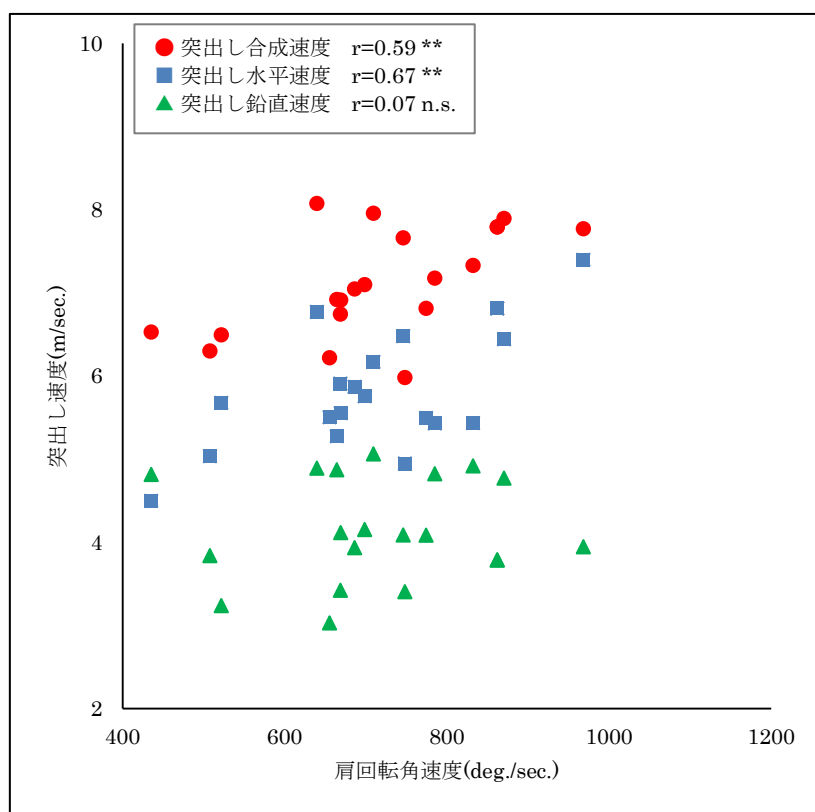


図 11 肩回転角速度と突出し速度の関係 ($n=20$, $*p<0.05$, $**p<0.01$)

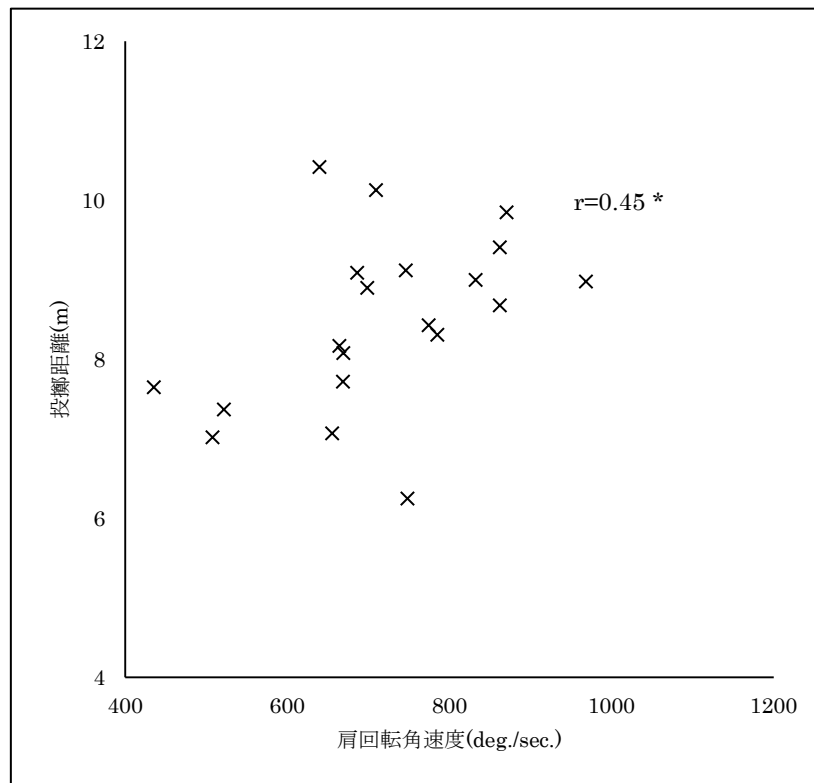


図 12 肩回転角速度と投擲距離の関係 (n=20, *p<0.05, **p<0.01)

オーバーハンスローを行う場合は肩の回転動作は球速に大きな影響を与えるとされている(池田ほか, 2012; 北田ほか, 2002; 宮西ほか, 1997; Rafael F. Escamilla et al., 2001; 高橋ほか, 2010)。同じように, 「PUT」の動作を行う砲丸投も同様に肩の回転動作が素早く行われることで水平方向への突出し速度が速くなり, 投擲距離が大きくなる可能性が示唆された。よって, グライド後は投擲方向に対して素早く肩を開き回転させる動作を行うことが有効であると考えられる。

次に投擲距離および投射速度，突出し速度と FreeArm 重心移動速度に関して検討した．FreeArm 重心移動水平速度，鉛直速度，合成速度と各項目の相関係数を計算した結果を表 5 に示した．FreeArm 重心移動水平速度と投射鉛直速度の間に $r=0.55$ で有意 ($p<0.05$) な正の相関関係，突出し鉛直速度との間に $r=0.55$ で有意 ($p<0.05$) な正の相関関係，FreeArm 重心移動合成速度と投射鉛直速度の間に $r=0.54$ で有意 ($p<0.05$) な正の相関関係，突出し鉛直速度との間に $r=0.54$ で有意 ($p<0.05$) な正の相関関係がそれぞれ認められた．

表 5 FreeArm 重心移動速度と投擲に関する項目の関係

		FreeArm重心移動速度					
		水平		鉛直		合成	
投擲距離		0.29	n.s.	0.06	n.s.	0.27	n.s.
投射速度	水平	-0.28	n.s.	-0.05	n.s.	-0.29	n.s.
	鉛直	0.55	*	0.12	n.s.	0.54	*
	合成	0.18	n.s.	0.05	n.s.	0.16	n.s.
突出し速度	水平	-0.28	n.s.	-0.05	n.s.	-0.07	n.s.
	鉛直	0.55	*	0.12	n.s.	0.54	*
	合成	0.21	n.s.	-0.04	n.s.	0.20	n.s.

数値は相関係数を示す

*: $p<0.05$,**: $p<0.01$

未熟練者の **FreeArm** 移動鉛直速度の平均値は 0.74 ± 0.53 m/sec.であり、鉛直方向への動きはきわめて小さいといえる。したがって、未熟練者における **FreeArm** 重心移動合成速度の成分の多くは水平移動速度の速さであると考えられる。

よって、**FreeArm** 重心移動水平速度と投射鉛直速度の関係より **R-on** 以降に **FreeArm** を素早く投擲方向に振上げることで、投射鉛直速度を増加することができるのではないかと考えられる。投射鉛直速度が増加すると投射合成速度も増加し投擲距離の向上が期待できる。しかし、投射鉛直速度はあまりにも大きすぎると投射角度が大きくなる。すると、投擲距離は低下してしまう可能性があるため、**FreeArm** を振上げる適切な方向を示す必要があろう。

(2) 未熟練者の動作特徴について

熟練者の人数が 2 名のため統計処理は行わず，未熟練者の平均値と熟練者の数値を比較した．

投擲に関する項目の分析結果は投射角度を除く全ての項目において熟練者 A, B は未熟練者の平均値より優れた値を示した（図 13, 図 14, 図 15）．身長や体重，筋力といった身体的特性は投擲距離を左右する重要な因子である（斉藤・大谷，1982；清水ほか，1976）が，砲丸投の動作に不慣れな者ほど筋力に依存した投げを行うといった報告（大谷・久保田，1980）や下肢や上肢の筋放電量と投擲距離は必ずしも正の相関関係を示すとは限らないといった報告（中村ほか，1997）がある．よって，動作の比較を熟練者と未熟練者間で行い検討する．

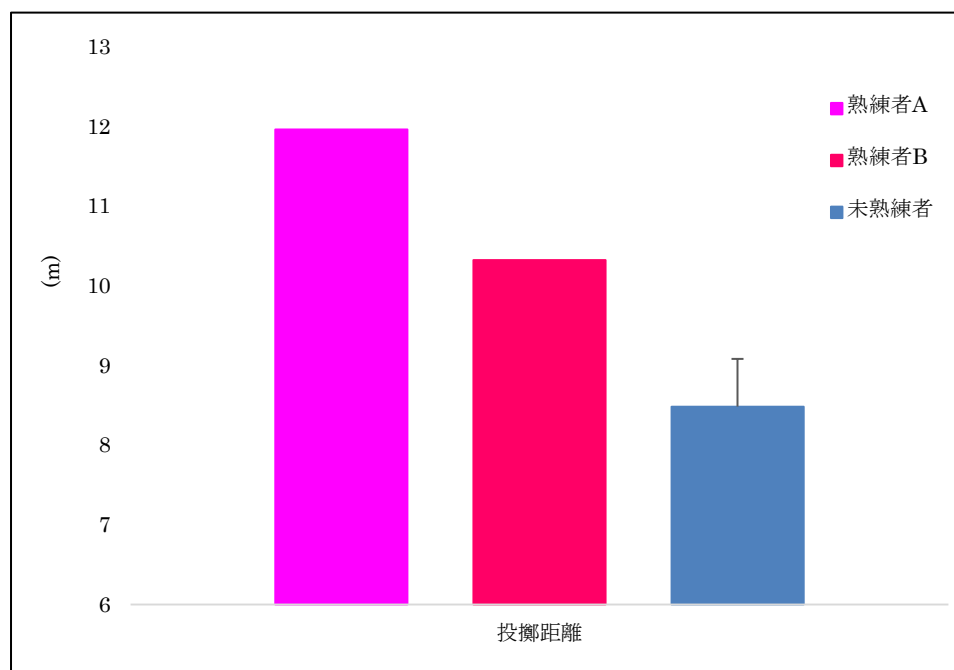


図 13 投擲距離の結果

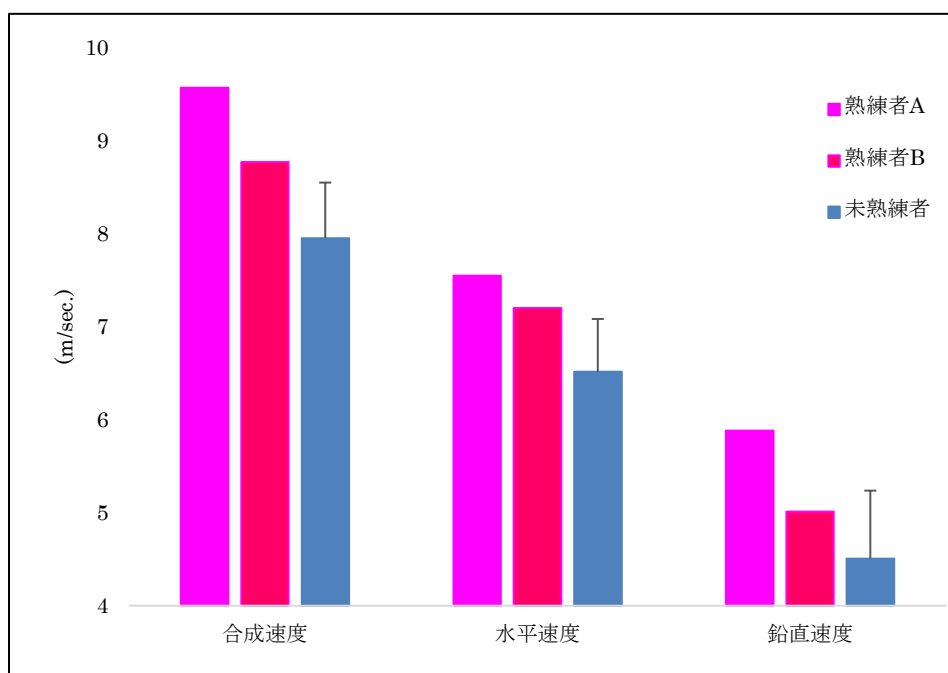


図 14 投射速度の結果

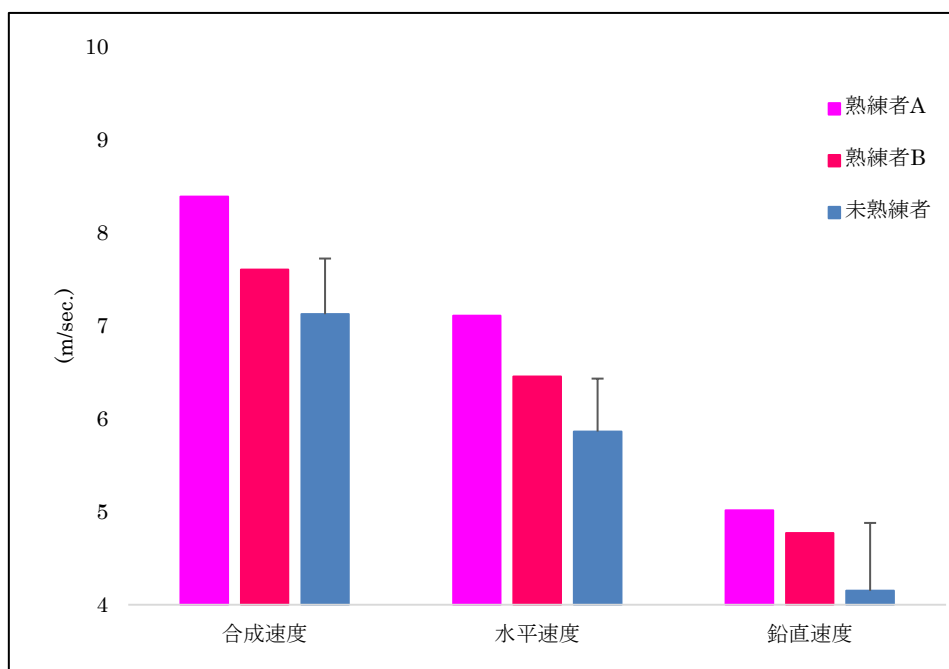


図 15 突出し速度の結果

投射角度に関して，世界選手権やオリンピックに出場するトップレベルのアスリートの多くは 35～36 deg.付近で砲丸を投射していると報告されている（Cheoug-Hwan Oh et al., 2011 ; Keigo Ohyama Byun et al., 2007 ; Kevin T.McGill, 2009 ; Milan Coh and Stanko Stuhec, 2005 ; Pekka Luhtanen et al., 1997 ; Wilko Schaa, 2010). また，学習指導要領（2009）では投射水平速度を高めることを優先し 25～35deg.のやや低めの角度で投射する方が望ましいと記載されている．熟練者（A: 37.93 deg.B: 34.84 deg.），未熟練者（34.60 ±5.13deg.）の投射角度はともに約 30～40 deg.の範囲で適切な角度で砲丸を投射することができていたと考えられる（図 16）.

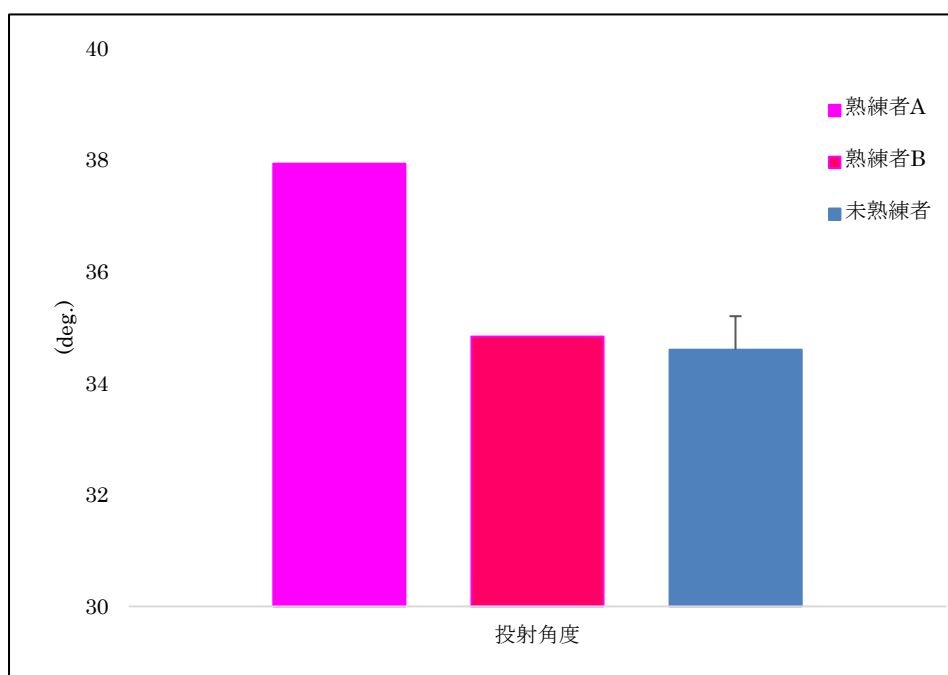


図 16 投射角度の結果

L-on 時における肩回転角度および腰回転角度に関して、熟練者の方が優れた値を示した（図 17）。絶対値の大きい負の値ほど投擲方向に対する肩の開きが小さいことを示すため、熟練者は未熟練者に比べグライド後に身体が開いていない動作をしているといえる。ウォルフガン・ローマン（1976）はステップのとき身体が投擲方向へ開いた状態になることは砲丸を投げる際におこしやすい誤りの一つとして挙げている。未熟練者は熟練者に比べ肩回転角度や腰回転角度の値は大きく、肩や腰が投擲方向へ開いた状態になる典型的な未熟練者の動作特徴があったと考えられる。

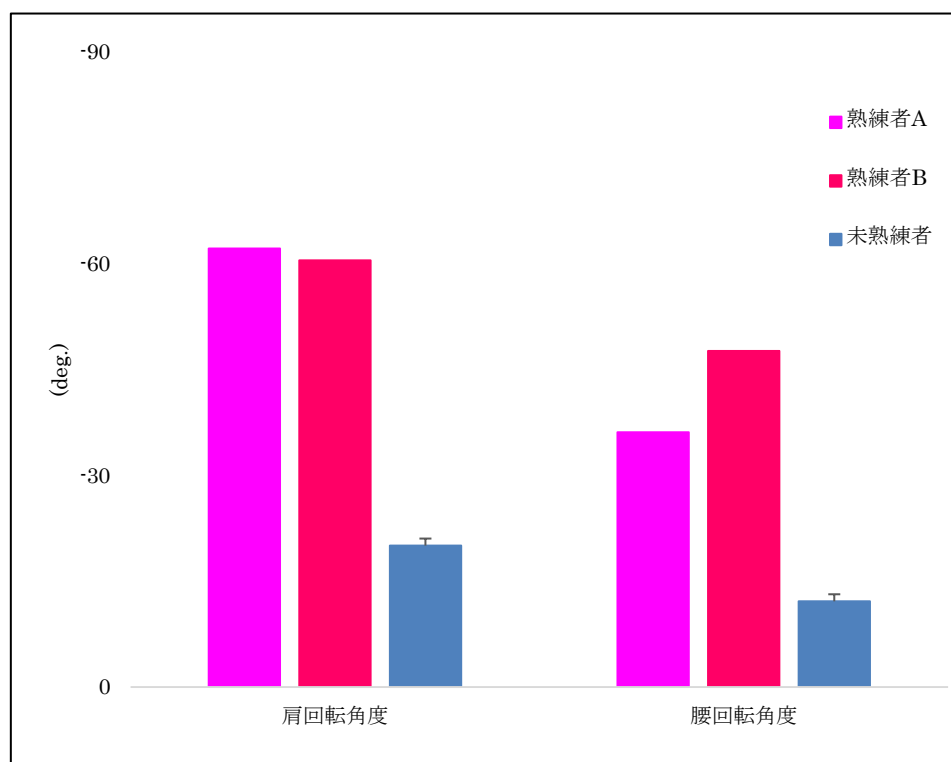


図 17 肩・腰回転角度の結果

突出し水平速度を高めるために必要であると考えられる肩回転角速度は熟練者 (A : 994.5 deg./sec., B : 841.1 deg./sec.)の方が未熟練者 (715.4 ± 132.1 deg./sec.)に比べ高い値を示しており (図 18), 未熟練者は肩回転角速度が小さく, 突出し速度を大きくすることができない特徴があると考えられる.

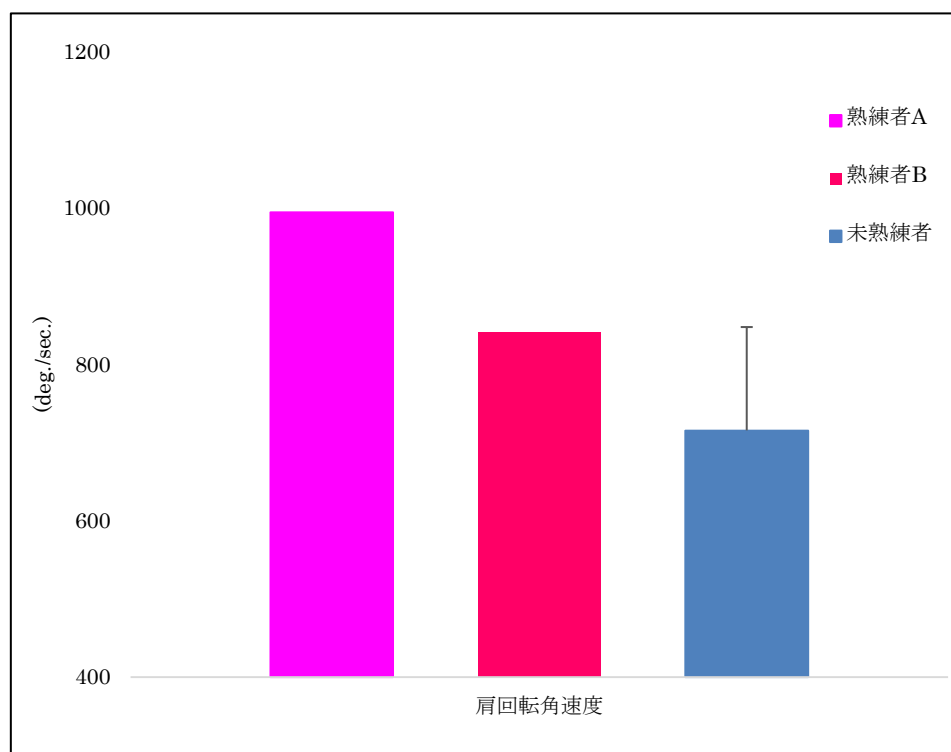


図 18 肩回転角速度の結果

FreeArm 重心移動合成速度は熟練者（A：6.74 m/sec.，B：6.35 m/sec.）の方が未熟練者（ 2.78 ± 0.86 m/sec.）より速く移動する傾向を示した。これより，熟練者は FreeArm を積極的に動かしているのに対して，未熟練者は積極的に動かしているとは考え難い。特に，未熟練者の FreeArm 重心移動鉛直速度（ 0.74 ± 0.53 m/sec.）は極端に小さく，R-on 以降に FreeArm を素早く引き上げる動作を行っていないと考えられる（図 19）。未熟練者はグライド後に FreeArm を積極的に動かす動作がほとんどないといった特徴があると考えられる。

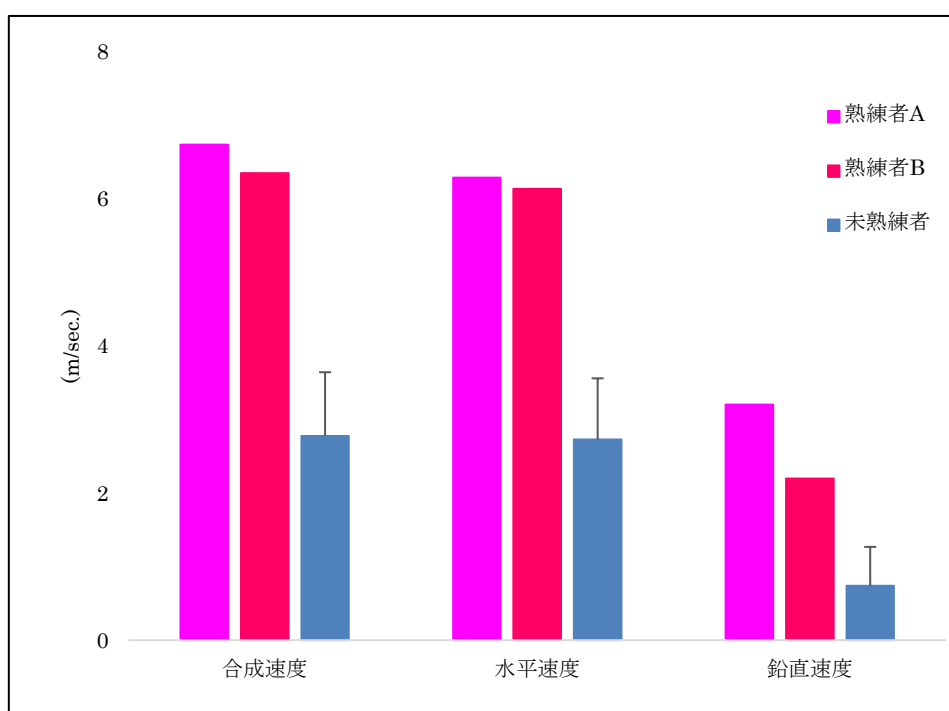


図 19 FreeArm 重心移動速度の結果

次に FreeArm 重心の動きについて検討するために，熟練者 A と未熟練者代表例（記録 8 m17 cm）の左肩を中心に側方からみた FreeArm 重心移動軌跡を図 20 に示した．さらに，動作全体の様子をスティックピクチャーで図 21 に示した（ $S\cdot\alpha$ は肩回転角加速度最大値を示す）．熟練者の軌跡（○マーク）に着目すると R-on から Release までの間に左肩を越えて素早く鉛直方向に動くのに対して，未熟練者の軌跡（△マーク）は鉛直方向に少しだけ動くのみでありその速度はきわめて遅い．このことから，未熟練者は FreeArm を鉛直方向へ積極的に動かすことが少ない特徴がみられる．

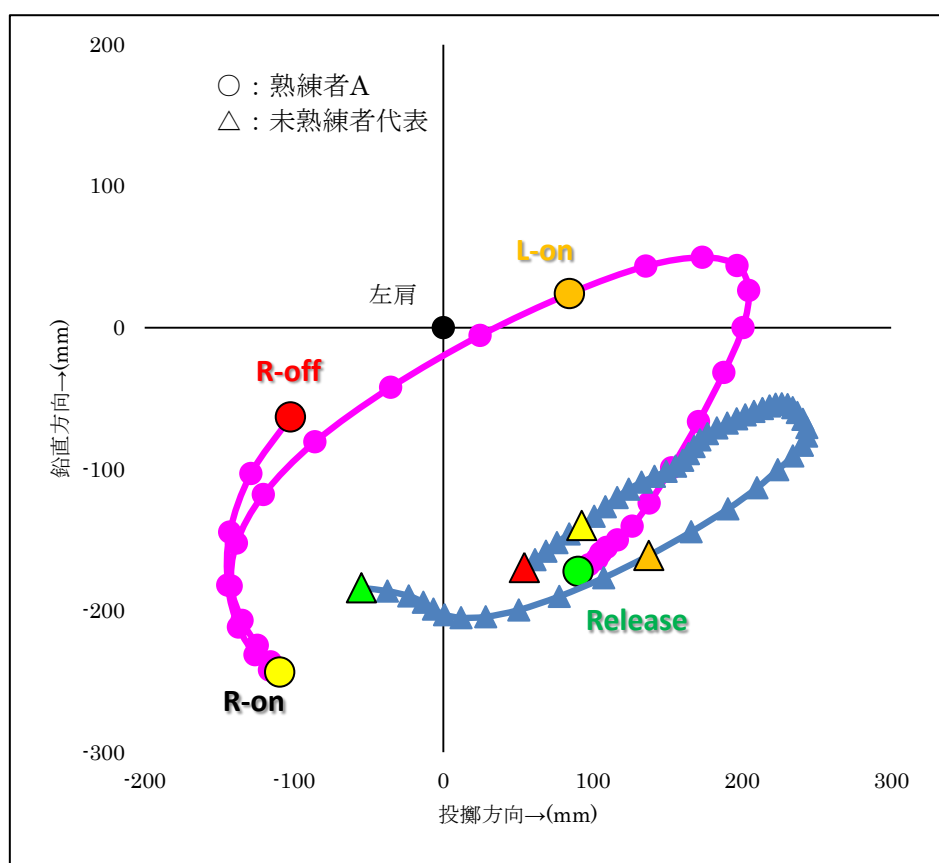


図 20 側方からみた FreeArm 重心移動軌跡

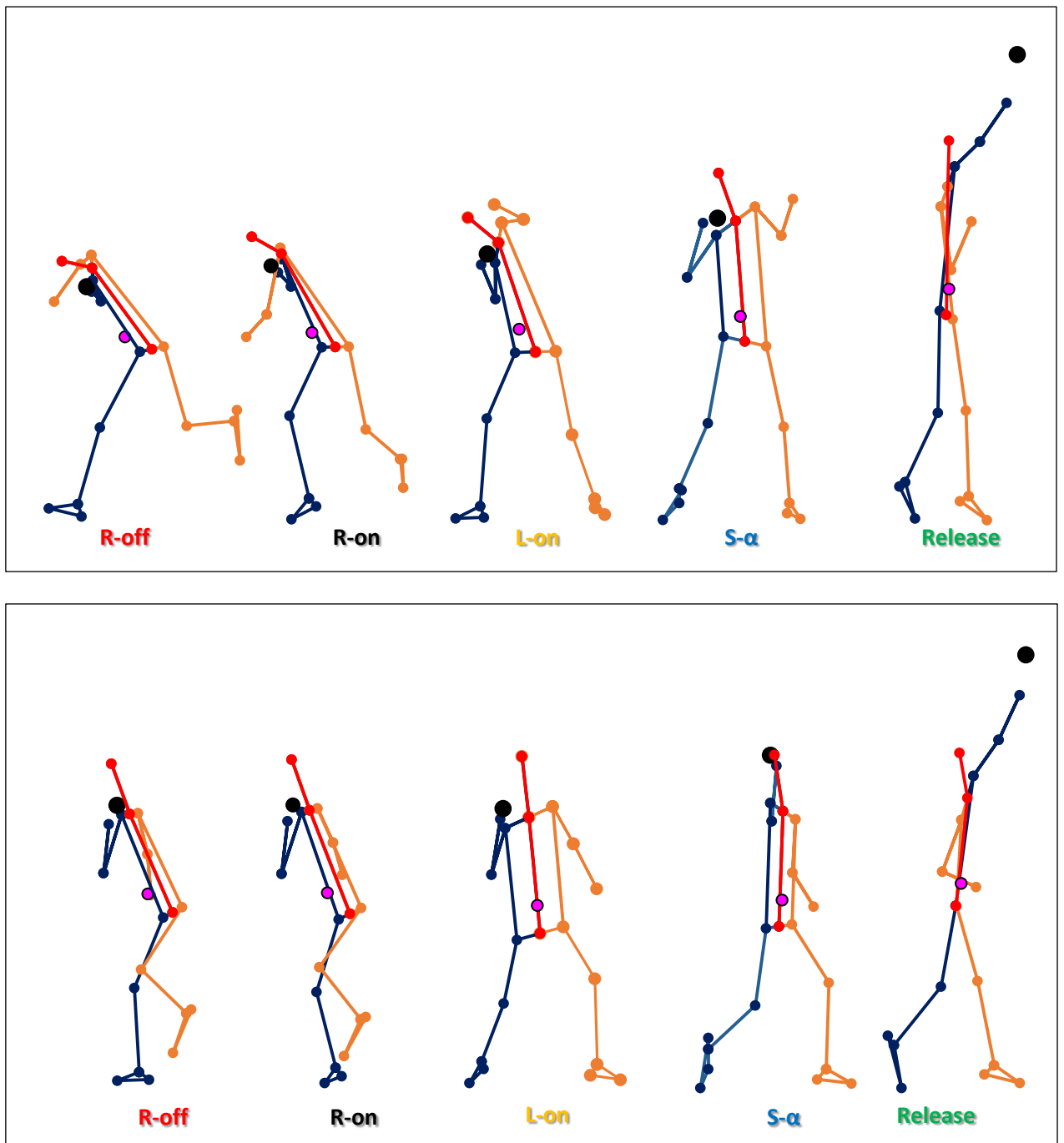


図 21 側方からみたスティックピクチャー

(上:熟練者 A, 下:未熟練者代表)

次に熟練者 A と先ほどと同一の未熟練者代表例の左肩を中心に上方からみた FreeArm 重心移動軌跡を図 22 に示した．さらに，肩回転する様子を上方からみた両肩を結んだ線分のスティックピクチャー（左肩を中心に）で図 23 に示した．熟練者の軌跡（○マーク）に着目すると R-on 時にはまだ FreeArm 重心が左肩より後方にあるのに対して，未熟練者の軌跡（△マーク）は R-on 時にはすでに FreeArm 重心が左肩より前方にある．さらに，L-on 時には前方かつ身体の外側にある様子を示している．

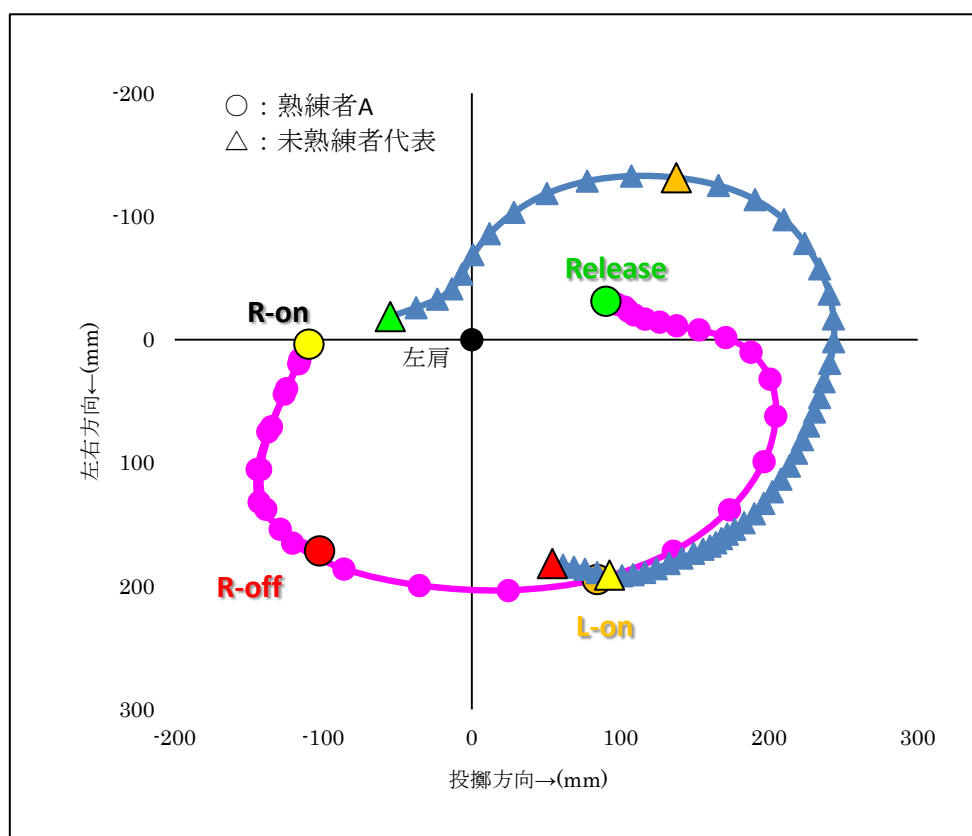


図 22 上方からみた FreeArm 重心移動軌跡

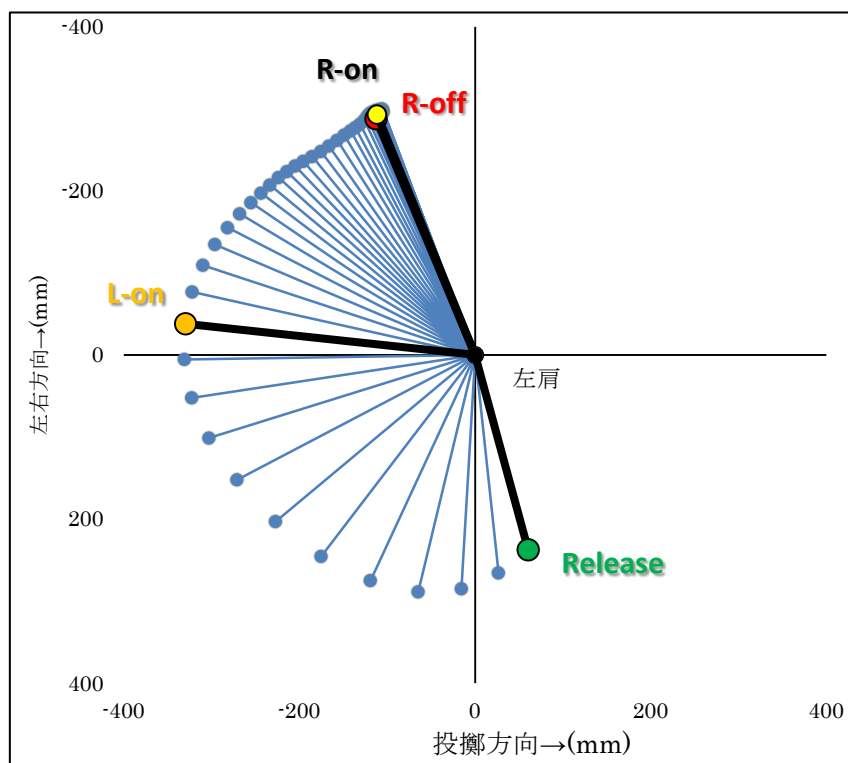
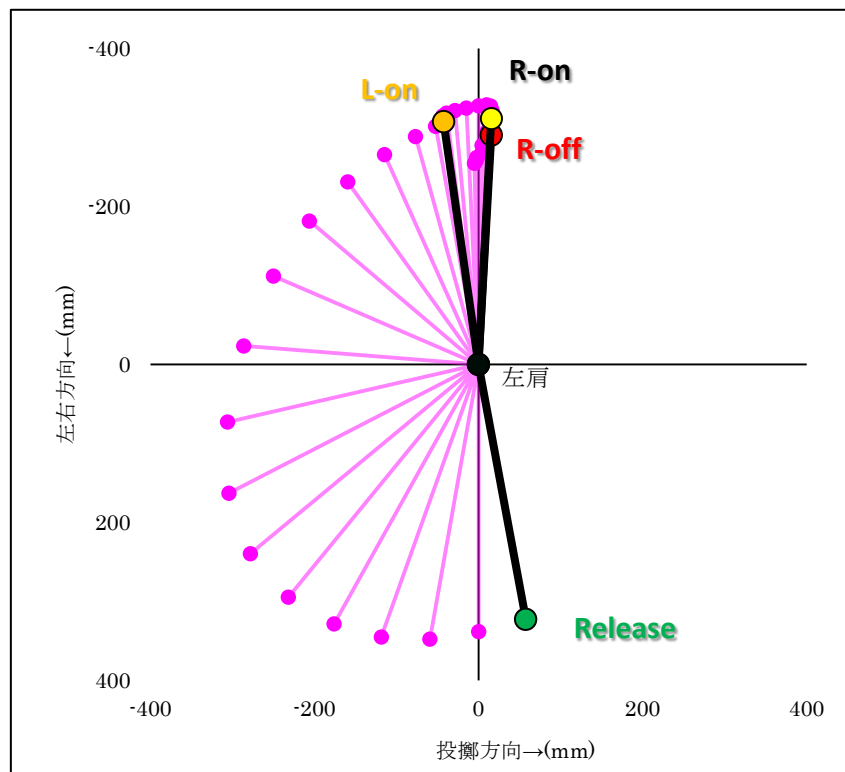


図 23 上方からみた肩のスティックピクチャー

(上:熟練者 A, 下:未熟練者代表)

R-on時やL-on時におけるFreeArm重心の位置関係と肩回転角度の値から、熟練者はFreeArm重心が投擲方向に対して左肩より後方付近にあることで肩の回転を抑制できるのに対して、未熟練者はFreeArm重心が左肩より前方にあることで肩の回転が誘発されてしまっているのではないかと予想される。陸上競技指導書（尾縣，2007）にグライド後は上体の捻り戻しを利用して肩を回転させると記載されているが、未熟練者はFreeArm重心の位置による影響でグライド後すでに肩が投擲方向へ開いてしまうことで、それ以降に素早く肩を回転し難い動作をしている特徴があると考えられる。

また、熟練者のFreeArm重心は肩より後方の位置からR-on以降一気に投擲方向へ動いている。対して、未熟練者のFreeArm重心はR-offの時点で肩より投擲方向の位置にあり、R-onからL-on間にゆっくり移動し、L-on付近では体に引きつけるように動いている。そのため、熟練者のようにR-on以降に投擲方向へFreeArmを勢いよく動かす余地がない。つまり、未熟練者はグライド後にFreeArmを投擲方向へ動かし難い動作をしている特徴があると考えられる。

第 5 節 本章まとめ

本章は熟練者と未熟練者の動作を **FreeArm** の動きに着目して比較し、未熟練者の動作特徴を明らかにすることを目的とした。熟練者 2 名と未熟練者 20 名を対象に、それぞれ 7.26 kg, 4.00 kg の鉄製砲丸を用いグライド投法での砲丸投を実施した。その様子を撮影し 3 次元 DLT 法を用い動作の分析を行った。

未熟練者 20 名の分析項目間の関係を検討するために相関関係をみた結果、投擲距離に対して投射速度と突出し速度それぞれに有意な正の相関関係が認められた。次に、突出しの直前に行われる肩の回転に着目したところ、突出し水平速度と肩回転角速度の間に有意な正の相関関係が認められた。R-on 以降に投擲方向へ対して肩を素早く回転させる動作を行うことが、突出し水平速度を増大させるために必要であると考えられた。

FreeArm 重心移動水平速度は投射鉛直速度と突出し鉛直速度に対して有意な正の相関関係が認められた。R-on 以降に **FreeArm** を素早く投擲方向に振上げる動作を行うことは投射鉛直速度を高めるために有効であると考えられた。しかし、投射鉛直速度があまりにも高すぎると投射角度が高くなりすぎてしまい、むしろ投擲距離が低下してしまう可能性もあるため、**FreeArm** を振上げる適切な方向を示す必要がある。

熟練者に比べ未熟練者は主に肩回転角速度や **FreeArm** 重心移動速度が小さい値であった。未熟練者は肩回転角速度が遅く突出し速度を高めることができないといった特徴や、**FreeArm** を投擲方向へ積極的に動かす動作がほとんどないといった特徴がみられた。

FreeArm 重心移動軌跡をみると、未熟練者は R-off の時点ですでに **FreeArm** 重心が左肩より前方にあった。**FreeArm** 重心の位置に影響され肩が投擲方向に開いてしまう可能性が予想された。未熟練者は肩が投擲方向へ早い段階で開いてしまうため、それ以降に素早い肩回転をし難い動作特徴があると考えられた。

また、FreeArm 重心と肩の位置関係より、未熟練者は熟練者のようにグライド後に FreeArm を投擲方向へ動かし難い動作特徴があると考えられた。

熟練者と未熟練者の間に FreeArm の動きにも違いがみられたが、FreeArm が他の動作やパフォーマンスにどのように影響し関連しているのか検討する必要がある。

第 2 章 FreeArm の動きとパフォーマンスの関連性

第 1 節 本章の目的

熟練者を対象に FreeArm を固定した状態で投擲動作を行い，通常の投擲動作と比較することで，FreeArm の動きとグライド投法による砲丸投のパフォーマンスとの関連性について検討することを本章の目的とする．

第 2 節 方法

(1) 対象者の身体特性

第 1 章と同一の熟練者に新たに 2 名加えた計 4 名の熟練者を対象とした．対象者の身体特性を表 6 に示した．対象者の身体特性の平均値および標準偏差は年齢 21.8 ± 1.0 歳，身長 174.3 ± 8.7 cm，体重 83.6 ± 11.8 kg，競技歴 9.4 ± 1.1 年であった．

表 6 対象者の身体特性

n=4		Mean	±	S.D.
年齢	(歳)	21.8	±	1.0
身長	(cm)	174.3	±	8.7
体重	(kg)	83.6	±	11.8
競技歴	(年)	9.4	±	1.1

(2) 測定方法

本測定は 2015 年 7 月 8 日に M 大学屋内運動場で行った．対象者には測定の目的を説明し承諾を得た．各自でウォーミングアップを行い，グライド投法を含めた練習投擲を 5 回以内で行った．屋内運動場で測定を行うため，4.00 kg の室内用ソフトゴム製砲丸（NISHI 社製 $\phi 115$ mm）（図 24）を用いて測定を実施した．測定は対象者に頭頂および，左右の肩関節，肘関節，手関節，大転子，膝関節，外踝に身体マーカーを貼付し，グライド投法での砲丸投を最大努力で 3 回実施した．最も大きい投擲距離を示した試技を分析対象とし pre 動作とした．その後，柔道の帯を用いて対象者の負担にならないよう投射腕と反対の前腕と胴体を結び付けしっかりと固定した状態（図 25）でグライド投法での砲丸投を最大努力で 3 回実施した．最も大きい投擲距離を示した試技を分析対象とし fix 動作とした．



図 24 室内用ソフトゴム製砲丸 4.00kg



図 25 FreeArm 固定の様子

動作の全体が映るように 2 台のデジタルビデオカメラ（Panasonic 社製 HC-W870M, HC-V750M）を左斜め前方と左斜め後方に光軸が直交するように設置し動作を毎秒 60 コマのスピードで撮影した（図 26）. この時，シンクロナイザ（DKH 社製 101 型）を用いて光刺激を差し込み 2 台のカメラを同期した．その後，第 1 章と同様に三次元 DLT 法を用いて三次元座標を算出した．

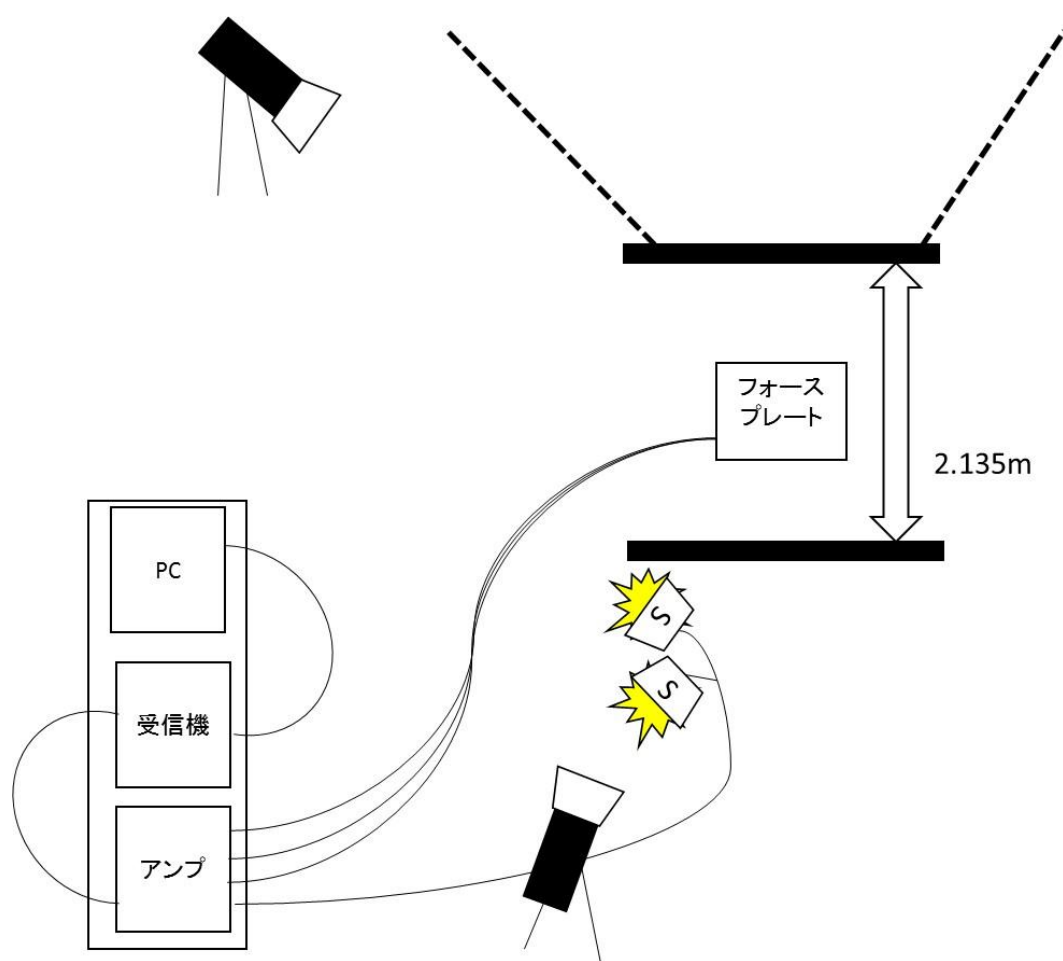


図 26 測定場所の模式図（S:シンクロナイザ）

投擲方向を X 軸，左右方向を Y 軸，鉛直方向を Z 軸の力がそれぞれ計測できるようにフォースプレートを設置し，支持足着地からリリースまでの区間における支持足の床反力を測定した（図 27）．フォースプレートの記録はストレインアンプ（ティアック株式会社製 ストレインアンプ SA-250）を通じて 1000Hz で出力し受信機（日本光電工業製 多チャンネルテレメータシステム WEB7000 受信機 ZR-700H）を用いコンピュータに取り込んだ．この時，シンクロナイザが発光すると同時にストレインアンプへ信号を送り，発光した時間を出力することで映像とフォースプレートの記録を同期した．フォースプレートから得られた値はデータのノイズを除去するために Winter(1979)の Butterworth low-pass digital filter を用い 20 Hz で平滑化した後，1/60 sec. ごとに値を抽出した．

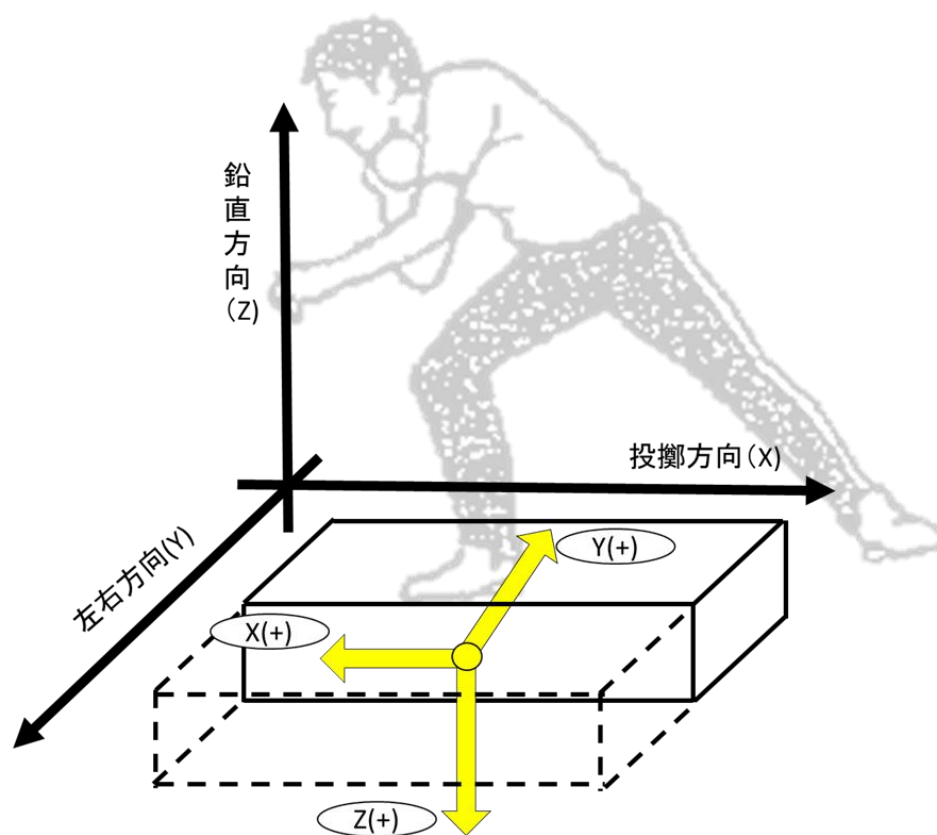


図 27 フォースプレート設置図

正規の砲丸投ピットに近い条件で測定を行うために，足留材の代替として高さ約 8 cm の木板をフォースプレートから 70 cm 離れた地点に固定し，投擲を行う場所を 213 cm 内に定めた（図 28）．

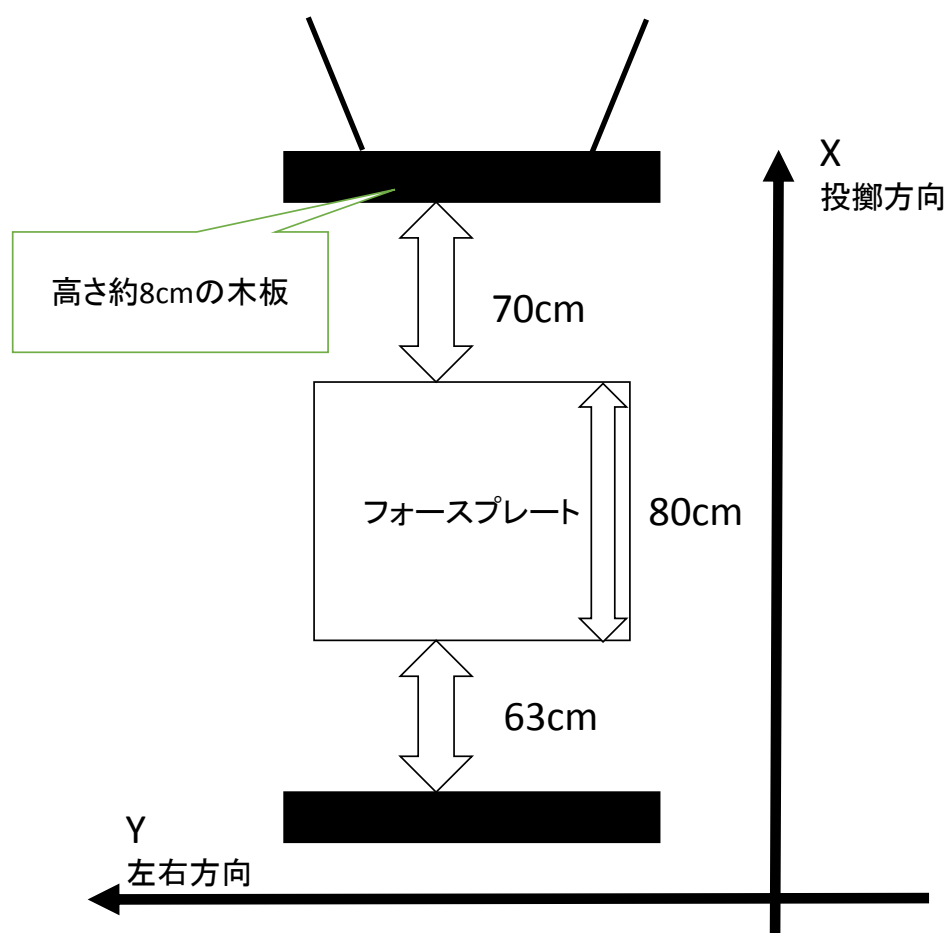


図 28 投擲場所の模式図

(3) 分析項目

第 1 章と同様に軸の定義を行い、動作の局面分けをした。

1) 投擲に関する項目

第 1 章と同様に i . 投擲距離, ii . 投射速度, iii . 投射角度, iv . 突出し速度を算出した。

2) 体幹に関する項目

第 1 章と同様に i . 肩回転角度, ii . 肩回転角速度, iii . 腰回転角度, iv . 腰回転角速度, v . 捻り角度を算出した。

3) 重心に関する項目

第 1 章と同様に阿江(1996)の日本人青年アスリート身体部分慣性係数に従い身体重心を求め, i . 身体重心移動速度, ii . FreeArm 重心移動速度を算出した。

4) 床反力に関する項目

X 軸の値を水平分力, Z 軸の値を垂直分力として L-on 時における値をそれぞれ抽出した。さらに, 水平分力と垂直分力の値から合力を算出した。

(4) 統計処理

pre 動作と fix 動作の比較を行うために対応のある t 検定(片側)を行った。有意水準は 5 %未満とした。

第 3 節 結果

(1) 投擲に関する項目

投擲に関する項目の結果を表 7 に示した．また，投擲距離は各対象者の記録を表 8 に示した．投擲距離は pre 動作 14.21 ± 0.65 m (平均値 \pm 標準偏差)，fix 動作 12.11 ± 0.63 m であった．投射水平速度は pre 動作 8.45 ± 0.32 m/sec.，fix 動作 7.90 ± 0.42 m/sec. であった．投射鉛直速度は pre 動作 6.97 ± 0.87 m/sec.，fix 動作 5.86 ± 0.45 m/sec. であった．投射合成速度は pre 動作 10.97 ± 0.47 m/sec.，fix 動作 9.84 ± 0.35 m/sec. であった．投射角度は pre 動作 39.41 ± 4.17 deg.，fix 動作 36.56 ± 2.98 deg. であった．

突出し水平速度は pre 動作 7.03 ± 0.31 m/sec.，fix 動作 7.08 ± 0.33 m/sec. であった．突出し鉛直速度は pre 動作 5.50 ± 0.64 m/sec.，fix 動作 4.94 ± 0.32 m/sec. であった．突出し合成速度は pre 動作 8.69 ± 0.45 m/sec.，fix 動作 8.49 ± 0.35 m/sec. であった．

投擲距離および投射水平速度，投射鉛直速度，投射合成速度，突出し鉛直速度，突出し合成速度は pre 動作に比べ fix 動作において有意（順に $p < 0.01$ ， $p < 0.05$ ， $p < 0.05$ ， $p < 0.01$ ， $p < 0.05$ ， $p < 0.05$ ）な低下が認められた．投射角度，突出し水平速度に有意な変化は認められなかった．

表 7 投擲に関する項目結果 (pre \times fix)

n=4		pre			fix		
項目		Mean	\pm	S.D.	Mean	\pm	S.D.
投擲距離	(m)	14.21	\pm	0.65	12.11	\pm	0.63
投射水平速度	(m/sec.)	8.45	\pm	0.32	7.90	\pm	0.42
投射鉛直速度	(m/sec.)	6.97	\pm	0.87	5.86	\pm	0.45
投射合成速度	(m/sec.)	10.97	\pm	0.47	9.84	\pm	0.35
投射角度	(deg.)	39.41	\pm	4.17	36.56	\pm	2.98
突出し水平速度	(m/sec.)	7.03	\pm	0.31	7.08	\pm	0.33
突出し鉛直速度	(m/sec.)	5.50	\pm	0.64	4.94	\pm	0.32
突出し合成速度	(m/sec.)	8.69	\pm	0.45	8.49	\pm	0.35

*: $p < 0.05$ **: $p < 0.01$

表 8 各対象者の投擲距離

		Sub.A	Sub.B	Sub.C	Sub.D
投擲距離(m)	pre	14.28	15.09	13.57	13.91
	fix	12.79	12.44	11.39	11.81

(2) 体幹に関する項目

体幹に関する項目の結果を表 9 に示した。肩回転角度は pre 動作 -83.1 ± 3.8 deg., fix 動作 -62.2 ± 12.4 deg.であった。肩回転角速度は pre 動作 1182.2 ± 157.5 deg./sec., fix 動作 837.7 ± 27.7 deg./sec.であった。腰回転角度は pre 動作 -26.0 ± 3.8 deg., fix 動作 -20.5 ± 7.7 deg.であった。腰回転角速度は pre 動作 590.6 ± 60.2 deg./sec., fix 動作 571.3 ± 129.1 deg./sec.であった。捻り角度は pre 動作 -57.2 ± 4.4 deg., fix 動作 -41.6 ± 13.4 deg.であった。

肩回転角度および、腰回転角度は pre 動作に比べ fix 動作において有意（順に $p < 0.05$, $p < 0.05$ ）な増加が認められた。肩回転角速度は有意（ $p < 0.01$ ）な低下が認められた。腰回転角速度、捻り角度に有意な変化は認められなかった。

表 9 体幹に関する項目結果 (pre × fix)

n=4		pre			fix		
項目		Mean	±	S.D.	Mean	±	S.D.
肩回転角度	(deg.)	-83.1	±	3.8	-62.2	±	12.4 *
肩回転角速度	(deg./sec.)	1182.2	±	157.5	837.7	±	27.7 **
腰回転角度	(deg.)	-26.0	±	3.8	-20.5	±	7.7 *
腰回転角速度	(deg./sec.)	590.6	±	60.2	571.3	±	129.1 n.s.
捻り角度	(deg.)	-57.2	±	4.4	-41.6	±	13.4 n.s.

*: $p < 0.05$ **: $p < 0.01$

(3) 重心に関する項目

重心に関する項目の結果を表 10 に示した．身体重心移動水平速度は pre 動作 2.17 ± 0.22 m/sec., fix 動作 2.22 ± 0.13 m/sec.であった．身体重心移動鉛直速度は pre 動作 1.19 ± 0.23 m/sec., fix 動作 1.08 ± 0.20 m/sec.であった．身体重心移動合成速度は pre 動作 2.30 ± 0.17 m/sec., fix 動作 2.26 ± 0.13 m/sec.であった．

FreeArm 重心移動水平速度は pre 動作 5.98 ± 0.64 m/sec., fix 動作 3.37 ± 0.13 m/sec.であった．FreeArm 重心移動鉛直速度は pre 動作 3.18 ± 0.60 m/sec., fix 動作 1.09 ± 0.08 m/sec.であった．FreeArm 重心移動合成速度は pre 動作 6.52 ± 0.55 m/sec., fix 動作 3.50 ± 0.14 m/sec.であった．

FreeArm 重心移動水平速度および FreeArm 重心移動鉛直速度，FreeArm 重心合成速度は pre 動作に比べ fix 動作において有意（順に $p < 0.01$, $p < 0.01$, $p < 0.01$ ）な低下が認められた．身体重心移動速度には全ての項目で有意な変化は認められなかった．

表 10 重心に関する項目結果 (pre × fix)

n=4		pre			fix		
項目		Mean	±	S.D.	Mean	±	S.D.
身体重心移動水平速度	(m/sec.)	2.17	±	0.22	2.22	±	0.13
身体重心移動鉛直速度	(m/sec.)	1.19	±	0.23	1.08	±	0.20
身体重心移動合成速度	(m/sec.)	2.30	±	0.17	2.26	±	0.13
FreeArm重心移動水平速度	(m/sec.)	5.98	±	0.64	3.37	±	0.13
FreeArm重心移動鉛直速度	(m/sec.)	3.18	±	0.60	1.09	±	0.08
FreeArm重心移動合成速度	(m/sec.)	6.52	±	0.55	3.50	±	0.14

*:p<0.05 **:p<0.01

(4) 床反力に関する項目

床反力に関する項目の結果を表 11 に示した．水平分力は pre 動作 10.8 ± 16.9 kg, fix 動作 22.4 ± 3.4 kg であった．垂直分力は pre 動作 123.3 ± 24.2 kg, fix 動作 117.0 ± 17.3 kg であった．合力は pre 動作 124.7 ± 23.6 kg, fix 動作 119.2 ± 16.7 kg であった．

全ての床反力の値には pre 動作と fix 動作に有意な変化は認められなかった．

表 11 床反力に関する項目結果 (pre×fix)

n=4		pre			fix		
項目		Mean	±	S.D.	Mean	±	S.D.
水平分力	(kg)	10.8	±	16.9	22.4	±	3.4
垂直分力	(kg)	123.3	±	24.2	117.0	±	17.3
合力	(kg)	124.7	±	23.6	119.2	±	16.7

*:p<0.05 **:p<0.01

第 4 節 考察

(1) FreeArm の動きについて

FreeArm 重心の動きを検討するために，Sub.C の pre 動作と fix 動作における左肩を中心にして側方からみた FreeArm 重心移動軌跡を図 29 に示した．さらに，動作全体の様子をスティックピクチャーで図 30 に示した（ $S\text{-}\alpha$ は肩回転角加速度最大値を示す）．fix 動作の軌跡（ \triangle マーク）に着目すると，FreeArm を体側に固定しているため，その重心移動軌跡は上体の動きに伴われ，投擲方向および鉛直方向への動きはきわめて小さくなった．全ての対象者における fix 動作は同様であり，FreeArm を固定したことによって熟練者においても未熟練者と類似した FreeArm の動きであった．

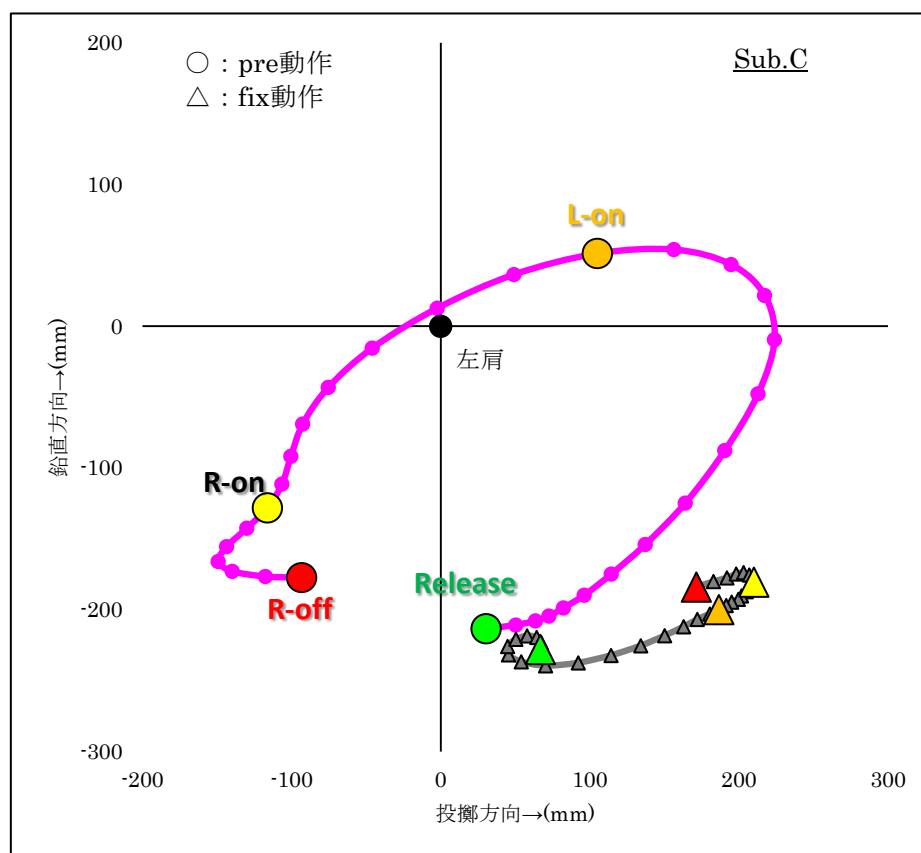


図 29 側方からみた FreeArm 重心移動軌跡

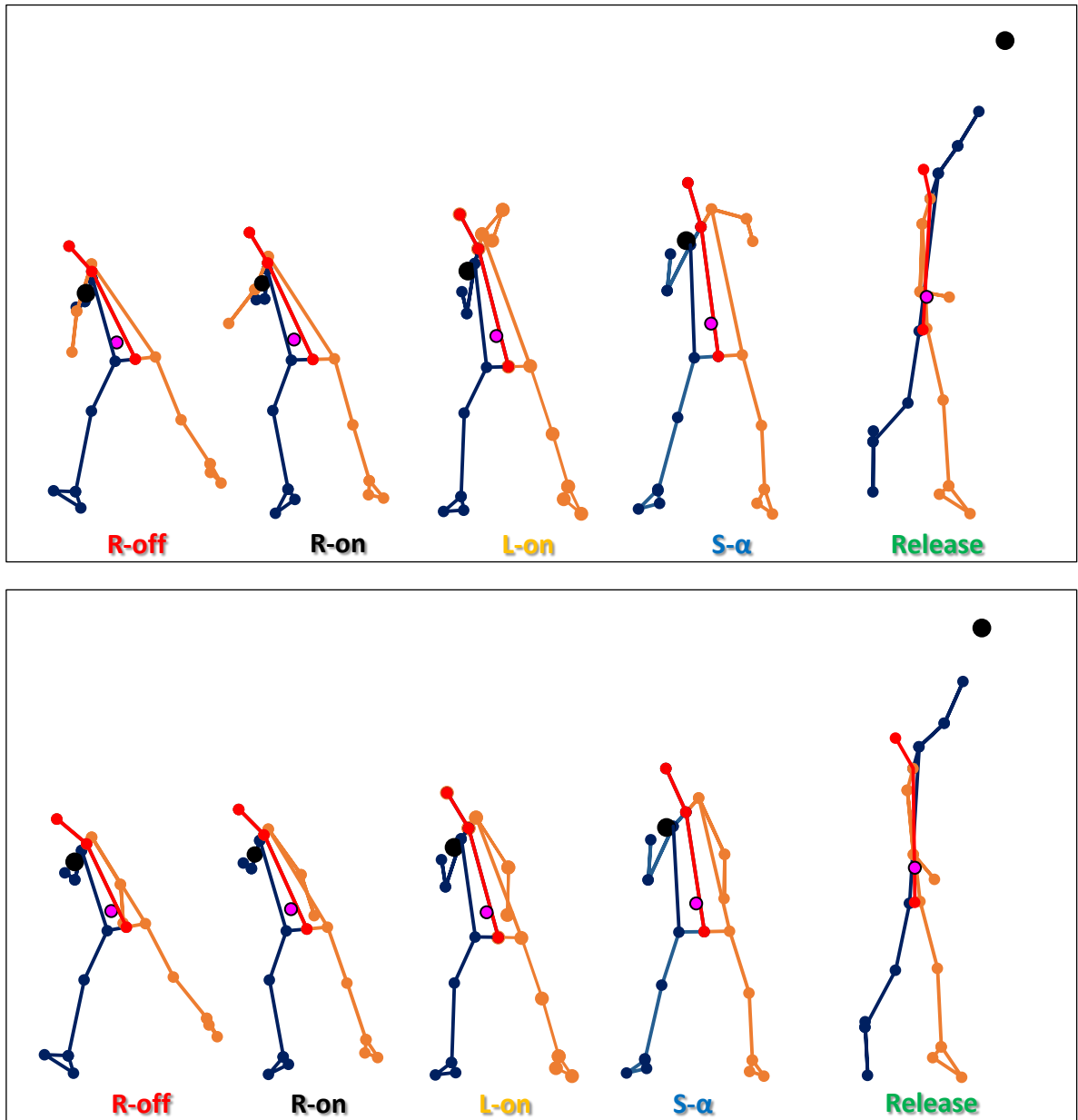


図 30 側方からみたスティックピクチャー

(Sub. C, 上:pre 動作, 下:fix 動作)

(2) FreeArm の動きと投擲の関係について

投擲距離が有意に低下し, FreeArm の固定は投擲動作に大きな影響があった. 投擲距離を決定付ける投射合成速度に有意な低下が認められたが, その成分は投射水平速度が平均値で 0.55 m/sec.低下しているのに対して, 投射鉛直速度はその約 2 倍の 1.11 m/sec.も低下していることがわかった (図 31). また, 突出し合成速度, 突出し鉛直速度に有意な低下は認められたが, 水平速度に関しては有意な変化が認められなかった (図 32). 以上のことから, FreeArm の固定は投射の際に水平速度よりも鉛直速度に対する影響が大きいと考えられる.

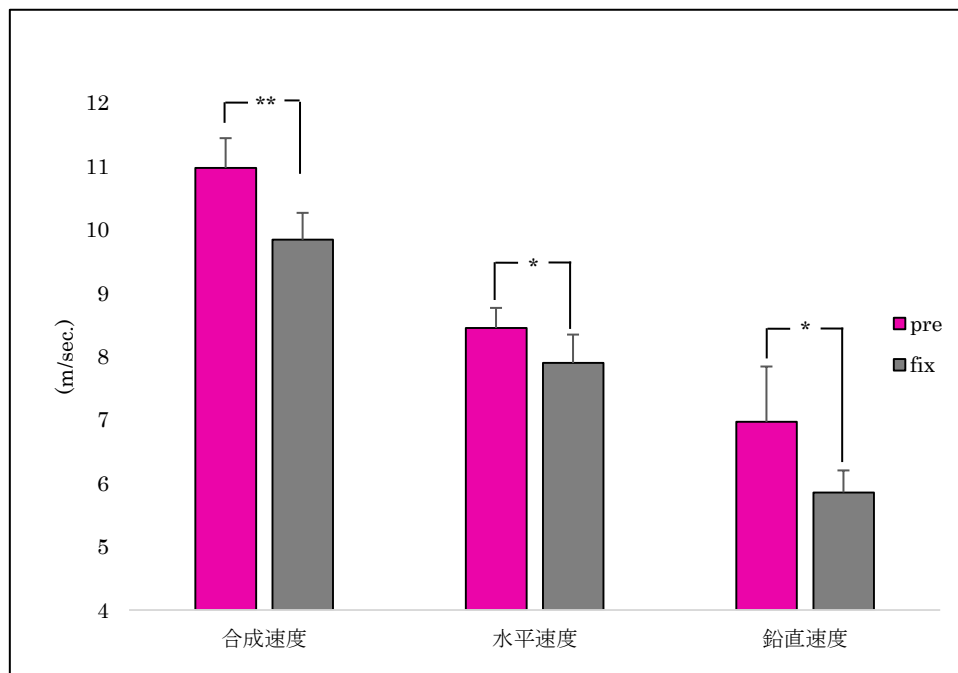


図 31 pre 動作と fix 動作における投射速度の変化

(n=4, Mean±S. D., *p<0.05, **p<0.01)

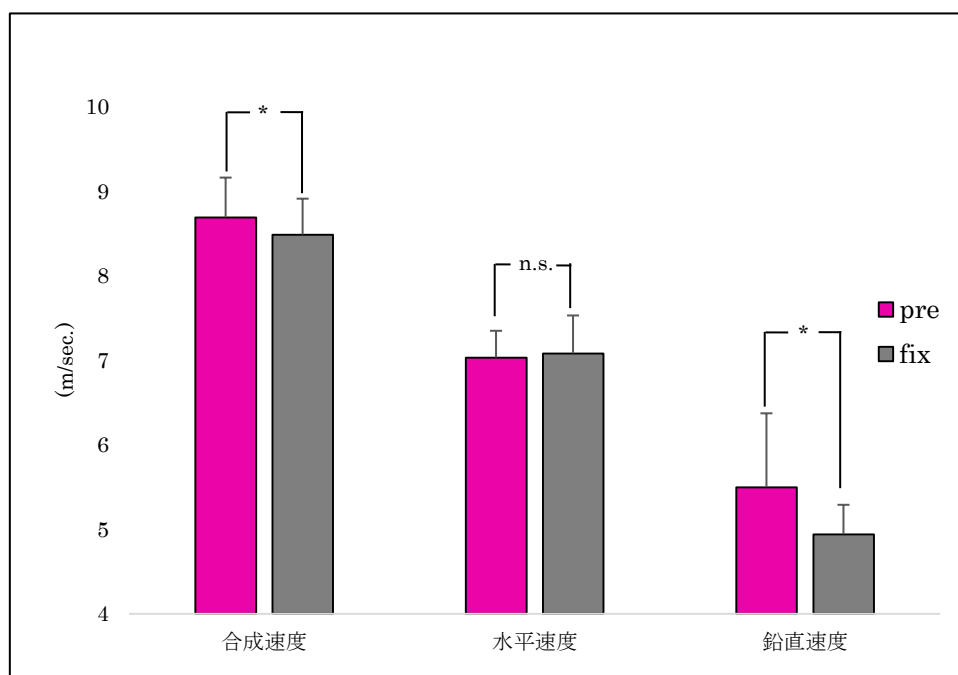


図 32 pre 動作と fix 動作における突出し速度の変化

(n=4, Mean±S. D. , *p<0. 05, **p<0. 01)

(3) FreeArm の動きと体幹の動きの関係について

FreeArm を固定することで L-on 時における肩回転角度が有意に増加した (図 33). Sub.A の肩回転する様子 (左肩を中心に上方からみた両肩を結んだ線分のスティックピクチャー, 図 34) に着目すると fix 動作では, L-on 時に肩が投擲方向へ開くといった未熟練者の特徴に類似し, 全ての対象者の fix 動作に同様の傾向があった.

第 1 章において FreeArm 重心が肩より先行して動いてしまうと肩の開きが誘発される可能性を示唆したが, FreeArm 重心移動軌跡の様子や肩回転角度の結果より同様の現象が FreeArm を固定したことによって生じた. よって, FreeArm の動きは肩の回転動作に大きく影響を与えと考えられる.

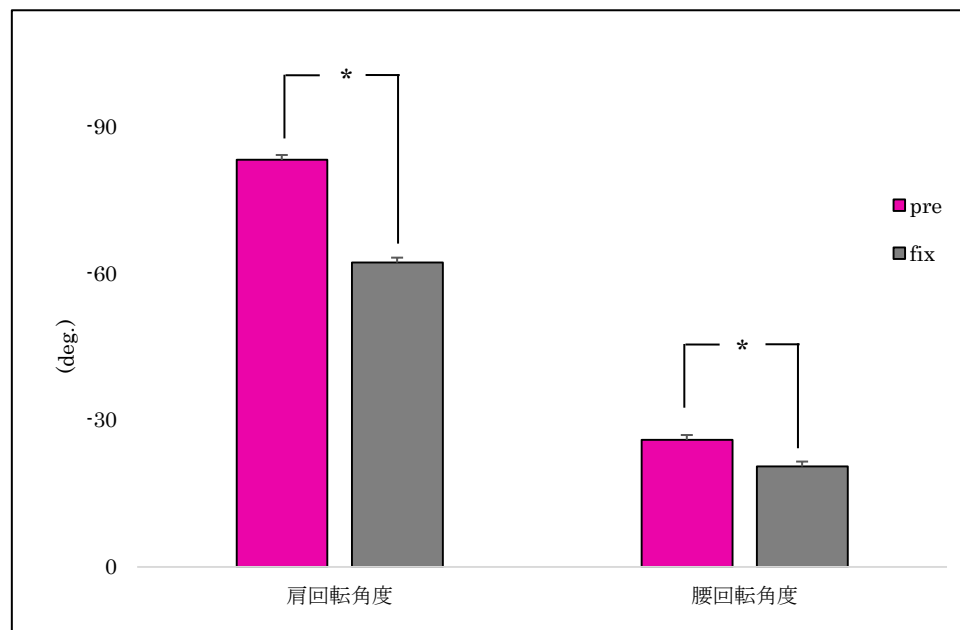


図 33 pre 動作と fix 動作における肩・腰回転角度の変化

(n=4, Mean±S. D., *p<0.05, **p<0.01)

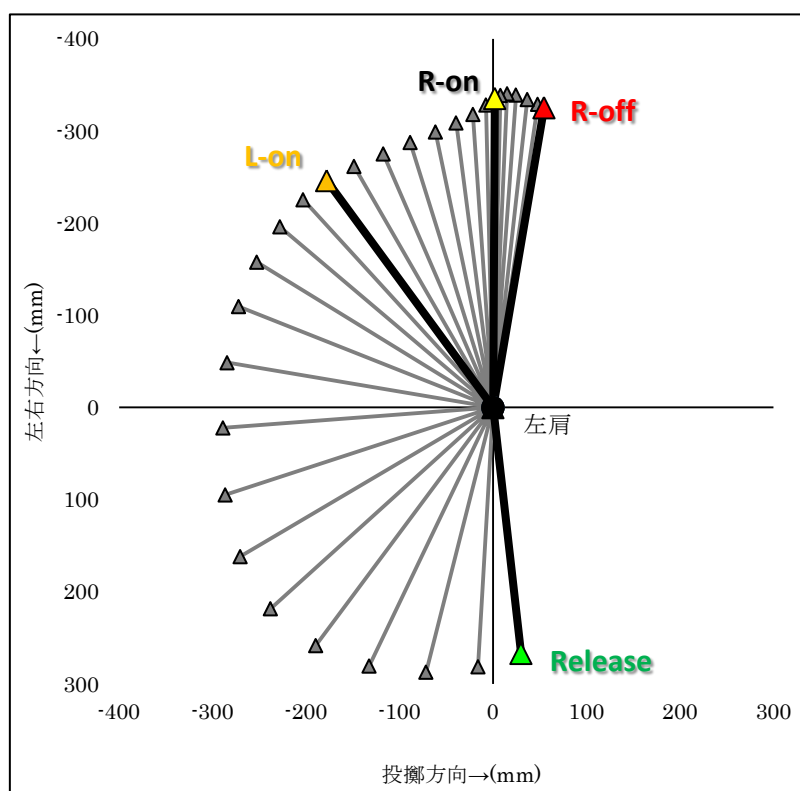
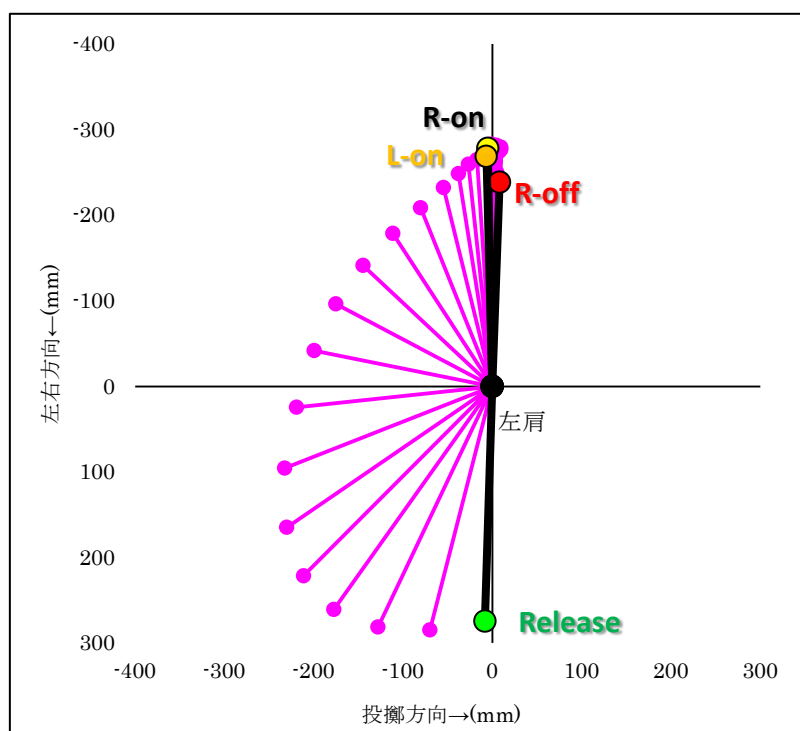


図 34 上方からみた肩のスティックピクチャー

(Sub. A, 上:pre 動作, 下:fix 動作)

fix 動作において肩回転角速度が有意な低下を示し（図 35）、FreeArm を固定することで、L-on 時における肩の開きが大きくなり捻り戻しによって肩を素早く回転することができなくなった。また、FreeArm を投擲方向へ振上げる動きと連動した素早い肩の回転ができなくなったと考えられる。

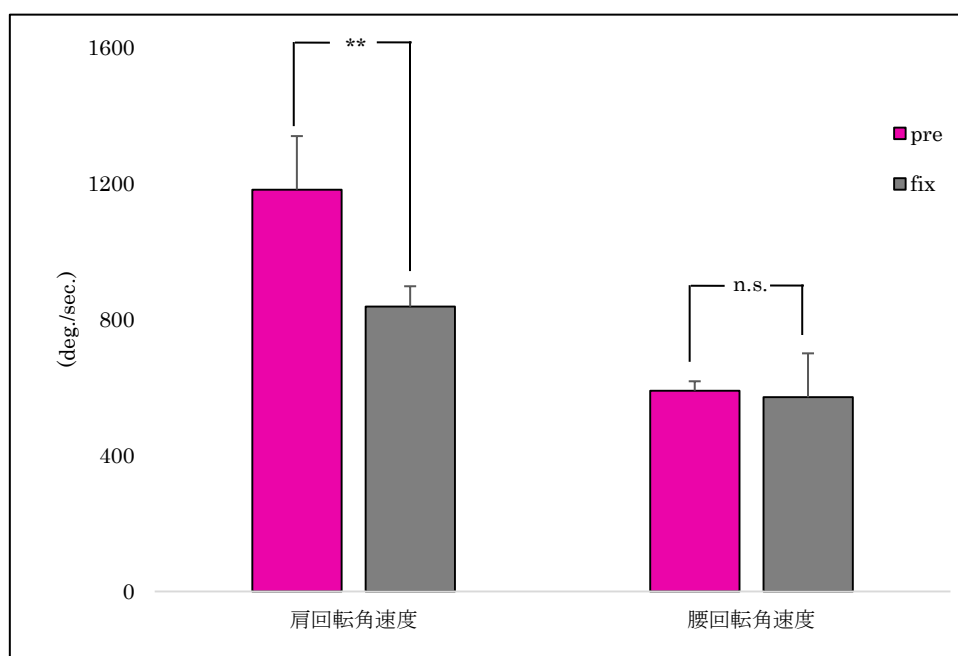


図 35 pre 動作と fix 動作における肩・腰回転角速度の変化

(n=4, Mean±S. D. , *p<0. 05, **p<0. 01)

肩回転角速度と強く関係する突出し水平速度には有意な低下は認められなかった。そこで、fix 動作において突出し水平速度が pre 動作よりも 0.23 m/sec. 増加した Sub.B の肩回転の様子（左肩を中心に後方からみた両肩を結んだ線分のスティックピクチャー）を図 36 に示した。

pre 動作では右肩が最下点から Release に向けて約 25.0 cm 鉛直方向へ移動しているのに対して、fix 動作では約 17.7 cm 鉛直方向へ移動しており、pre 動作に比べ fix 動作の方が肩の上下動が少ない。つまり、fix 動作では肩がより水平回転する傾向があり、そのことによって、突出し水平速度の低下が生じなかったのではないかと考えられる。

しかしながら、肩の水平回転は突出し鉛直速度、投射鉛直速度の低下を引き起こす原因になっている可能性も考えられる。

肩の水平回転が生じた原因は FreeArm を鉛直方向に動かすことができなかったためであろう。FreeArm を適切に引き上げることで、スムーズな肩回転の動きを導き、つづく突出し動作へ有効な力を伝えることができると考えられる。FreeArm の動きは肩回転動作と連動することで、投擲パフォーマンスに影響を与えていることが示唆された

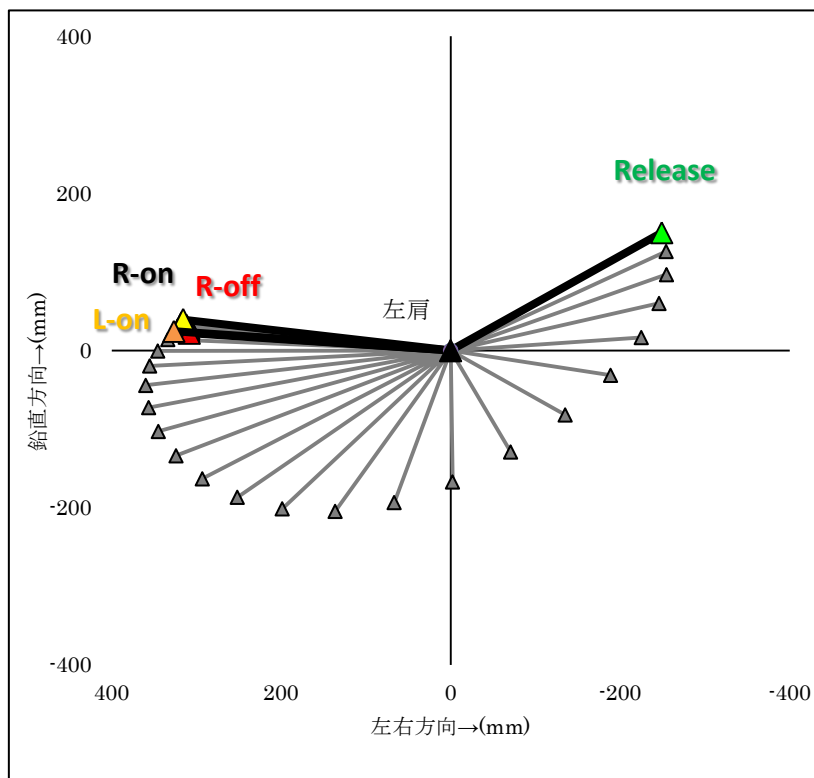
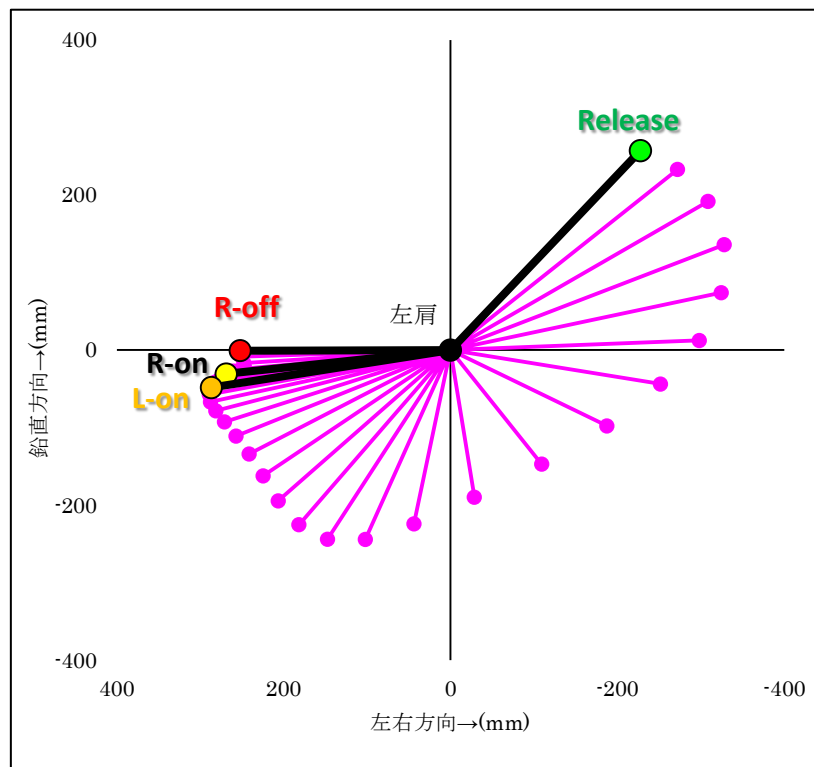


図 36 後方からみた肩のスティックピクチャー

(Sub. B, 上:pre 動作, 下:fix 動作)

(4) FreeArm の動きと床反力の関係について

砲丸投において支持足は大きな可動性と力によってエネルギーの発生源になっており（大山，1993），突出し動作のための立ち上がり（リフト）動作は重要である（金子，1984）．しかし，L-on 時における支持足の床反力の値に有意な変化は認められず，fix 動作において，垂直分力および合力の値が 3 名は増加し，1 名は大きく減少していた．

そこで，L-on 時の合力が 158.9 kg から 94.1 kg に減少した Sub.B の pre 動作および fix 動作の R-on から Release 間における合力の時系列的変化を図 37 に示した．

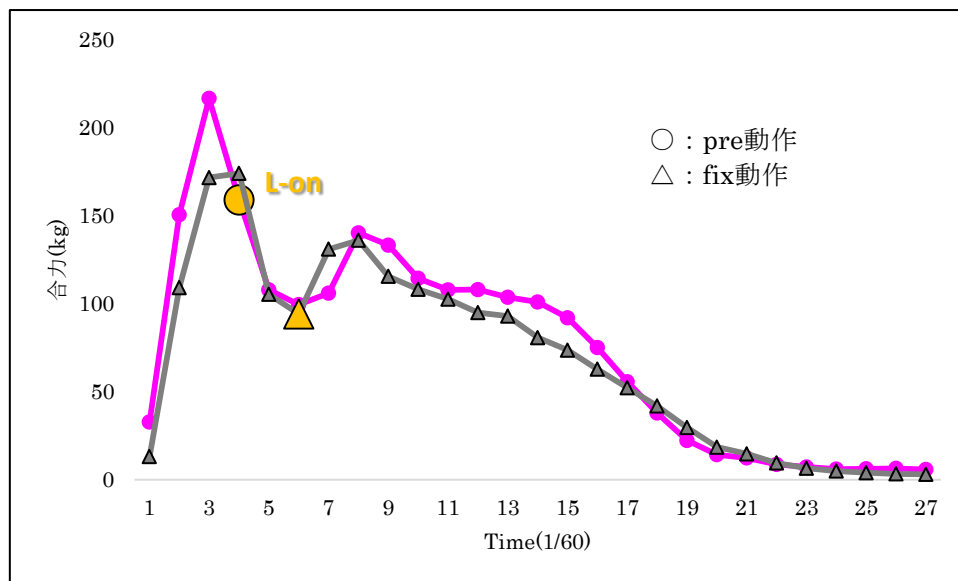


図 37 pre 動作と fix 動作における合力の時系列的変化
(Sub. B, R-on～Release 間)

pre 動作（○マーク）は支持足が着地するとすぐ合力は 200 kg を越えた後，100 kg 付近まで減少するが，再び 140 kg あたりまで上昇してから縮小していく．着地後の急激な上昇は身体が鉛直方向へ沈みこまないように支持足が踏ん

張る力であると考えられる．一時的な力の減少は投擲方向へ身体が前進する様子であり，その後の再上昇は投射するための立ち上がり動作によって床を強く蹴り始める力を示していると考えられる．したがって，L-on 時に着目した場合，pre 動作は合力が減少に向かう地点の値を，fix 動作は合力が一時的に最も減少した地点の値をそれぞれ抽出していると思われ，pre 動作と fix 動作の L-on 時の値については単純に比較することはできないと判断した．

そこで，対象者 4 名に対して合力が再上昇する地点から Release までの区間における垂直分力および合力の最大値を抽出し pre 動作と fix 動作の比較を行うと，図 38 に示す結果となった．

鉛直分力は pre 動作で 133.7 ± 4.5 kg（平均値 \pm 標準偏差），fix 動作で 129.6 ± 4.6 kg であった．合力は pre 動作で 135.1 ± 4.5 kg，fix 動作で 131.4 ± 4.4 kg であった．いずれの項目も pre 動作に比べ fix 動作は有意（共に $p < 0.01$ ）な低下が認められた．

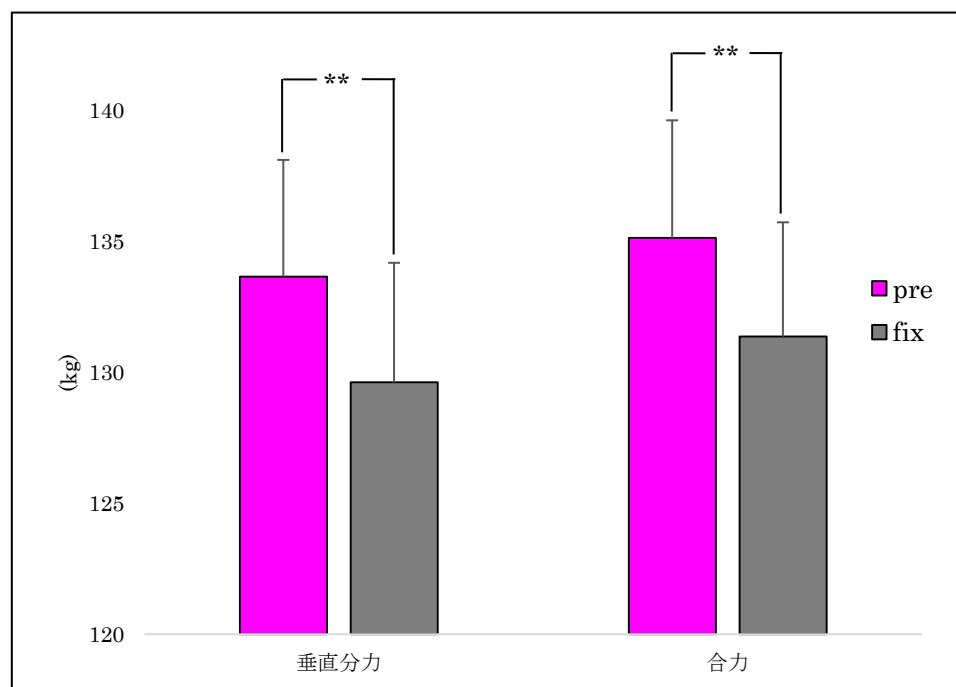


図 38 pre 動作と fix 動作における床反力の変化

(n=4, Mean \pm S. D. , * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$)

Sub.A の pre 動作および fix 動作における合力の変化をスティックピクチャーと合わせて図 39 に示した ($S\cdot\alpha$ は肩回転角加速度最大値を示す). Sub.A の合力は再上昇した後に最大値で pre 動作は 129.2 kg, fix 動作は 125.7 kg を示しており, FreeArm が固定された状態の方が地面を蹴る力が小さい値であった.

また, Sub.A の pre 動作および fix 動作における, 垂直分力 (○マーク), FreeArm 重心移動合成速度 (△マーク), 肩回転角速度 (□マーク), 突出し合成速度 (◇マーク), 投射合成速度 (×マーク) の時系列的変化を図 40, 図 41 に示した. なお, 縦 4 本線は順に R-on 時, L-on 時, $S\cdot\alpha$ 時 (肩回転角加速度最大値の地点), Release 時をそれぞれ示している.

pre 動作の時系列的変化に着目すると, 垂直分力が再上昇しはじめようすると同時に FreeArm 重心移動合成速度の上昇がはじまる. そして, FreeArm 重心移動合成速度がピーク (7.33 m/sec.) を過ぎると, 肩回転角加速度の最大値 (9039.5 deg./sec.²) が出現し肩回転角速度のピーク (906.5 deg./sec.) を迎える. その後, 突出し合成速度, 投射合成速度の順に高まり Release を行う.

fix 動作に着目すると, FreeArm を固定しているために床反力の値が再び上昇しはじめようすると同時に FreeArm 重心移動合成速度が大きくなることはなく, 床反力の値は十分に上昇せず動作が終了している.

地面から得た力を身体の近部位から遠部位へと身体各部をタイミングよく順番に動かし速度を加算させることを「運動連鎖の原則」と呼ぶ (Kreighbaum E. and Barthels K.M., 1996) が, FreeArm の動きも床反力や肩回転角速度の増大を補助しているのではないかと考えられる. つまり, FreeArm を鉛直方向に動かすことで身体を引き上げ, 地面を強く蹴る動きを, 投射したい方向へ動かすことで肩をスムーズに素早く回転する動きを助けているのではないかと考えられる.

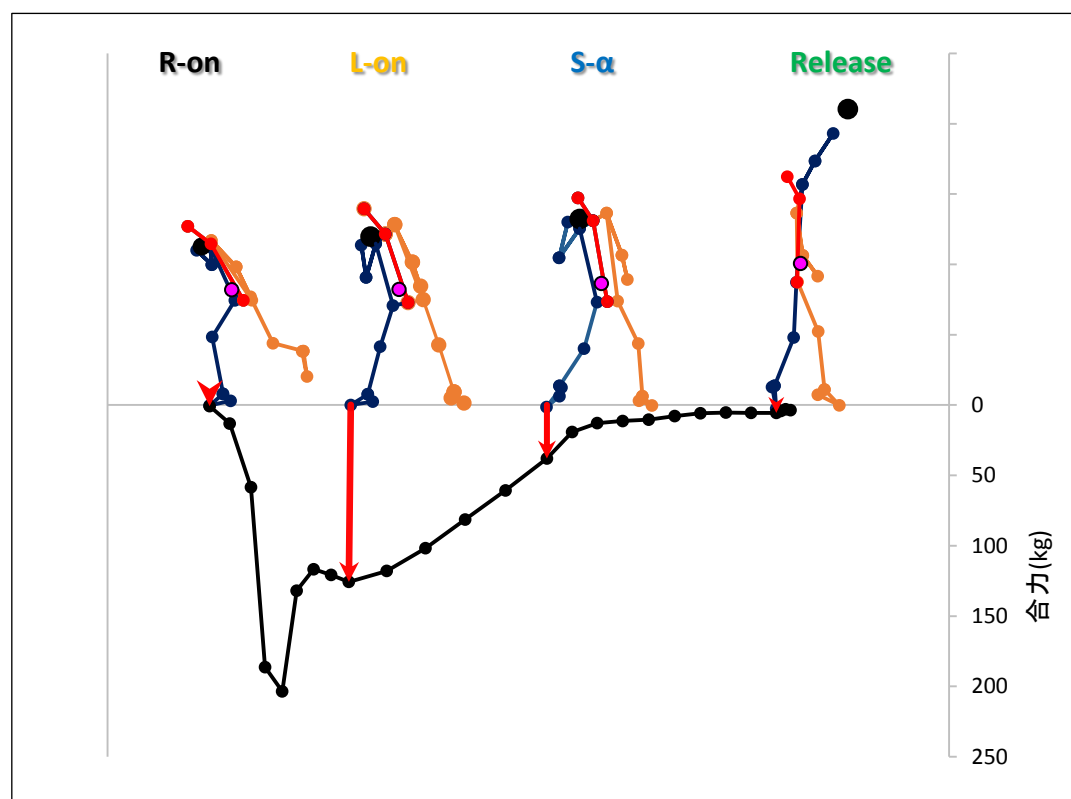
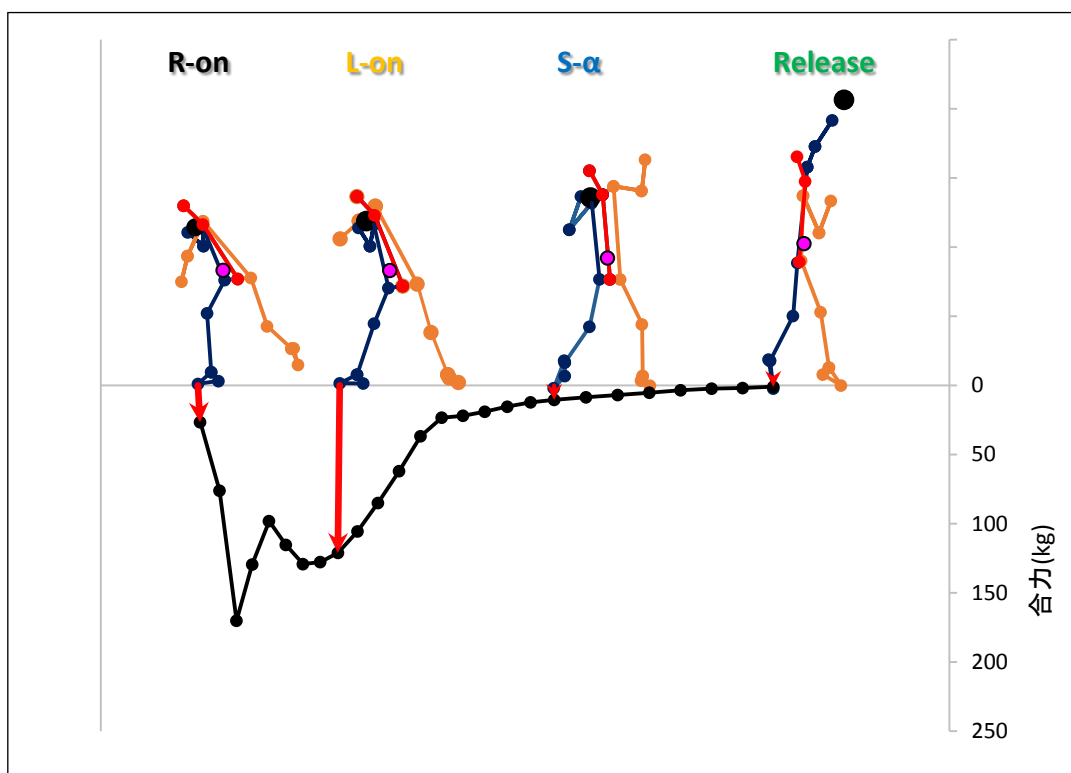


図 39 合力の時系列的変化および側方からみたスティックピクチャー
(Sub. A, 上:pre 動作, 下:fix 動作)

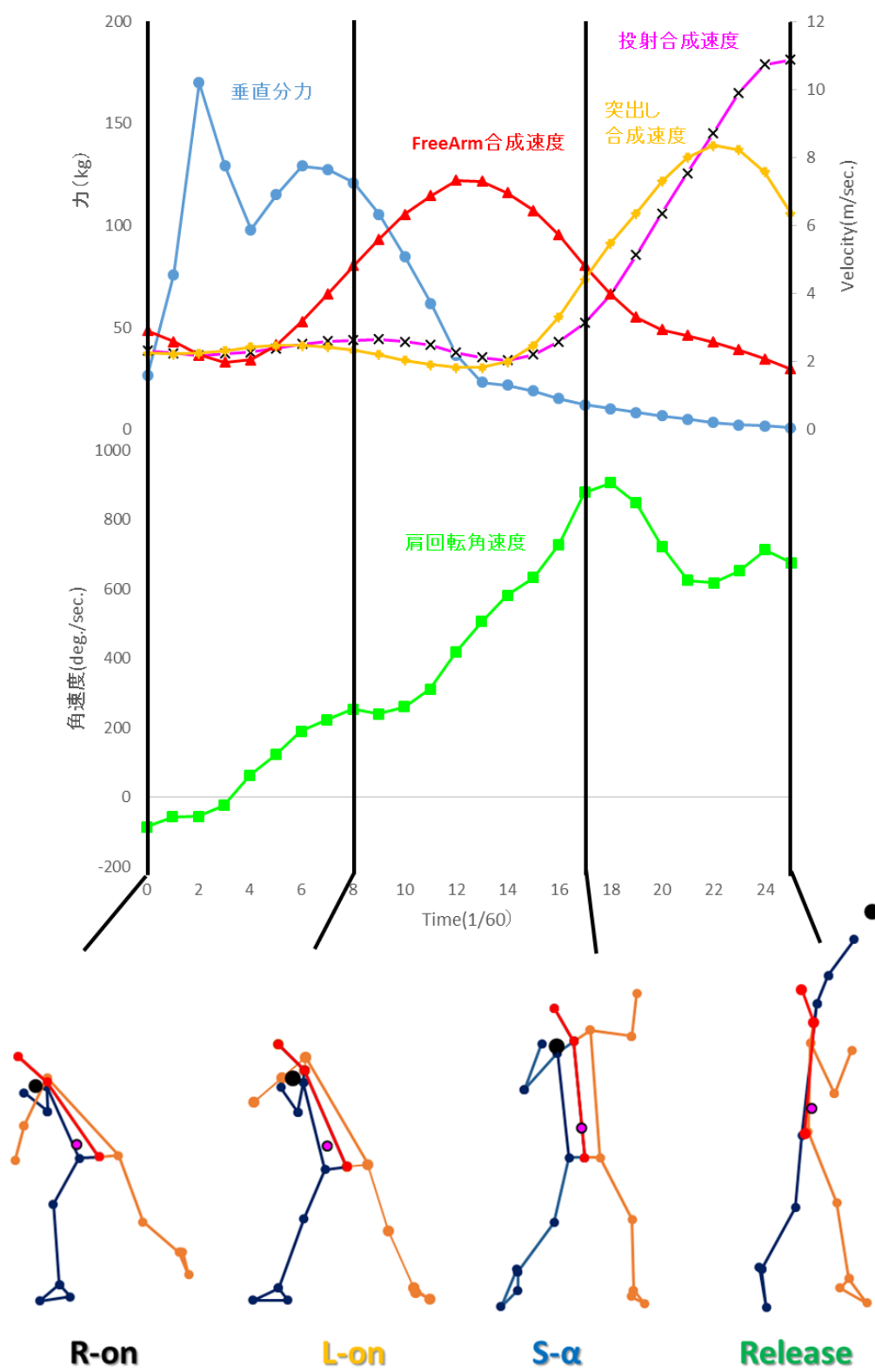


図 40 各項目の時系列的変化 (Sub. A, pre 動作)

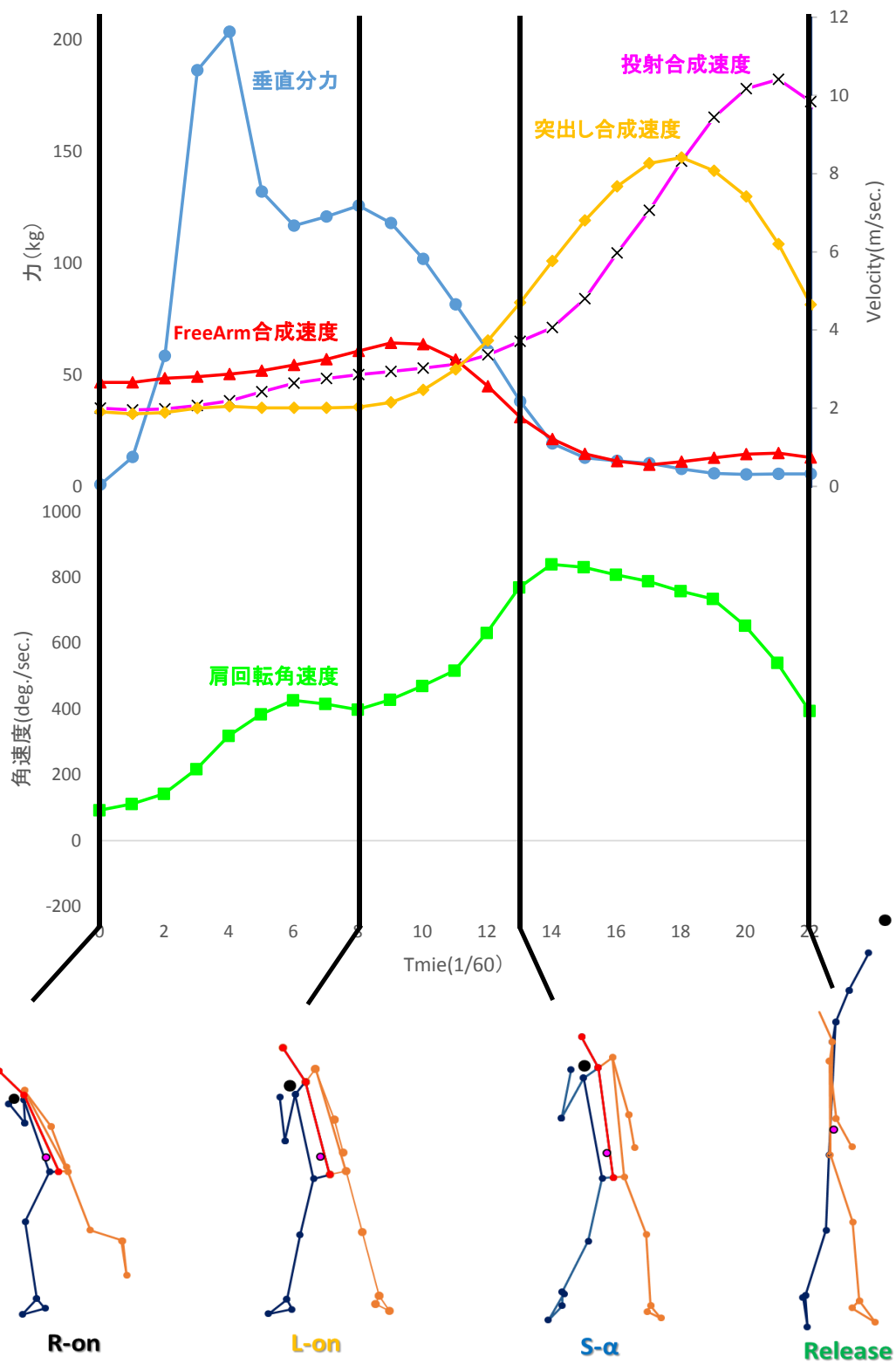


図 41 各項目の時系列的変化 (Sub. A, fix 動作)

第 5 節 本章まとめ

本章は熟練者を対象に通常の投擲動作と **FreeArm** を固定した状態での投擲動作を比較し、**FreeArm** の動きとグライド投法による砲丸投のパフォーマンスとの関連性について検討することを目的とした。熟練者 4 名を対象に 4.00 kg の室内用砲丸を用いグライド投法での砲丸投（pre 動作）および、**FreeArm** を固定した状態での砲丸投（fix 動作）をそれぞれ実施した。その様子を撮影し、フォースプレートと 3 次元 DLT 法を用い動作の分析を行った。

FreeArm 重心移動速度および移動軌跡に着目すると、**FreeArm** を固定することによって熟練者でも **FreeArm** が未熟練者に近い動きをした。

投擲距離は有意に低下し、**FreeArm** の固定は投擲動作に大きな影響であった。投射鉛直速度は投射水平速度に比べ平均値で約 2 倍の低下を示し、**FreeArm** の固定は投射の際に鉛直速度に対する影響が大きかった。

FreeArm と体幹の動きについて検討すると、L-on 時における肩回転角度が有意に増加し、**FreeArm** 重心が肩より先行して動くことで投擲方向に対する肩の開きが誘発されたものと考えられた。

肩回転角速度は有意に低下した。**FreeArm** を固定することで、捻り戻しによる素早い肩回転や **FreeArm** の動きと連動したスムーズな肩回転ができなくなったものと考えられた。また、**FreeArm** を鉛直方向に引き上げることができないため、鉛直方向へ投射速度を高めることができなくなったものと考えられた。

FreeArm の動きと床反力について検討すると鉛直分力および合力は有意に低下し、**FreeArm** が固定された状態の方が地面を強く蹴ることができなかったものと考えられた。

FreeArm を投擲したい方向に動かすことで、身体を上方へ引き上げ、地面を強く蹴り、肩をスムーズに素早く回転させる動きを助けているのではないかと推察された。

FreeArm の動きと砲丸投パフォーマンスの関連性を踏まえ、①グライド後、着地するまで FreeArm が肩より先行しない動き、②グライド後、投射方向に素早く FreeArm を引き上げる動きの 2 点に留意し、FreeArm の動きに着目した指導を検討する必要がある。

第 3 章 FreeArm の動きに着目した指導

第 1 節 本章の目的

第 1 章および第 2 章より明らかになった，未熟練者の特徴と FreeArm の投擲パフォーマンスに与える影響を踏まえ，グライド投法による砲丸投における FreeArm の動きに着目した指導を未熟練者に対して実践しその有効性について検討することを本章の目的とする．

第 2 節 方法

(1) 対象者の身体特性

第 1 章と同一の未熟練者 19 名と新たに 1 名加えた，計 20 名の砲丸投未熟練者を対象者とした．対象者の身体特性を表 12 に示した．対象者の身体特性の平均値および標準偏差は年齢 19.8 ± 0.7 歳，身長 173.3 ± 6.3 cm，体重 65.0 ± 6.2 kg であった．

表 12 未熟練者の身体特性

n=20				
項目		Mean	±	S.D.
年齢	(歳)	19.8	±	0.7
身長	(cm)	173.3	±	6.3
体重	(kg)	65.0	±	6.2

(2) 測定方法

測定は 2015 年 7 月 22～31 日にかけて M 大学屋内運動場で行った．対象者には測定の概要を説明し承諾を得た．ルールおよびグライド投法について図 1，図 2 を用い説明した．その後，各自でウォーミングアップを行い，グライド投法を含めた練習を 5 回以内で行った．測定は 4.00kg の室内用ソフトゴム製砲丸 (NISHI 社製 $\phi 115\text{mm}$) (図 24) を用いて実施した．対象者に頭頂および，左右の肩関節，肘関節，手関節，大転子，膝関節，外踝に身体マーカーを貼付し，グライド投法での砲丸投を最大努力で 3 回実施した．最も大きい投擲距離を示した試技を分析対象とし pre 動作とした．

複雑な構造である運動を指導する際は重要な要素、観点に絞り簡潔にすることが大切である（Penelope A.Portman, 1995）。そこで、グライド後に着地するまで **FreeArm** が肩より先行しない動き、グライド後に投射方向に向かい素早く **FreeArm** を引き上げる動きの 2 点に留意して、**FreeArm** に着目した指導を次の手順で行った。

①言語による指示。「着地するまで、真後ろを指差ししてください.」,「着地したら、投げる方向に腕を振り上げてください.」という 2 つの指示を、図 42 を提示しながら行った。

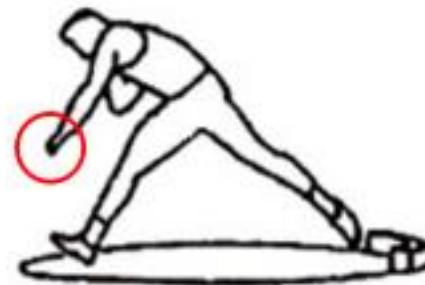
②グライド投法の練習。対象者はその場で砲丸を持たずにグライド投法の動きを各自で練習した。この時、各対象者がそれぞれどれくらいの高さに突出しを行いたいと考えているのか確認し、各自の投げたい方向へ素早く腕を引き上げるように助言した。

③非言語による指導。対象者が②を行っている際、指導者は対象者の **FreeArm** を掴み、熟練者の軌跡に近い動きをなぞるように動かし指導した。

①～③までを一人 10 分程度で行った後、グライド投法での砲丸投を最大努力で 3 回実施した。最も大きい投擲距離を示した試技を分析対象とし **post** 動作とした。なお、指導際に **FreeArm** 以外の技術的指導は一切行わなかった。

第 2 章と同様にカメラとフォースプレートを設置し、動作分析を行った。また、第 2 章と同様に投擲場所を設定し、投擲を行った。

真後ろを《指さし》してください



投げる方向に腕を振り上げてください

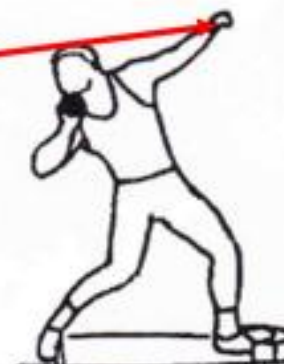
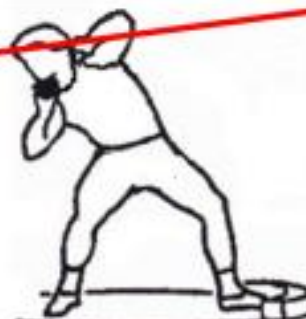
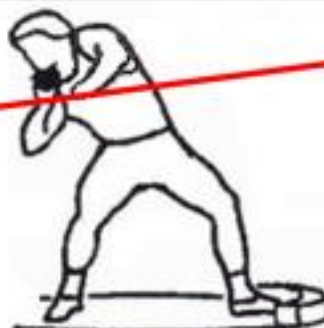
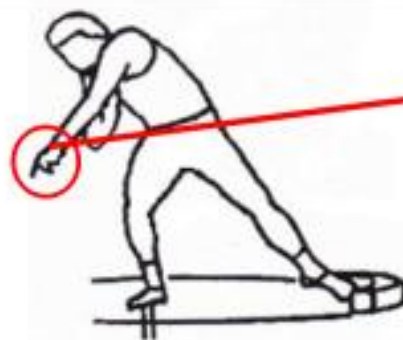


図 42 指導の際に用いた資料

(3) 分析項目

第 1 章と同様に軸の定義を行い，動作の局面分けをした．

1) 投擲に関する項目

第 1 章と同様に i．投擲距離， ii．投射速度， iii．投射角度， iv．突出し速度を算出した．

2) 体幹に関する項目

第 1 章と同様に i．肩回転角度， ii．肩回転角速度， iii．腰回転角度， iv．腰回転角速度， v．捻り角度を算出した．

3) 重心に関する項目

第 1 章と同様に阿江(1996)の日本人青年アスリート身体部分慣性係数に従い身体重心を求め， i．身体重心移動速度， ii．FreeArm 重心移動速度を算出した．

4) 床反力に関する項目

指示足着地からリリース間において，合力が再上昇した後に最大値へ達した値を抽出した．その地点における Z 軸の値を垂直分力，X 軸の値を水平分力とした．

(4) 統計処理

pre 動作と post 動作の比較を行うために対応のある t 検定(片側)を行った.
投擲距離と床反力の相関を調べるため、ピアソンの積率相関係数を算出した.
なお、有意水準は共に 5 %未満とした.

第 3 節 結果

(1) 投擲に関する項目

投擲に関する項目の結果を表 13 に示した。また、投擲距離は各対象者の記録を表 14 に示した。投擲距離は pre 動作 8.39 ± 1.10 m (平均値 \pm 標準偏差), post 動作 8.39 ± 1.16 m であった。投射水平速度は pre 動作 6.60 ± 0.57 m/sec., post 動作 6.56 ± 0.77 m/sec. であった。投射鉛直速度は pre 動作 4.85 ± 0.62 m/sec., post 動作 4.91 ± 0.70 m/sec. であった。投射合成速度は pre 動作 8.21 ± 0.61 m/sec., post 動作 8.22 ± 0.72 m/sec. であった。投射角度は pre 動作 36.22 ± 4.00 deg., post 動作 36.84 ± 5.15 deg. であった。

突出し水平速度は pre 動作 6.03 ± 0.47 m/sec., post 動作 6.16 ± 0.64 m/sec. であった。突出し鉛直速度は pre 動作 4.30 ± 0.52 m/sec., post 動作 4.40 ± 0.53 m/sec. であった。突出し合成速度は pre 動作 7.34 ± 0.50 m/sec., post 動作 7.39 ± 0.59 m/sec. であった。

全ての項目で有意な変化は認められなかった。

表 13 投擲に関する項目結果 (pre \times post)

n=20		pre			post		
項目		Mean	\pm	S.D.	Mean	\pm	S.D.
投擲距離	(m)	8.39	\pm	1.10	8.39	\pm	1.16
投射水平速度	(m/sec.)	6.60	\pm	0.57	6.56	\pm	0.77
投射鉛直速度	(m/sec.)	4.85	\pm	0.62	4.91	\pm	0.70
投射合成速度	(m/sec.)	8.21	\pm	0.61	8.22	\pm	0.72
投射角度	(deg.)	36.22	\pm	4.00	36.84	\pm	5.15
突出し水平速度	(m/sec.)	6.03	\pm	0.47	6.16	\pm	0.64
突出し鉛直速度	(m/sec.)	4.30	\pm	0.52	4.40	\pm	0.53
突出し合成速度	(m/sec.)	7.34	\pm	0.50	7.39	\pm	0.59

*:p<0.05 **:p<0.01

表 14 各対象者の投擲距離

		sub.1	sub.2	sub.3	sub.4	sub.5	sub.6	sub.7	sub.8	sub.9	sub.10
投擲距離(m)	pre	8.27	8.20	7.51	9.56	8.61	7.99	9.30	10.61	7.83	9.85
	post	8.93	9.64	8.01	9.93	8.51	8.80	9.49	9.57	6.89	9.43
		sub.11	sub.12	sub.13	sub.14	sub.15	sub.16	sub.17	sub.18	sub.19	sub.20
	pre	5.96	9.13	7.55	9.54	8.06	7.96	7.05	7.28	9.00	8.56
	post	6.11	9.00	7.27	9.53	7.37	7.86	7.19	6.53	8.55	9.24

(2) 体幹に関する項目

体幹に関する項目の結果を表 15 に示した。肩回転角度は pre 動作 -25.2 ± 21.1 deg., post 動作 -40.5 ± 13.5 deg.であった。肩回転角速度は pre 動作 720.5 ± 113.8 deg./sec., post 動作 795.2 ± 146.3 deg./sec.であった。腰回転角度は pre 動作 -16.5 ± 18.4 deg., post 動作 -26.3 ± 12.1 deg.であった。腰回転角速度は pre 動作 616.0 ± 91.7 deg./sec., post 動作 641.9 ± 130.8 deg./sec.であった。捻り角度は pre 動作 -8.7 ± 11.2 deg., post 動作 -14.2 ± 12.5 deg.であった。

肩回転角度および、腰回転角度は pre 動作に比べ post 動作において有意（順に $p<0.01$, $p<0.01$ ）な低下が認められた。肩回転角速度は有意（ $p<0.01$ ）な増加が認められた。腰回転角速度および捻り角度に有意な変化は認められなかった。

表 15 体幹に関する項目結果 (pre × post)

n=20		pre			post		
項目		Mean	±	S.D.	Mean	±	S.D.
肩回転角度	(deg.)	-25.2	±	21.1	-40.5	±	13.5 **
肩回転角速度	(deg./sec.)	720.5	±	113.8	795.2	±	146.3 **
腰回転角度	(deg.)	-16.5	±	18.4	-26.3	±	12.1 *
腰回転角速度	(deg./sec.)	616.0	±	91.7	641.9	±	130.8 n.s.
捻り角度	(deg.)	-8.7	±	11.2	-14.2	±	12.5 n.s.

*:p<0.05 **p<0.01

(3) 重心に関する項目

重心に関する項目の結果を表 16 に示した。身体重心移動水平速度は pre 動作 1.71 ± 0.23 m/sec., post 動作 1.74 ± 0.30 m/sec.であった。身体重心移動鉛直速度は pre 動作 0.71 ± 0.25 m/sec., post 動作 0.73 ± 0.25 m/sec.であった。身体重心移動合成速度は pre 動作 1.75 ± 0.21 m/sec., post 動作 1.80 ± 0.27 m/sec.であった。

FreeArm 重心移動水平速度は pre 動作 3.04 ± 1.02 m/sec., post 動作 4.67 ± 0.90 m/sec.であった。FreeArm 重心移動鉛直速度は pre 動作 0.82 ± 0.63 m/sec., post 動作 1.66 ± 0.71 m/sec.であった。FreeArm 重心移動合成速度は pre 動作 3.17 ± 1.03 m/sec., post 動作 4.85 ± 0.93 m/sec.であった。

FreeArm 重心移動水平速度および FreeArm 重心移動鉛直速度、FreeArm 重心合成速度は pre 動作に比べ post 動作において有意（順に $p < 0.01$, $p < 0.01$, $p < 0.01$ ）な増加が認められた。

全ての項目で有意な変化は認められなかった。

表 16 重心に関する項目結果 (pre × post)

n=20		pre			post			
項目		Mean	±	S.D.	Mean	±	S.D.	
身体重心移動水平速度	(m/sec.)	1.71	±	0.23	1.74	±	0.30	n.s.
身体重心移動鉛直速度	(m/sec.)	0.71	±	0.25	0.73	±	0.25	n.s.
身体重心移動合成速度	(m/sec.)	1.75	±	0.21	1.80	±	0.27	n.s.
FreeArm重心移動水平速度	(m/sec.)	3.04	±	1.02	4.67	±	0.90	**
FreeArm重心移動鉛直速度	(m/sec.)	0.82	±	0.63	1.66	±	0.71	**
FreeArm重心移動合成速度	(m/sec.)	3.17	±	1.03	4.85	±	0.93	**

* $p < 0.05$ ** $p < 0.01$

(4) 床反力に関する項目

床反力に関する項目の結果を表 17 に示した。水平分力は pre 動作 2.8 ± 4.4 kg, post 動作 4.8 ± 5.4 kg であった。垂直分力は pre 動作 102.4 ± 12.2 kg, post 動作 102.0 ± 13.6 kg であった。合力は pre 動作 102.5 ± 12.3 kg, post 動作 102.2 ± 13.7 kg であった。

水平分力は pre 動作に比べ post 動作において有意 ($p < 0.05$) な増加が認められた。垂直分力と合力に有意な変化は認められなかった。

表 17 床反力に関する項目結果 (pre × post)

n=20		pre			post			
項目		Mean	±	S.D.	Mean	±	S.D.	
水平分力	(kg)	2.8	±	4.4	4.8	±	5.4	*
鉛直分力	(kg)	102.4	±	12.2	102.0	±	13.6	n.s.
合力	(kg)	102.5	±	12.3	102.2	±	13.7	n.s.

*: $p < 0.05$ **: $p < 0.01$

第 4 節 考察

(1) 初期動作 (pre 動作) と指導後動作 (post 動作) の比較について

指導を行った結果, FreeArm 重心移動速度は水平・鉛直いずれの方向にも速度が有意に増加し (図 43), pre 動作に比べ post 動作の方で FreeArm を素早く積極的に動かし投擲を行うようになった。

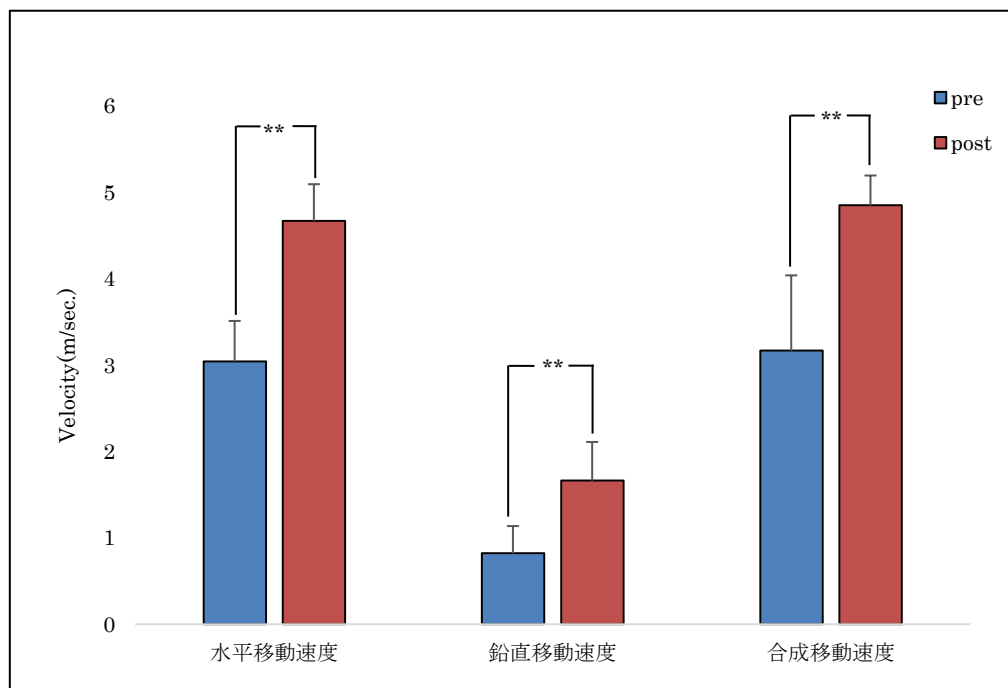


図 43 pre 動作と post 動作における FreeArm 重心移動速度の変化

(n=20, Mean±S. D. , *p<0. 05, **p<0. 01)

pre 動作と post 動作において FreeArm 重心移動合成速度が最も増加した Sub.1 (pre 動作 2.96 m/sec., post 動作 6.54 m/sec.) の FreeArm 重心移動軌跡を図 44 (左肩を中心に側方からみた軌跡) に示した. さらに, Sub.1 の動作全体の様子をスティックピクチャーで図 45 に示した ($S\text{-}\alpha$ は肩回転角加速度最大値を示す). pre 動作 (○マーク) に比べ post 動作 (△マーク) の方が明らかに R-on 以降に投擲方向に対して肩より後方から鉛直方向へ FreeArm を大きくかつ素早く移動させている.

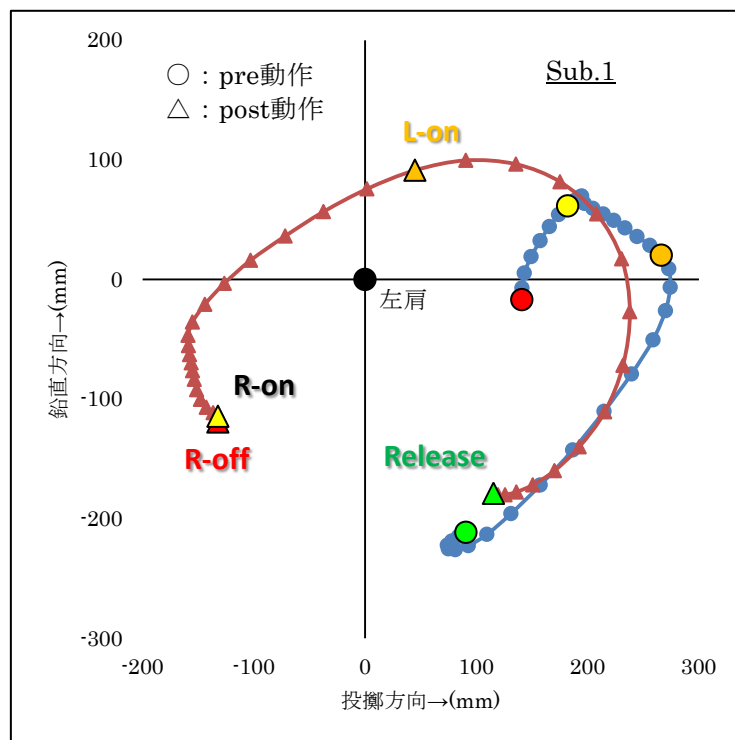


図 44 側方からみた FreeArm 重心移動軌跡

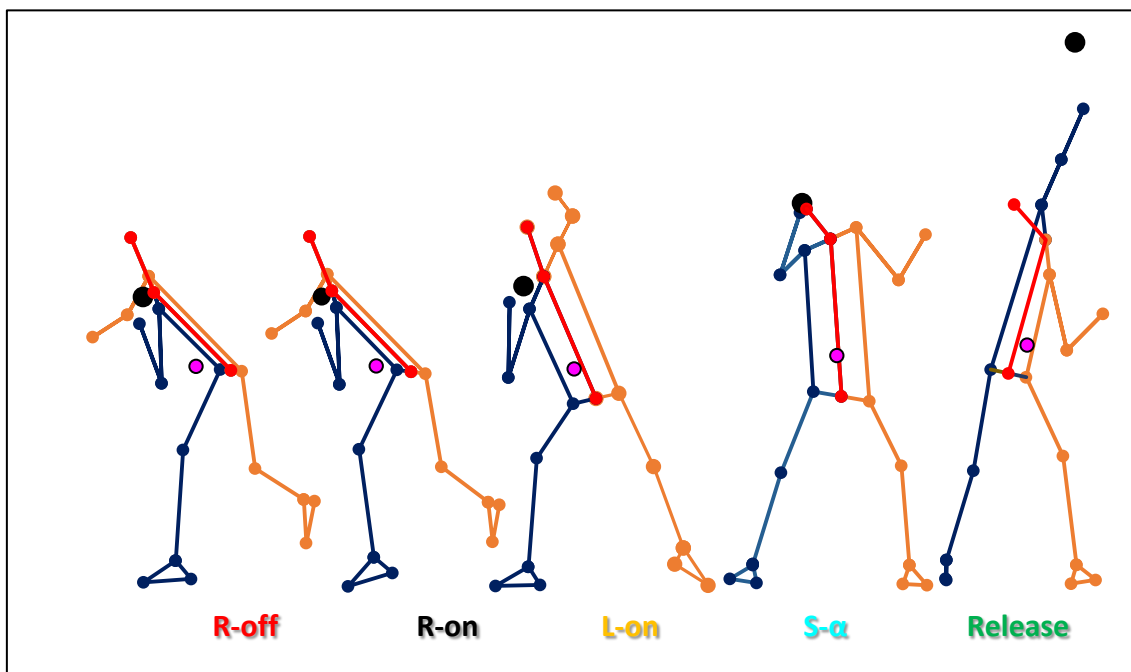
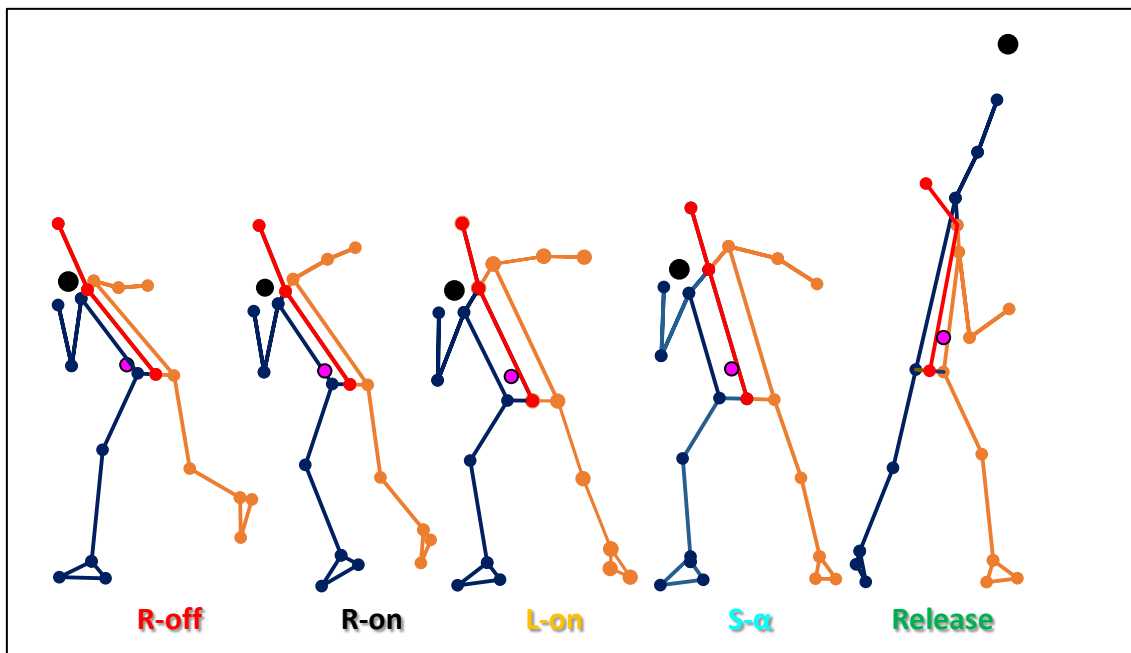


図 45 側方からみたティックピクチャー（上:pre 動作, 下:post 動作）

Sub.1 の上方からみた FreeArm 重心移動軌跡（図 46，左肩を中心にした軌跡）に着目すると，pre 動作（○マーク）は FreeArm 重心が常に肩より先行する位置にある特徴がみられたが，post 動作（△マーク）は L-on 直前まで FreeArm 部分重心が投擲方向に対して肩より後方にある．全ての対象者にも同様の傾向がみられ，初期の特徴が改善されたと考えられる．

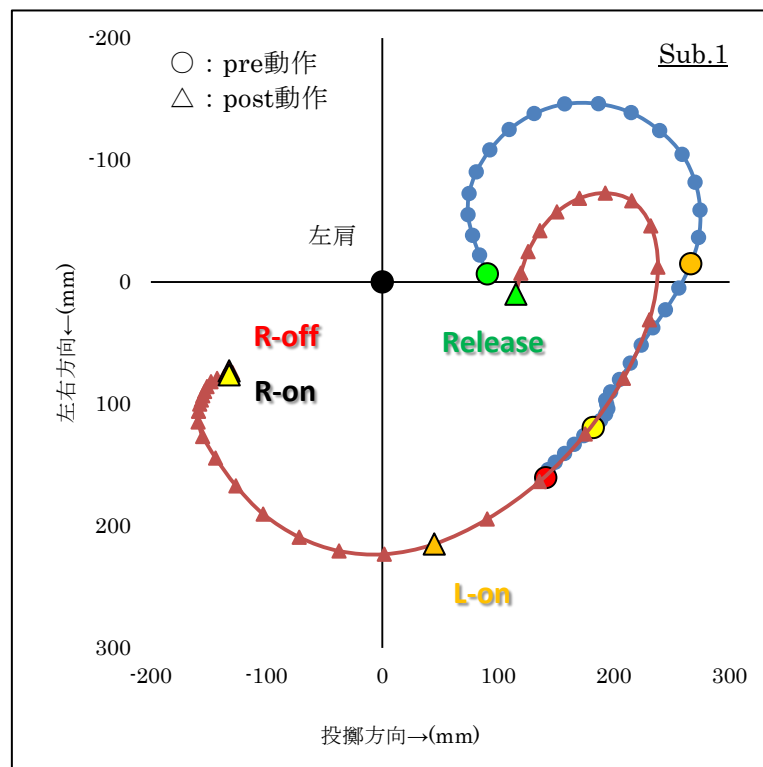


図 46 上方からみた FreeArm 重心移動軌跡

FreeArm 重心移動速度の変化や移動軌跡の変化より，本測定で行った指導は FreeArm が常に肩より先行する動きや，L-on 以降に素早く FreeArm を引き上げない動き，といった未熟練者の動作特徴を改善する指導であったといえよう．

FreeArm にのみ着目した指導にもかかわらず、20 名中 9 名の投擲距離が増大した。しかし、投擲に関する項目においていずれも有意な変化は認められず、本測定で行った指導だけでは全ての対象者に対して直接砲丸投の投擲距離に好影響を与える結果とはならなかった。

しかしながら、肩および腰回転角度に有意な変化が認められ、体幹の動きに大きな変化が生じた（図 47）。

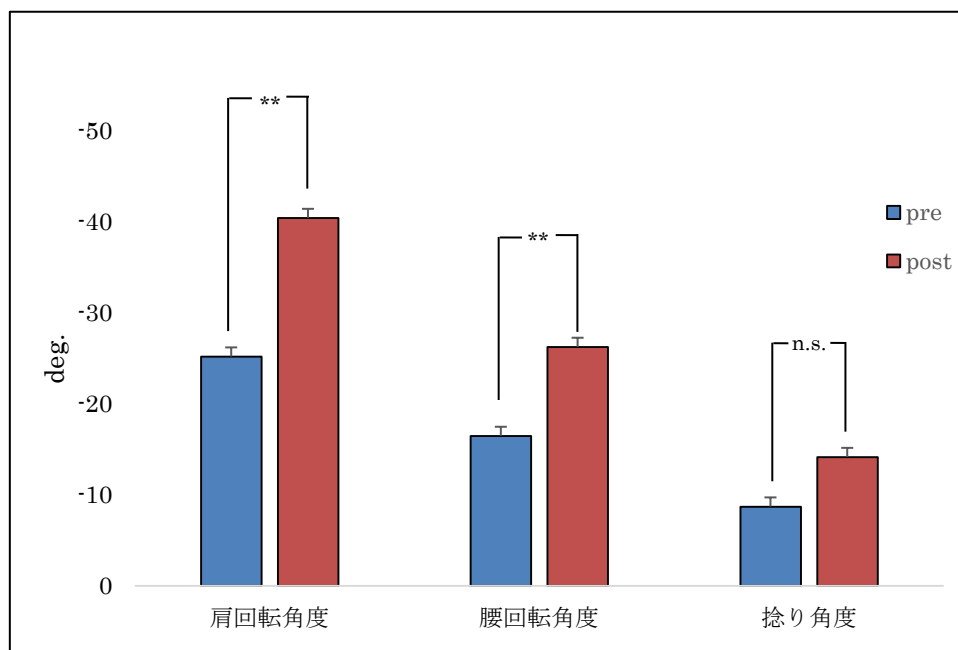


図 47 pre 動作と post 動作における肩・腰回転角度および捻り角度の変化
(n=20, Mean±S. D. , *p<0. 05, **p<0. 01)

L-on 時における肩回転角度の変化が最も大きかった Sub.11 の肩回転する様子をスティックピクチャーで図 48（左肩を中心に上方からみた両肩を結んだ線分）に示した。pre 動作の肩回転角度は R-off の時点で肩が開きはじめ L-on 時に 18.6 deg.を示したが、post 動作では肩の開きを抑制することで L-on 時に -62.4 deg.を示し、投擲方向に対して大きな肩の捻りをつくることのできるようになった。

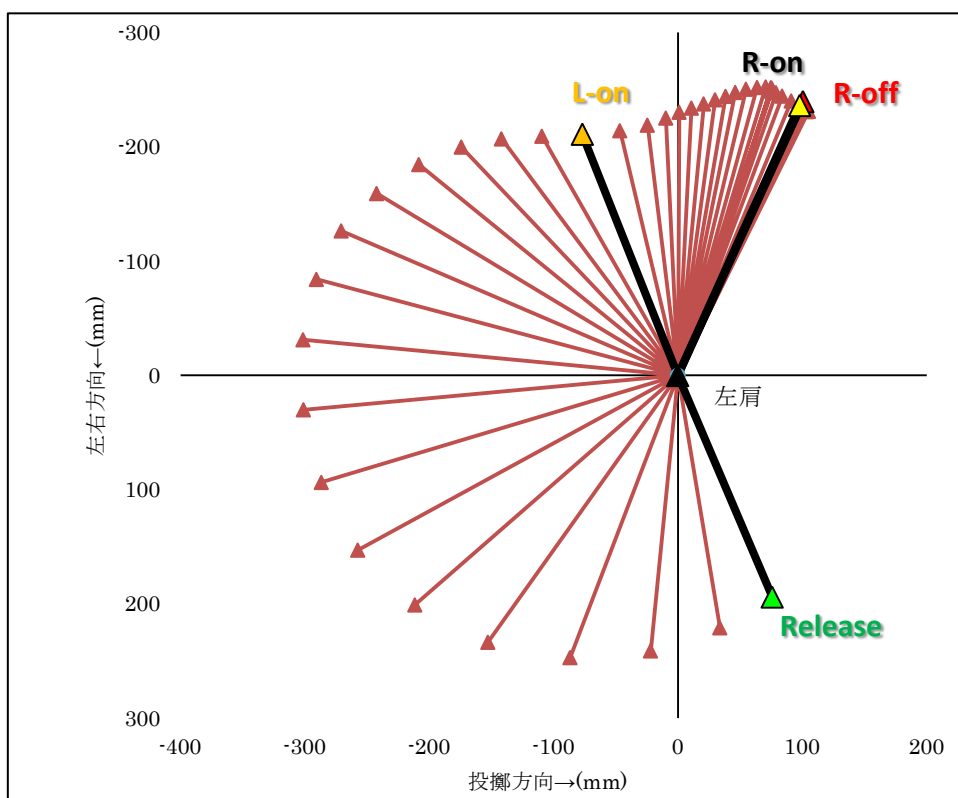
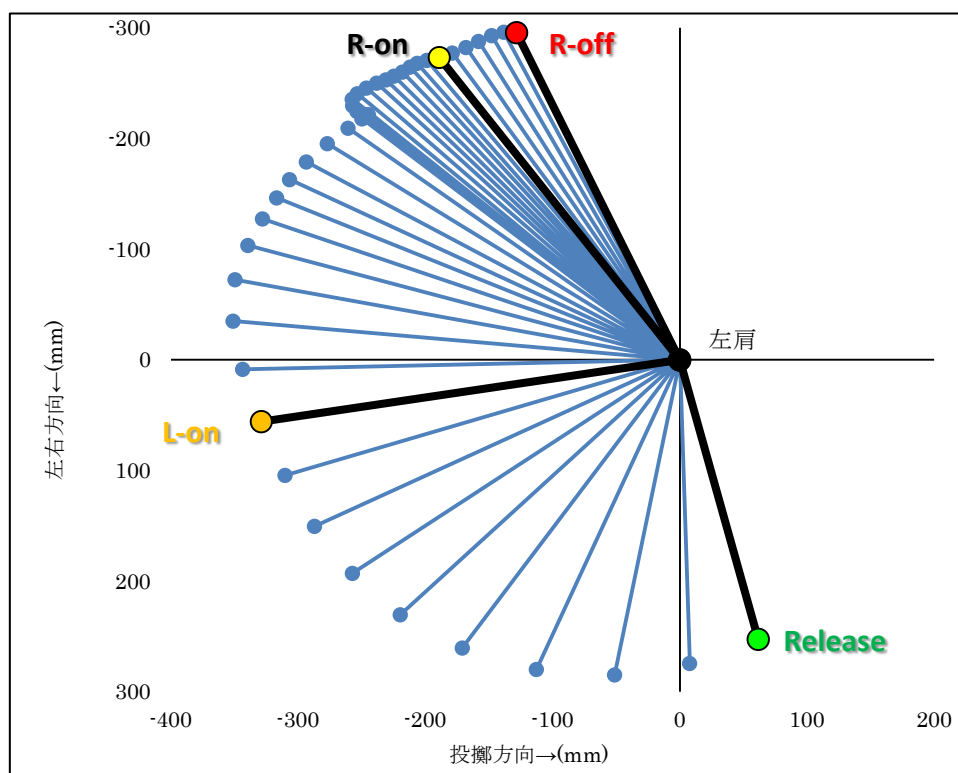


図 48 上方からみた肩のスティックピクチャー

(Sub. 11, 上:pre 動作, 下:post 動作)

「(グライド後)着地するまで後ろを指差ししてください」という指導により、FreeArm 重心を投擲方向に対して肩より後方の位置に保つことができ、肩や腰の開きを抑制することが可能になったと考えられる。

また、「指差し」の指示により投擲方向に対する肩や腰の捻りが生じたことや、「投げる方向へ腕を振り上げてください」の指示により腕と連動し肩の回転が促されたことによって、肩回転角速度が増加した（図 49）のではないかと考えられる。

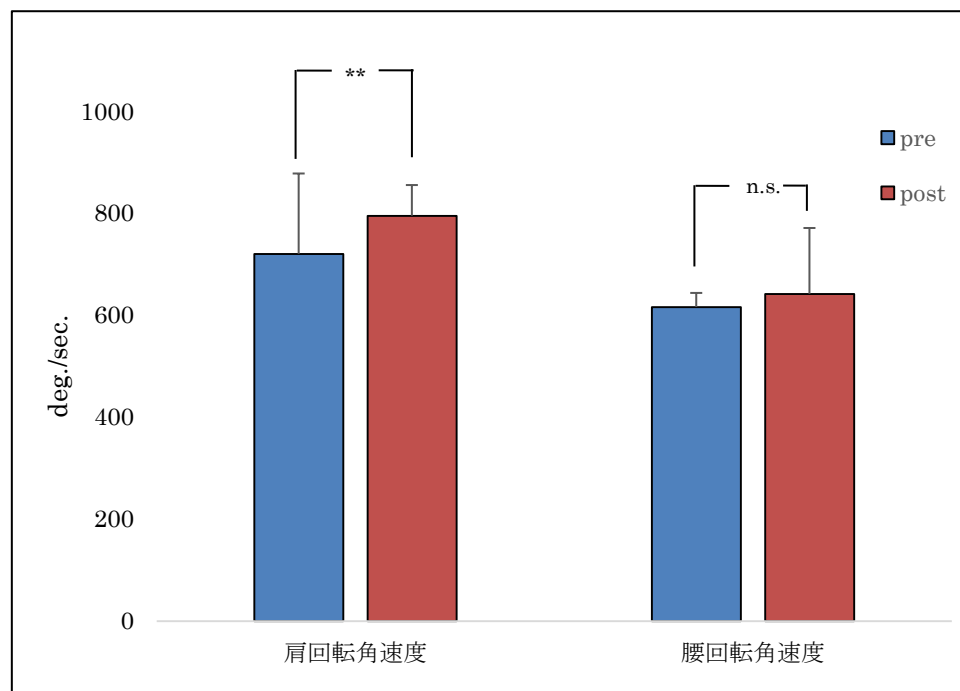


図 49 pre 動作と post 動作における肩・腰回転角速度の変化

(n=20, Mean±S. D. , *p<0. 05, **p<0. 01)

床反力の値に着目すると水平分力にのみ有意な増加が認められた (図 50).
そこで, pre 動作と post 動作における水平分力と投擲距離の相関関係をみてみたが, pre 動作で $r=0.05$, post 動作で $r=0.08$ と, ともに有意な相関関係は認められなかった (図 51). しかし, 垂直分力と投擲距離の相関関係については, pre 動作で $r=0.52$, post 動作で $r=0.69$ と, ともに有意 (順に $p<0.05$, $p<0.01$) な正の相関関係が認められた (図 52). さらに, 合力と投擲距離の相関関係では, pre 動作で $r=0.52$, post 動作で $r=0.69$ と, ともに有意 (順に $p<0.05$, $p<0.01$) な正の相関関係が認められた (図 53).

砲丸および上肢のもつ力学的エネルギーの 60~70 %が体幹および脚部で発揮された力学的エネルギーの流入であり (橋本ほか, 1991), 支持足の垂直分力の重要性は大きい (金子ほか, 1998). 本測定においても垂直分力が投擲距離に強く影響している傾向がみられた. 水平分力は直接的に投擲距離へ与える影響は小さいが, 合力は水平分力と垂直分力により算出される値であり, 水平分力の発揮される力は少ないながらもその重要性について無視することができない (武政ほか, 1969). よって, 本測定の post 動作において水平分力が増加したことは投擲に対して好影響を与えていたものと考えられる.

水平分力が増加した要因は「腕を振り上げてください」の指示により, FreeArm 重心移動水平速度も増加し, FreeArm の引きによって後方への蹴りが促されたためであると予想される.

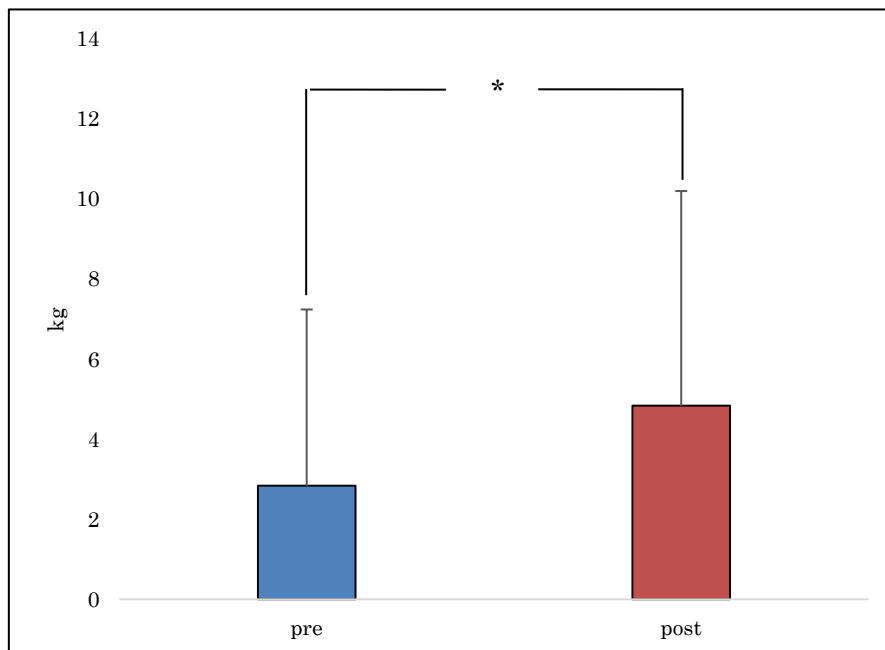


図 50 pre 動作と post 動作における水平分力の変化
(n=20, Mean±S. D. , *p<0. 05, **p<0. 01)

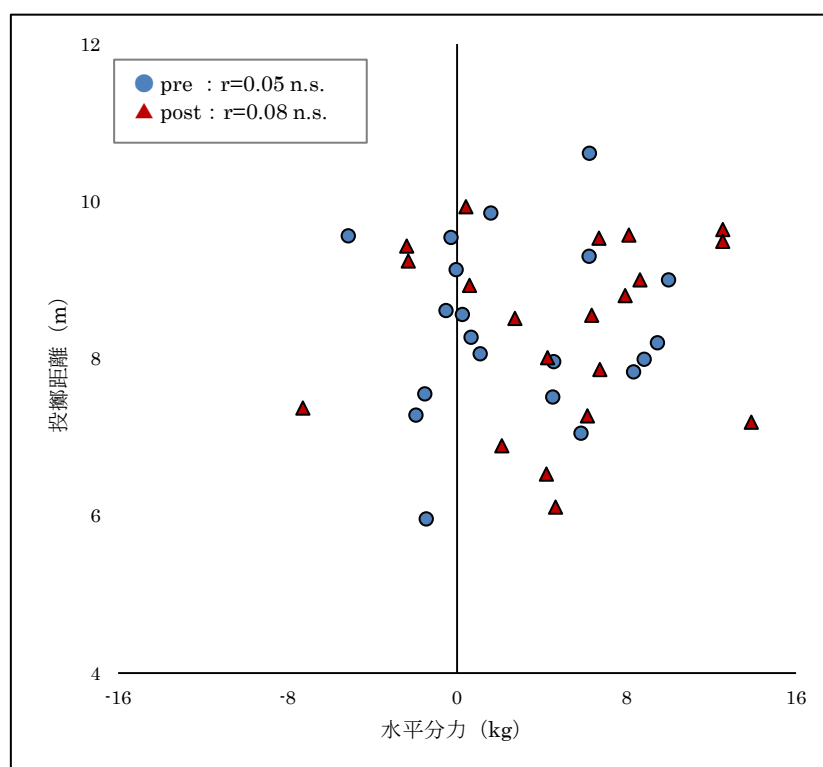


図 51 水平分力と投擲距離の関係 (n=20, *p<0. 05, **p<0. 01)

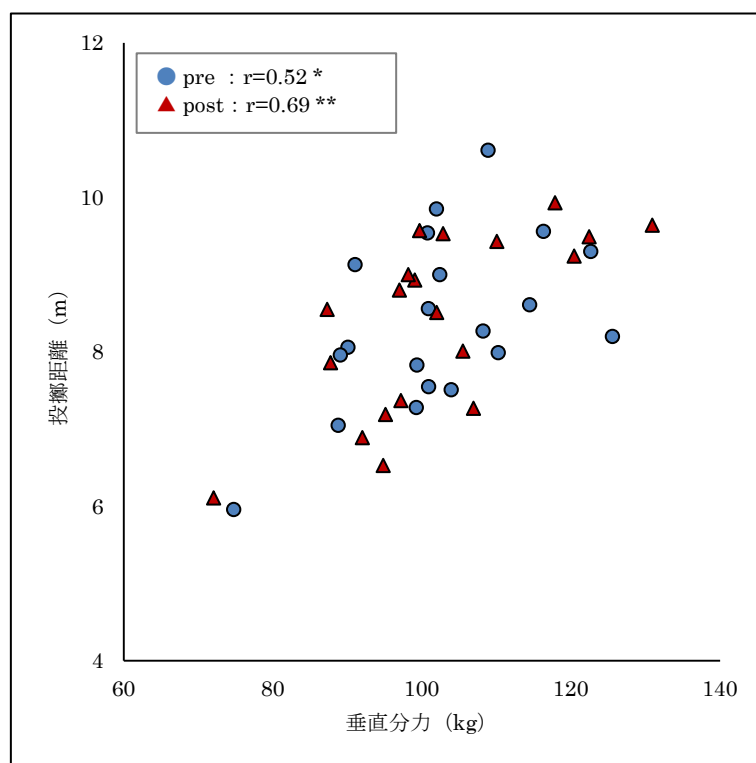


図 52 垂直分力と投擲距離の関係 (n=20, $*p<0.05$, $**p<0.01$)

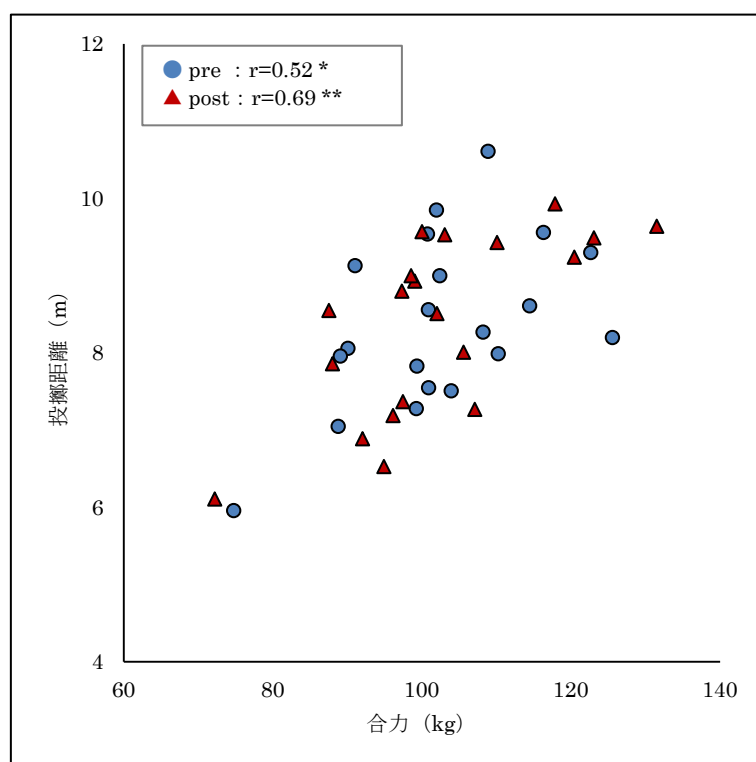


図 53 合力と投擲距離の関係 (n=20, $*p<0.05$, $**p<0.01$)

(2) 投擲距離が増大した群 (up 群) について

指導によりほとんどの対象者において体幹の動きの改善や後方への蹴り動作の改善が認められたが、投擲距離の有意な向上は認められなかった。そこで、投擲距離が増大した 9 名を up 群とし、up 群における pre 動作と post 動作を比較分析し、記録が伸びた要因を検討した。

up 群の投擲に関する分析項目の結果を表 18 に示した。突出し合成速度に着目すると、pre 動作は 7.16 ± 0.48 m/sec., post 動作は 7.42 ± 0.56 m/sec. となり 5 %水準で有意な増加が認められた。突出し合成速度の増加は投射合成速度の増加につながるため、投擲距離が増大したものと考えられる。

表 18 up 群の投擲に関する項目結果

up群 (n=9)		pre			post		
項目		Mean	±	S.D.	Mean	±	S.D.
投擲距離	(m)	8.04	±	1.11	8.59	±	1.26 **
投射水平速度	(m/sec.)	6.48	±	0.67	6.80	±	0.83 *
投射鉛直速度	(m/sec.)	4.76	±	0.76	4.89	±	0.83 n.s.
投射合成速度	(m/sec.)	8.07	±	0.72	8.41	±	0.81 **
投射角度	(deg.)	36.23	±	5.04	35.77	±	5.75 n.s.
突出し水平速度	(m/sec.)	5.85	±	0.31	6.14	±	0.62 n.s.
突出し鉛直速度	(m/sec.)	4.24	±	0.67	4.45	±	0.58 *
突出し合成速度	(m/sec.)	7.16	±	0.48	7.42	±	0.56 *

*:p<0.05 **:p<0.01

up 群の体幹に関する分析項目の結果を表 19 に示した．肩回転角度に着目すると，pre 動作は -25.6 ± 26.0 deg.，post 動作は -39.3 ± 12.9 deg. となり，有意な差は認められなかった．しかし，9 名中 6 名は L-on 時における肩の開きが改善された．残りの 3 名は pre 動作の段階でそれぞれ， -48.1 deg.， -71.6 deg.， -78.5 deg. と肩の開きを抑えることができていたため，さらなる改善が難しかったと考えられる．腰回転角度や捻り角度に関しても同様であった．

肩回転角速度は post 動作で 731.3 ± 134.3 deg./sec.，post 動作で 857.3 ± 174.7 deg./sec. となり 1 %水準で有意な増加が認められた．肩回転角速度が増加すれば，突出し水平速度も増加するはずであるが，本測定では突出し水平速度に有意な変化は認められなかった．これは，FreeArm の引き上げによって肩がやや斜めに回転して突出し鉛直速度が増加したためであると考えられる．しかし，結果的に肩回転はスムーズに行われ突出しへ力が伝達されたことで，突出し合成速度が増加したと推察される．

表 19 up 群の体幹に関する項目結果

up 群 (n=9)		pre			post		
項目		Mean	±	S.D.	Mean	±	S.D.
肩回転角度	(deg.)	-25.6	±	26.0	-39.3	±	12.9
肩回転角速度	(deg./sec.)	731.3	±	134.3	857.3	±	174.7
腰回転角度	(deg.)	-18.0	±	22.4	-27.5	±	12.5
腰回転角速度	(deg./sec.)	624.6	±	91.8	623.5	±	129.1
捻り角度	(deg.)	-7.6	±	12.5	-11.7	±	9.7

*p<0.05 **p<0.01

up 群の重心に関する分析項目の結果を表 20 に示した。身体重心移動速度に着目すると、up 群の身体重心移動水平速度は pre 動作 1.65 ± 0.21 m/sec., post 動作 1.86 ± 0.33 m/sec. となり、1 %水準で有意な増加が認められた。小山・青山（1999）は全身の移動速度を素早くすることで投射速度を高めることができる可能性を示唆しており、身体重心移動水平速度および合成速度が増加することは望ましい変化と考えられる。

表 20 up 群の重心に関する項目結果

up群 (n=9)		pre			post		
項目		Mean	±	S.D.	Mean	±	S.D.
身体重心移動水平速度	(m/sec.)	1.65	±	0.21	1.86	±	0.33 **
身体重心移動鉛直速度	(m/sec.)	0.66	±	0.14	0.71	±	0.21 n.s.
身体重心移動合成速度	(m/sec.)	1.70	±	0.18	1.90	±	0.30 **
FreeArm重心移動水平速度	(m/sec.)	2.72	±	0.98	4.78	±	1.03 **
FreeArm重心移動鉛直速度	(m/sec.)	0.95	±	0.76	1.97	±	0.88 **
FreeArm重心移動合成速度	(m/sec.)	2.78	±	0.99	5.05	±	1.06 **

*:p<0.05 **:p<0.01

up 群の床反力に関する分析項目の結果を表 21 に示した。水平分力に着目すると、pre 動作 3.2 ± 4.9 kg, post 動作 6.1 ± 6.0 kg となり、5 %水準で有意な増加が認められた。up 群は FreeArm 重心移動水平速度の増加にともない、投擲方向に対して後方への強い蹴りが促されたのではないかと考えられる。

表 21 up 群の床反力に関する項目結果

up群 (n=9)		pre			post		
項目		Mean	±	S.D.	Mean	±	S.D.
水平分力	(kg)	3.2	±	4.9	6.1	±	6.0 *
垂直分力	(kg)	105.6	±	16.1	106.7	±	18.1 ns
合力	(kg)	105.7	±	16.2	107.0	±	18.2 ns

*:p<0.05 **:p<0.01

up 群の代表例として Sub.2 の pre 動作および post 動作における，垂直分力（○マーク）および水平分力（- マーク），FreeArm 重心移動合成速度（△マーク），肩回転角速度（□マーク），突出し合成速度（◇マーク），投射合成速度（×マーク）の時系列的変化を図 54, 55 に示した．なお，縦 4 本線は順に R-on 時，L-on 時，S- α 時（肩回転角加速度最大値の地点），Release 時をそれぞれ示している．

pre 動作に着目すると，鉛直方向への蹴りは確認できるが，FreeArm 重心移動合成速度の変化はほとんどなく，水平方向への蹴り，肩回転速度の急激な上昇もみられない．対して，post 動作は垂直分力が 70 kg 付近から再上昇しはじめる頃に FreeArm 重心移動合成速度が上昇しはじめ最大値（6.01 m/sec.）になる．また，FreeArm 重心移動合成速度と共に水平分力も上昇し最大値（23.1 kg）になる．その後，肩回転角速度が急激に上昇し最大（829.7 deg./sec.）になると，突出し合成速度，投射合成速度の順に速度が上昇し，最終的に投射が行われる．

以上のことから，up 群において投擲距離が増大した要因はグライド後に FreeArm を投擲方向へ引き上げることによって，後方へ蹴る力や肩回転速度が増加し，最終的に投射合成速度を増大し投射することができるようになったためであると推察される．

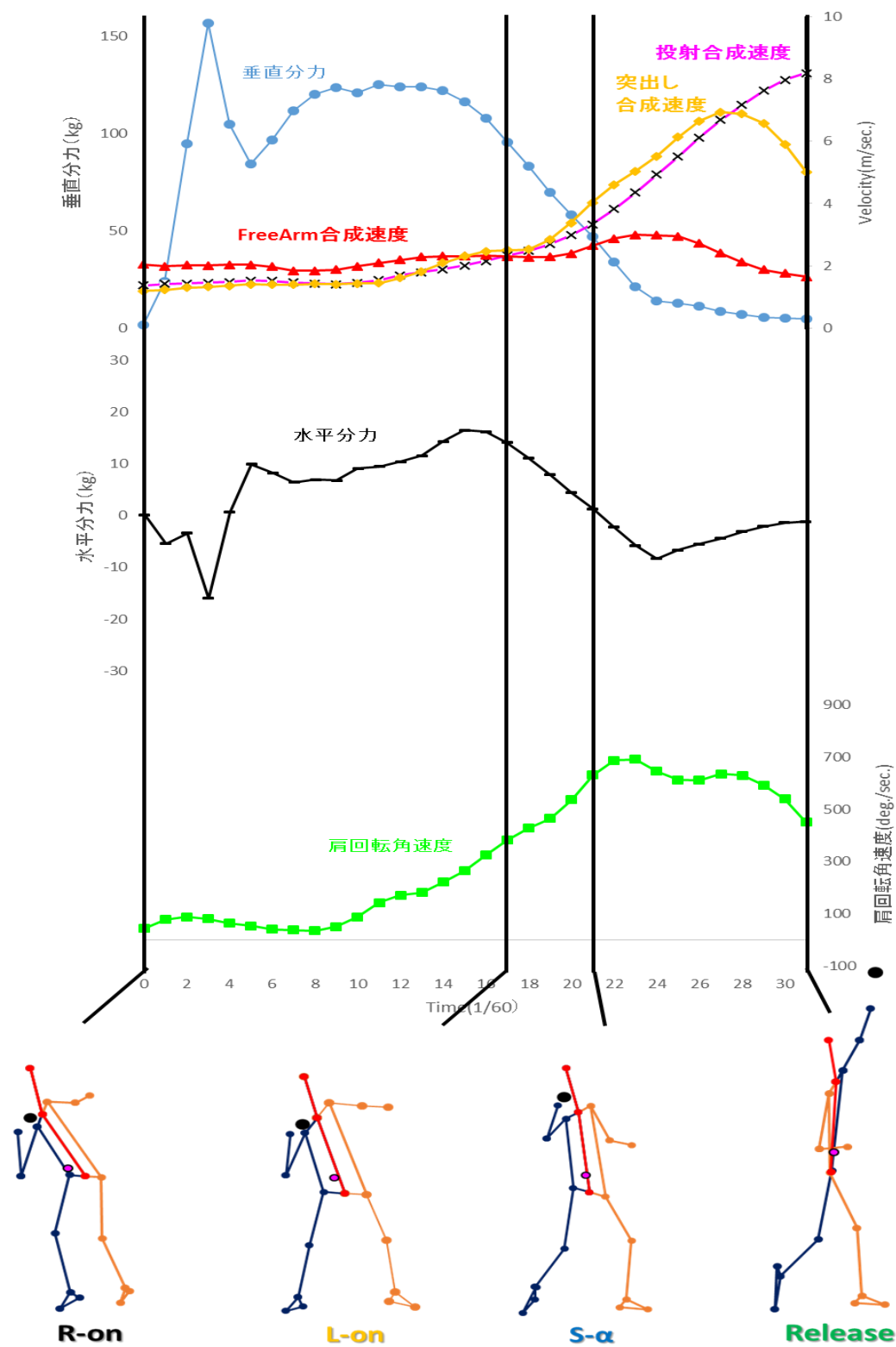


図 54 各項目の時系列的変化 (Sub. 2, pre 動作)

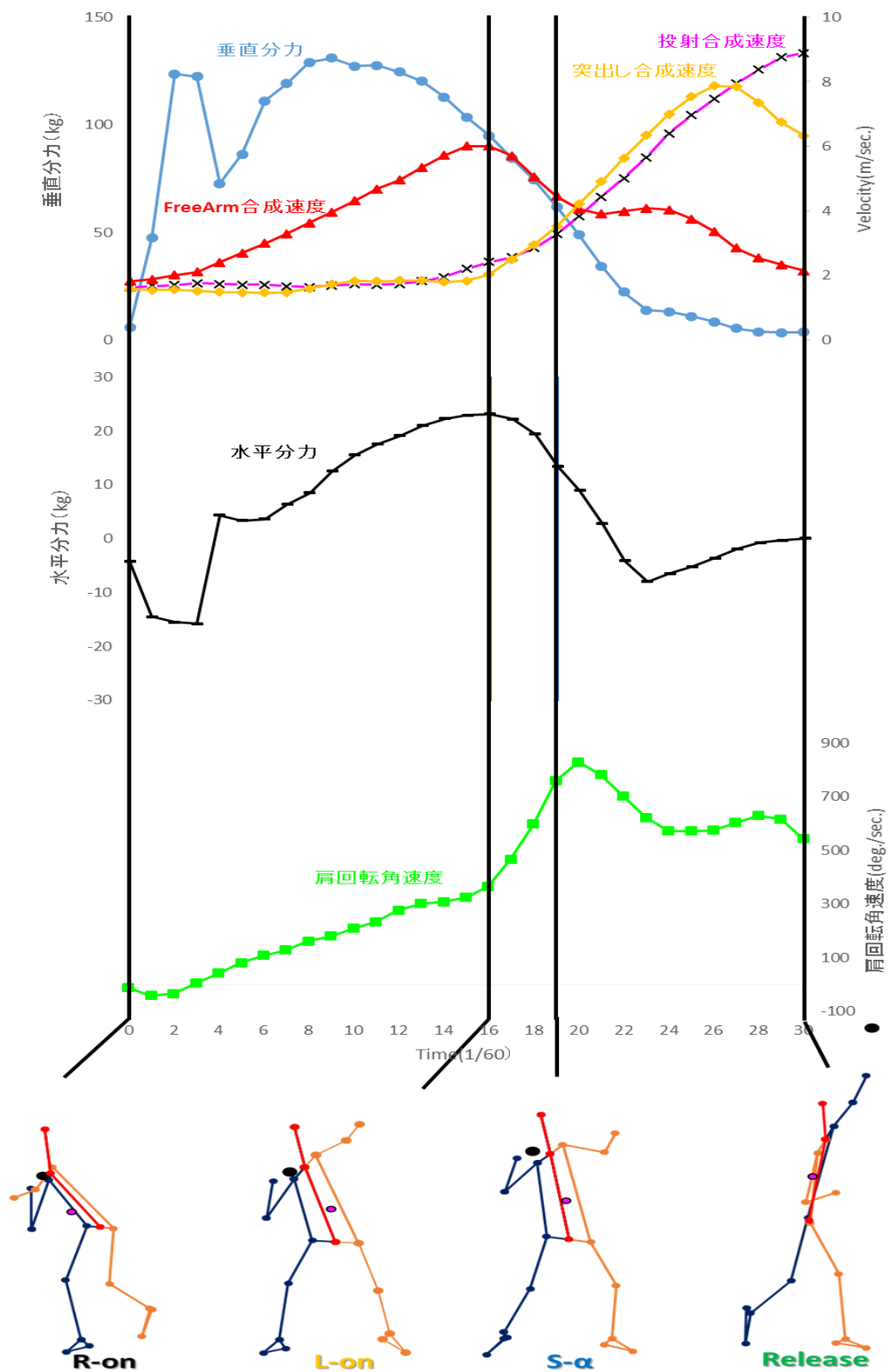


図 55 各項目の時系列的変化 (Sub. 2, post 動作)

(2) 投擲距離が増大しなかった群 (no-up 群) について

投擲距離が増大しなかった 11 名を no-up 群とし, no-up 群の pre 動作と post 動作を比較分析し, 記録が伸びなかった要因について検討した.

no-up 群の投擲に関する分析項目の結果を表 22 に示した. 投射合成速度は, pre 動作で 8.33 ± 0.52 m/sec., post 動作で 8.07 ± 0.63 m/sec. となり有意な低下 ($p < 0.01$) を示したが, 突出し合成速度は, pre 動作で 7.49 ± 0.45 m/sec., post 動作で 7.37 ± 0.65 m/sec. となり有意な変化は認められなかった, 投射合成速度が低下すれば, 突出し合成速度も低下するはずである. しかし, no-up 群の中には突出し合成速度が増加しているにも関わらず, 投射合成速度が増加しなかった対象者もあり, no-up 群の中で投擲距離が増大しなかった要因は多様に存在していると考えられる.

表 22 no-up 群の投擲に関する項目結果

no-up 群 (n=11)		pre			post		
項目		Mean	±	S.D.	Mean	±	S.D.
投擲距離	(m)	8.67	±	1.05	8.23	±	1.10 **
投射水平速度	(m/sec.)	6.70	±	0.49	6.37	±	0.68 *
投射鉛直速度	(m/sec.)	4.93	±	0.49	4.92	±	0.62 n.s.
投射合成速度	(m/sec.)	8.33	±	0.52	8.07	±	0.63 **
投射角度	(deg.)	36.22	±	3.17	37.72	±	4.71 n.s.
突出し水平速度	(m/sec.)	6.17	±	0.53	6.19	±	0.68 n.s.
突出し鉛直速度	(m/sec.)	4.36	±	0.31	4.37	±	0.50 n.s.
突出し合成速度	(m/sec.)	7.49	±	0.45	7.37	±	0.65 n.s.

*:p<0.05 **:p<0.01

no-up 群の体幹に関する分析項目の結果を表 23 に示した。肩回転角度は pre 動作で -24.9 ± 15.5 deg., post 動作で -41.5 ± 14.5 deg. となり, 1 %水準で有意な低下が認められた。腰回転角度は pre 動作で -15.2 ± 13.8 deg., post 動作で -25.3 ± 12.3 deg. となり, 5 %水準で有意な低下が認められた。肩回転角度, 腰回転角度に良好と思われる変化があり, no-up 群では L-on 時点における体の投擲方向に対する開きは抑制できるような動作の改善がなされたといえよう。

しかし, 肩回転角速度は pre 動作で 711.7 ± 90.4 deg./sec., post 動作で 744.4 ± 99.8 deg./sec. となり有意な変化は認められなかった。L-on 時における肩の開きは抑制できたものの, その後, FreeArm の引きと連動した素早い肩の回転が行われなかったと考えられる。

表 23 no-up 群の体幹に関する項目結果

no-up群 (n=11)		pre			post		
項目		Mean	±	S.D.	Mean	±	S.D.
肩回転角度	(deg.)	-24.9	±	15.5	-41.5	±	14.5
肩回転角速度	(deg./sec.)	711.7	±	90.4	744.4	±	99.8
腰回転角度	(deg.)	-15.2	±	13.8	-25.3	±	12.3
腰回転角速度	(deg./sec.)	608.9	±	90.9	657.0	±	136.4
捻り角度	(deg.)	-9.7	±	9.7	-16.2	±	14.6

*:p<0.05 **:p<0.01

no-up 群の重心に関する分析項目の結果を表 24 に示した。身体重心移動速度に着目すると、身体重心移動水平速度は pre 動作 1.76 m/sec., post 動作 1.68 m/sec.となり、5 %水準で有意な低下が認められた。身体重心移動合成速度に関しても有意($p<0.05$)な低下が認められた。そこで、FreeArm 重心移動速度をみると、post 動作において平均値で水平速度は pre 動作の 1.4 倍、鉛直速度は 2.1 倍になっており、鉛直速度の増加率の方が大きい傾向にあった（なお up 群は水平速度 1.8 倍、鉛直速度 2.1 倍）。したがって、身体重心移動水平速度の低下は FreeArm を水平方向よりも鉛直方向へ振り上げてしまったことにより生じたのではないかと考えられる。

表 24 no-up 群の重心に関する項目結果

no-up群 (n=11)		pre			post			
項目		Mean	±	S.D.	Mean	±	S.D.	
重心移動水平速度	(m/sec.)	1.76	±	0.24	1.68	±	0.26	*
重心移動鉛直速度	(m/sec.)	0.75	±	0.32	0.75	±	0.29	ns
重心移動合成速度	(m/sec.)	1.80	±	0.23	1.74	±	0.21	*
FreeArm重心移動水平速度	(m/sec.)	3.30	±	1.01	4.68	±	0.79	**
FreeArm重心移動鉛直速度	(m/sec.)	0.72	±	0.51	1.51	±	0.45	**
FreeArm重心移動合成速度	(m/sec.)	3.48	±	0.99	4.81	±	0.81	**

*: $p<0.05$ **: $p<0.01$

no-up 群の床反力に関する分析項目の結果を表 25 に示した。いずれの値に関しても有意な変化は認められなかった。

表 25 no-up 群の床反力に関する項目結果

no-up群 (n=11)		pre			post			
項目		Mean	±	S.D.	Mean	±	S.D.	
水平分力	(kg)	2.5	±	4.1	3.8	±	4.9	n.s.
垂直分力	(kg)	99.7	±	7.7	98.1	±	7.3	n.s.
合力	(kg)	99.9	±	7.7	98.3	±	7.3	n.s.

*: $p<0.05$ **: $p<0.01$

Sub.12 と Sub.14 は投擲距離が増大しなかったが、投射合成速度は増加していた。Sub.12 と Sub.14 の pre 動作および post 動作におけるそれぞれの投擲距離、投射水平速度、投射鉛直速度、投射合成速度、投射角度の結果を表 26 に示した。

表 26 Sub.12 および Sub.14 の結果

		投擲距離 (m)	投射速度			投射角度 (deg.)
			水平速度 (m/sec.)	鉛直速度 (m/sec.)	合成速度 (m/sec.)	
Sub.12	pre	9.13	6.74	4.93	8.35	36.16
	post	9.00	6.71	5.09	8.42	37.17
Sub.14	pre	9.54	6.96	5.28	8.74	37.16
	post	9.53	7.40	5.00	8.93	34.03

Sub.12 は投射合成速度が 0.07 m/sec.増加しているが、その成分は投射水平速度が 0.03 m/sec.低下し、投射鉛直速度は 0.16 m/sec.増加している。そのため、主に投射鉛直速度の増加によって投射角度が大きくなり、投擲距離が低下（0.13 m）したものと考えられる。

Sub.14 は投射合成速度が 0.19 m/sec.増加しているが、その成分は投射水平速度が 0.44 m/sec.増加し、投射鉛直速度は 0.28 m/sec.低下している。そのため、投射角度が 3.13deg.小さくなり、投擲距離が低下（0.01 m）したものと考えられる。

ただし、Sub.14 は投射水平速度が大きく増加しているので、本研究で行った指導の効果は生じているものと思われ、投射角度に注意して投擲を行うことを指摘すれば記録の向上が期待できるのではないかと考えられる。

一方、Sub.12 は投射水平速度、投射鉛直速度ともに大きな変化はなく、指導の効果が表れているとは考え難い。

そこで、Sub.12 の pre 動作および post 動作における、垂直分力（○マーク）および水平分力（- マーク）、FreeArm 重心移動合成速度（△マーク）、肩回転角速度（□マーク）、突出し合成速度（◇マーク）、投射合成速度（×マーク）の時系列的変化を図 56, 57 に示した。なお、縦 4 本線は順に R-on 時、L-on 時、S- α 時（肩回転角加速度最大値の地点）、Release 時をそれぞれ示している。

pre 動作における L-on から S- α 間（破線で囲まれた部分）の肩回転角速度の変化に着目すると、L-on 時に 302.4 deg./sec.を示した後、266.4 deg./sec.まで角速度が減少しそこから再び上昇して、S- α 時は 578.8 deg./sec.となる。post 動作も同様に L-on 後に肩回転角速度がやや減少し、再び上昇する様子がみられた。L-on 時までの肩回転角速度の上昇は支持足の着地後に肩が投擲方向へ徐々に開く動きを示し、その後、やや減少する様子は肩の開きを抑制する動きを示していると考えられる。このように、肩の回転動作を加速度的に行うことができない特徴を Sub.12 は有しており、スムーズな肩の回転動作からの投射ができないものと考えられた。

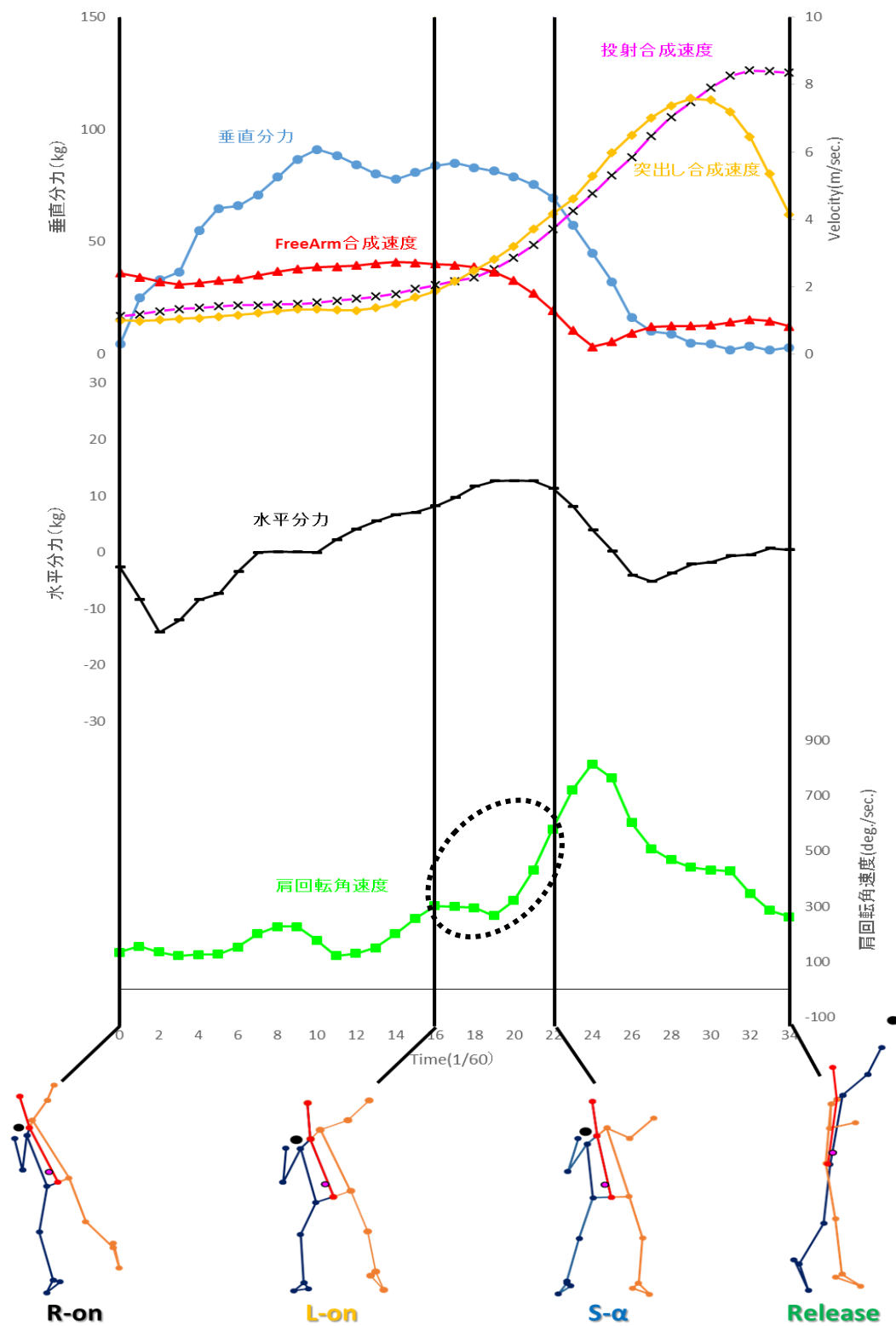


図 56 各項目の時系列的変化 (Sub. 12, pre 動作)

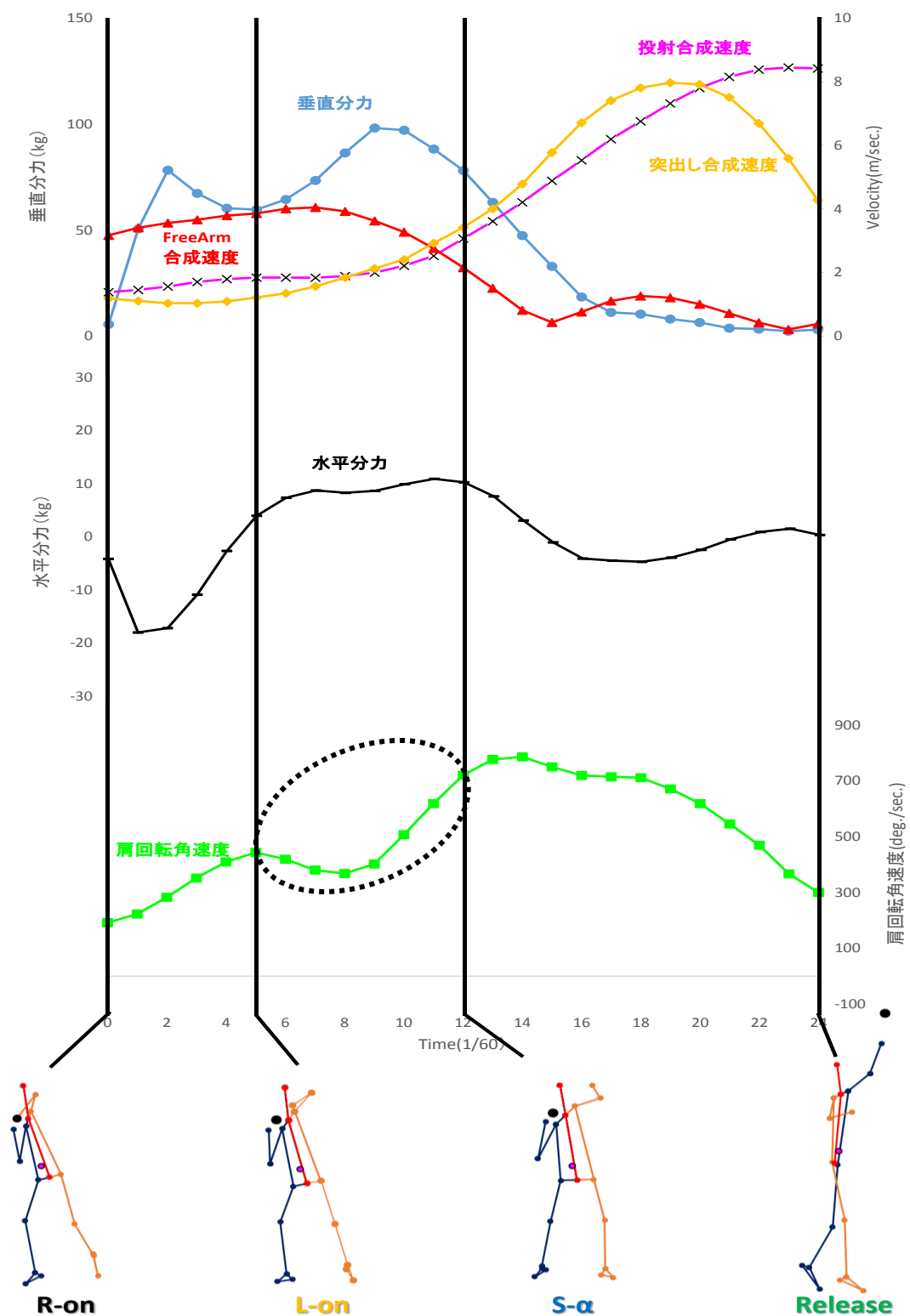


図 57 各項目の時系列的変化 (Sub. 12, post 動作)

次に、Sub.13 の pre 動作および post 動作における、垂直分力（○マーク）および水平分力（- マーク）、FreeArm 重心移動合成速度（△マーク）、肩回転角速度（□マーク）、突出し合成速度（◇マーク）、投射合成速度（×マーク）の時系列的変化を図 58, 59 に示した。なお、縦 4 本線は順に R-on 時、L-on 時、S- α 時（肩回転角加速度最大値の地点）、Release 時をそれぞれ示している。

pre 動作における L-on から S- α 間（破線で囲まれた部分）の肩回転角速度の変化に着目すると、L-on 時は 306.7 deg./sec., S- α 時は 411.0 deg./sec. となり、この間、肩回転角速度は漸増している。この様子は熟練者や up 群の対象者にもみられており、好ましい動作の様子であると考えられる。しかし、post 動作の肩回転角速度の変化に着目すると、L-on 時に 523.1 deg./sec. を示した後、464.8 deg./sec. まで角速度が減少してから再び上昇し、S- α 時は 610.8 deg./sec. となる。L-on 後に肩回転角速度が減少する特徴は Sub.12 の有する動作特徴と類似している。このように、pre 動作では肩回転角速度が L-on 以降に漸増するにも関わらず、post 動作では L-on 後に肩回転角速度が停滞または減少してしまい、スムーズに肩回転角速度が上昇していない様子を示す対象者が no-up 群の中で 5 名いた。

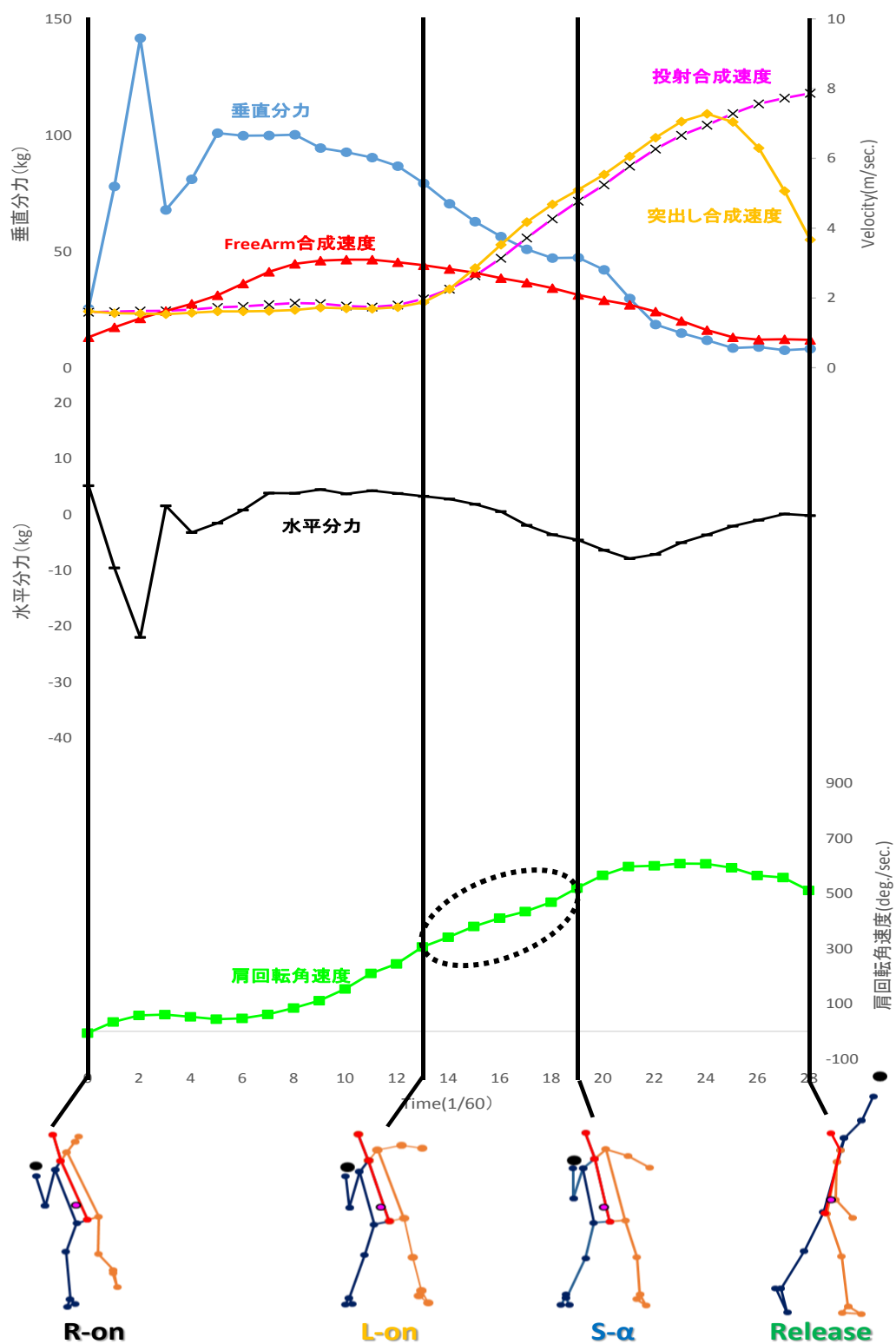


図 58 各項目の時系列的変化 (Sub. 13, pre 動作)

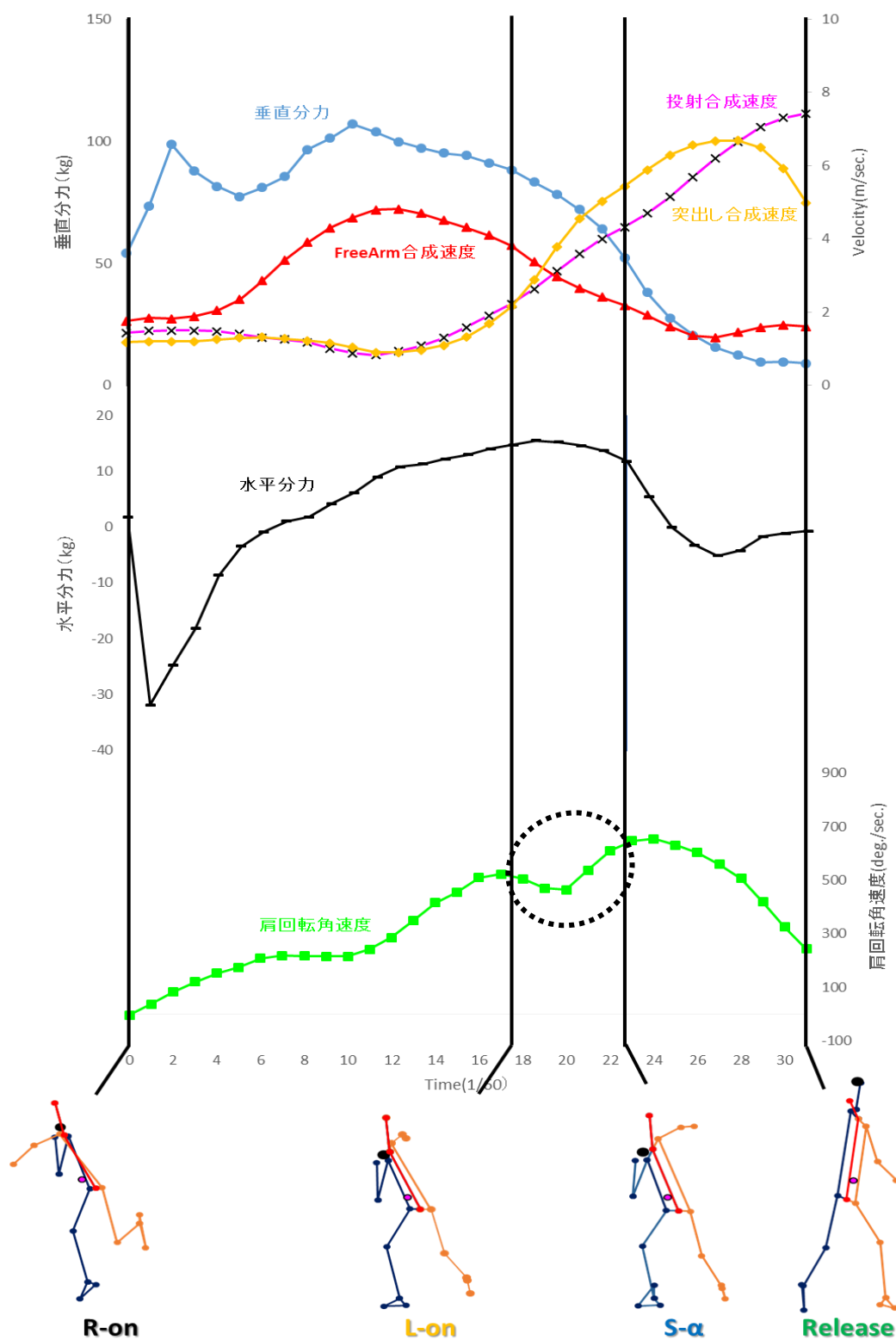


図 59 各項目の時系列的変化 (Sub. 13, post 動作)

L-on 後に肩回転角速度が停滞または減少してしまう動作になる要因の一つに FreeArm 重心移動速度の変化が影響していると考えられる。Sub.12 の post 動作における FreeArm 重心移動速度は R-on 時 3.17 m/sec., 最大値 4.05 m/sec. で、その差はわずか 0.88 m/sec.である。Sub.12 のように R-on 時の FreeArm 重心移動速度と最大値の差が小さい場合、支持足着地後ほぼ一定の速度で FreeArm が動いているので、FreeArm の動きと連動させて素早く肩を回転させる動作につながり難いものと考えられる。

Sub.13 は post 動作において FreeArm 重心移動速度は R-on 時で 1.76 m/sec., 最大値で 4.82 m/sec.となり R-on 時から最大値までの変化量は比較的大きい。しかし、L-on よりかなり早い段階で FreeArm 重心移動速度の最大値が出現してしまっている。したがって、その後の FreeArm 重心移動速度は減速傾向にあり、これも FreeArm の引きと連動して肩を素早く回転させることにつながり難い動作であるといえよう。

本研究の指示は「着地するまで、真後ろを指差ししてください.」,「着地したら、投げる方向に腕を振り上げてください.」という 2 つの指示であった。そこで、「両足が着地してから」という指示を加えることで、Sub.12 や Sub.13 を含む 5 名の動きは改善され、スムーズで停滞のない素早い肩回転ができるのではないかと予想された。

Sub.8, Sub.9, Sub.10, Sub.18 はそれぞれ異なる動作特徴を示した。

Sub.8 の pre 動作および post 動作における肩回転する様子をスティックピックアップで図 60（左肩を中心に後方からみた両肩を結んだ線分）にそれぞれ示した。pre 動作では L-on 以降に右肩が滑らかな円を描くように移動しているのに対して post 動作では L-on 以降に右肩がやや下がりながら移動している。つまり、pre 動作では肩を水平回転させていたのに対して、post 動作では肩の水平回転が困難になり肩回転角速度が低下した（pre 動作：855.5 deg./sec., post 動作：835.4 deg./sec.）ものと推察される。これは FreeArm を鉛直方向へ挙げ過ぎてしまい右肩が下がったことが原因ではないかと予想される。

肩回転の様子が水平回転からやや斜め回転になり、投射鉛直速度が増加し（pre 動作 5.09 m/sec., post 動作 6.04 m/sec.）、投射水平速度は低下した（pre 動作 7.66 m/sec., post 動作 6.09 m/sec.）ものと考えられる。

Sub.8 のような場合は FreeArm を引き上げる方向をもう少し下げるように指導することで、肩の回転動作がスムーズに行われ、投擲距離の向上が期待できる。

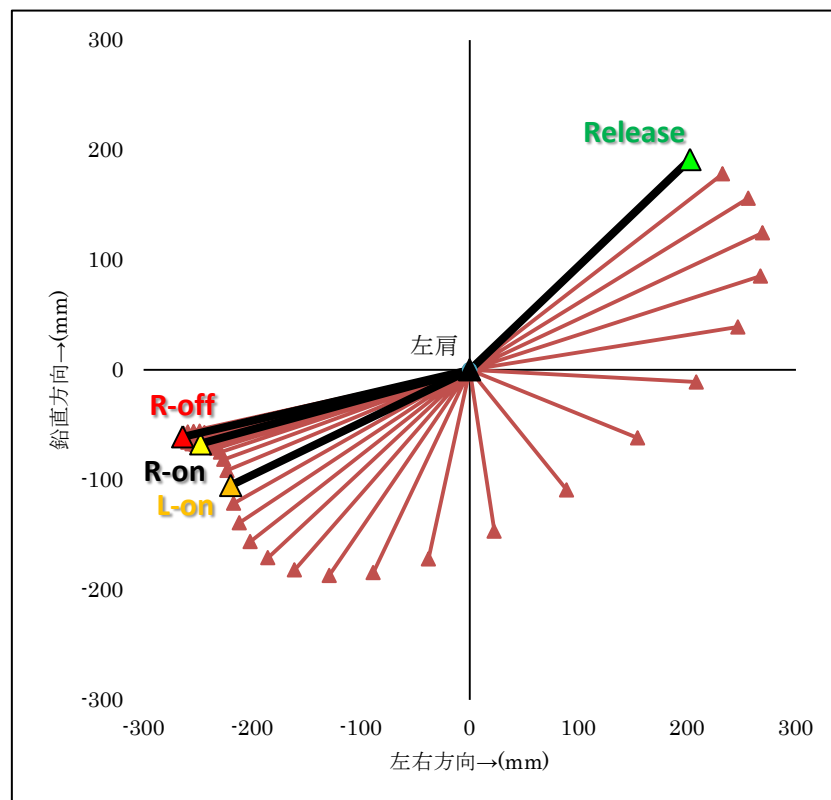
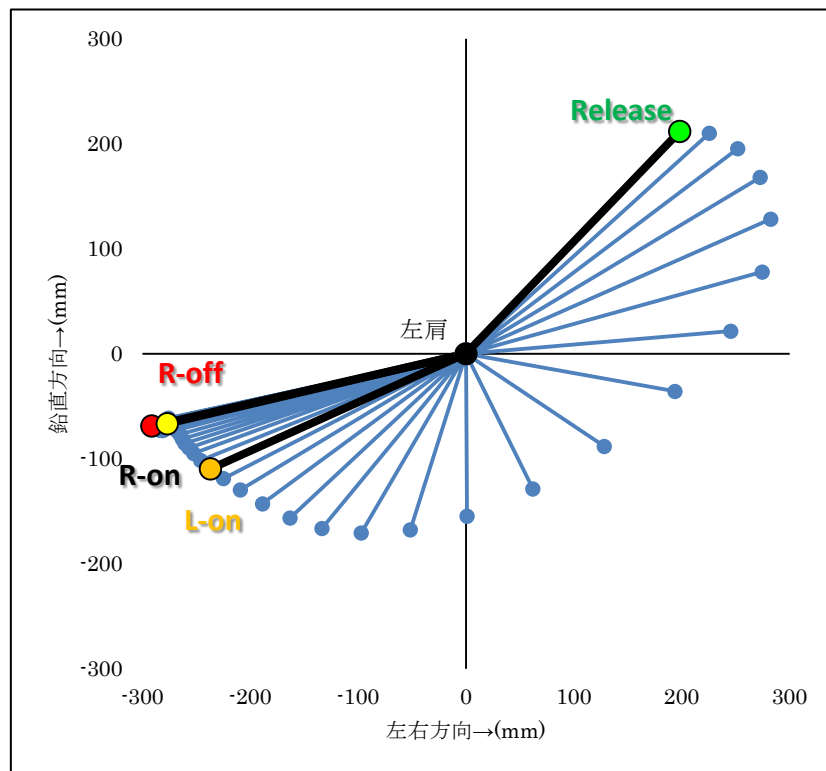


図 60 後方からみた肩のスティックピクチャー

(Sub. 8, 上:pre 動作, 下:post 動作)

Sub.9 は突出し水平速度が pre 動作 (5.38 m/sec.) に比べ post 動作 (6.51 m/sec.) において増加した。しかしながら、小山ほか (1994) や篠原ほか (1999) は砲丸に発揮された力を効率的に砲丸の速度方向へ発揮することの重要性を述べている。

そこで、Sub.9 の pre 動作および post 動作における首を中心に上方からみた砲丸の移動軌跡を図 61 (図中の $S \cdot \omega$ は肩回転角速度最大値の地点を表す) に示した。Release に至るまでの軌跡をみると pre 動作に比べ post 動作では大きく右方向へ逸れている。これでは、突出しで高めた速度を最終的に砲丸に伝達できないと考えられる。

また、post 動作では首を中心としたときに砲丸の回転半径が大きくなっている。これにより、肩や腕の筋群の負担が増え砲丸を加速するための力を十分に発揮できなかった (榎本 2013) ことも投擲距離が伸びなかった要因の一つであると考えられる。

以上のことを踏まえると、Sub.9 の場合は本研究の指導に付け加えて、小山・青山 (1999) が実践したように、砲丸を突出す方向を一定にし、その方向へ対して動きを流動的に行う注意を向けるように指導を行うことが有効であろう。

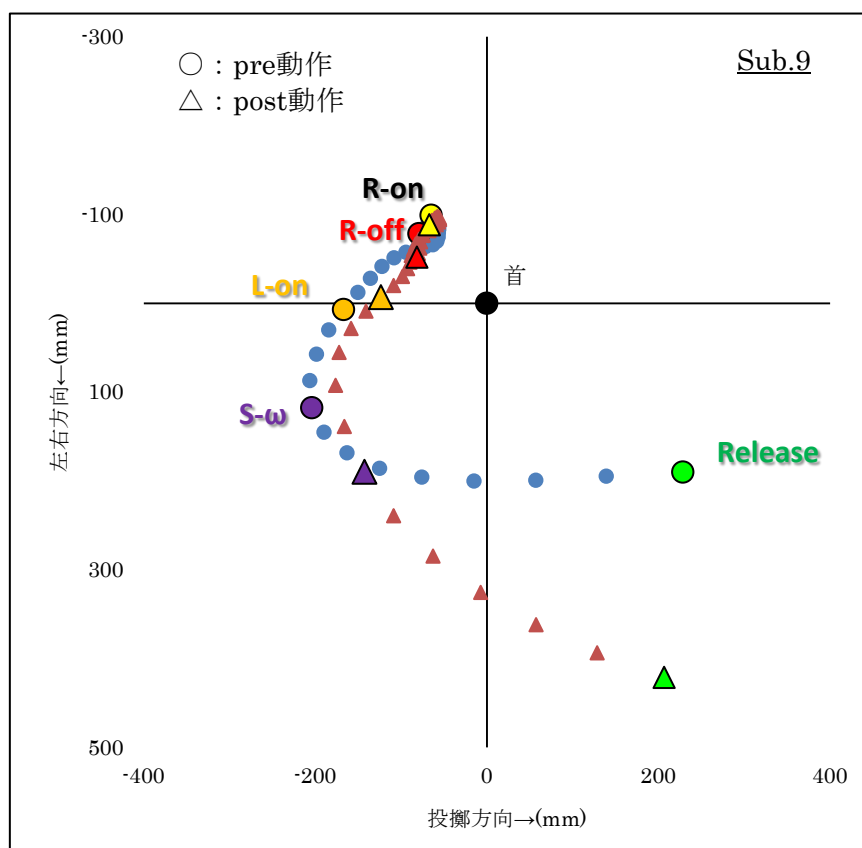


図 61 上方からみた砲丸の移動軌跡

Sub.10 の pre 動作と post 動作を比較すると、腰回転角速度および合力に顕著な変化がみられた。そこで、pre 動作および post 動作それぞれについて、合力（○マーク）、FreeArm 重心移動合成速度（△マーク）、腰回転角速度（□マーク）、支持足の膝関節角度（膝と足首を結んだ線分の成す角、伸展位 0deg.）（- マーク）、膝関節角速度（◇マーク）の時系列的変化を図 62 に示した。なお、縦 4 本線は順に R-on 時、L-on 時、肩回転角加速度最大値の地点（S- α ）、Release 時をそれぞれ示している。

床反力の合力に着目すると、pre 動作では L-on 以降に減少することなく肩回転角加速度最大値まで一定の力が維持されていた。それに対して、post 動作では L-on より前の地点からすでに合力は減少傾向にあった。つまり、pre 動作に比べて post 動作では支持足で地面を長く蹴ることができていないと考えられる。

そこで、膝関節角度および膝関節角速度に着目すると、pre 動作では膝関節角度が R-on 以降の最大値は 72.9 deg.、膝関節角速度の最大値は 442.9 deg./sec. となる。post 動作では膝関節角度の最大値は 70.5 deg.、膝関節角速度の最大値は 311.5 deg./sec. となる。pre 動作と post 動作において膝関節角度は 1.6 deg. しか変わらないが、膝関節角速度は 131.4 deg./sec. も異なる。これより、post 動作では着地後に支持足を伸展する速度が遅く、支持足による蹴りが弱くなっているものと推察された。

ここで、腰回転角速度に着目すると、pre 動作は 387.3 deg./sec.、post 動作は 504.5 deg./sec. となり増加を示した。しかし、post 動作の場合、Sub.10 は R-on 後すぐに投擲方向へ FreeArm を振り上げることで、身体が投擲方向へ移動してしまったため、肩回転角速度は増加したが、鉛直方向へ長く地面を蹴る動作ができなかったものと推察される。

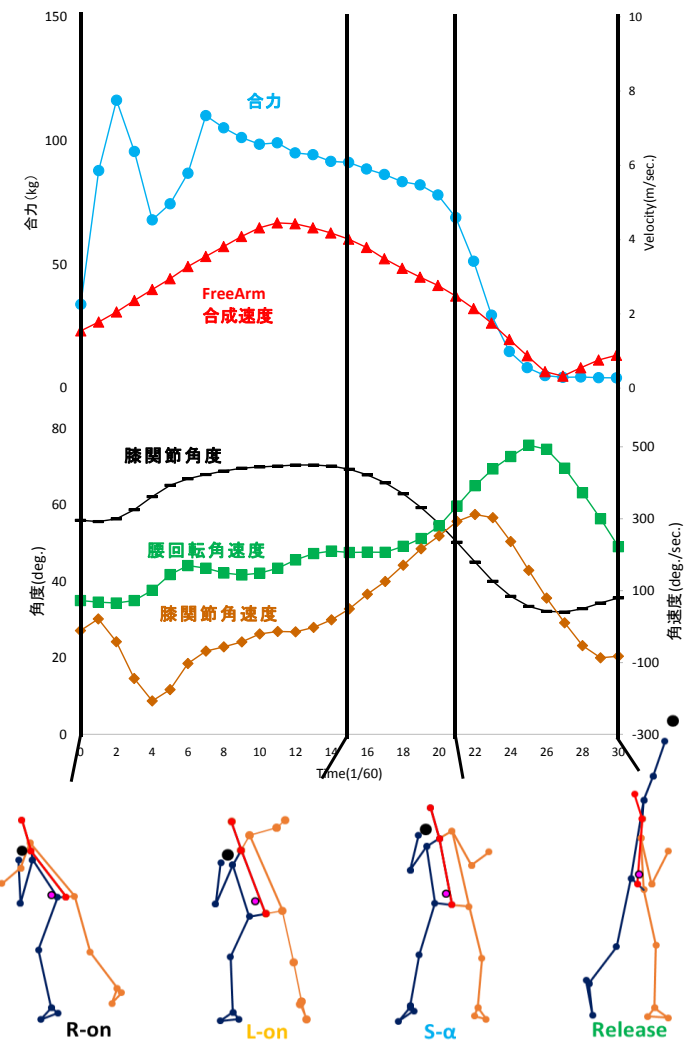
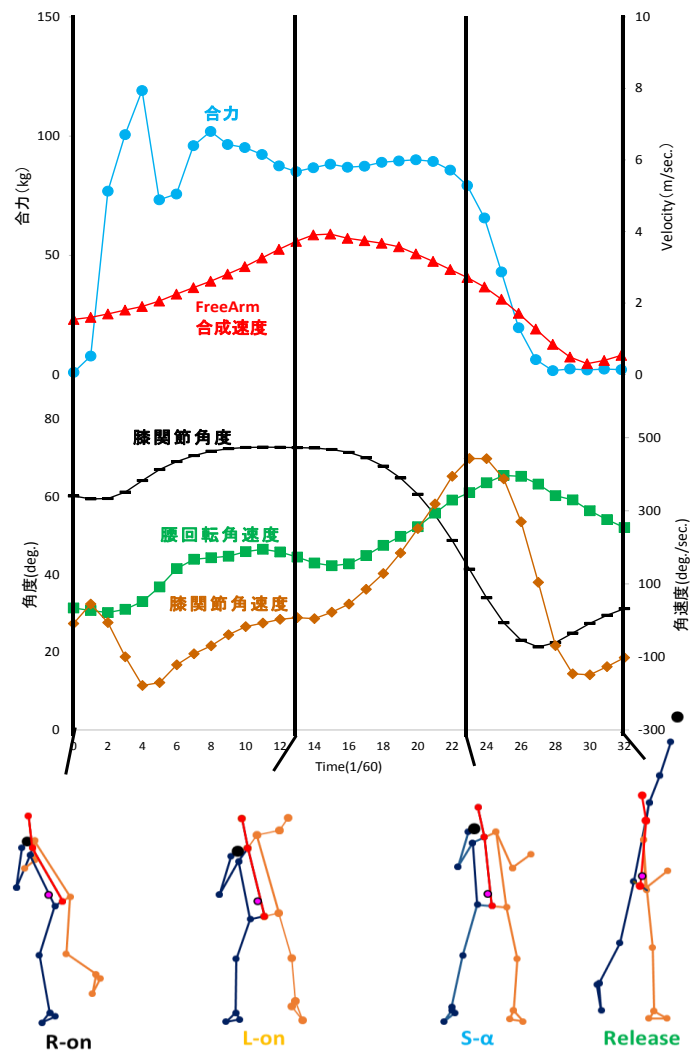


図 62 各動作の時系列的変化 (Sub. 10, 左 : pre 動作左, 右 : post 動作)

Sub.10 の場合は、「両足が着地してから」という指示を加え、FreeArm の動きと膝の伸展動作をタイミングよく実施できるように指導を行う。そうすることで、支持足の着地以降に地面を長く蹴ることが可能になるのではないかと考えられる。

Sub.18 は肩回転角速度が pre 動作 (685.8 deg./sec.) に比べ post 動作 (834.6 deg./sec.) において増加した。しかし、投擲距離が伸びなかった要因は主に下肢の動作にあると考えられる。

そこで、pre 動作および post 動作について、合力の時系列的変化を図 63 に示した。post 動作の合力に着目すると、R-on したおよそ 0.08 秒後に合力は 94.9 kg まで再増加するが、L-on 前後は約 60 kg で一定になっている。Sub.18 の体重は 62.95 kg であるため、post 動作の L-on 前後は支持足に体重を乗せ立位状態になっているだけであると考えられる。

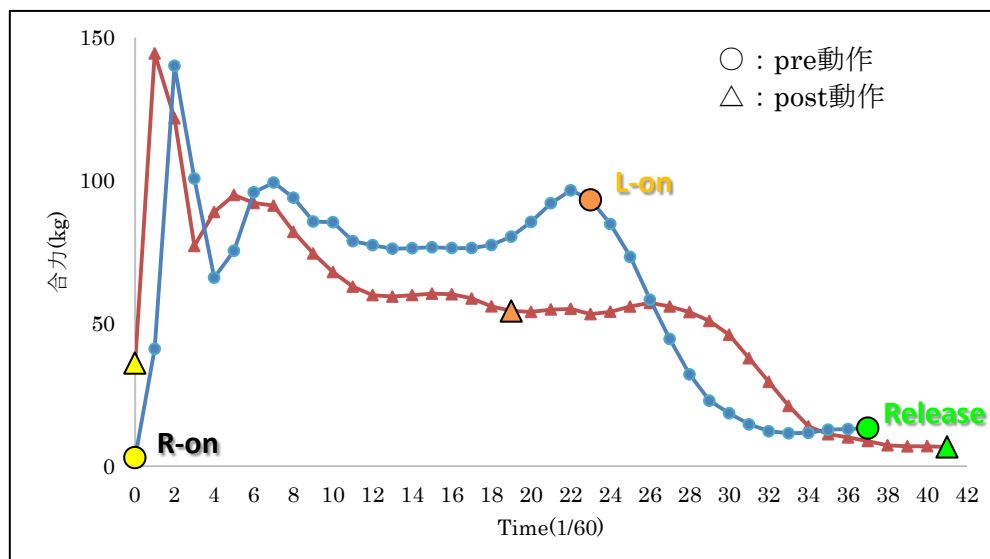


図 63 合力の時系列的変化 (Sub. 18)

したがって、post 動作は地面から得た力は少なく、上肢の動きに依存した投げになった。そのため、砲丸に強い力を加えて投射することが難しい投擲であったと予想される。pre 動作にこのよう合力の変化はなく、指示により上肢の動きのみに注意を向けてしまい、膝の屈伸動作がほとんどみられず、下肢が効果的に機能しなかったと考えられる。

Sub.18 の場合はグライド投法の構えをした段階から、深くしゃがみこみ（図 64，下の図），支持足の膝を曲げた状態で着地することを意識するように指導を行う．すると，グライド後に地面を強く蹴ることが可能になるのではないかと考えられる．

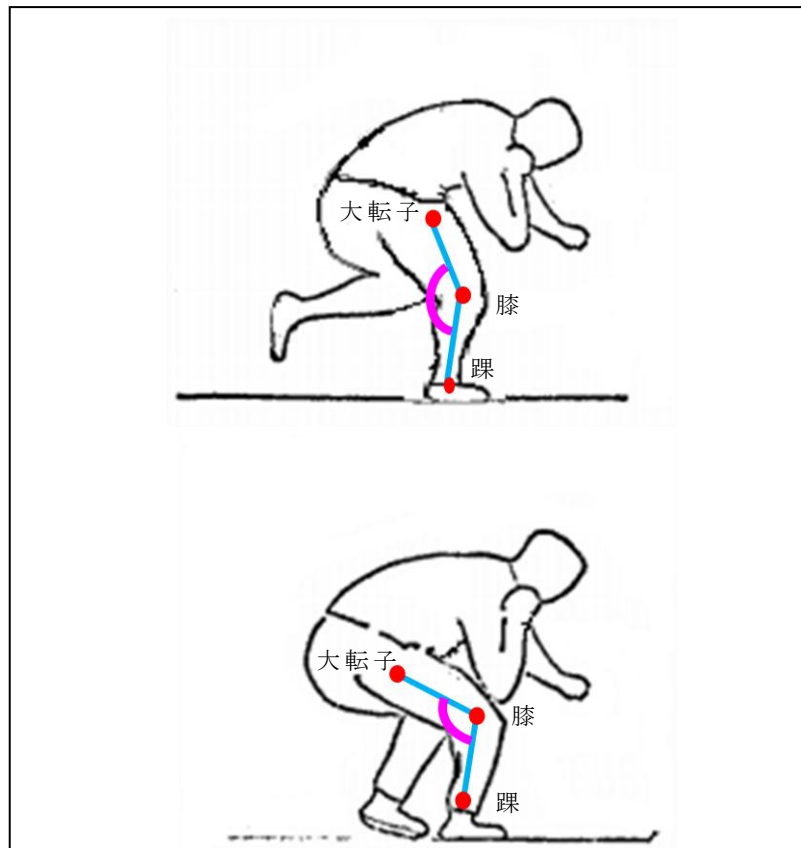


図 64 構えのイメージ（上：浅いしゃがみこみ 下：深いしゃがみこみ）

第 5 節 本章まとめ

本章はグライド投法での砲丸投において、FreeArm の動きに着目した指導を未熟練者に対して実践し、その有効性について検討することを目的とした。

未熟練者 20 名を対象に、4.00 kg の室内用砲丸を用いグライド投法による砲丸投（pre 動作）および、FreeArm の動きに着目した指導を実践した後の砲丸投（post 動作）をそれぞれ実施した。撮影し、フォースプレートと 3 次元 DLT 法を用い動作の分析を行った。指導者は「着地するまで、真後ろを指差ししてください.」、「着地したら、投げる方向に腕を振り上げてください.」という言語による指示を行い、その場で砲丸を持たずにグライド投法の動きを各自で練習した。この時、指導者が対象者の FreeArm を掴み、熟練者の軌跡に近い動きをなぞるように動かし指導を行った。

動作改善の傾向としては「指差し」の指示によって、L-on 時の肩回転角度および腰回転角度が有意に低下し、グライド後に肩や腰が開くことを抑制し投擲方向へ対する捻りをつくることが可能になったものと考えられた。また、「腕を振り上げる」の指示によって、肩回転角速度や水平分力が有意に増加し、FreeArm の引きと連動した肩の素早い回転動作や後方への蹴りが促されたと推察した。

投擲距離の結果でみると、20 名中 9 名の記録が増大した。投擲距離が増大した群（up 群）と増大しなかった群（no-up 群）に分け、その要因をそれぞれ検討した。

up 群は突出し合成速度及び肩回転角速度、身体重心移動水平速度、水平分力に有意な増加が認められた。グライド動作後 FreeArm を後方へ向けた状態から一気に投擲方向へ引き上げることによって、肩の素早い回転や後方への蹴る力が増大し、最終的に投射合成速度を高めたことが投擲距離増大の要因であると推察された。

no-up 群は、投射角度の低下（1 名）、FreeArm の引き上げ動作と肩回転動作のタイミングのズレ（7 名）、グライド後の膝の屈伸動作の不足（2 名）、直線的でない突出し動作（1 名）などの欠点がみられた。しかしながら、肩回転角度や腰回転角度については良好と思われる変化も認められているので、一部の動作には改善がなされたものと考えられた。

終章

本研究はグライド投法による砲丸投において **FreeArm** の動きに着目しバイオメカニクス（主としてキネマティクス）的な視点から砲丸投の未熟練者を対象にした指導方法を検討することを目的とした。

第 1 章は熟練者（2 名）と未熟練者（20 名）の動作を **FreeArm** の動きに着目して比較し、未熟練者の動作特徴を明らかにすることを目的とした。

第 2 章は熟練者（4 名）を対象に **FreeArm** を固定した状態で投擲動作を行い、通常の投擲動作と比較することで、**FreeArm** の動きとグライド投法での砲丸投パフォーマンスとの関連性について検討することを目的とした。

第 3 章は第 1 章と第 2 章の結果より①グライド後、着地するまで **FreeArm** が肩より先行しない動き、②グライド後、投射方向に向かい素早く **FreeArm** を引き上げる動きの 2 点に留意し、**FreeArm** の動きに着目した指導を未熟練者（20 名）に対して実践し、その有効性について検討することを目的とした。

得られた結果は以下の通りであった。

1) 未熟練者において投擲距離を決定付ける投射合成速度と突出し合成速度に $r=0.88$ で有意 ($p<0.01$) な正の相関関係が認められた。突出し動作には肩の回転動作が伴うことから、突出し速度と肩回転角速度との関係をみると、突出し水平速度と肩回転角速度の間に $r=0.67$ の有意 ($p<0.01$) な正の相関関係が認められた。投擲方向に対して肩を素早く回転させる動作を行うことが、突出し水平速度を増大させるために必要であると考えられた。

未熟練者は熟練者に比べ、肩回転角速度が遅く突出し速度を高めることができない特徴や、**FreeArm** を投擲方向へ積極的に動かす動作がほとんどない特徴がみられた。

未熟練者は R-off の時点ですでに FreeArm 重心が左肩より前方にあった。FreeArm 重心の位置に影響され肩が投擲方向に開いてしまう可能性が予想された。未熟練者は肩が投擲方向へ早い段階で開いてしまうため、それ以降に素早い肩回転をし難い動作特徴がみられた。また、FreeArm 重心と肩の位置関係より、未熟練者は熟練者のようにグライド後に FreeArm を投擲方向へ動かし難い動作特徴がみられた。

2) 投擲距離は有意 ($p<0.01$) に低下し、FreeArm の固定は投擲動作に大きな影響であった。投射鉛直速度は投射水平速度に比べ平均値で約 2 倍の低下を示し、FreeArm の固定は投射の際に鉛直速度に対する影響が大きかった。

L-on 時における肩回転角度は有意 ($p<0.01$) に増加した。FreeArm 重心が肩より先行して動くことで投擲方向に対する肩の開きが誘発されたものと考えられた。肩回転角速度は有意 ($p<0.01$) に低下した。FreeArm を固定することで、捻り戻しによる素早い肩回転や FreeArm の動きと連動したスムーズな肩回転ができなくなったものと考えられた。また、FreeArm を鉛直方向に引き上げることができないために、鉛直方向へ投射速度を高めることができなかったものと考えられた。鉛直分力および合力は有意 (共に $p<0.01$) に低下した。FreeArm が固定された状態の方が地面を強く蹴ることができなかったものと考えられた。

3) 「着地するまで、真後ろを指差ししてください.」, 「着地したら、投げる方向に腕を振り上げてください.」という言語による指示を行った。次に、その場で砲丸を持たずにグライド投法の動きを各自で練習した。この時、指導者が対象者の FreeArm を掴み、熟練者の軌跡に近い動きをなぞるように動かしした。

動作改善の傾向としては「指差し」の指示によって、肩回転角度および腰回

転角度が有意（順に $p<0.01$, $p<0.05$ ）に低下した．グライド後に肩や腰が開くことを抑制し投擲方向へ対する捻りをつくることが可能になったものと考えられた．また、「腕を振り上げる」の指示によって、肩回転角速度や水平分力が有意（順に $p<0.01$, $p<0.05$ ）に増加した．FreeArm の引きと連動した肩の素早い回転動作や後方への蹴りが促されたと推察された．

投擲距離が増大した群（up 群）と増大しなかった群（no-up 群）に分け、その要因をそれぞれ検討した．

up 群は突出し合成速度及び肩回転角速度、身体重心移動水平速度、水平分力に有意（順に $p<0.01$, $p<0.01$, $p<0.05$ ）な増加が認められた．グライド動作後に FreeArm を後方へ向けた状態から一気に投擲方向へ引き上げることによって、肩の素早い回転や後方への蹴る力が増大し、最終的に投射合成速度を高めたことが投擲距離増大の要因であると推察された．

no-up 群は、投射角度の低下（1 名）、FreeArm の引き上げ動作と肩回転動作のタイミングのズレ（7 名）、グライド後の膝の屈伸動作の不足（2 名）、直線的でない突出し動作（1 名）、などの欠点がみられた．しかし、肩回転角度及び腰回転角度については良好と思われる変化も認められているので、一部の動作には改善がなされたものと考えられた．

FreeArm に着目した指導でほとんどの対象者の動作が改善されることは示唆された．しかし、指導により新たに生じる動作特徴や、本研究の指導では改善しきれない動作特徴を示す対象者もあった．各対象者が持つ固有の動作特徴を他の指導と組みあわせて改善し、投擲距離の向上を目指すことが今後の課題である．

引用・参考文献

- 阿江通良（1996）日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数．日本バイオメカニクス学会，15（3）：155-162.
- 浅見美弥子・櫻田淳也（2001）中学・高等学校における陸上競技の授業の履修に関する調査-種目別にみた傾向から-．東京女子体育大学紀要，36：73-75.
- Cheong-Hwan Oh，Eui-Su Shin，Su-Nam Choi，Ik-Su Jeong，Jae-Hee Bae，Jeong-Tae Lee and Seung-Bum Park（2011）13th IAAF World Championship in Athletics，Daegu Final Report Men's Shot Put Finals. Biomechanics Research Project in the IAAF World Championships Deagu 2011：100-118.
- 榎本靖士（2013）＜理論編＞第3章陸上競技のバイオメカニクス．日本陸上競技連盟編，陸上競技指導教本アンダー16・19[上級編]レベルアップの陸上競技．大修館書店，東京：pp. 134-135.
- Gert Marhold（1974）Biomechanical analysis of the shot put. In：Richard C. Nelson and Chauncey A Morehouse（Eds.）Biomechanics IV. University Park Press：Pennsylvania，pp. 175-179.
- Gunter Tidow（1990）Model technique analysis sheets for the throwing events PART IV：The Shot Put. New Studies in Athletics，1：44-60.
- 橋本勲・池上康男・桜井伸二・室伏重信・安藤好朗（1986）砲丸投げにおけるエネルギー発揮に関する研究：体幹及び脚部の役割について．日本体育学会大会号，37B：763.
- 池田翔人・山路雄彦・渡邊秀臣・佐藤江奈（2012）中学生・高校生における骨盤・体幹回旋最大角速度と球速の関係．日本理学療法学会大会，Cb1158.
- 伊藤政男・浦井孝夫・久保田洋一・金子今朝秋・加納実・廣瀬伸良（2002）スポーツ・体育系大学の運動実技カリキュラムに関する研究（中・高等学校に

- おける運動実技の履修実態を踏まえて). 順天堂大学スポーツ健康科学研究, 6 : 14-30.
- 金原勇 (1964) キネオロジーによる新体育・スポーツ選書 陸上競技 (フィールド編). 学芸出版社, 東京 : pp. 108-112.
- 金子今朝秋・小林一敏・菅原秀二 (1984) 砲丸投の力学的研究. 日本体育学会大会号, 30 : 390.
- 金子今朝秋・菅原秀二・形本静夫・菅波盛雄・広瀬信良・中村充 (1998) 砲丸投技術の主観的および客観的特性の関わりに関するコーチ学的研究. 順天堂大学スポーツ健康科学研究, 2 : 44-53.
- Keigo Ohyama Byun , Hiroaki Fujii , Masatoshi Murakami , Toshinori Endo , Hisashi Takesako , Koki Gomi and Kenji Tauchi (2008) A biomechanical analysis of the men's shot put at the 2007 World Championships in Athletics. New Studies in Athletics, 23 (2) : 53-62.
- Kevin and T. McGill (2009) A close look at Reese Hoffa's winning throw at the 2007 World Championships in Athletics. New Studies in Athletics, 24 (2) : 45-54.
- 木村広 (1990) コンピュータシミュレーションによる砲丸投げの力学的研究. 長崎大学教養学部紀要自然科学篇, 30 (2) : 595-607.
- 北田耕司・岩竹淳・田巻弘之 (2002) 肩の回旋動作と球速の関係 : 並進運動を伴わない投球動作の分析 (バイオメカニクス). 体力科学, 51 (6) : 757.
- Klaus E. Bartonietz (1994) Rotational shot put technique : Biomechanic findings and recommendations for training. Track and Field Quaterly Review, 94 : 18-29.
- 古藤高良編 (1975) 体育授業シリーズ 陸上競技指導ハンドブック. 大修館書店, 東京 : pp. 188-204.

- 小山裕三・濱松亜紀・青山清英・小倉幸雄・川井明・澤村博（1994）砲丸投の突出し動作に関する研究—熟練者と未熟練者の比較—．陸上競技研究，17：10-15．
- 小山裕三・青山清英（1999）砲丸投げの運動修正に関するモルフォギー的考察．スポーツ方法学研究，12（1）：79-86．
- Kreighbaum E. and Barthels K. M.（1996）Throwlike and Pushlike movement Patterns. In : Allyn and Bacon (Eds.) Biomechanics : a qualitative approach for studying human movement. 4 th ed.
- クルト・マイネル：金子明友訳（1981）マイネル・スポーツ運動学．大修館書店：東京，pp. 146-166．
- Lichtenberg, D. B.・Wills, J. G.（1978）Maximizing the range of the shot put. American Journal of Physics, 46：546-549．
- Milan Coh and Stanko Stuhec（2005）3-D kinematic analysis of the rotational shot put technique. New Studies in Athletics, 20（3）：57-66．
- 宮西智久・藤井範久・阿江通良・功力靖雄・岡田守彦（1997）野球の投球動作における体幹および投球腕の力学的エネルギーフローに関する 3 次元解析．体力科学，46：55-68．
- 文部科学省（2009）高等学校学習指導要領解説保健体育編．東山書房：東京，pp. 43-52．
- Mont Hubbard , Neville J. de Mestre and John Scott（2001）Dependence of release variables in the shot put. Journal of Biomechanics, 34:449-456．
- 中村充・形本静夫・金子今朝秋・廣瀬伸良・菅波盛雄・菅原秀二（1997）砲丸投における神経筋活動とパフォーマンス．日本体育学会大会号，48：496．
- 中雄勇人・須田光・土山修平・関口典亮・田中亜希子・石田真規（2015）砲丸投における突出し動作が記録に与える影響．群馬大学教育学部紀要 芸術・技

- 術・体育・生活科編, 50 : 107-111.
- Nicholas P. Linthorne (2001) Optimum release angle in the shot put.
Journal of Aports Science, 19 : 359-372.
- 日本陸上競技連盟編 (1956) 日本陸上競技史. 日本体育社会 : pp. 2-3.
- 日本陸上競技連盟編 (2013) 陸上競技ルールブック 2013. ベースボールマガジン社 : 東京, pp. 250-252.
- 野口安忠 (2012) 砲丸投げにおける新たなグライド動作の視点とその技術及び習得方法. スポーツパフォーマンス研究, 4 : 171-191.
- 野口安忠 (2013) <実技編>第4章投てき. 日本陸上競技連盟編, 陸上競技指導教本アンダー16・19[上級編]レベルアップの陸上競技. 大修館書店, 東京 : pp. 72-78.
- 尾縣貢 (2007) ぐんぐん強くなる! 陸上競技. ベースボールマガジン社 : 東京, pp. 142-152.
- 大谷和寿・久保田康毅 (1980) 砲丸投記録と筋力の関係についての研究. 島根大学教育学部紀要 (自然科学), 14 : 13-16.
- 大山圭吾・岡田守彦 (1993) 砲丸投げグライド動作における下肢筋活動の局面分析. 日本体育学会大会号, 44A : 403.
- 大山卞圭悟 (2010) 日本人男子砲丸投げ競技者にとっての回転投法の可能性 - 世界レベルへの挑戦のために -. 陸上競技学会誌, 8 : 56 - 61.
- Pekka Luhtanen , Minna Blomqvist and Tomi Vänuinen (1997) A comparison of two elite shot putters using the rotational shot put technique. New Studies in Athletics, 12 (4) : 25-33.
- Penelope A. Portman (1995) who is having fan in physical education classes?Experiences of sixth-grade student in elementary and middle school. Journal of Teaching in Physical Education, 14 : 445-453.

- Rafael F. Escamilla , Glenn S. Fleisig , Nigel Zheng , Steven W. Barrentine and Jamers R. Andrews (2001) Kinematic comparisons of 1996 Olympic baseball pitchers. *Journal of Sports Sciences*, 19: 665-676.
- 西藤宏司 (1969) 砲丸投の投てき技術に関する研究：グライド動作について．*中京体育学論叢*, 11 (1・2) : 309-325.
- 斉藤重徳・大谷和人 (1982) 砲丸投の学習における一研究．*島根大学教育学部紀要 (教育科学)*, 16 : 49-58.
- 桜井伸二 (1992) 投げる科学．大修館書店：東京，pp. 2-3.
- 渋川侃二・吉本修・植屋清見 (1968) 砲丸投のエネルギー的考察．*東京教育大学体育学部スポーツ研究所報*, 6 : 63-68.
- 清水毅・大川幾子・木下千代子・酒井恵子・酒井孝子・定常裕子・中村恵美 (1976) 砲丸投の投てき距離に関係する因子とそのかかわり方に関する研究-身体的要因について-．*武庫川女子大学紀要 体育編*, 23 : 1-12.
- 篠原邦彦・阿江通良・藤井範久・小林寛道 (1999) 力およびパワーからみた世界および日本一流男子選手の砲丸投．*日本体育学会大会号*, 50 : 714.
- 白井裕紀子・上村孝司・岡田雅次・角田直也・青山利春 (2011) 砲丸投げ選手における体幹トレーニングが投擲距離に及ぼす影響．*国士舘大学体育研究所報*, 30 : 135-139.
- 菅原勲・西條修光・熨斗謙一・松岡幸子・入野進 (1980) 砲丸投げの授業における初心者の技術認識について．*日本体育大学紀要*, 9 : 55-63.
- 高橋佳三・藤井範久・阿江通良 (2010) 球速の異なる野球投手のピッチング動作における上肢キネティクスの違い．*びわこ成蹊スポーツ大学研究紀要*, 7 : 85-102.
- 武田千代三郎 (1909) 競技運動理論実験．博文館：pp. 415-422.
- 武田誠司 (1998) 砲丸投げにおけるグライド動作の指導の誤りに学ぶもの．都

- 城工業高等専門学校研究報告, 33 : 7-11.
- 武政喜代次・浅川正一・古藤高良・小佐文雄・山西哲郎・関岡康雄 (1969) 砲丸投の実験的研究. 体育學研究, 13 (5) : 266.
- 田内健二・村上雅俊・高松潤二・阿江通良 (2006) 砲丸投げにおける砲丸速度に対する身体各部位の貢献-世界レベル選手と日本レベル選手の比較-. 陸上競技研究紀要, 2 : 65-73.
- 寺尾恭徳・富村洋一郎・木村公喜 (2012) 砲丸投げ技術の変遷と今後の指導方法. 日本経大論集, 42 (1) : 151-159.
- 植屋清見 (1980) 砲丸投の研究. 体育の科学, 30 (7) : 487-492.
- 植屋清見 (1988) 砲丸投の動作学とその指導. 体育の科学, 38 (2) : 112-118.
- 植屋清見 (2004) 砲丸投のバイオメカニクス. 金子公宥・福永哲夫編, バイオメカニクス-身体運動の科学的基礎-. 杏林書院 : 東京, pp. 247-252.
- ウォルフガン・ローマン : 一条元美ほか訳 (1976) 走る・とぶ・投げる. あゆみ出版 : 東京, pp. 121-135.
- 瓜田吉久・金高宏文 (2002) 砲丸投における初心者の指導・トレーニングステップ : グライド投法について. 鹿屋体育大学学術研究紀要, 28 : 23-37.
- Wilko Schaa (2010) Biomechanical Analysis of the Shot Put at the 2009 IAAF World Championships in Athletics. New Studies in Athletics, 25 (3/4) : 9-21.
- Winter, D. A. (1979) Biomechanics of Human Movement. In : John Wiley and Sons (Eds.), New York, pp. 9-46.

謝辞

本稿を終えるにあたり，学部生の時より長きに渡り親切丁寧なご指導を賜った八木規夫教授に対して心より感謝の意を表します．また，保健体育科の先生方には研究に対する様々なアドバイスや激励のお言葉をいただき，未熟ながらも本論文を完成させることができました．心より感謝申し上げます．

測定実施にあたり，快く測定を引き受けてくださった 24 名の方々，忙しい中測定の補助をしてくれた，古川君や盤所君，八木研究室の後輩に心より感謝申し上げます．研究は決して一人で完成できるものではないということを身に沁みて感じました．また，院生生活を豊かにしてくださった谷口先輩をはじめとする先輩方にも厚く御礼申し上げます．たくさんの人々に助けられ充実した大学院生活を過ごすことができました．本当にありがとうございました。

最後になりましたが，いつも温かく見守り日々の生活を支え，大学院に進学させてくれた父と母に心より感謝申し上げます．