

ボール重量の増減が野球の投球運動に及ぼす影響とアシスティッド およびレジスティッド・トレーニングとしての即時効果

The influence of increasing and decreasing the weight of ball on baseball pitching and immediate effect as the assisted and resisted training method

森 本 吉 謙 (筑波大学大学院体育科学研究科)
伊 藤 浩 志 (筑波大学大学院体育科学研究科)
島 田 一 志 (茨城県立医療大学理学療法学科)
川 村 卓 (筑波大学体育科学系)
阿 江 通 良 (筑波大学体育科学系)
村 木 征 人 (筑波大学体育科学系)

Yoshikata Morimoto *
Koji Ito *
Kazushi Shimada **
Takashi Kawamura ***
Michiyoshi Ae ***
Yukito Muraki ***

Abstract

The purpose of this study was to investigate the influence of increasing and decreasing the weight of ball on baseball pitching and to make clear the immediate effect of the pitching using these balls as the assisted and resisted training method on the pitching with standard weight ball. Seven male university baseball players participated in the experiment. Based on the standard weight ball (145g), weight was added and reduced by 20% at intervals of 5%. Using each ball of corresponding weight chosen from 9 kinds of weights (including the standard weight ball), the subjects were required to pitch the ball four consecutive times as fast as possible (training trial). Immediately after training trial, the subjects pitched the standard weight ball two consecutive times (test trial). Utilizing two high-speed video cameras, 3D coordinates of the subjects and the ball were calculated by the DLT method, and the initial ball velocity and four joint angles of the pitching arm were analyzed. In addition, the position of the ball pitched on the target was measured using a video camera.

The results are summarized as follows:

1. The initial ball velocity was mostly in inverse proportion to ball weight.
2. Immediately after the training trial with -10% weight ball, the initial ball velocity in the test trial be-

* Doctoral Program of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba.

** Department of Physical Therapy, Ibaraki Prefectural University of Health Sciences

*** Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba.

came significantly higher than the test trial after the training trial with standard weight ball.

3. In regard to the joint angles of the pitching arm, significant differences were not found in each pitching.
4. Immediately after the training trial with -15% and -20% weight ball, the position of the ball pitched on the target in the test trial became significantly higher than the other test trial. And after the training trial with +15% and +20% weight ball, these positions became significantly lower.

Key words: baseball, pitching, ball weight, assisted training method, resisted training method

I. 緒 言

運動の専門的なスピード・筋力を養成する方法には、運動遂行時にかかる空気抵抗や体重、用具の重量などの外的負荷を軽減させて行うものと、逆に増大させて行うものがある。前者は、通常では達成が困難となる超最大スピード (Supramaximal speed) レベルでの運動遂行を実現することにより、そこでの速いスピード感やリズム、タイミングを身に付けようとするもので、一般にアシスティッド・トレーニングあるいは負荷軽減法 (Assisted or Lightened training) と呼ばれる。また後者は、過負荷が与えられた状態で運動を遂行することによって、その運動に必要となる筋力要素を養成し得るとされており、レジスティッド・トレーニング (Resisted training) と呼ばれる^{13) 16) 27)}。これらのトレーニング法を野球の投球運動に適用する場合、ボール重量を軽減することにより投球に必要とされるスピード・筋力の主にスピード要素の発達が可能になると考えられ、ボール重量を増加することによって筋力要素の改善が期待される³⁾。

しかしながら、単純にボール重量を増減することでこれらの効果が期待できるとは言い難く、陸上競技の投擲種目などでは、投擲物の重量増減に関して、「極度に軽い投擲物は筋肉の予備伸張の形成を助長せず、動作が小さく短いものとなり、その結果パフォーマンスの低下を招く」といった指摘⁴⁾や、「加重した投擲物の適用を誤ると動作の調整されたリズムを乱してしまう危険性がある」といった示唆¹²⁾がなされている。また実際に、重量を増加した円盤を用いたトレーニングに

よって規定重量の円盤での投距離が減少した²¹⁾、あるいは重量を増減した野球のバットを用いたスイング直後では、普段用いているバットでのスイング速度が低下した²⁾との報告もある。これらの研究では、いずれもその要因として、トレーニングに用いた用具の重量が重過ぎた、あるいは軽過ぎたため動作に乱れが生じてしまい、それが定着したのではないかと推察されている。

これらのことから、野球の投球運動においてアシスティッドおよびレジスティッド・トレーニングを適正に活用するためには、先ず、ボール重量の増減が投球運動に及ぼす影響を動作の変容を含めて明らかにしておく必要があると考えられる。しかし、これまでの研究^{5) 22) 25)}では、主にボール初速度や動作中にボールに作用する力、あるいは投距離などに及ぼす影響を検討するに留まっております。投球動作に着目したものは見当たらない。また、トレーニングにおけるボール重量の適正さを考える上では、その効果として、通常のボールを用いた投球にどのような影響を及ぼすかが問題となる。しかし、野球の投球運動において、陸上競技の投擲種目で行われているように²³⁾、トレーニング効果を様々な重量で比較検討したものはこれまでにほとんどない。森本ら¹⁷⁾は、基準球 (145 g) に対して±20%の範囲で重量を増減した17種類のボールを用いて、ボール重量とボール初速度の関係を検討している。その結果、+20%から-7.5%までの範囲においては、両者は概ね反比例の関係にあったが、-7.5%から-20%にかけては、ボール初速度の増大に頭打ち傾向がみられたことから、「トレーニングにおいてボール重量を7.5%より軽減しても意味がないのではない

か」といった示唆を得ているが、実際の効果は明らかでない。

そこで本研究では、ボール重量の増減が野球の投球運動に及ぼす影響について動作の変容を含めて明らかにし、また、重量を増減したボールの投球が、アシスティッドおよびレジスティッド・トレーニングとして通常の投球に及ぼすトレーニングの即時効果を明らかにすることを目的とした。

II. 方 法

1. 被験者および試技

被験者は、実験参加への同意を得た大学硬式野球部に所属する右投げの男子7名であった。なお、被験者の年齢は 21.1 ± 1.2 歳、身長は 178.3 ± 5.1 cm、体重は 73.0 ± 8.8 kgであった。

実験試技には、145gの硬式野球ボールを基準球（ $\pm 0\%$ ）として、5%刻みに $\pm 20\%$ の範囲で重量を増減した9種類（基準球を含む）のボールを用いた。実験は連続した2日間に分けて行い、重量を軽減したボールを用いた試技を1日目に、重量を増加したボールを用いた試技を2日目に実施した。また、基準球を用いた対照試技は両日で行った。すなわち、両日共に試技に用いたボールは5種類であった。実験試技は、先ず5種類の内から選択されたボールを4球連続して投げ（トレーニング試技）、その直後に基準球を2球投げる（テスト試技）といった手順で行った。本研究では、トレーニング試技を $-10\%_{tra}$ のように、試技に用いたボール重量に基づいて‘tra’を添えて示し、テスト試技を $-10\%_{test}$ のように、トレーニング試技に用いたボール重量に対応させて‘test’を添えて示す。また、1日目の基準球を用いた対照試技をSL、2日目をSWとして、これらをトレーニング試技、テスト試技それぞれにおいて SL_{tra} 、 SW_{test} などのように示す。いずれの試技も18.44m先に位置する的地（地面から高さ1mの位置に付けられた×印）に向けて、可能な限り速いボールを投げるように指示した。1球毎には20秒間、次の重量への移行には15分間のインターバルを設けた。15分間のインターバルでは、

10分間の完全休息の後、次の測定対象となる重量のボールを用いて、疲労を伴わない程度に5分間のキャッチボールを行った。トレーニング試技におけるボール重量の選択順序は被験者ごとにランダムに変化させ、被験者にはボール重量に関する情報を与えなかった。

2. 実験用ボールの作成

本研究で用いたボールは、すべて従来の硬式野球ボールと外見、形状、直径および表面材質が同じものであり、ボールの変化は重量のみとした。その作成においては、直径50mmのコルク製の球に対して、重心位置が変化しないように鉛を6点埋め込み、鉛の重量を調節することによりコルク球の重量を9種類に変化させた。これらのコルク球を従来の硬式野球ボールの中心部分にあるゴム製の球に代用し、各重量のコルク球に対して、従来と同様に毛糸と綿糸を巻きつけ、皮革を被せた。

3. 画像撮影およびデータ処理

(1) 投球動作撮影および3次元座標の算出と平滑化
投球動作の撮影は、2台の高速度カメラ（HSV-500C3, NAC社製）を用いて毎秒250コマ（露出時間 $1/2500$ 秒）で行った。2台の高速度カメラは、それぞれ投球方向に対して右側方40mおよび右斜め後方25mの地点に設置し、撮影範囲（幅 2.5 m×奥行き 2.0 m×高さ 2.3 m）が十分に入るように画角を調整した。また、試技の撮影前には、実長が既知である較正点（6点）を取り付けた長さ 2.3 mのポールを撮影範囲内の24ヶ所の地点に垂直に立て、順に撮影した。なお、本研究における静止座標系は右手系で、投球方向に対して左右方向をX軸、前後方向（水平方向）をY軸、上下方向をZ軸とした。

得られた画像から、被験者の身体各部位7点（右手、右手首、右肘、両肩、左右の肋骨下端）、較正点およびボール中心点の2次元座標を動作解析システム（Frame-DIAS II, DKH社製）を用いて読み取った。データの分析区間は、踏出し脚（左足）の接地前10コマからボールリリース後10

コマまでとした。その後、DLT (Direct Linear Transformation) 法により、各測定点の3次元座標を算出した。1日目における較正点の実測値と計算値の標準誤差は、静止座標系のX軸方向が6 mm、Y軸方向が6 mm、Z軸方向が3 mmであった。2日目においてはX軸方向が4 mm、Y軸方向が4 mm、Z軸方向が3 mmであった。得られた測定点の3次元座標は、Winter²⁶⁾の方法によって最適遮断周波数を決定し、バターワースデジタルフィルタ (Butterworth digital filter) を用いて平滑化した。用いた遮断周波数の範囲は2.5-32.5Hzであった。なお、本研究では、右側方から得たボール中心点の2次元座標を用いて、すべての試技のリリース時におけるボール速度を算出し、それらの内から、4球のトレーニング試技、その後の2球のテスト試技それぞれにおいて、各被験者で最も速度の大きかった試技を3次元解析した。

(2) 的撮影および2次元座標の算出

試技中の的の撮影は、ビデオカメラ (DM-XV1, Canon 社製) を用いて行った。ビデオカメラは被験者後方20mの位置に設置し、的が描かれた防球ネット (幅3.5m×高さ4.0m) 全体が撮影できるように画角を調整した。得られた画像から、ボール的中時の的中心、ボールおよび実長が既知である4つの較正点の2次元座標を読み取り、その後、的の中心を原点としたボールの的中位置の座標を実長に換算した。ここでの座標系は、投球方向に対して左右方向をX軸、上下方向をY軸とした。ボールが地面にバウンドした試技については、防球ネットに到達した位置の左右方向の座標のみを読み取り、上下方向の座標はすべて-1 mとした。なお、ここで得られたデータはすべてを分析対象とした。

(3) 各関節角度の算出

本研究では、投球動作分析として、投球腕における肩関節の内外転、水平内外転、内外旋および肘関節の屈伸角を算出し、検討項目とした。これらの内、肩関節の内外転、水平内外転および内外旋角は、先行研究¹⁴⁾に基づいて上胴に固定した移動座標系 (以下、上胴座標系) から求めた。上

胴座標系の定義は以下の通りである：

まず、左右の肩関節中心を結んだ線分の中点を原点として、左右の肋骨下端を結んだ線分の中点から原点へ向かう方向を上胴座標系のz軸とした。そして、z軸のベクトルと原点から右肩へ向かうベクトルの外積からy軸を求めた。その後、y軸のベクトルとz軸のベクトルの外積からx軸を求めた (Fig.1a)。

肩関節の水平内外転角は、肩関節中心から肘関節中心へ向かう上腕ベクトルを上胴座標系のxy面に投影し、そのベクトルと上胴座標系のx軸がなす角とした (Fig.1b)。内外転角は、上腕ベクトルを上胴座標系のxz面に投影したベクトルと上胴座標系のx軸がなす角とした (Fig.1c)。内外旋角は、肘関節中心から手関節中心へ向かう前腕ベクトルと上胴座標系のz軸をそれぞれ上腕の長軸に垂直な平面に投影したときの、両ベクトルがなす角とした (Fig.1d)。肘関節屈伸角は、上腕ベクトルと前腕ベクトルのなす角とした (Fig.1e)。

(4) データの規格化と平均化

投球腕の各関節角度データは、各試技において踏出し脚接地時からボールリリース時までを100%とし、その区間をスプライン関数を用いて補間することで1%毎のデータを求めた。その後、トレーニング試技におけるボール重量別およびテスト試技におけるトレーニング試技で用いたボール重量別に1%毎のデータをすべての被験者で加算し、平均化した。

4. 内省調査

トレーニング試技およびテスト試技それぞれの投球感覚について、各テスト試技が終了した直後に被験者から内省報告を求めた。「普段用いているボールでの投球と比べてどのように感じましたか」という質問に対して、「変わらない」を数値「0」として、「かなり投げ難い」から「かなり投げ易い」まで、「投げ難さ」の度合いをマイナスの4段階尺度で、逆に「投げ易さ」の度合いについてはプラスの4段階尺度で評定を求めた。また、そのように感じた具体的な理由を自由記述で求めた。

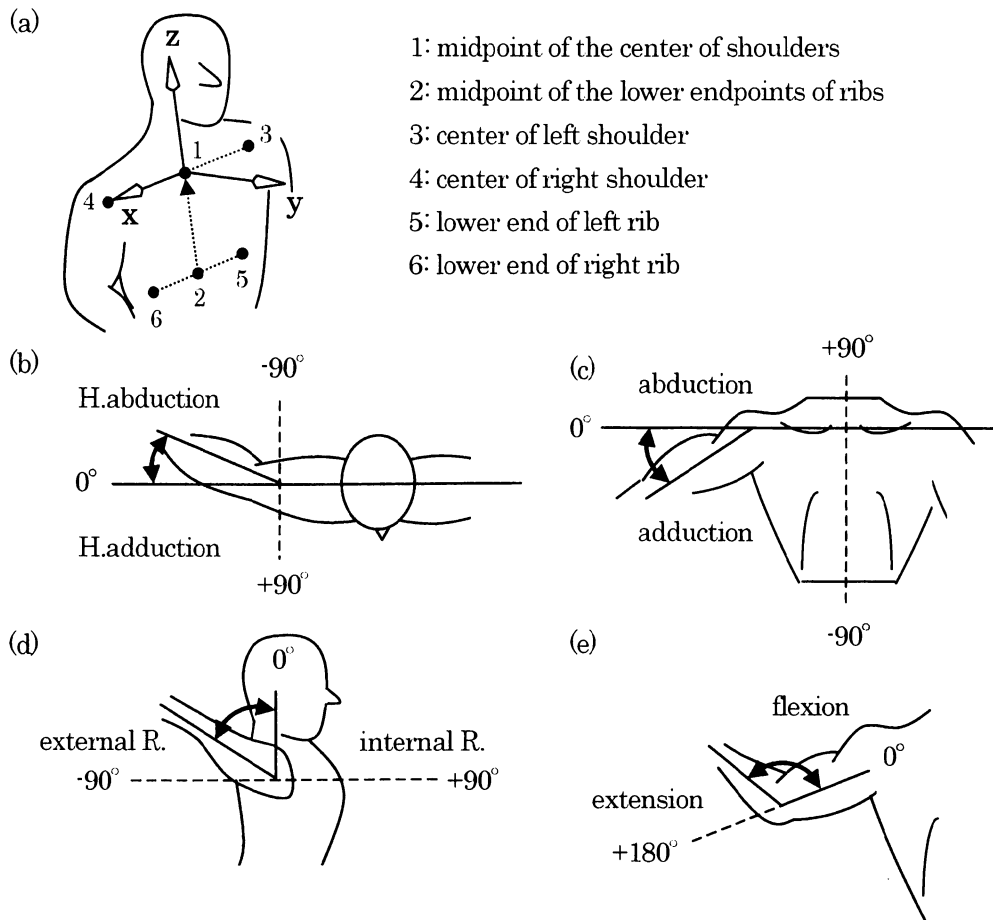


Fig. 1 Definitions of (a) the upper torso coordinate system, and the reference values for the angles of (b) horizontal abduction/ adduction, (c) abduction/adduction, (d) internal/external rotation at the shoulder joint, and (e) flexion/extension at the elbow joint.

5. 統計処理

統計的な有意差の検定には、一元配置分散分析を用いた。そこで有意差が認められたものに関しては Tukey-HSD の方法によって多重比較検定を行い、危険率 5%未満をもって有意差ありとした。なお、本研究においては、1日目と2日目、さらに両日のトレーニング試技とテスト試技のデータは分けて統計処理し、それぞれ5群間における比較を行った。

III. 結果

1. リリース時のボール合成速度

Fig.2 は、トレーニング試技およびテスト試技

のリリース時のボール合成速度（以下、ボール初速度）をそれぞれ平均値と標準偏差で示したものである。トレーニング試技においては、全体的傾向としてボール重量とボール初速度に概ね反比例の関係がみられ、 SL_{tra} に対しては $-10\%_{tra}$ 、 $-15\%_{tra}$ および $-20\%_{tra}$ において、 SW_{tra} に対しては $+15\%_{tra}$ および $+20\%_{tra}$ においてそれぞれ有意な差が認められた ($p < 0.01$)。ボール重量の軽減を伴う試技間においては、 $-5\%_{tra}$ と $-15\%_{tra}$ ($p < 0.05$) および $-20\%_{tra}$ ($p < 0.01$) の間で、ボール重量の増加を伴う試技間においては、 $+5\%_{tra}$ と $+15\%_{tra}$ および $+20\%_{tra}$ ($p < 0.01$)、 $+10\%_{tra}$ と $+15\%_{tra}$ ($p < 0.01$) および $+20\%_{tra}$ ($p < 0.05$) の間でそれぞれ有意な差が認められた。一方、テ

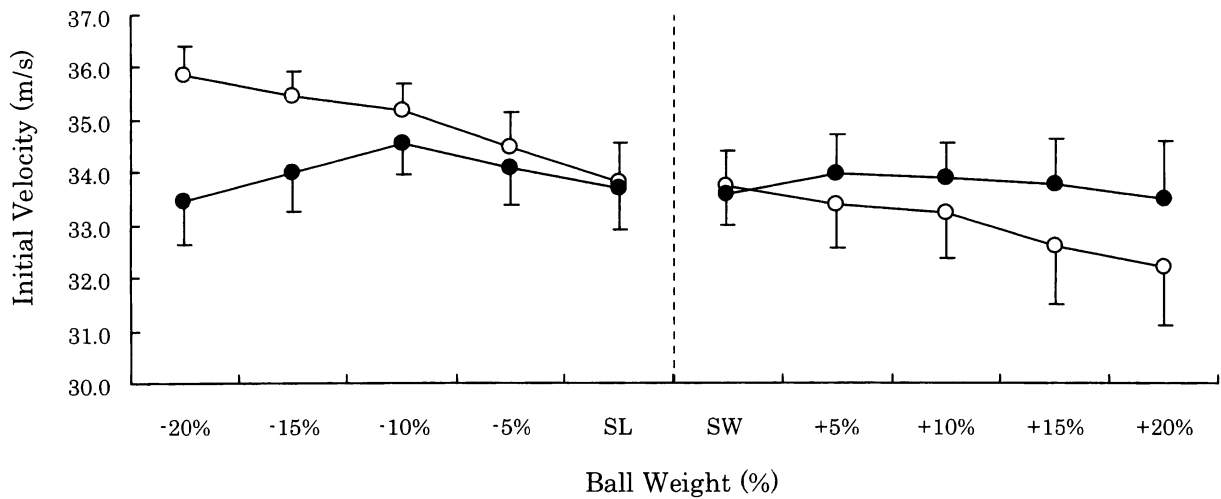


Fig. 2 Changes in the initial ball velocity in mean and standard deviation responded to the various weight balls (Training trial) and the standard balls immediately after pitching those balls (Test trial).

スト試技においては、 SL_{test} から $-10\%_{test}$ までボール初速度が順次増大する傾向にあり、 SL_{test} と $-10\%_{test}$ の間には有意な差が認められた ($p < 0.05$)。しかし、 $-10\%_{test}$ から $-20\%_{test}$ にかけては、ボール初速度が順次減少する傾向にあり、 $-10\%_{test}$ と $-20\%_{test}$ の間には有意な差が認められた ($p < 0.01$)。SW_{test}から $+20\%_{test}$ までの範囲では、ボール初速度に有意な差は認められなかった。

2. 投球腕における各関節角度

Fig.3は、トレーニング試技における、規格化された肩関節の水平内外転角、内外転角、内外旋角および肘関節の屈伸角の平均値を示したものである。また、Fig.4はテスト試技におけるこれらの平均値を示している。図中の矢印は平均値に最も大きな差がみられた局面を示しており、矢印に添えられた角度はその差を、また、その横にはその差がみられた試技の組み合わせを示した。全体的傾向として、踏出し脚接地時からおよそ40%時にかけて、肩関節の内外旋における試技間の角度差が比較的大きいといった特徴がみられたが、ボール重量の増減に伴い角度が小さくなる、あるいは大きくなるなどの特定の傾向はなかった。その他の関節角度については、踏出し脚接地時からリリース時まで全体的に類似した様相を示してお

り、最大の角度差が生じる局面やその試技の組み合わせにおいて特定の傾向はみられなかった。また、それぞれの角度における1%毎の差および規格化を行った分析区間における動作の所要時間について統計処理を行ったが、いずれにおいても有意な差は認められなかった。

3. 的に対するボール的中位置

Fig.5は、トレーニング試技における的に対するボールの的中位置を散布図で示したものである。SL_{tra}から $-20\%_{tra}$ までの範囲と、SW_{tra}から $+20\%_{tra}$ までの範囲では同様な傾向がみられ、ボール重量とは無関係に的の中心からおよそ50cmから70cmの距離にボールが的中する傾向にあった。的中位置の的の中心からの距離、上下方向の座標および左右方向の座標のいずれにおいても試技間に有意な差は認められなかった。

Fig.6は、テスト試技における的に対するボールの的中位置を散布図で示したものである。SL_{test}から $-10\%_{test}$ まで、およびSW_{test}から $+10\%_{test}$ までの範囲においては、ボールの的中位置がいずれも的の中心からおよそ50cmの距離にあるのに対して、 $-15\%_{test}$ および $-20\%_{test}$ ではより上方に、 $+15\%_{test}$ および $+20\%_{test}$ ではより下方にボールが的中する傾向にあった。的中位置の左右方向の座標には試技間に有意な差は認められな

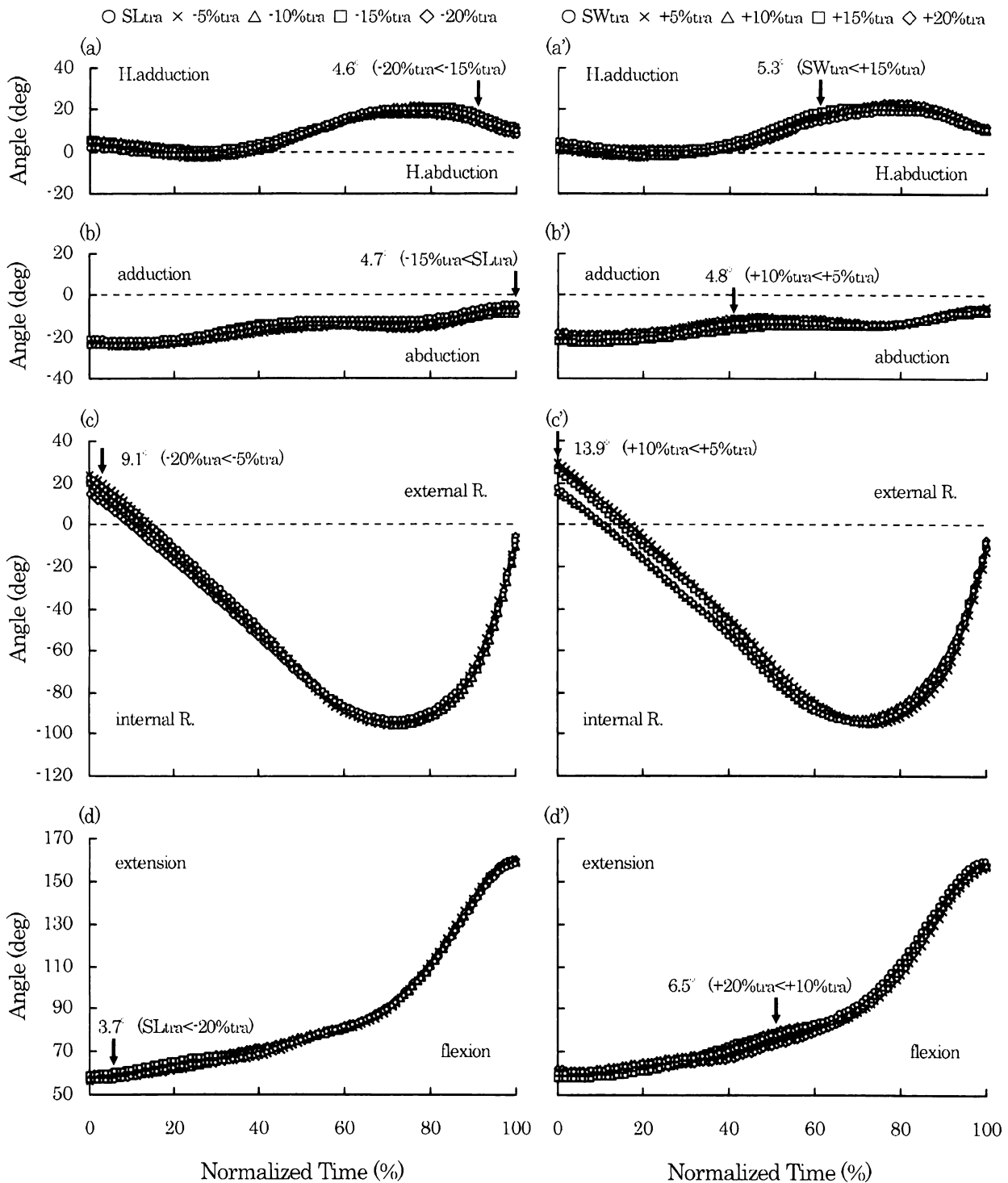


Fig. 3 Comparison of the averaged angles of (a,a') horizontal abduction/adduction, (b,b') abduction/adduction (c,c'), internal/external rotation at the shoulder joint, and (d,d') flexion/extension at the elbow joint responded to the lightened (left side) and the weighted balls (right side). The arrowheads indicate the normalized time shown the largest difference in the averaged angle. The angles attached to the arrowhead indicate the value of those differences (min. < max.).

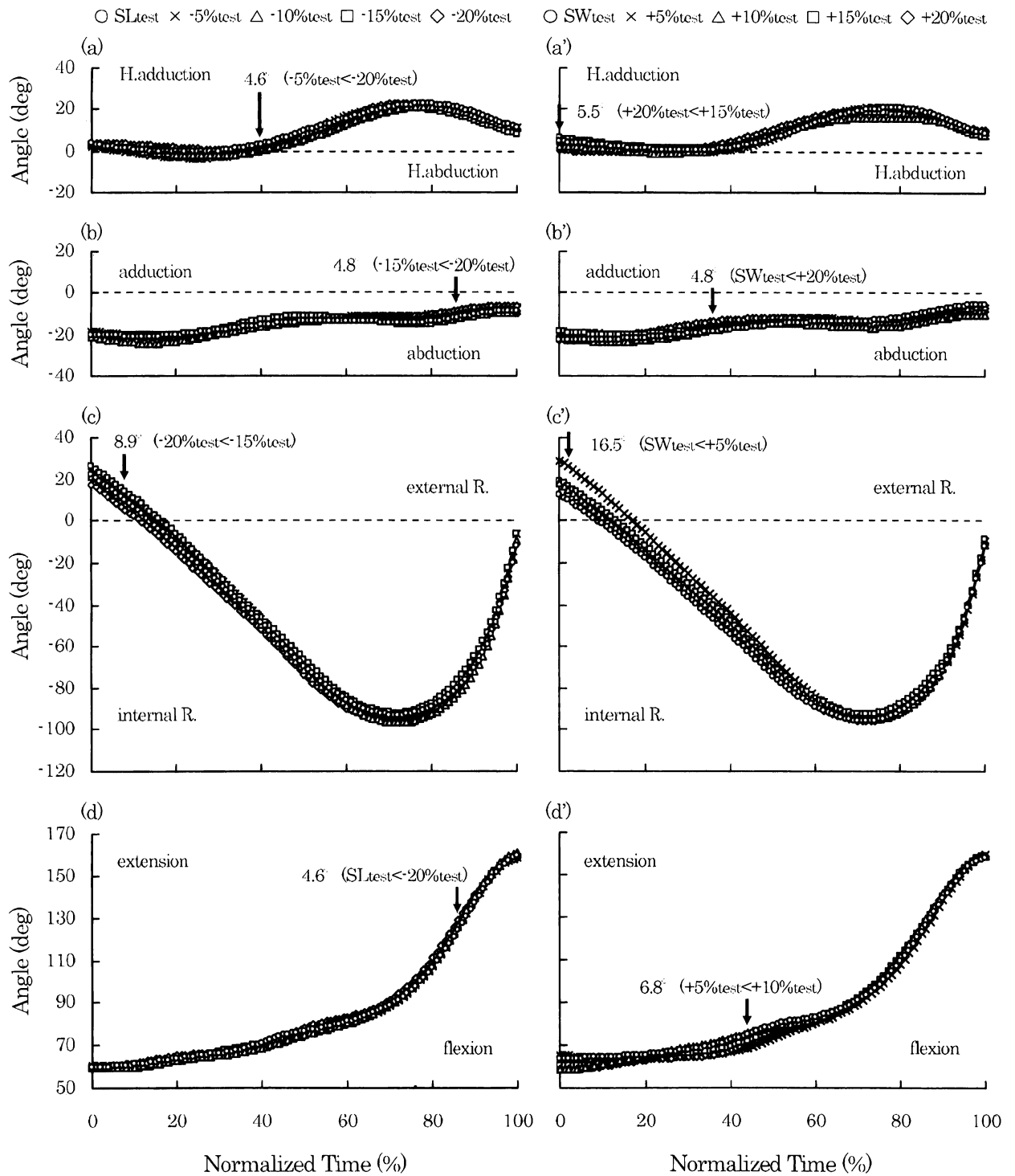


Fig. 4 Comparison of the averaged angles of (a,a') horizontal abduction/adduction, (b,b') abduction/adduction, (c,c') internal/external rotation at the shoulder joint, and (d,d') flexion/extension at the elbow joint responded to the standard balls immediately after pitching the lightened (left side) and the weighted balls (right side). The arrowheads indicate the normalized time shown the largest difference in the averaged angle. The angles attached to the arrowhead indicate the value of those differences (min. < max.).

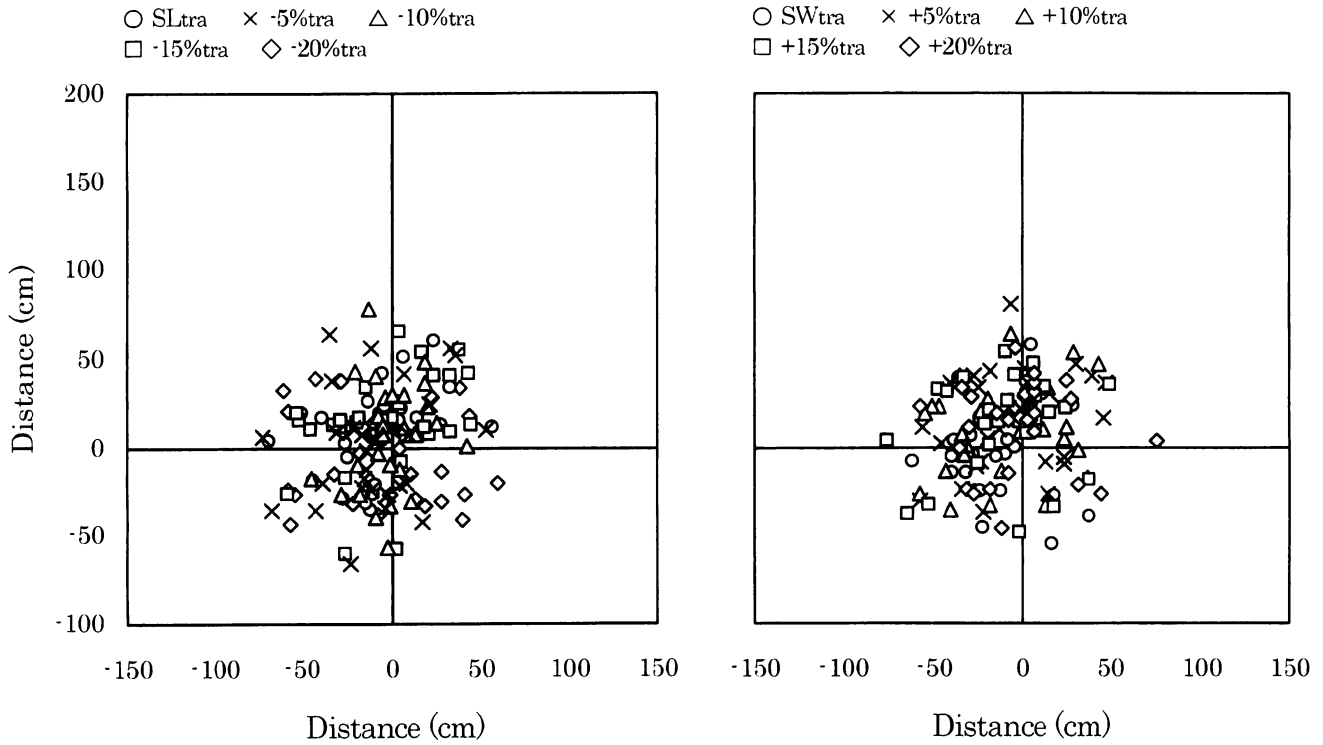


Fig. 5 Changes in the position of the ball pitched on the target responded to the lightened (left side) and the weighted balls (right side).

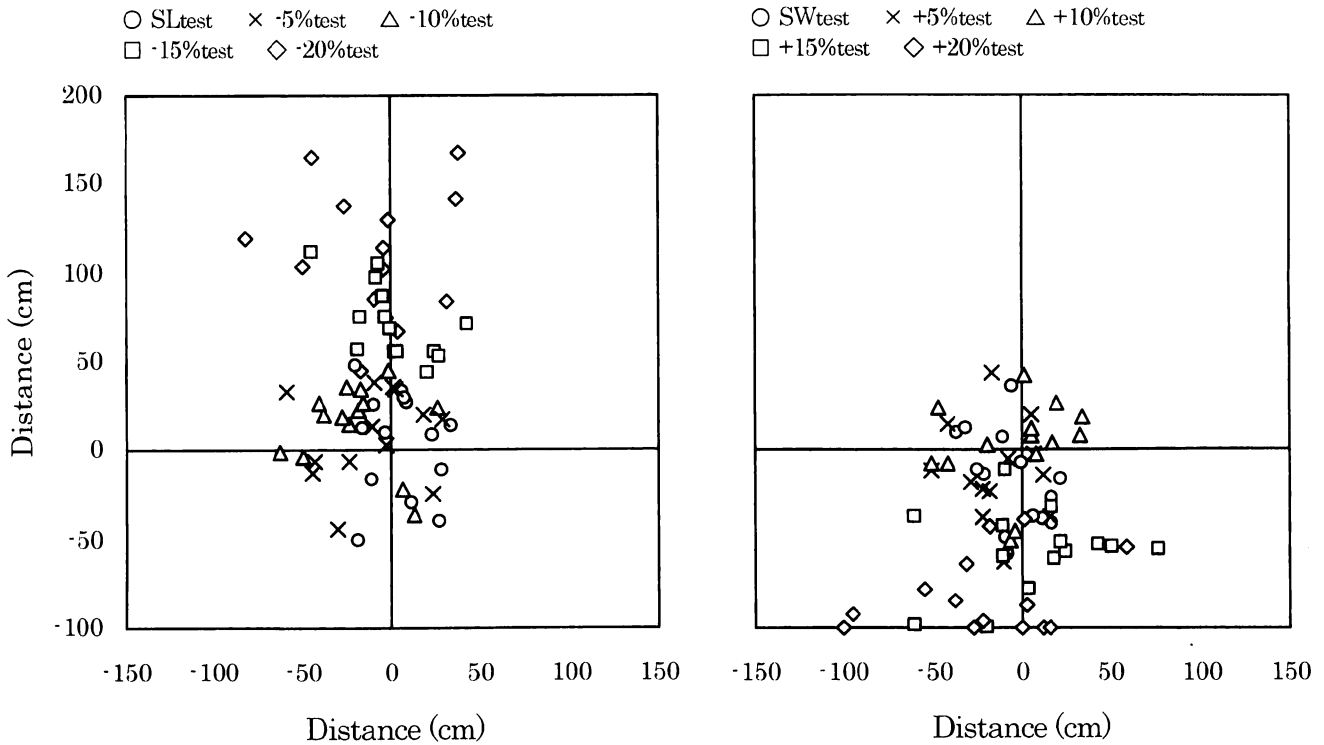


Fig. 6 Changes in the position of the ball pitched on the target responded to the standard balls immediately after pitching the lightened (left side) and the weighted balls (right side).

かったが、的中心からの距離と上下方向の座標においては、 SL_{test} から $-20\%_{test}$ までの範囲では $-15\%_{test}$ および $-20\%_{test}$ と他の試技の間に、 SW_{test} から $+20\%_{test}$ までの範囲では $+15\%_{test}$ および $+20\%_{test}$ と他の試技の間にそれぞれ有意な差が認められた ($p < 0.01$)。

4. 投球感覚の内省報告

Table 1は、9段階尺度(−4から+4まで)により数値化されたトレーニング試技およびテスト試技の被験者の投球感覚をそれぞれ平均値と標準偏差で示したものである。トレーニング試技では、 $+15\%_{tra}$ および $+20\%_{tra}$ において、 SW_{tra} との間に有意な差が認められた ($p < 0.01$)。これは、 $+15\%_{tra}$ および $+20\%_{tra}$ において、被験者がより投げ難さを感じたことによる差であり、その具体的な理由としては、「(投球)腕が振り切れない」、「肩や肘に負担がかかりそう」などの記述が多くみられた。一方、テスト試技では、 $-15\%_{test}$ および $-20\%_{test}$ において、 SL_{test} との間に有意な差が認められた ($p < 0.05$)。これもまた、 $-15\%_{test}$ および $-20\%_{test}$ において、 SL_{test} より投げ難さを感じたことによる差であり、その理由として、「重たく感じるため力みが生じた」、「ボールがすっぽ抜けてしまう」などの記述が多くみられた。

IV. 考 察

1. ボール重量がボール初速度に及ぼす影響

ボール重量がボール初速度に及ぼす影響については、これまでにもToyoshimaら²²⁾や石井ら⁵⁾、

あるいは渡辺ら²⁵⁾によって検討されており、いずれもボール重量とボール初速度は概ね反比例の関係にあることを報告している。しかし、これらの研究で用いられたボールは、100 gから50 g刻みで500 gまで^{22) 25)}、あるいは300 gから150 g刻みで900 gまで⁵⁾と重量の変化が比較的著しいものであった。それに対して、陸上競技の投擲種目などでみられる投擲物の重量増減を利用したアシスティッドおよびレジスティッド・トレーニングでは、基本的な動作パターンを損なわないために、通常用いられる投擲物に対して5%から20%といったより小さな範囲で重量の増減がなされるのが一般的である^{7) 8) 11) 23)}。野球の投球運動において重量を増減したボールをトレーニングに利用しようとした場合、このような小さな範囲において、また、野球のボールのように比較的軽い(145 g)投擲物の重量を増減することで、ボール重量とボール初速度の関係がこれまでの研究と同様な傾向を示すかは疑問が残されるところであった。それに対して森本ら¹⁷⁾は、高校野球部員を対象にして、基準球(145 g)から2.5%刻みに $\pm 20\%$ の範囲で重量を増減したボールを用いて検討を加えている。それによると、 $+20\%$ から -7.5% までの範囲においては、これまでの研究と同様に、ボール重量とボール初速度の間に概ね反比例の関係が認められている。しかし、 -10% から -17.5% にかけては、 -7.5% でのボール初速度を平均値として僅かに下回り、 -20% においても -7.5% からのボール初速度の増大はおよそ0.3%に留まったという。本研究で用いたボールは、基準球(145 g)に対して5%刻みではあるが、同様に $\pm 20\%$ の範囲でボール重量を増減したものであつ

Table 1 Changes in the feeling about pitching in mean and standard deviation scored as a 9-point Likert scale.

	Ball Weight									
	-20%	-15%	-10%	-5%	SL	SW	+5%	+10%	+15%	+20%
Training trial	0.0 (1.9)	0.7 (1.7)	0.3 (1.5)	0.3 (1.4)	0.0 (0.6)	0.1 (1.1)	-0.4 (1.5)	-1.6 (0.8)	-2.3 (0.8)	-2.3 (1.0)
Test trial	-1.9 (0.9)	-1.6 (1.1)	-0.9 (1.1)	-0.6 (1.4)	0.1 (0.9)	0.4 (0.8)	0.9 (1.5)	0.7 (1.1)	0.4 (1.5)	0.3 (1.8)

The numbers in the parenthesis indicate the standard deviations.

た。しかし、ボール重量の軽減に伴うボール初速度の変化には、両者で異なる傾向が示された。それぞれの結果をボール重量を対応させて比較してみると、森本らの研究では、 -5% から -20% にかけてボール初速度に有意な差は認められていないのに対して、本研究では $-5\%_{tra}$ と $-15\%_{tra}$ および $-20\%_{tra}$ の間に有意なボール初速度の増大が認められている (Fig.2)。つまり、ボール重量の軽減に伴うボール初速度の増大に、森本らでは頭打ちする傾向が示されたのに対して、本研究ではそれが示されなかったことになる。この相違については、投球感覚に関するそれぞれの内省報告からその要因を窺うことができる。森本らによれば、投球感覚の内省報告を自由記述で求めたところ、 -10% から -20% の範囲では、多くの被験者が「(投球)腕を振るのが怖い」、「フォームが乱れそう」などの投球に対する抵抗感を示していたという。このことから、 -10% から -20% にかけては、心理的な抑止が働いてボール初速度が増大しなかったのではないかと推察されている。一方、本研究においては、「かなり投げ難い」から「かなり投げ易い」まで9件法のリッカート尺度で投球感覚の内省報告を求めたが、ボール重量の軽減を伴っても「投げ難さ」を示す数値が大きくなることはなかった (Table 1)。このことは、重量を軽減したボールの投球感覚に個別性 (個人差) があることを示唆しており、その感覚に投球に対する抵抗感が示されなかった本研究では、 -10% 以上の軽減を伴ってもボール初速度が増大したものと考えられる。また、投球感覚に差が生じた要因については、森本らが高校野球部員を対象としたのに対して、本研究では大学野球部員であったことから、競技水準の違いによるものが考えられる。しかし、本研究の中では、 SL_{tra} あるいは SW_{tra} でのボール初速度が小さい者ほどより投げ難さを感じるという傾向はみられず、このことについては、より多くの被験者を対象としてさらに検討する必要があるだろう。

2. アシスティッドおよびレジスティッド・トレーニングとしての即時効果

アシスティッド・トレーニングの即時効果としては、等張性の牽引装置を用いた後の疾走速度¹⁵⁾、あるいは重量を軽減した野球のバットを用いた後のスイング速度¹⁾において、それぞれプラスの効果 (速度の増大) が報告されている。本研究では、 SL_{test} から $-10\%_{test}$ までの範囲でトレーニング試技におけるボール初速度の変化に応じるように、ボール初速度が順次増大する傾向が示された (Fig.2)。これは、村木¹⁶⁾が述べる「超最大スピードでの運動の短期記憶を利用して、通常条件下での試技への機能的な転換を図る」といった、即時的な観点からみたアシスティッド・トレーニングのねらいが達成された結果と考えられる。すなわち、 $-5\%_{test}$ および $-10\%_{test}$ では、トレーニング試技において得られたより速いスピード感覚の記憶に従って基準球を投球した結果、トレーニング試技と同等とは行かないまでも、記憶に準じた投球の再現が可能であったと考えられる。

一方、 $-15\%_{test}$ および $-20\%_{test}$ では、トレーニング試技におけるボール初速度が増大しているにも拘らず、ボール初速度が $-10\%_{test}$ から順次減少する傾向にあった (Fig.2)。これについては、トレーニング試技における投球腕の各関節角度に試技間で有意な差はみられず (Fig.3)、また、テスト試技においても同様であった (Fig.4) ことから、これまでの研究²⁾ ²¹⁾ で推察されているように、トレーニング試技での動作の変容がテスト試技の投球に反映されたものとは考え難い。本研究においては、的に対するボールの的中位置からその要因を窺うことができる (Fig.5, Fig.6)。図からわかるように、 $-15\%_{test}$ および $-20\%_{test}$ では、 SL_{test} から $-10\%_{test}$ までの範囲と比べて、ボールがより上方に的中していた。このことは、被験者の内省報告にもあるように、ボールが意図するよりも早いタイミングで手から抜け出した、いわゆる「すっぽ抜けた」状態でボールをリリースしたことによるものと考えられ、そのため、ボールに十分な力が伝わらず、ボール初速度が小さくなったと考えられる。このようにボールが抜け出してしまふ理由としては、

一般に持続効果 (After effect) と呼ばれる現象が影響していると考えられる。これは、例えば重たい物体を持ち上げた後の軽い物体は実際以上に軽く感じ、逆の場合は重く感じるといった現象で、先行した運動における様々な感覚記憶が現在の運動中に得られる感覚刺激と大きく異なる場合に起こるとされている。また、持続効果の影響として、精密把握運動 (拇指と人差し指で小さな物体を摘む運動) において物体を持ち上げるときに、重い重量を経験した直後では摘み力がより大きく発揮され、逆に軽い重量を経験した直後ではより小さく発揮されることが報告されており、物体を持ち上げるときに一旦記憶された重量感覚が、次に物体を持ち上げるときの摘み力に反映されることが明らかとなっている^{9) 10) 18)}。野球の投球運動においては、意図した方向へボールを投球するために、リリース直前まで手指の力によって必要な大きさの向心力がボールに加えられるが²⁰⁾、 $-15\%_{\text{test}}$ および $-20\%_{\text{test}}$ において、意図するよりも早いタイミングでボールが手から抜け出したということは、その手指の力が十分でなかったと考えられる。このことを持続効果の観点からみると、 $-15\%_{\text{test}}$ および $-20\%_{\text{test}}$ のトレーニング試技に該当する $-15\%_{\text{tra}}$ や $-20\%_{\text{tra}}$ では、リリース直前に必要となる向心力が比較的小さく、そこでの手指の力量感覚の記憶が、直後の $-15\%_{\text{test}}$ および $-20\%_{\text{test}}$ に反映された可能性が考えられる。試みに、 SL_{tra} から $-20\%_{\text{tra}}$ までの範囲において、リリース1コマ前 (0.004秒前) のボール合成速度から、リリース直前に必要となる向心力を、いづれのボール重量においても同じ回転半径でボールが円運動していると仮定して、各被験者の SL_{tra} を基準 (100%) にした相対値で推定してみた。その結果を平均値と標準偏差で示すと、 $-5\%_{\text{tra}}$ では $99.5 \pm 7.0\%$ 、 $-10\%_{\text{tra}}$ では $97.5 \pm 4.5\%$ 、 $-15\%_{\text{tra}}$ では $94.0 \pm 5.0\%$ 、 $-20\%_{\text{tra}}$ では $90.6 \pm 3.4\%$ となり、 $-15\%_{\text{tra}}$ と SL_{tra} および $-5\%_{\text{tra}}$ の間 ($p < 0.05$)、 $-20\%_{\text{tra}}$ と SL_{tra} 、 $-5\%_{\text{tra}}$ および $-10\%_{\text{tra}}$ の間 ($p < 0.01$) にそれぞれ有意な差が認められた。トレーニング試技においては的に対するボールの的中位置に試技間で差がみられな

かったことから (Fig.5), $-15\%_{\text{tra}}$ や $-20\%_{\text{tra}}$ では、リリース直前に必要となる向心力が比較的小さくなることに対して、手指の力をより小さく発揮することによってボールの投球方向をコントロールしていたものと考えられる。

レジスティッド・トレーニングの即時効果としては、Vun Hussら²⁴⁾が、大学野球部員に11oz. (311.8 g) と5oz. (141.7g) のボールをそれぞれ10球連続して全力投球させたところ、11oz. のボールを用いた方が、直後の5oz. のボールを用いた投球において平均投球スピード (9.2m先の的までの距離をリリースからの到達するまでの時間で除したもの) が増大したことを報告している。この理由としては、重量を増加したボールを用いたことによって、より多くの運動単位が活性化され、それが後の5oz. のボールを用いた投球においても作用し続けたためと推察している。本研究においては、トレーニング試技に重量を増加したボールを用いた場合には、テスト試技においてボール初速度に有意な差は認められなかった。このような相違がみられた要因としては、Vun Hussらの研究と比べると、本研究で用いたボール重量が軽いものであったこと、また、トレーニング試技での投球数が少なかったことなどが考えられるが、これまでの研究をみると、負荷を増大することが必ずしも直後の運動にプラスの効果をもたらしている訳ではないようである。De Renneら²⁾は、高校野球部員を対象に、13種類の重量が異なるバットを用いて、これらを4スイングした直後における、30oz. (850.5 g) のバットでのスイング速度を比較している。その結果、34oz. (963.9 g) のバットを用いた直後では、30oz. のバットを用いた直後と同等のスイング速度 (34 oz. : 26.6 m/s, 30oz. : 26.5 m/s) であったが、それよりも重量を増加したバットを用いた直後では、スイング速度が有意に減少したと報告している。また、Nelsonら¹⁹⁾は、肘関節の屈曲運動時に4種類の負荷 (無負荷, 最大屈曲力に対する15%, 30%, 45%) を与えて、その直後における肘関節の屈曲速度を比較している。その結果、負荷を与えた後の試技では、すべての被験者が「速

く感じた」と述べているにも拘らず、屈曲速度には有意な差は認められなかった。このことから、負荷が与えられた運動の直後に生じる感覚は、運動感覚の錯覚 (Kinesthetic illusion) であると述べ、実際には動作スピードに影響を及ぼしていない可能性を示唆している。本研究の結果は、Vun Huss らの研究との相違である、トレーニング試技での投球数やボール重量に検討の余地が残されるものの、このNelsonらの示唆を支持するものと考えられる。

3. ボール重量の適正範囲の検討

アシスティッドおよびレジスティッド・トレーニングにおける適正負荷の条件は、一般に運動遂行時の基本的な動作パターンを損なわないこととされている^{12) 13) 16)}。本研究では、ボール重量の増減が投球動作に及ぼす影響として、トレーニング試技における投球腕の各関節角度 (肩関節の内転、水平内転、内外旋、肘関節の屈伸角) に着目した。その結果、規格化された各関節の平均角度には試技間で有意な差は認められなかった (Fig.3, Fig.4)。このことは、基準球に対して $\pm 20\%$ の範囲でのボール重量増減が、野球の投球運動におけるこれらのトレーニング法の適正条件を満たしている可能性を示唆するものといえる。しかし、野球の投球運動においては、大きなボール初速度を發揮することと同時に目標に対する正確な投球が要求されることから⁶⁾、適正条件については、基準球での投球の正確性に及ぼす影響を考慮する必要がある。本研究では、 $-15\%_{\text{test}}$ 、 $-20\%_{\text{test}}$ 、 $+15\%_{\text{test}}$ および $+20\%_{\text{test}}$ において、他の試技と比べて投球の正確性が低下する傾向が示された (Fig.6)。このことは、既に述べたように、トレーニング試技におけるリリース直前の手指の力量感覚が通常感覚と比較的大きく異なったためと考えられる。したがって、基準球に対して $\pm 15\%$ 以上重量を増減したボールを用いることは、既に獲得している、あるいは獲得しようとしている基準球での適切なリリース感覚を損なう危険性があると考えられる。このことを長期的な観点からみた場合に、投球の正確性にどのよう

な影響を及ぼすかは本研究では明らかでない。しかし、即時的とはいえども、このような感覚の‘ずれ’が生じるために、実践現場の選手や指導者から重量を増減したボールを利用することに対して否定的な意見も示されている³⁾。これらのことから、特にトレーニング課題に投球の正確性の改善や安定が含まれる選手もしくは時期においては、ボール重量の増減を基準球に対して $\pm 10\%$ 以内とすることが望ましいと考えられる。

V. まとめ

本研究では、大学野球部員を対象にして、ボール重量の増減が野球の投球運動に及ぼす影響と、重量を増減したボールの投球が、アシスティッドおよびレジスティッド・トレーニングとして通常の投球に及ぼす即時効果を検討した。実験には、145 g の硬式野球ボールを基準球 ($\pm 0\%$) として、5%刻みに $\pm 20\%$ の範囲で重量を増減した9種類のボールを用いた。これらのボールを投球したトレーニング試技と、その直後に基準球を投球したテスト試技のそれぞれにおいて、投球腕の各関節角度 (肩関節の内転、水平内転、内外旋、肘関節の屈伸角) とボール速度を3次元的に分析した。また、投球時に目掛けた的に対するボールの的中位置を算出した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) トレーニング試技におけるボール重量とボール初速度の間には概ね反比例の関係がみられた。
- (2) テスト試技の SL_{test} から $-20\%_{\text{test}}$ までの範囲では、 SL_{test} から $-10\%_{\text{test}}$ までボール初速度が順次増大したが、 $-10\%_{\text{test}}$ から $-20\%_{\text{test}}$ にかけてはボール初速度が順次減少した。 SW_{test} から $+20\%_{\text{test}}$ までの範囲では、ボール初速度に差はみられなかった。
- (3) 投球腕の各関節角度は、トレーニング試技、テスト試技のいずれにおいても、分析区間 (踏出し脚接地時からボールリリース時まで) の全ての範囲で試技間に有意な差は認められなかった。

(4) 的に対するボールの的中位置は、トレーニング試技においては差がみられず、テスト試技においては、 $-15\%_{\text{test}}$ および $-20\%_{\text{test}}$ で他の試技と比べてボールがより上方への中し、 $+15\%_{\text{test}}$ および $+20\%_{\text{test}}$ ではより下方への中した。

引用・参考文献

- 1) DeRenne, C. : The donut : Dose it improve bat velocity?. National strength and conditioning association journal 13(3) : 43-45, 1991.
- 2) DeRenne, C., Ho, K., Hetzler, R. K. and Chai, D. X. : Effect of warm up with weighted implements on baseball bat swing velocity. Journal of Applied Sports Science Research 6(4) : 214-218, 1992.
- 3) Escamilla, R. F., Speer, K. P., Fleisig, G. S. and Barrentine, S. W. : Effect of throwing overweight and underweight baseballs on throwing velocity and accuracy. Sports Medicine 29(4) : 259-272, 2000.
- 4) グルガリガ, O. Y. (訳) 小野耕三 : 投てきのトレーニング. ホメンコフ, L. S. (編) 陸上競技トレーナー用教科書. pp434-442, ベースボール・マガジン社, 東京, 1978.
- 5) 石井喜八, 上平雅史, 入川松博, 鈴木久雄 : 球技の選手の投能力. 昭和51年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 No.1 投能力の向上に関する研究 : 29-33, 1976.
- 6) 石田和之, 平野裕一 : 投球スピードを高める. Japanese Journal of Sports science 15(5) : 297-300, 1996.
- 7) Jarver, J. : Varied resistance in power development. Modern Athlete 10(6) : 5-8, 1973.
- 8) Kanishevsky, S. : A universal shot. Soviet Sports Review 19(4) : 207-208, 1984.
- 9) 川合悟, 木下博, 生田香明 : 物体重量の変化と摘み力の関係からみた精密把握運動の摘み力制御について. 体力科学 43(4) : 247-258, 1994.
- 10) 木下博, 葛原憲治, 生田香明 : 手指による精密把握動作に対する物体重量と把握面の摩擦状況の影響. 日本バイオメカニクス学会 (編) バイオメカニクス研究 '90. pp112-118, メディカルプレス, 東京, 1990.
- 11) Konstantinov, O. : Training program for high level javelin throwers. Soviet Sports Review 14(3) : 130-134, 1979.
- 12) マトヴェエフ, E. N. (訳) 小野耕三 : やり投げのトレーニング. ホメンコフ, L. S. (編) 陸上競技トレーナー用教科書. pp452-462, ベースボール・マガジン社, 東京, 1978.
- 13) マトヴェエフ, E. N. (訳) 江上 毅 : ソビエトスポーツ・トレーニングの原理. pp206-245, 白帝社, 東京, 1985.
- 14) 宮西智久, 藤井範久, 阿江通良, 功力靖雄, 岡田守彦 : 大学野球選手における遠投および速投動作の3次元的比較研究. 体育学研究 40(1) : 89-103, 1995.
- 15) 村木征人, 阿江通良, 宮下憲, 伊藤信之 : 等張性トウ・トレーニングにおける適正牽引力とトレーニングの即時効果. 昭和63年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 No.10 スプリントアシスティッド・トレーニングに関する研究(第1報) : 9-27, 1988.
- 16) 村木征人 : スポーツ・トレーニング理論. pp118-136, ブックハウスHD, 東京, 1994.
- 17) 森本吉謙, 村木征人 : ボール重量が野球の投球におけるスピードと正確性に及ぼす影響. スポーツ方法学研究 14(1) : 85-93, 2001.
- 18) Singer, R. N. : Figural after-effects. Motor learning and human performance. pp263-264. MacMillan publisher, New York, 1968.
- 19) Nelson, R. C., Nofsinger, M. R. : Effect of overload on speed of elbow flexion and the associated after-effects. Research Quarterly 36(2) : 174-182, 1965.
- 20) 高橋佳三, 阿江通良, 藤井範久, 島田一志, 尾崎哲郎 : 野球のピッチングにおける手および指の動きとボール速度増加の関係. バイオメカニクス研究 4(2) : 116-124, 2000.
- 21) Tancred, B., Tancred, D. : The effects of using a 'Heavy' discus in training by novice U/15 year old schoolboys. Athletics coach 11(4) : 9-11, 1977.
- 22) Toyoshima, S., Miyashita, M. : Force-velocity relation in throwing. Research Quarterly 44(1) : 86-95, 1973.
- 23) Vasiliev, L. A. : Use of different weight to develop specialized speed-strength. Soviet Sports Review 18(1) : 49-52, 1983.
- 24) Vun Huss, W. D., Albrecht, L., Nelson, R., Hagerman, R. : Effect of overload warm-up on the velocity and accuracy of throwing. Research Quarterly 33(3) : 472-475, 1962.
- 25) 渡辺隆嗣, 佐藤由喜子, 大藪由夫, 高橋邦郎, 佐藤宣鉦 : 種々の投球動作におけるBall WeightとBall Velocityの関係. 工学院大学研究論叢 18, 287-304, 1980.
- 26) Winter, D. A. : Biomechanics and motor control of human movement. pp36-43, 2nd ed, Wiley-Interscience publication, New York, 1990.
- 27) Zatsiorsky, V. M. : Science and practice of strength training. pp143-166, Human Kinetics, Illinois, 1995.