

2013 年度 修士論文

アメリカンフットボールのクォーターバックにおける
投球動作の運動学的分析

—静止立位からの投球とランニングスローの比較—

Kinematic analysis of throwing in Quarterbacks
—Difference between static and running throw—

早稲田大学 大学院スポーツ科学研究科
スポーツ科学専攻 コーチング科学研究領域

5012A053-4

又 あゆみ

MATA, Ayumi

研究指導教員： 岡田 純一 准教授

目次

<u>I. 緒言</u>	1
<u>II. 方法</u>	5
1. 対象	5
2. 動作課題	5
3. 測定項目	7
1) 球速測定	7
2) 動作の映像記録	7
4. 分析	9
1) データ抽出	9
2) 動画解析	9
3) 局面分け	11
5. 統計処理	15
<u>III. 結果</u>	16
1. 球速の比較	16
2. 関節角度の比較	16
3. Late Cocking および Acceleration における各関節の平均角速度の比較	22
4. S 試行における球速を予測する回帰分析	23
5. R 試行における球速を予測する回帰分析	23
6. 測定値一覧	25
<u>IV. 考察</u>	28
1. S 試行と R 試行の比較	28
2. S 試行における球速に影響を与える因子	33
3. R 試行における球速に影響を与える因子	34
4. 先行研究との比較	36
5. 考察まとめ	39
<u>V. 結論</u>	41
<u>参考文献</u>	42
<u>謝辞</u>	46

I . 緒 言

アメリカンフットボールは 1 チーム 11 人で行う攻守交替制の競技である．攻撃側が 4 回の攻撃で 10 ヤード以上進めば新たに攻撃権を得られ，その攻防を繰り返しながら相手の陣地の最奥にボールを運び込めば得点となる¹⁾．ボールを敵陣に運ぶ攻撃の種類は 2 つある．一つはランプレイと呼ばれる，ボールを持って走るプレイである．もう一つはパスプレイと呼ばれ，クォーターバック(以下 QB)というポジションの選手がボールを投げてワイドレシーバーと呼ばれる受け手がそのボールをキャッチすることで成立するプレイである¹⁾．このパスプレイは，成功すれば攻撃チームは大きく前進できるが，その反面ボールが宙に浮いてしまうため防御チームにボールを奪われる危険性も大きいというデメリットがある．したがって，QB は防御チームにボールを奪われないように速い球を投げることが要求されると考えられる．

アメリカの大学およびプロフットボールリーグ(NFL)の QB の平均投球速度は 88km/時と報告されている¹⁰⁾が，日本の大学および社会人フットボールリーグの QB の平均投球速度は 78km/時であった．秒速に直すとそれぞれ 24.4m/s, 21.7m/s となり，その飛距離は 1 秒間に約 3m の差がつくことがわかる．アメリカンフットボールのように，投球されたボールをいち早く受け取るためには速い投球が期待されるが，アメリカの大学や NFL の QB と日本人 QB とでは球速に大きな差があるといえる．つまり，日本人 QB は球速を向上させることが競技におけるパフォーマンスの向上につながると考えられる．

上肢にとって最も過酷な活動はスポーツにおけるオーバーヘッド動作である．ここにおけるオーバーヘッド動作とは，単にオーバーハンドの投球動作のことを指すのではなく，肘が肩の高さまで上がり，手部が頭

より上がるような動作全般をオーバーヘッド動作と呼び，そのような動作を含むスポーツをオーバーヘッドスポーツと呼ぶ²⁴⁾．つまり，野球や槍投げだけでなくテニスやバレーボール，ハンドボール，バドミントン，水球，水泳，そしてダイビングなども含まれる．投球をはじめとするオーバーヘッドスポーツによるオーバーユース症候群の発症が頻繁に報告されているが，その典型的な原因は肩関節や肘関節に反復的な負荷がかかることである²⁹⁾．さらに，プロハンドボール選手においては60%が股関節に傷害を負っているとL'Hermetteらは報告している²³⁾．このような上肢および下肢の傷害は，オーバーヘッドにおける適切な動作を適用することによってその危険性を減少させることができ，選手のパフォーマンスを向上させることが可能となる．

近年，オーバーヘッド動作において運動連鎖によるエネルギーの伝達が報告されている^{2,5,6,8,9,11,12,32)}．運動連鎖は，比較的大きな体節や筋群の生成したエネルギーが，体幹を通して投球腕，手関節，最終的にはボールに伝達することを指した用語である²⁴⁾．連鎖内の個々の体節の動きは，伝達されるエネルギーを増強させる機能を持っており^{5,8)}，貢献する体節が多いほど末端の速度増加が期待できる²⁶⁾．オーバーヘッド動作において並進および回転運動を行う体節は下肢，腰，脊柱，上肢帯，上腕，前腕，手部であることが報告されている^{2,5,6,9,11,32)}．つまり，足関節，膝関節，股関節，椎間関節，胸鎖関節，肩関節，肘関節，橈尺関節，手関節が回転軸となり，体節が回転する．これらの体節によって運動連鎖が適切に実行されれば，エネルギーの損失が減少し，運動効率が増加すると考えられる．

Groppel¹⁵⁾は下肢が床反力を生み出すといった理由から，この運動連鎖は地面から始まると述べている．また，Toyoshimaらは，種々の動作

でボールを投げさせた場合において、ステップを用いる投げ方ではボール速度の 46.9%がステップと身体の回転によるものとした³¹⁾。Stodden らは骨盤、体幹の動きと球速との関係について検討した結果、球速の増大には肩関節最大外旋時の骨盤と体幹の向き、Arm Cocking における骨盤と Acceleration における体幹の回転速度が関与していると報告した²⁸⁾。また、ストライドが大きいほど球速が大きくなることや、体幹や骨盤の向きを決定する要因として股関節の受動的可動域が関係することも報告されている²⁸⁾。このように、オーバーヘッド動作における下肢および体幹の重要性が提唱されている。

QB の投球動作と類似したものとして、野球のピッチングが挙げられる。しかし、QB とピッチャーの投球では大きく異なる点がある。ストライドはピッチャーの方が有意に大きく、ボールリリース時に QB はピッチャーほど体幹を前傾させず、直立に近い状態である¹⁰⁾。また、同時に QB は肘がより屈曲(lead with the elbow)した状態である¹⁰⁾。競技場面を想定すると、QB は常にディフェンス選手から逃げながら投球することが求められるため、走りながら、タックルされながら、あるいは跳躍しながら投球することがしばしばある。特に、踏込脚が接地する前にボールリリースをする時には、ピッチャーのように運動連鎖による下肢からのエネルギーの伝達^{5,8)}は減少すると考えられる。そのため、体幹の捻転動作によるエネルギーの伝達や、上肢の運動によるボールを加速する力が大きくなることが予想される。また、アメリカンフットボールのボール(420g)は野球のボール(140g)に比べて約 3 倍の重量があるため、肩関節の外旋角度が小さい¹⁰⁾ということがわかっており、体幹の回旋動作の貢献が大きくなることが予想される。

Fleisig ら¹⁰⁾は野球のピッチングと QB のパスによる投球動作を運動

学的に比較し、ストライド長の差や体幹の前傾角度の差を報告した。しかしこれは、野球のピッチングは QB の投球よりも有意に投球時間が長いにも関わらず、QB の投球を野球のピッチングと同様の局面分けをして比較したものであった。そこで Kelly ら²¹⁾は、QB の投球を新たに 4 つの局面に分け、それぞれの局面における投球肩の筋活動を調査した。QB の投球における筋活動の特徴として、accelerators として肩甲下筋、大胸筋、広背筋が Acceleration から Follow-through にかけて活発に働いていたと報告した。

このように、QB の投球に関してはピッチングと比較したもの、局面分けをしたもの、上肢の筋活動を報告したものしかなく、全ての研究において QB は静止状態からの投球のみを行っていた。しかし前述のように、QB は競技的に走行中や跳躍中からの投球を強いられることが多々ある。つまり、静止状態からの投球のように床反力による運動連鎖を起こすのは難しいと考えられる。そのうえで QB は正確により速い球を投げることが要求される。したがって、静止状態からの投球だけではなく、走行中の投球を運動学的に分析し、それぞれにおいて球速を向上させる要因を明確にする必要があると考えられる。

そこで本研究は、QB における静止状態からの投球とランニング状態からの投球における下肢および体幹の運動学的差異を明らかにし、それぞれにおいて球速に影響を与える因子を明らかにすることを目的とした。

Ⅱ．方法

1. 対象

大学もしくは社会人アメリカンフットボールチームに所属する健康な男性 16 名を被験者とした．また，被験者はクォーターバックポジションを 2 年以上経験した者で，過去に傷害があっても既に完治し競技復帰している者に限定した．被験者へは事前に本研究の目的，実施内容，実験に参加する際のリスク及びメリットについての説明を行い，実験参加への承諾を得た．なお，本研究は早稲田大学人を対象とする研究に関する倫理審査委員会の承認を得た上で実施された(申請番号 2013-061)．

2. 動作課題

被験者に動作課題として以下の 2 種類の投球を実施させた(図 2,3)．いずれも投球位置から 10 ヤード(約 9 メートル)離れた位置に設置した防球ネットに 1 メートル四方のターゲットを接地し，それに向かって全力投球させた．なお，ターゲットの中心の高さは地面から 1.5m とした．投球に用いたボールは皮革製ウィルソン F1005(Wilson 社製)である(図 1)．周径 53cm，重量 420g であり公式球としても使用されるものである．



図 1. 実験に用いたボール

静止立位からの投球(S 試行)：直立した状態から助走をつけずに踏込脚を一步だけ踏み込んで投球させた(図 2, 3)。

ランニングによる助走をつけての投球(R 試行)：ターゲットに向かって踏込脚側(右手投げの QB の左側)から助走し，支持脚で跳躍し，踏込脚が接地する前にボールをリリースさせた(図 2, 3)。

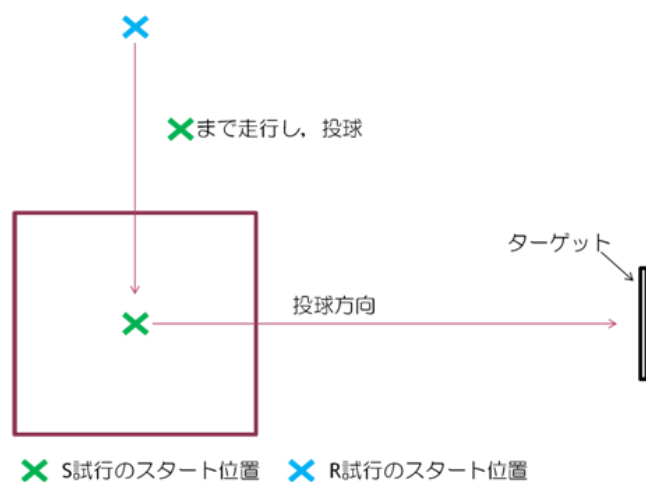


図 2. 各試行におけるスタート位置



図 3. S 試行(上)および R 試行(下)の連続写真

動作課題の開始に先立ち，投球の方法を十分に説明した．また，傷害予防のため全力投球を含むウォーミングアップを十分に行わせた．

被験者は S および R 試行の投球をそれぞれ 5 回投球した．なお，ターゲットから外れた投球はカウントしなかったため，実際には 5～8 回の投球を行った．各投球間には被験者による任意の休憩を挟んだ．

3. 測定項目

1) 球速測定

被験者が投げたボールの球速を全てスピードガン (SPEEDSTER V, Bushnell 社製) を用いて測定した．検者はターゲットを設置したネットを挟んで被験者と相対する位置でネットから 1m 離れた位置に直立し，肘を 90 度屈曲位に保ちスピードガンを被験者がいる方向に向け，球速を測定した．

2) 動作の映像記録

被験者の動作課題を，高速度ビデオカメラ 4 台 (EX-F1, カシオ計算機株式会社製) を用いて，被験者の右前方，左前方，右後方，左後方から撮影した．図 4 に，本研究におけるビデオカメラの配置位置を示した．ビデオカメラは撮影範囲の中心から 8.0m，地面から 1.15m の地点に三脚を用いて設置した．被験者の利き手の違いによってカメラの設置は変更しなかった．

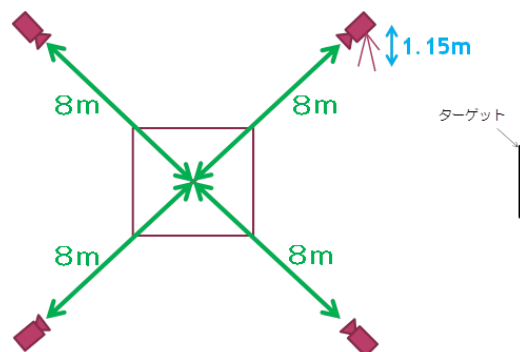


図 4. ビデオカメラの設置位置

映像の撮影の前に、被験者の頭頂，第七頸椎，両肩峰，両大腿骨大転子，両膝関節裂隙，両外果，両第五中足骨骨底に約 4cm 四方の色マーカーを貼付した．また，両肘関節中心，両手関節にはマーカーとなるバンドを装着した(図 5)．

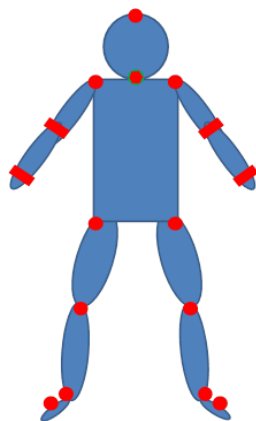


図 5. マーカーの装着位置

また，同期用 LED(シンクロナイザ，ディケイエイチ社製)を運動開始前に点滅させ，4 台のカメラ映像の同期に使用した．カメラのフレームレートは 300fps，シャッタースピードは 1/1000 秒とした．なお，動作課題の撮影後に，キャリブレーションポール（高さ 2m，較正点 3 ヶ所）を撮影範囲内の 9 ヶ所に垂直に立て，順に撮影した(図 6)．

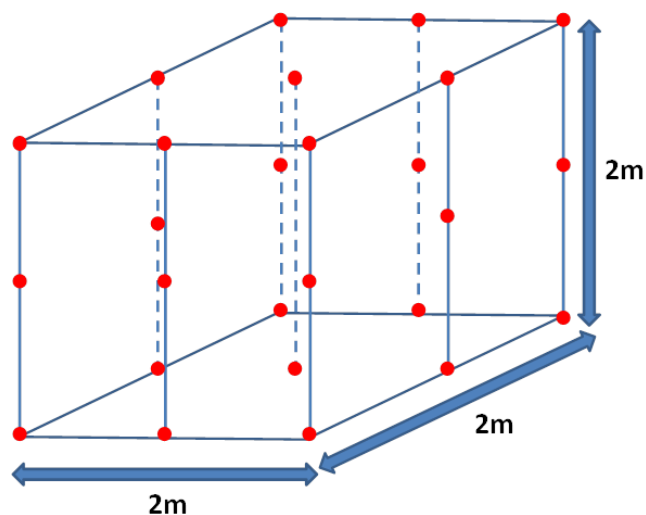


図 6. キャリブレーションポールを立てた位置と較正点

4. 分析

1) データ抽出

投げたボールがターゲットから外れた試技はカウントせず，5回の試技の球速の変動係数が5%未満の被験者を抽出した．これによって3人のデータを除外した．また，天候や日照の影響によりマーカーが映っていない映像データを棄却し，更に3人のデータを除外した．

抽出された9人の被験者について，5回の試技のうち最も速い球を投げた1回の試技を動画解析の分析対象とした．

2) 動画解析

撮影した映像は，動作解析ソフトウェア（3D Calculator，キッセイコムテック株式会社製）上で，デジタイズを施し DLT 法（Direct Linear Transformation Method，池上，1983）によって各分析点の三次元座標を算出した．また，算出した波形データに対し 10Hz でスムージングした．

ターゲットに向かって投球する方向を Y 軸，Y 軸と直角に交わる線を X 軸，垂直軸を Z 軸と定めた(図 7)．

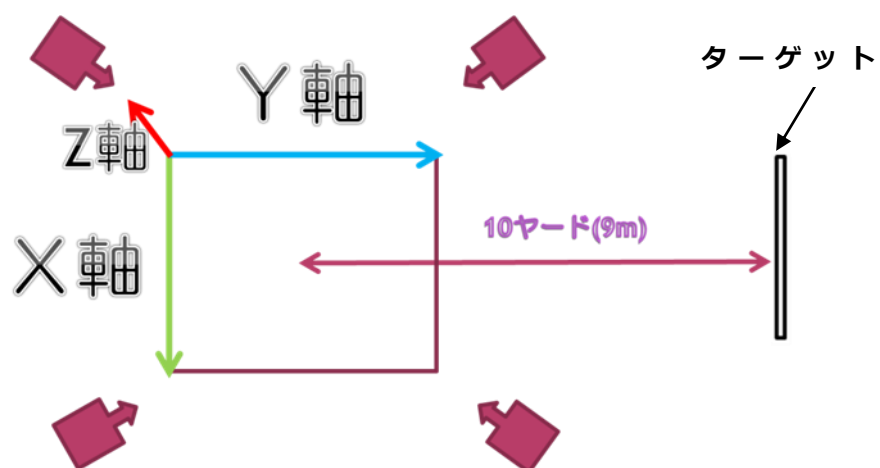


図 7. 基本軸の定義

左利きの被験者は，撮影に関しては投球の方向が反対となるが，データ処理をした後，X方向の座標を反転し，各分析点の左右を入れ替え，右利きの被験者と同じとなるようにした²⁰⁾。

上記の三次元座標から，以下のように定義した関節角度を算出した。

1. 体幹角度

XY平面上において，左右の肩峰を結ぶ線と左右の大腿骨大転子を結ぶ線が為す角を体幹の回旋角度とした．投球腕の肩峰が同側大腿骨大転子よりY軸上でマイナス方向にあるとき，体幹の回旋は正の値となり，肩峰が大腿骨大転子よりもプラス方向にあるときには負の値となる．

また，Y軸と左右の肩峰を結ぶ線が為す角を体幹上部の向きとし，Y軸と左右の大腿骨大転子を結ぶ線が為す角を骨盤の向きとした．この時，ターゲットネットに身体の前面を向けている状態(オープン)においてマイナスの値となり，ターゲットネットに身体の後面を向けている状態(クローズ)においてプラスの値となる(図8)。

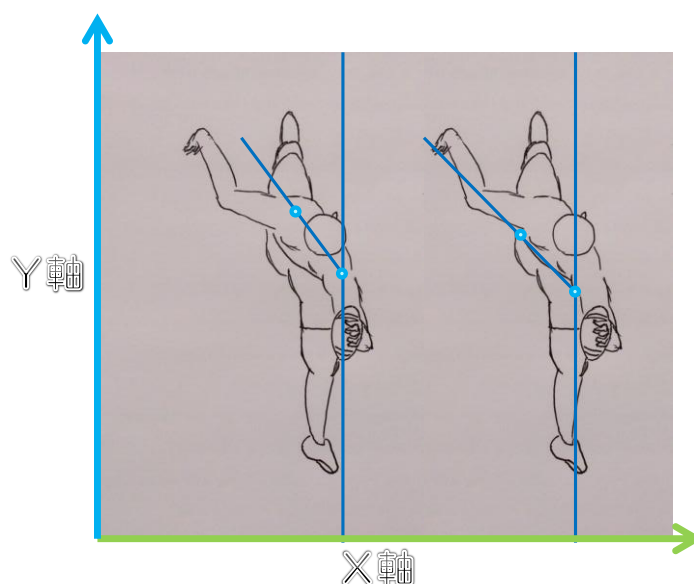


図 8. 体幹上部の向き(左)と骨盤の向き(右)

2. 股関節角度

肩峰と大腿骨大転子を結ぶ線と大腿骨大転子と膝関節中心を結ぶ線がなす角を股関節角度(体幹×大腿)とした。左右の大腿骨大転子を結ぶ線と大腿骨大転子と膝関節中心を結ぶ線がなす角を股関節角度(骨盤×大腿)とした(図 9)。

なお、いずれも基本的解剖学的肢位を 0 度とし、マイナスの値が伸展および内転の角度であり、プラスの値が屈曲および外転の角度である。



図 9. 股関節の角度の定義 体幹×大腿(左)および骨盤×大腿(右)

動作課題中の関節角速度は算出した角度の波形を微分して求めた。

3)局面分け

Kelly ら²¹⁾は QB のパスによる投球動作を 4 つの局面に分けた(図 10)。支持脚が地面に着いた瞬間から投球腕の肩関節が最大外転位をとるまでを Early cocking, 投球腕の肩関節が最大外転位をとってから投球腕の

肩関節が最大外旋位をとるまでを **Late cocking**，投球腕の肩関節が最大外旋位をとってからボールをリリースするまでを **Accelelation**，ボールをリリースしてから投球腕の肩関節が最大水平内転位をとるまでを **Follow-through** としている²¹⁾。

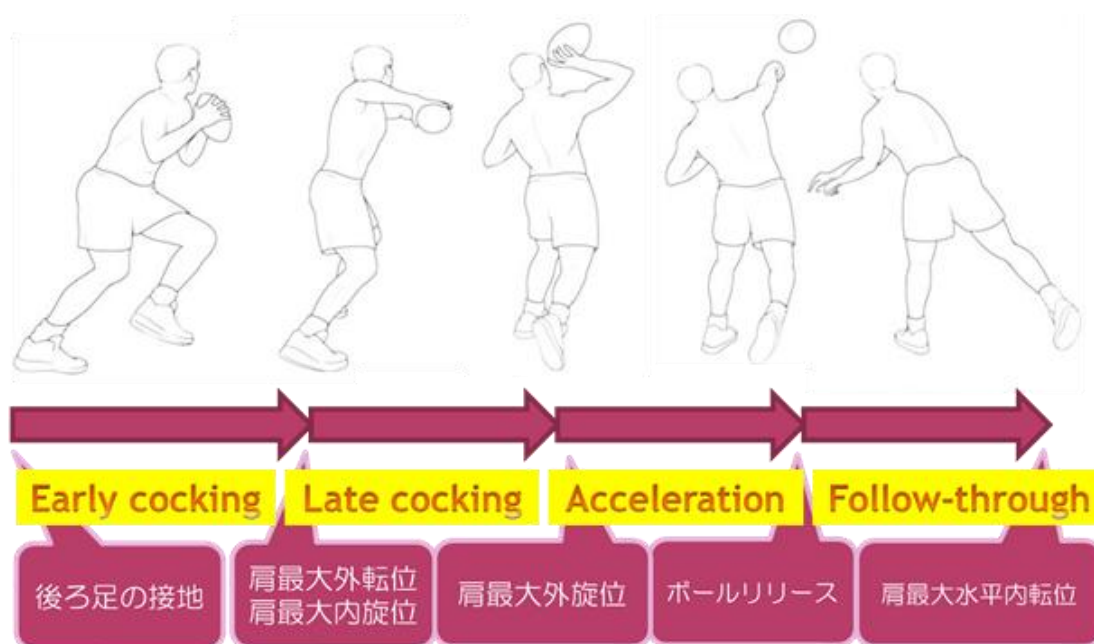


図 10. Kelly ら(2002)による局面分け

一方，野球のピッチングにおける局面分けによると，ストライド期の初めに踏込脚が投球方向へ動き出し，支持脚が伸展し始めるとされている⁶⁾．本研究における S 試行では，野球のピッチング動作との比較を考慮し，支持脚が既に接地した状態から投球を始めさせた．QB の投球にはwindアップ期はなく，踏込脚が離地した後すぐに投球方向へ動き出す．そこで，S 試行における **Early cocking** のスタートを，支持脚が伸展を始める直前に膝関節が最大屈曲位をとる瞬間とした．また，予備実験において，肩関節最大外旋角度と Z 軸上における頭頂のマーカールとボールの中心の最短垂直距離が同時に出現していたため，本研究において **Accelelation** のスタートを頭頂～ボールの最短垂直距離とした(図 11)。

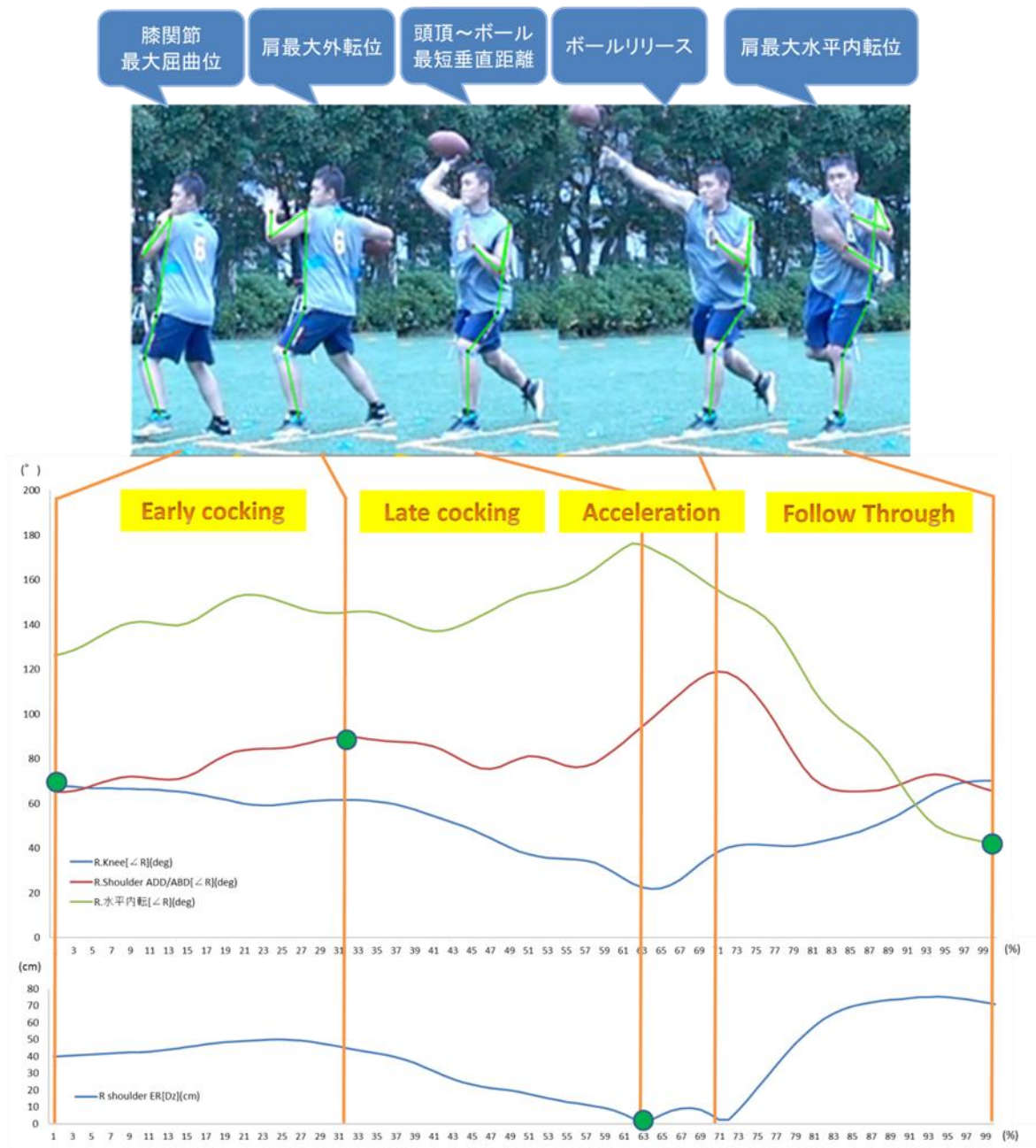


図 11. 本研究における S 試行の局面分け

また，R 試行では投球腕の肩関節最大外転が支持脚接地に先行して起こるため，Early Cocking 以外の 3 局面で構成されるものとした(図 12)。

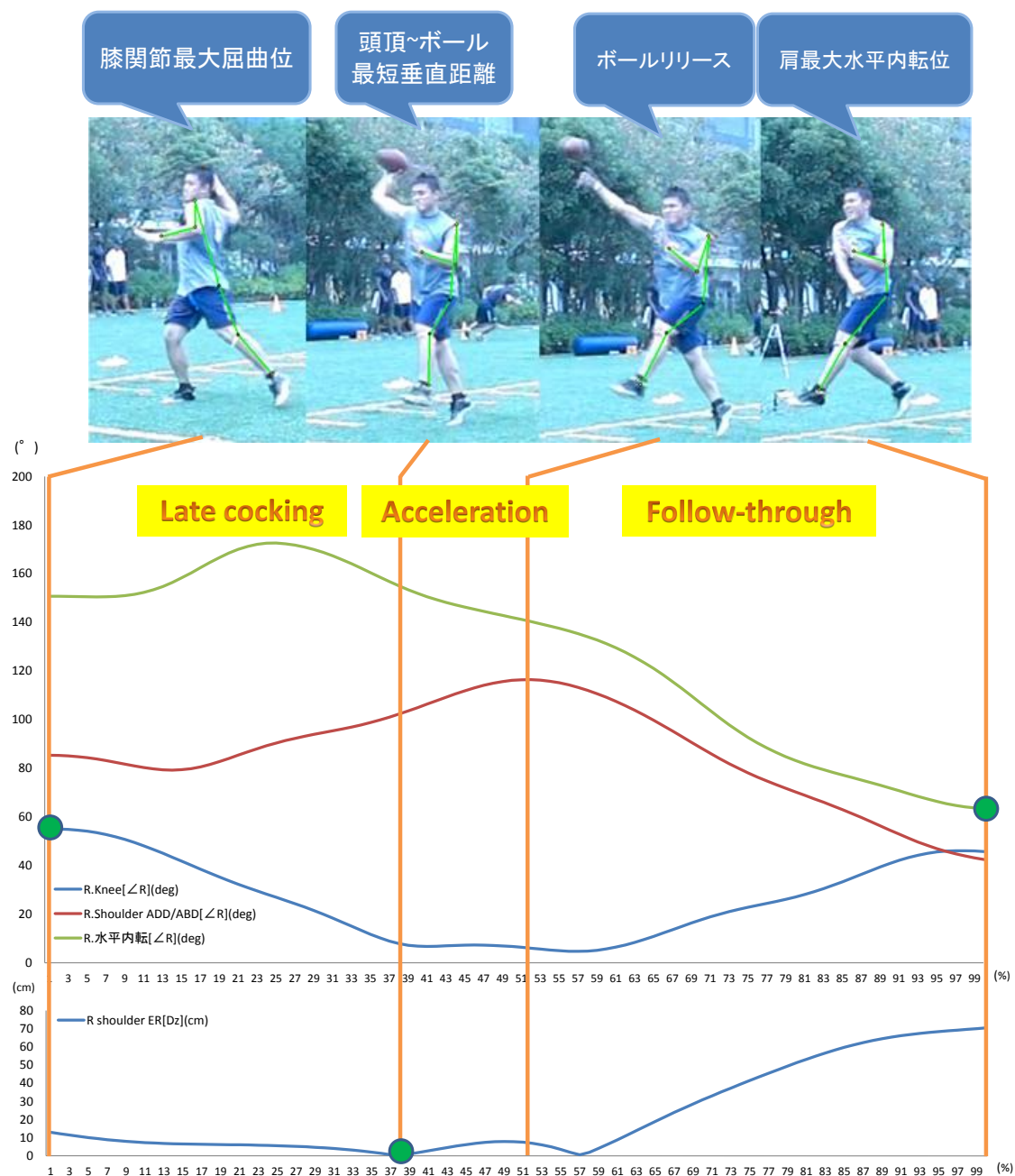


図 12. 本研究における R 試行の局面分け

上記の局面のうち，Late Cocking および Acceleration における平均角速度を算出した．関節角度は肩関節最大外転位 (R 試行における膝関節最大屈曲位)，頭頂～ボール最短垂直距離，ボールリリースの 3 時点を採用した．

5. 統計処理

1. 球速及び投球時間の比較

各試行における球速及び投球に要した時間(Late Cocking～Acceleration, 以下投球時間)の平均値を対応のある t 検定によって比較した。

2. 関節角度の比較

肩関節最大外転位, 頭頂～ボール最短垂直距離, ボールリリース時における各関節角度の平均値を対応のある t 検定によって比較した。また, 肩関節最大外転位, 頭頂～ボール最短垂直距離, ボールリリース時における各関節角度の変化を, 二元配置分散分析(群間×局面)を用いて分析した。二元配置分散分析の結果について, 各要因の単純主効果の検討を行い, 有意な交互作用が認められた場合および有意な交互作用が認められず, 主効果が見られた場合に Bonferroni の多重比較検定を実施した。

3. 各関節における角速度の比較

Late Cocking および Acceleration において, 試行間の各関節平均角速度を対応のある t 検定によって比較した。

5. 各試行における球速に影響を与える因子

各試行において, 球速を予測する回帰式をステップワイズ法を用いて求めた。この時, 球速を従属変数とし, 肩関節最大外転位, 肩関節最大外旋位, ボールリリース時における各関節角度および Late Cocking と Acceleration における各関節角速度を独立変数とした。

すべての統計処理には, 統計解析ソフト(SPSS statistics version20, IBM 社製)を使用した。なお, 危険率 5%未満 ($p<0.05$) をもって有意とした。

Ⅲ．結果

1. 球速の比較

各試行における球速および投球時間の平均値及び標準偏差を表 1 に示した．

S 試行における球速 ($78.1 \pm 2.3 \text{ km/h}$) は R 試行における球速 ($69.6 \pm 2.2 \text{ km/h}$) よりも有意に高値を示した ($p < 0.05$)．また，S 試行における投球時間 (0.42 ± 0.07 秒) は R 試行における投球時間 (0.35 ± 0.05 秒) よりも有意に長かった ($p < 0.05$)．

表 1. 球速及び投球時間の比較

変数	S 試行		R 試行		p値
	AVE	$\pm$ SD	AVE	$\pm$ SD	
球速	78.1	± 2.3	69.6	± 2.2	5.3 ⁷²
投球時間 (Late Cocking ~ Acceleration)	0.42	± 0.07	0.35	± 0.05	0.02

2. 関節角度の比較

肩関節最大外転位，ボール～頭頂最短垂直距離，ボールリリース時における各関節角度の平均値および標準偏差を試行間における有意差が認められたもののみ表 2 に示した．なお，試行間における有意差がなかった部位は章末に掲載した (表 6)．

・肩関節最大外転位において

S 試行における体幹回旋角度 ($11.47 \pm 42.71^\circ$) は R 試行における体幹回旋角度 ($51.3 \pm 12.47^\circ$) よりも有意に低値を示した ($p < 0.05$)．

S 試行における骨盤の向き ($-9.46 \pm 31.9^\circ$) は R 試行における骨盤の向き ($-48.92 \pm 17.8^\circ$) より有意に高値を示し，S 試行の方がクローズの状態にあった ($p < 0.05$)．

S 試行における支持脚・体幹×大腿 ($50.66 \pm 16.5^\circ$) は R 試行における支持脚・体幹×大腿 ($29.04 \pm 11.8^\circ$) よりも有意に高値を示し，S 試行の

支持脚・股関節は R 試行より屈曲位にあった ($p<0.05$).

S 試行における踏込脚・体幹×大腿 ($45.3\pm19.8^\circ$) は R 試行における踏込脚・体幹×大腿 ($18.0\pm10.0^\circ$) よりも有意に高値を示し, S 試行の支持脚・股関節は R 試行より屈曲位にあった ($p<0.05$).

S 試行における踏込脚・骨盤×大腿 ($13.67\pm16.9^\circ$) は R 試行における踏込脚・骨盤×大腿 ($-3.96\pm11.0^\circ$) よりも有意に高値を示し, R 試行において股関節は内転位にあった ($p<0.05$).

・頭頂～ボール最短垂直距離において

S 試行における支持脚・骨盤×大腿 ($11.23\pm10.3^\circ$) は R 試行における支持脚・骨盤×大腿 ($-3.88\pm16.1^\circ$) よりも有意に高値を示し, R 試行において股関節は内転位にあった ($p<0.05$).

・ボールリリース時において

S 試行における支持脚・体幹×大腿 ($21.64\pm6.6^\circ$) は R 試行における支持脚・体幹×大腿 ($32.79\pm12.8^\circ$) よりも有意に低値を示し, R 試行の方がより屈曲位にあった ($p<0.05$).

表2. 各時点における関節角度の比較

時点	変数	S試行			R試行			p値
		AVE	±	SD	AVE	±	SD	
	体幹回旋角度	11.47	±	42.71	51.30	±	12.47	0.02
	骨盤の向き	-9.46	±	31.9	-48.92	±	17.8	0.01
肩関節最大外転位	支持脚・体幹×大腿	50.66	±	16.5	29.04	±	11.8	0.01
	踏込脚・体幹×大腿	45.30	±	19.8	18.00	±	10.0	0.00
	踏込脚・骨盤×大腿	13.67	±	16.9	-3.96	±	11.0	0.02
頭頂部～ボール最短垂直距離	支持脚・骨盤×大腿	11.23	±	10.3	-3.88	±	16.1	0.03
ボールリリース時	支持脚・体幹×大腿	21.64	±	6.6	32.79	±	12.8	0.03

また, 各関節角度の経時的変化を以下に示した. 経時的に有意差のなかった項目は章末に掲載した(表 7).

S 試行において, 体幹回旋角度に経時的な変化は見られなかった. R

試行において，肩関節最大外転から頭頂～ボール最短垂直距離および肩最大外転からボールリリースにかけて体幹回旋角度は有意にマイナス方向に回旋していた(図 13)．

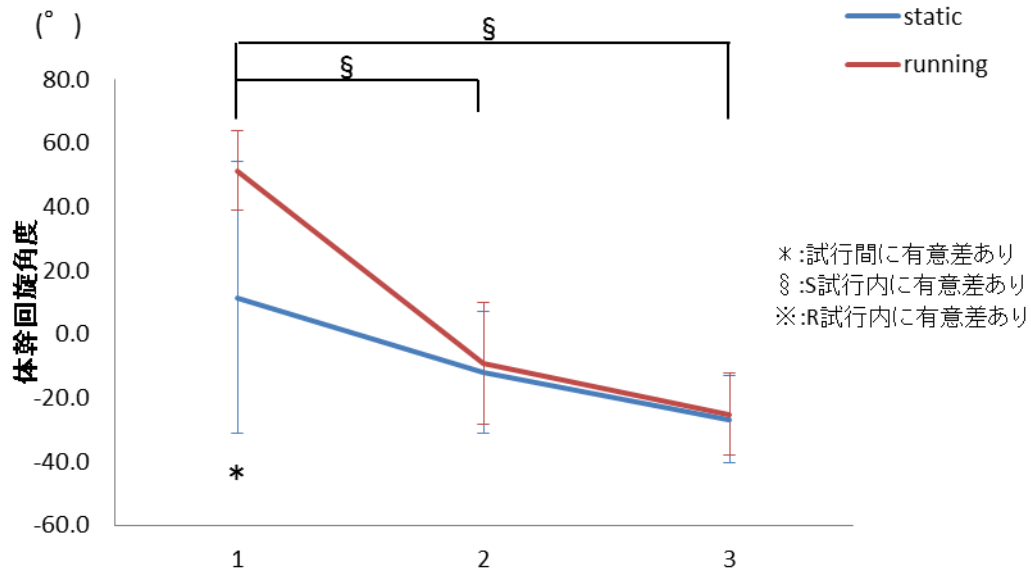


図 13. 体幹回旋の局面毎の角度
 1:肩関節最大外転
 2:頭頂～ボール最短垂直距離
 3:ボールリリース時

体幹上部の角度変化において交互作用は認められなかった．また，試行間に角度変化の差は認められなかった．ただし，両試行とも肩関節最大外転から頭頂～ボール最短垂直距離，肩最大外転からボールリリース，にかけて頭頂～ボール最短垂直距離からボールリリースにかけて体幹上部は有意にマイナス方向に回旋していた(図 14)．

S 試行において，骨盤の向きは最大外転からボールリリースおよび頭頂～ボール最短垂直距離からボールリリースにかけて有意にマイナス方向に回旋していた．R 試行において，骨盤の向きに時点毎の変化は見られなかった(図 15)．

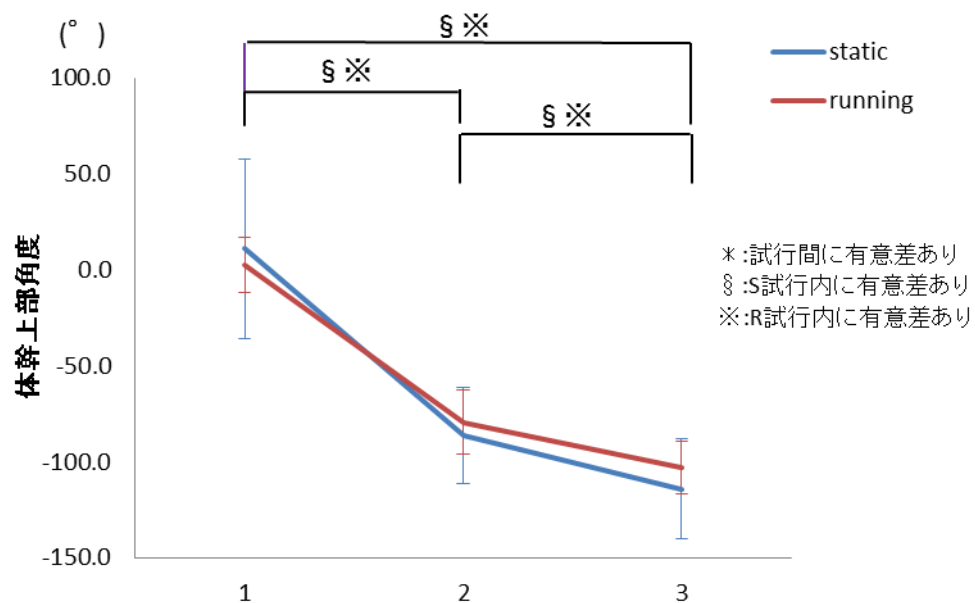


図 14. 体幹上部の局面毎の角度
 1:肩関節最大外転
 2:頭頂～ボール最短垂直距離
 3:ボールリリース時

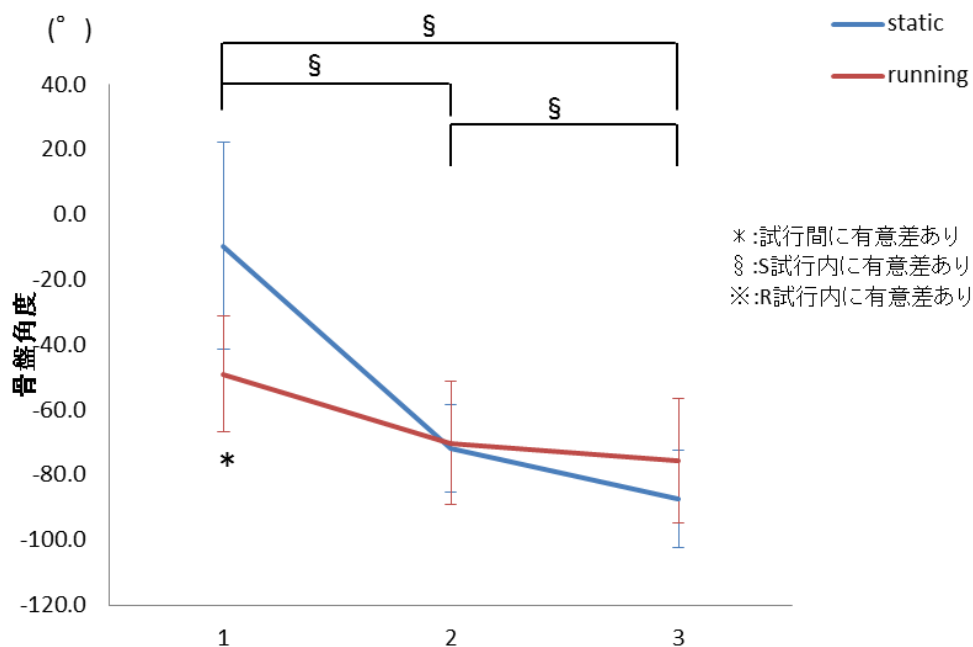


図 15. 骨盤の局面毎の角度
 1:肩関節最大外転
 2:頭頂～ボール最短垂直距離
 3:ボールリリース時

S 試行において，肩関節最大外転位から頭頂～ボール最短垂直距離にかけて，支持脚の股関節は有意に伸展していた．R 試行において支持脚の体幹×大腿角度に時点毎の変化は見られなかった(図 16)．

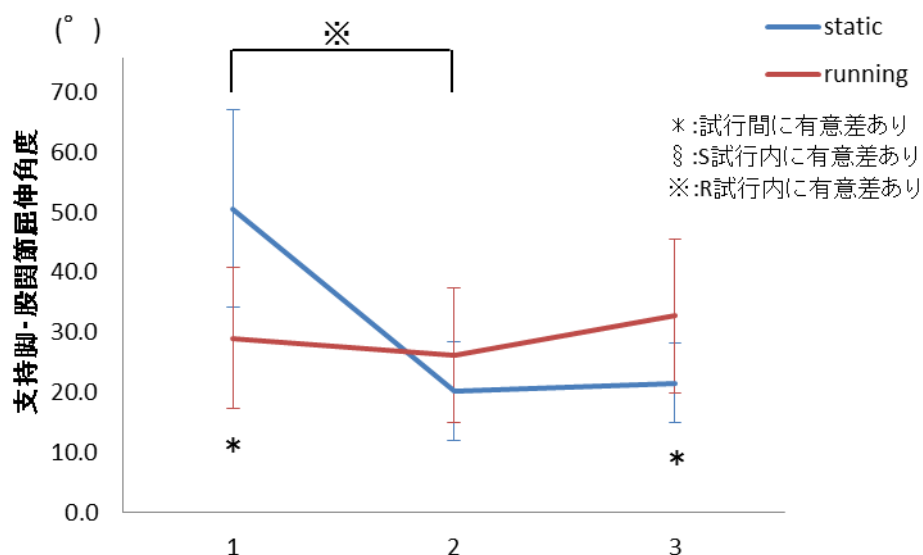


図 16. 支持脚・体幹×大腿の局面毎の角度
 1:肩関節最大外転
 2:頭頂～ボール最短垂直距離
 3:ボールリリース時

S 試行において，肩関節最大外転から頭頂～ボール最短垂直距離，肩最大外転からボールリリースおよび頭頂～ボール最短垂直距離からボールリリースにかけて支持脚・股関節は有意に内転していた．R 試行において，肩関節最大外転から頭頂～ボール最短垂直距離，肩最大外転からボールリリースにかけて支持脚・股関節は有意に内転していた(図 17)．

S 試行において，肩最大外転からボールリリースにかけて踏込脚・股関節は有意に内転していた．R 試行において，頭頂～ボール最短垂直距離からボールリリースにかけて踏込脚・股関節は有意に内転していた(図 18)．

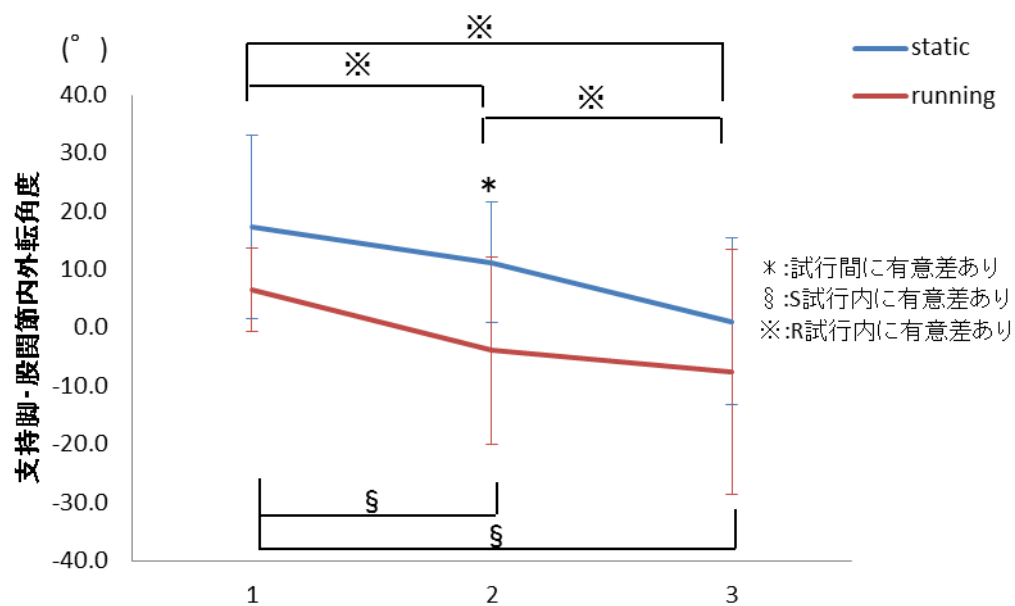


図 17. 支持脚・骨盤×大腿の局面毎の角度
 1:肩関節最大外転
 2:頭頂～ボール最短垂直距離
 3:ボールリリース時

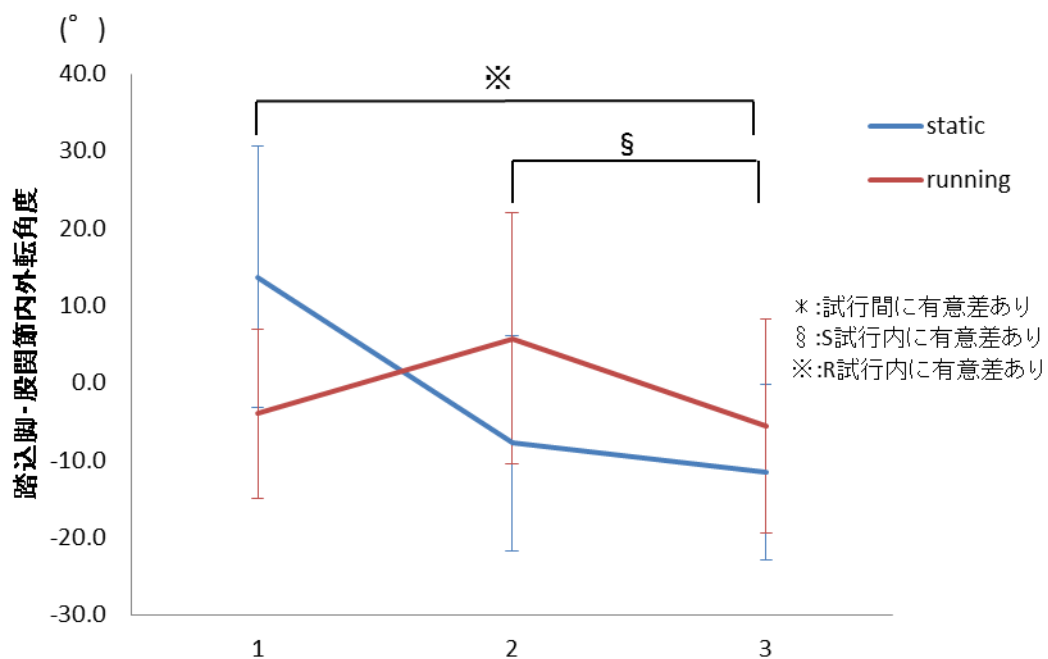


図 18. 踏込脚・骨盤×大腿の局面毎の角度
 1:肩関節最大外転
 2:頭頂～ボール最短垂直距離
 3:ボールリリース時

3. Late Cocking および Acceleration における各関節の平均角速度の比較

Late Cocking において，試行間の各関節平均角速度を対応のある t 検定によって比較した．算出した平均値及び標準偏差を表 3 に示した．なお，試行間に有意差が認められないものは章末に掲載した(表 8)．

S 試行における体幹回旋平均角速度($-76.4 \pm 123.3^{\circ} / s$)は R 試行における体幹回旋平均角速度($-220.2 \pm 55.3^{\circ} / s$)に比べて有意に高値を示した．S 試行における骨盤の平均角速度($-224.0 \pm 100.4^{\circ} / s$)は R 試行における骨盤の平均角速度($-91.9 \pm 72.5^{\circ} / s$)に比べて有意に低い値を示した．S 試行における支持脚・体幹×大腿の平均角速度($-100.2 \pm 62.5^{\circ} / s$)は R 試行における支持脚・体幹×大腿の平均角速度($-22.1 \pm 88.3^{\circ} / s$)に比べて有意に低い値を示した．S 試行における踏込脚・体幹×大腿の平均角速度($-18.7 \pm 45.0^{\circ} / s$)は R 試行における踏込脚・体幹×大腿の平均角速度($63.1 \pm 92.9^{\circ} / s$)に比べて有意に低い値を示した．S 試行における踏込脚・骨盤×大腿の平均角速度($-71.0 \pm 63.5^{\circ} / s$)は R 試行における踏込脚・骨盤×大腿の平均角速度($45.2 \pm 58.3^{\circ} / s$)に比べて有意に低い値を示した．

表3. Late Cockingにおける各関節の平均角速度

部位	S試行			R試行			p値
	AVE	±	SD	AVE	±	SD	
体幹回旋平均角速度	-76.4	±	123.3	-220.2	±	55.3	0.01
骨盤の平均角速度	-224.0	±	100.4	-91.9	±	72.5	0.01
支持脚・体幹×大腿の平均角速度	-100.2	±	62.5	-22.1	±	88.3	0.05
踏込脚・体幹×大腿の平均角速度	-18.7	±	45.0	63.1	±	92.9	0.03
踏込脚・骨盤×大腿の平均角速度	-71.0	±	63.5	45.2	±	58.3	0.00

Acceleration において，試行間の各関節平均角速度を対応のある t 検定によって比較したが，いずれも有意差は認められなかった．

4. S 試行における球速を予測する回帰分析

S 試行における球速を予測する変数について重回帰分析を行った結果を表 4 に示した。Late Cocking における支持脚・体幹×大腿の平均角速度，頭頂～ボール最短垂直距離における踏込脚・骨盤×大腿，Acceleration における支持脚・骨盤×大腿の平均角速度の 3 変数を独立変数とする有意な回帰式が得られた。

$$Y=77.719-0.041x_1+0.149x_2+0.026x_3,$$

(x_1 = Late Cocking における支持脚・体幹×大腿の平均角速度， x_2 =頭頂～ボール最短垂直距離における踏込脚・骨盤×大腿， x_3 = Acceleration における支持脚・骨盤×大腿の平均角速度)

なお，その寄与率は 80%($r=0.892$)であった。つまり，Late Cocking における支持脚・体幹×大腿の平均角速度，頭頂～ボール最短垂直距離における踏込脚・骨盤×大腿，Acceleration における支持脚・骨盤×大腿の平均角速度によって S 試行における球速の 80%が説明される。

表4. S試行における関節角度及び角速度から球速を予測する回帰分析

	変数	定数	B	回帰係数の標準誤差	β	r	r^2	F 値	有意確率
モデル1	a	76.314	-.018	.012	-.499	0.499	0.249	2.318	0.172
モデル2	a	76.371	-.026	.009	-.715	0.799	0.639	5.303	0.047
	b		.108	.042	.661				
	a	77.719	-.041	.011	-1.131	0.892	0.797	6.524	0.035
モデル3	b		.149	.041	.913				
	c		.026	.013	.570				

a:Late Cockingにおける支持脚・体幹×大腿の平均角速度

b:頭頂部～ボール最短垂直距離における踏込脚・骨盤×大腿

c:Accelerationにおける支持脚・骨盤×大腿の平均角速度

5. R 試行における球速を予測する回帰分析

R 試行における球速を予測する変数について重回帰分析を行った結果を表 5 に示した。Acceleration における支持脚・骨盤×大腿の平均角速度，Late Cocking における骨盤の平均角速度，Acceleration における支持脚・体幹×大腿の平均角速度，ボールリリース時の骨盤の向きの 4 変

数を独立変数とする有意な回帰式が得られた。

$$Y=68.204-0.025x_1+0.026x_2-0.018x_3-0.059x_4$$

(x_1 = Acceleration における支持脚・骨盤×大腿の平均角速度, x_2 = Late Cocking における骨盤の平均角速度, x_3 = Acceleration における支持脚・体幹×大腿の平均角速度, x_4 =ボールリリース時の骨盤の向き)

なお, その寄与率は 96%($r=0.977$)であった。つまり, Acceleration における支持脚・骨盤×大腿の平均角速度, Late Cocking における骨盤の平均角速度, Acceleration における支持脚・体幹×大腿の平均角速度, ボールリリース時の骨盤の向きによって R 試行における球速の 96%が説明される。

表5. R試行における関節角度及び角速度から球速を予測する回帰分析

	変数	定数	B	回帰係数の標準誤差	β	r	r^2	F 値	有意確率
モデル1	d	69.157	-.016	.004	-.831	0.831	0.69	15.58	0.006
モデル2	d	70.246	-.020	.004	-1.074	0.904	0.82	13.48	0.006
	e		.013	.006	.433				
モデル3	d	71.243	-.026	.005	-1.358	0.944	0.89	13.64	0.008
	e		.015	.006	.498				
	f		-.013	.007	-.370				
モデル4	d	68.204	-.025	.003	-1.333	0.977	0.96	21.32	0.006
	e		.026	.006	.852				
	f		-.018	.005	-.518				
	g		-.059	.025	-.504				

d:Accelerationにおける支持脚・骨盤×大腿の平均角速度

e:Late Cockingにおける骨盤の平均角速度

f:Accelerationにおける支持脚・体幹×大腿の平均角速度

g:ボールリリース時の骨盤の向き

6. 測定値一覧

表6. 関節角度一覧

局面	変数	S試行			R試行			p値
		AVE	±	SD	AVE	±	SD	
肩関節最大外転位	体幹回旋角度	11.47	±	42.71	51.30	±	12.47	0.016
	体幹上部の向き	11.04	±	46.55	2.38	±	14.43	NS
	骨盤の向き	-9.46	±	31.86	-48.92	±	17.75	0.005
	支持脚・体幹×大腿	50.66	±	16.48	29.04	±	11.75	0.006
	支持脚骨盤×大腿	17.40	±	15.76	6.54	±	7.14	NS
	踏込脚・体幹×大腿	45.30	±	19.78	18.00	±	10.03	0.002
	踏込脚・体幹×大腿	13.67	±	16.91	-3.96	±	10.99	0.018
頭頂部～ボール 最短垂直距離	体幹回旋角度	-11.98	±	19.15	-9.27	±	19.09	NS
	体幹上部の向き	-86.42	±	24.96	-79.42	±	16.75	NS
	骨盤の向き	-71.67	±	13.45	-70.15	±	18.83	NS
	支持脚・体幹×大腿	20.27	±	8.20	26.21	±	11.18	NS
	支持脚骨盤×大腿	11.23	±	10.33	-3.88	±	16.13	0.031
	踏込脚・体幹×大腿	38.71	±	17.78	38.05	±	13.63	NS
	踏込脚・体幹×大腿	-7.80	±	13.85	5.78	±	16.22	NS
ボールリリース時	体幹回旋角度	-26.85	±	13.78	-25.24	±	12.85	NS
	体幹上部の向き	-114.12	±	25.95	-102.73	±	13.68	NS
	骨盤の向き	-87.27	±	14.94	-75.59	±	19.14	NS
	支持脚・体幹×大腿	21.64	±	6.59	32.79	±	12.82	0.034
	支持脚骨盤×大腿	1.14	±	14.29	-7.55	±	21.02	NS
	踏込脚・体幹×大腿	38.86	±	22.09	36.54	±	15.28	NS
	踏込脚・体幹×大腿	-11.52	±	11.37	-5.55	±	13.84	NS

NS:有意差なし

表7. Late CockingおよびAccelerationにおける各関節の平均角速度

局面	変数	S試行			R試行			p値
		AVE	±	SD	AVE	±	SD	
Late Cocking	体幹回旋	-76.4	±	123.3	-220.2	±	55.3	0.01
	体幹上部	-300.43	±	124.03	-320.98	±	95.14	NS
	骨盤	-224.0	±	100.4	-91.9	±	72.5	0.01
	支持脚・体幹×大腿	-100.2	±	62.5	-22.1	±	88.3	0.05
	支持脚骨盤×大腿	-23.68	±	48.43	-95.72	±	48.74	NS
	踏込脚・体幹×大腿	-18.7	±	45.0	63.1	±	92.9	0.03
	踏込脚・体幹×大腿	-71.0	±	63.5	45.2	±	58.3	0.00
Acceleration	体幹回旋	-220.16	±	55.30	-186.15	±	147.61	NS
	体幹上部	-312.03	±	41.98	-272.23	±	89.76	NS
	骨盤	-91.87	±	72.50	-86.31	±	115.27	NS
	支持脚・体幹×大腿	-22.06	±	88.31	77.06	±	65.43	NS
	支持脚骨盤×大腿	-36.10	±	77.89	-29.35	±	117.07	NS
	踏込脚・体幹×大腿	63.05	±	92.91	-31.83	±	156.88	NS
	踏込脚・体幹×大腿	45.21	±	58.30	-162.21	±	103.63	NS

NS:有意差なし

表8-1. Late Cocking～Accelerationにおける関節角速度の比較①

変数	%	S試行			R試行		
		AVE	±	SD	AVE	±	SD
体幹回旋	10	165.38	±	358.95	46.55	±	139.53
	20	173.10	±	255.90	-31.14	±	146.93
	30	49.35	±	336.29	-169.85	±	101.07
	40	-96.39	±	173.64	-231.09	±	134.26
	50	-36.68	±	212.94	-309.04	±	134.33
	60	-158.96	±	183.45	-383.25	±	111.79
	70	-224.72	±	274.62	-357.78	±	61.36
	80	-222.91	±	242.50	-365.77	±	115.61
	90	-309.75	±	187.49	-247.40	±	165.32
	100	-119.09	±	145.71	-125.16	±	162.65
体幹上部	10	-52.99	±	113.16	-80.64	±	114.58
	20	-88.18	±	128.06	-134.80	±	86.10
	30	-319.87	±	554.80	-249.54	±	60.96
	40	-294.79	±	360.48	-366.06	±	76.41
	50	-307.76	±	245.48	-404.50	±	92.91
	60	-343.51	±	197.12	-409.83	±	102.93
	70	-434.25	±	293.55	-428.87	±	130.36
	80	-462.37	±	286.25	-429.88	±	94.08
	90	-465.74	±	214.35	-354.79	±	79.20
	100	-272.98	±	159.88	-220.58	±	143.77
骨盤	10	-218.38	±	399.89	-127.19	±	116.26
	20	-261.27	±	231.85	-103.66	±	119.62
	30	-252.53	±	204.88	-79.69	±	116.97
	40	-128.54	±	133.42	-134.97	±	133.48
	50	-271.08	±	153.52	-95.46	±	103.90
	60	-184.54	±	153.50	-26.58	±	129.05
	70	-209.54	±	109.95	-71.09	±	116.01
	80	-239.45	±	126.99	-64.10	±	118.06
	90	-156.00	±	204.64	-108.73	±	148.46
	100	-153.89	±	96.94	-95.42	±	128.71

表8-2. Late Cocking～Accelerationにおける関節角速度の比較②

変数	%	S試行			R試行		
		AVE	±	SD	AVE	±	SD
支持脚・体幹×大腿	10	-61.31	±	192.49	-155.05	±	201.20
	20	-106.83	±	96.27	-73.73	±	130.41
	30	-93.98	±	80.12	-51.80	±	146.78
	40	-114.90	±	121.53	-40.49	±	149.49
	50	-114.31	±	162.73	15.16	±	155.30
	60	-188.05	±	276.16	45.32	±	135.90
	70	3.01	±	172.98	82.90	±	105.58
	80	-103.69	±	127.76	120.01	±	99.03
	90	4.24	±	193.04	83.42	±	75.97
	100	78.17	±	103.68	56.01	±	129.46
支持脚・骨盤×大腿	10	143.18	±	299.21	-36.15	±	183.67
	20	88.06	±	190.18	-54.37	±	162.50
	30	77.48	±	144.05	-7.82	±	94.54
	40	-13.53	±	147.87	-1.42	±	105.16
	50	-124.40	±	103.13	-90.36	±	92.14
	60	-197.36	±	204.68	-88.03	±	165.97
	70	-148.00	±	108.78	-69.97	±	111.84
	80	-17.49	±	88.82	-73.96	±	108.71
	90	-106.97	±	91.13	-39.37	±	130.62
	100	-86.32	±	63.55	-3.38	±	107.27
踏込脚・体幹×大腿	10	11.66	±	94.14	-102.65	±	99.65
	20	0.27	±	116.45	-52.05	±	165.67
	30	-59.60	±	150.65	43.56	±	169.70
	40	-6.80	±	148.07	165.85	±	162.94
	50	-12.66	±	73.76	185.16	±	136.70
	60	-23.80	±	158.22	158.16	±	82.54
	70	-33.01	±	122.29	154.43	±	126.01
	80	2.68	±	135.68	44.82	±	226.89
	90	-7.82	±	149.07	-18.17	±	161.05
	100	-39.88	±	98.84	-42.48	±	155.28
踏込脚・骨盤×大腿	10	-49.12	±	168.86	127.51	±	168.42
	20	-19.70	±	161.32	130.04	±	100.54
	30	-79.23	±	153.92	122.57	±	67.54
	40	-73.09	±	170.04	150.73	±	117.97
	50	-116.91	±	104.93	64.52	±	123.55
	60	-67.46	±	142.81	-92.96	±	171.49
	70	-77.02	±	50.05	-85.78	±	123.17
	80	-72.39	±	115.05	-85.48	±	167.69
	90	-85.53	±	132.12	-180.65	±	105.99
	100	-58.56	±	124.36	-160.82	±	125.65

IV. 考察

本研究は、静止状態からの投球(S試行)と走行中の投球(R試行)時の体幹および股関節動作の運動学的違いを明らかにし、それぞれについて球速に影響を与える要因を明らかにすることを目的とした。

1. S試行とR試行の比較

表1より、S試行における球速はR試行における球速よりも有意に大きいことがわかった。

Late Cocking および Acceleration にかけて、S試行では骨盤が回旋し、クローズの状態からオープンの状態になるという角度変化がみられた。また両試行とも、肩関節最大外転において体幹上部の向きはプラスの値を示し、骨盤の向きよりも大きい値であるが、頭頂～ボール最短垂直距離においては骨盤の向きよりも小さい値を示している。つまり、Late Cocking において体幹上部は骨盤よりも大きな角度変化を起こすと考えられる(図19)。また、肩関節最大外転位において、S試行の骨盤の向きはR試行の骨盤の向きよりも大きな値を示している。つまり投球の初期段階において、R試行はS試行に比べてオープンの状態になっていた。

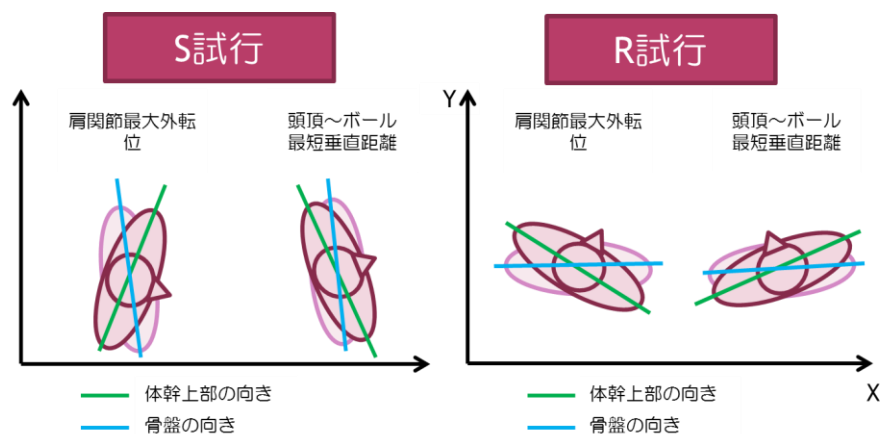


図19. Late Cocking における体幹上部および骨盤の角度変化

S 試行において，Late Cocking では支持脚・股関節の体幹×大腿角度はプラスからマイナスになるが，Acceleration では角度は変化しなかった．また，R 試行において支持脚・股関節の体幹×大腿角度は変化しなかった．ただし，肩関節最大外転位においては S 試行の方が，ボールリリース時においては R 試行の方が大きく屈曲していた．また，同部位の平均角速度は Late Cocking においてのみ試行間に差が認められた．すなわち，S 試行では Late Cocking において支持脚が地面に力を加えるために重心が前方に移動し股関節が伸展するが，Acceleration においては支持脚が離地するために角度変化が起こらなかったと考えられる(図 20)．R 試行では踏込脚が接地しないため，地面からの反動(ニュートンの第 3 法則)が垂直方向に作用し，重心が上に移動する．そのため股関節の体幹×大腿角度はほとんど変化しなかったと考えられる(図 21)．

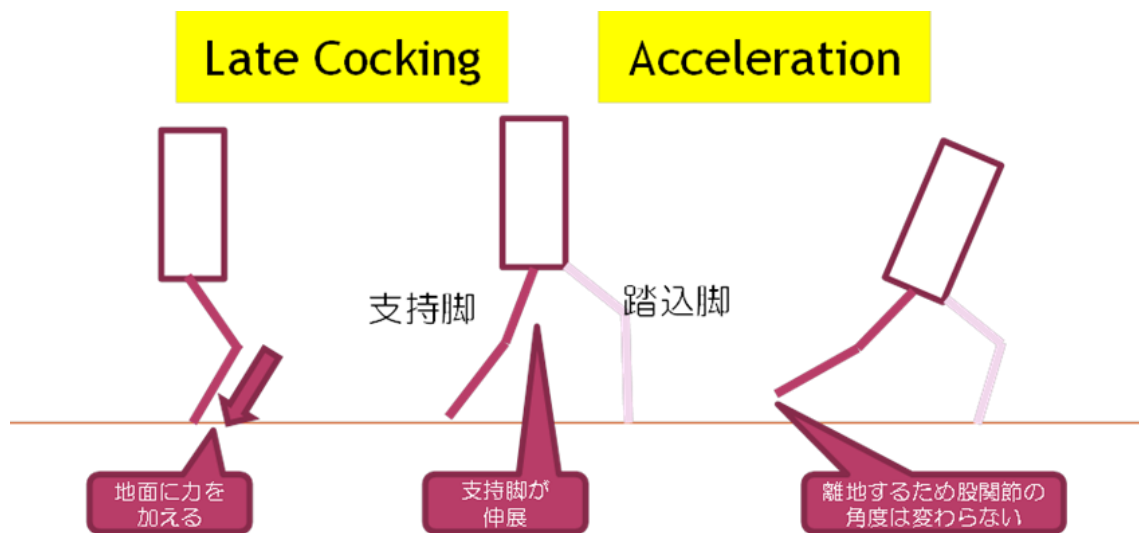


図 20. S 試行における支持脚・体幹×大腿の角度変化

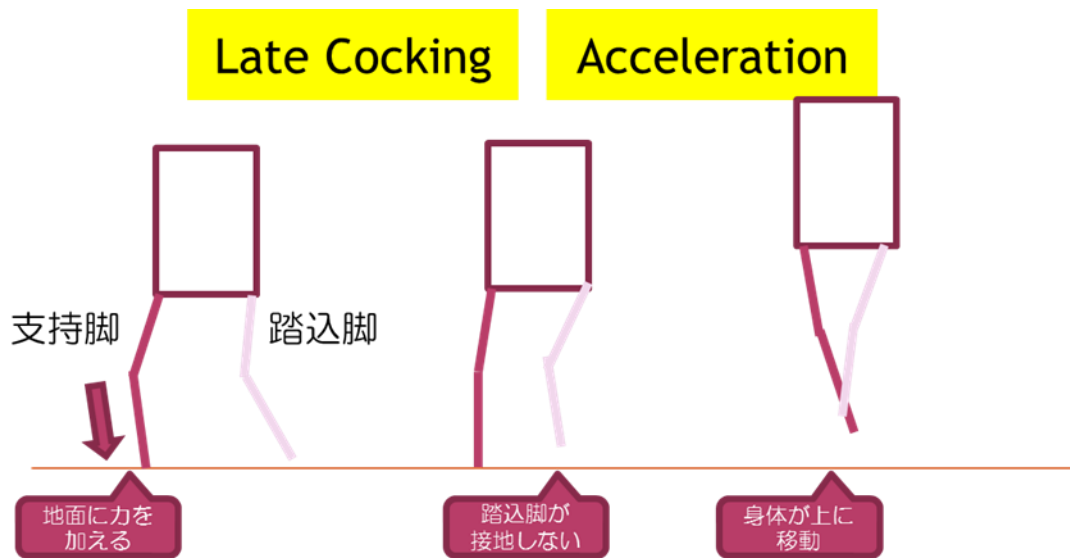


図 21. R 試行における支持脚・体幹×大腿の角度変化

Fleisig ら¹⁰⁾が定義したピッチングの局面分けによると，支持脚の離地はアームコッキング期において起こるとされている．しかし本研究において QB は S 試行，R 試行ともに Acceleration において離地がおこっていた．QB はピッチャーに比べてストライドが小さく，体幹の前傾が少ないと報告されている．本研究において QB が Acceleration において支持脚が離地したのは，前述の動作によって踏込脚への重心移動がピッチャーよりも遅い段階で起こったことが原因だと考えられる．

両試行とも Late Cocking において支持脚・股関節は外転位から内転していた．特に，S 試行における支持脚・股関節は常に外転位であったが，R 試行における支持脚・股関節は頭頂～ボール最短垂直距離以降は内転位にあった．Acceleration において，S 試行では支持脚・股関節は外転位から内転していたが，R 試行では角度変化はなかった．つまり，S 試行では Late Cocking から Acceleration にかけて常に内転し続けていたが，R 試行では Late Cocking においてのみ内転し，Acceleration

において角度変化はみられなかった．これは，前述したように S 試行では骨盤が回旋し続けており，その原因は支持脚・股関節が外転位から内転したことだと考えられる．野球のピッチングにおいて，アームコッキング期では離地した支持脚の股関節が内旋し，それに伴って骨盤が回旋し，脊柱を軸に腰部から上胴にかけて順に回転することで体幹上部が投球方向に正対すると報告されている³²⁾．解剖学的肢位では股関節内旋の主動筋はなく，内転筋や内側ハムストリングスが内旋トルクを生み出している^{7,25,33,34)}．そのため S 試行において，ピッチャーと同様に股関節の内旋運動が生じ，股関節内転筋群が収縮して支持脚・股関節の内転が起こったと考えられる．一方，R 試行では **Late Cocking** において骨盤が並進移動をしていたため接地した支持脚の股関節は内転したと考えられるが，**Acceleration** においては踏込脚が接地せずに支持脚による垂直方向への跳躍が起こり，身体が上方へ移動するため股関節の角度変化は起こらなかったと考えられる．

S 試行において，踏込脚・股関節は肩関節最大外転からボールリリースにかけて有意に内転していた．これは支持脚・股関節が内転したことにより骨盤が回旋し，接地していた踏込脚はブレーキの役割として股関節を内転させたと考えられる(図 22)．R 試行において，踏込脚・股関節は頭頂～ボール最短垂直距離からボールリリースにかけて有意に内転していた．野球のピッチングでは，下肢からのエネルギーを上体に伝えるために **Arm Cocking** 期(本研究における **Late Cocking** に相当)において股関節の内旋と腰部の水平回転が起こる³²⁾．R 試行のように踏込脚が接地しない状態での投球において，上体に回旋のエネルギーを伝えるためには踏込脚の股関節を内転させ，キック動作に見られる蹴り足の **Forward Swing**¹⁶⁾ に似た動作を起こすことで骨盤の回旋を止める必要が

あったと考えられる(図 23).

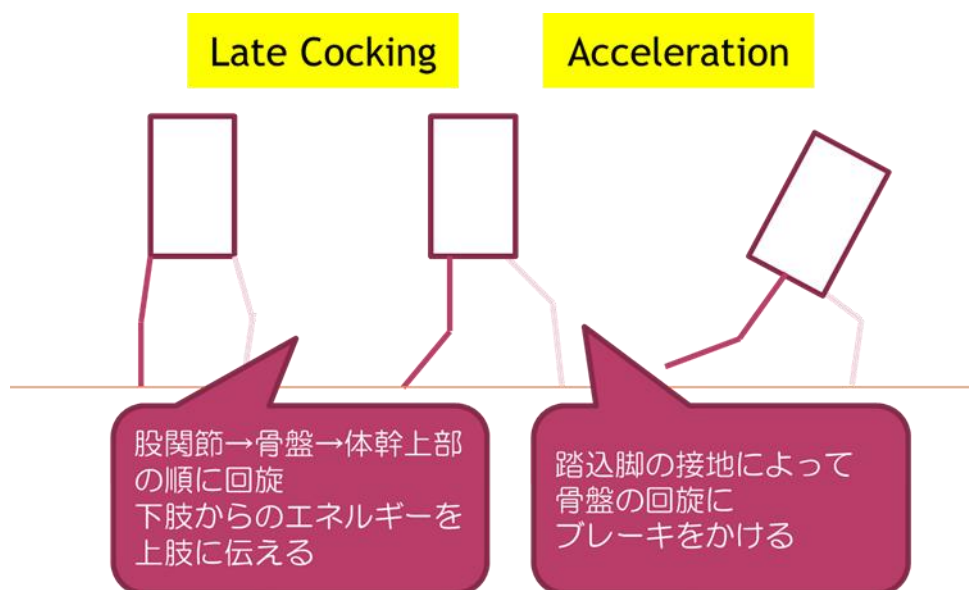


図 22. S 試行における運動連鎖

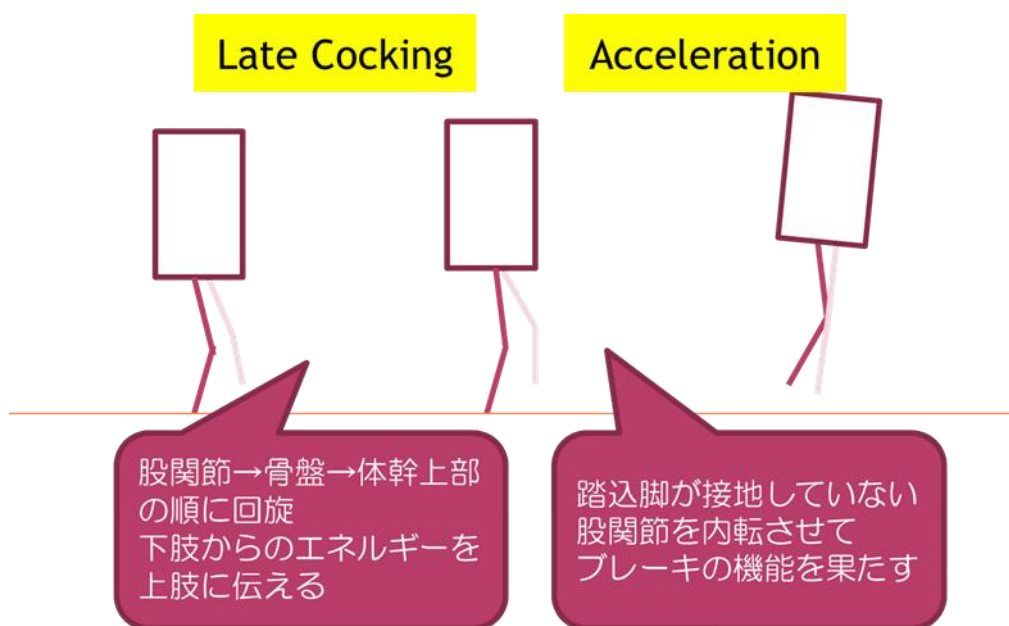


図 23. R 試行における運動連鎖

2. S 試行における球速に影響を与える因子

回帰式より，S 試行において球速に影響を与えるのは①Late Cocking における支持脚・体幹×大腿角度，②Acceleration における支持脚・骨盤×大腿角度，③頭頂～ボール最短垂直距離における踏込脚・骨盤×大腿角度だとわかった．

① Late Cocking における支持脚の股関節

前述した通り，支持脚によって地面に力を加えると，同じ大きさで逆向きの力が地面から支持脚に作用する(ニュートンの第 3 法則)．Late Cocking において QB は地面に力を加えるために支持脚を伸展させる．Brian ら³⁾は野球のピッチングにおける下肢の筋活動を報告しており，Arm Cocking から Arm Acceleration にかけて大殿筋の筋放電量が他の局面に比べて有意に大きいとした．QB の投球においても同様の筋活動が起こっており，地面に力を加えるために支持脚・股関節を伸展させたと考えられる．つまり，股関節を伸展する際，地面に加える力を大きくするほど運動連鎖によって伝えられるエネルギーは大きくなり，球速も大きくなると考えられる．

② Acceleration における支持脚の股関節

運動連鎖は骨盤から腰部，体幹上部の順で回旋して起こる^{5,8)}．Acceleration において，体幹の屈筋群や回旋筋群が腰部や体幹に内部トルクを与え，その結果腰部が減速し体幹上部が加速する．この時，回旋の角速度が大きいほど，体幹上部に伝わるエネルギーも大きくなる^{5,8)}．したがって，Acceleration において支持脚の股関節を内転させるほど骨盤の回旋は大きくなるため，運動連鎖によって伝えられるエネルギーも大きくなると考えられる．

② 頭頂～ボール最短垂直距離における踏込脚の股関節

Stodden ら³⁰⁾は、野球のピッチングにおいて球速を決定づける一要因としてストライドの大きさを示し、ストライドが大きいピッチャーは球速が大きいとした。QB の投球においても同様のことが言えると仮定すると、踏込脚をより外転させることでストライドが大きくなり、球速も大きくなったと考えられる。

3. R 試行における球速に影響を与える因子

回帰式より、R 試行において球速に影響を与えるのは①Late Cocking における骨盤のマイナス方向への角速度、②ボールリリース時における骨盤のマイナス方向への向き、③Acceleration における支持脚の股関節内転および屈曲角度であることがわかった。

①Late Cocking における骨盤の角速度

Late Cocking の始めでは、R 試行は S 試行に比べてオープンの状態であった。そのため、R 試行において Late Cocking から Acceleration にかけて骨盤の回旋運動はほとんどみられなかった。しかし被験者間で比較すると、Late Cocking における骨盤の平均角速度が大きいほど球速が大きくなっていった。すなわち R 試行では Late Cocking の始めからオープンの状態であるため、股関節を内転させることで骨盤を回旋させていたが、この時により骨盤を回旋すると運動連鎖によって伝わるエネルギーが大きくなると考えられる。

②ボールリリース時における骨盤の向き

Late Cocking において骨盤の平均角速度が大きいほど球速が大きくなることがわかった。つまり、運動連鎖によって伝わるエネルギーを大きくするためには骨盤をより回旋させる必要がある¹²⁾。R 試行において、支持脚の股関節は Late Cocking から Acceleration にかけて常に内転し

続けていた．これは本研究においては骨盤の角度変化が見られなかったが，実際には骨盤の角度変化は起こっていたことを示唆している．支持脚の内転に伴って骨盤がマイナス方向に回旋していたと仮定すると，Late Cocking から Acceleration にかけて骨盤がよりマイナス方向に回旋するほど運動連鎖によって伝わるエネルギーが大きくなると考えられる¹²⁾．

③ Acceleration における支持脚の股関節

Acceleration において，R 試行では支持脚の体幹×大腿角度に変化は見られなかった．しかし被験者間で比較すると，Acceleration において支持脚・股関節を屈曲するほど球速が大きくなるとされた．ここで，Acceleration における支持脚・股関節の屈伸の平均角速度と内外転の平均角速度の関係を検証するために，ピアソンの積率相関係数を算出したところ，有意な負の相関が認められた($r=-0.667$, $p=0.05$)(図 24)．つまり，Acceleration において支持脚の股関節が屈曲するほど，同時に内転していたと考えられる．

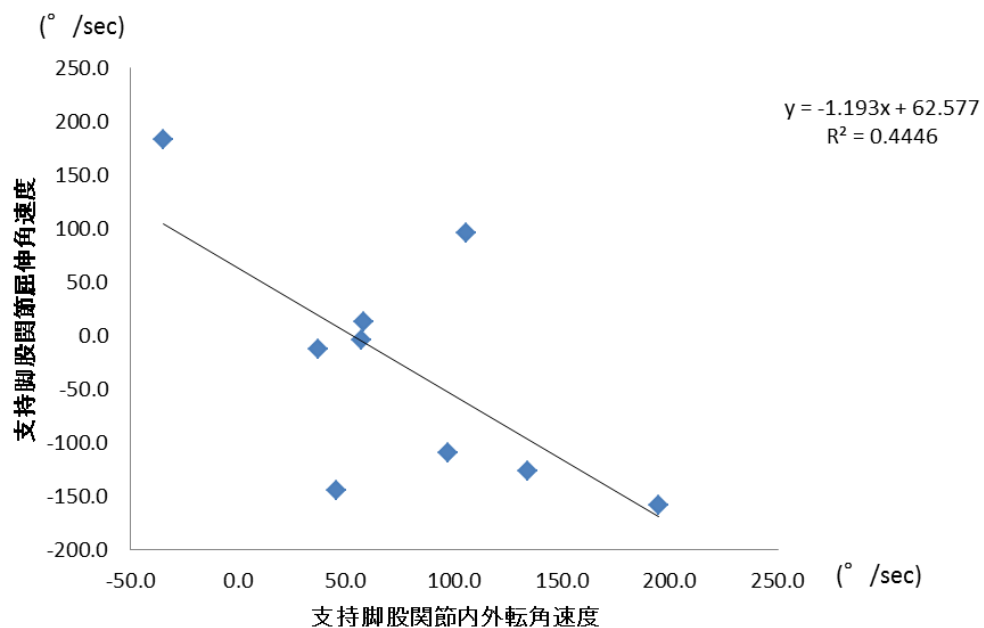


図 24. R 試行における支持脚・股関節の屈伸および内外転角速

Acceleration において支持脚を内転させるほど骨盤の回旋は大きくなるため、運動連鎖によって伝えられるエネルギーも大きくなると考えられる¹²⁾。

4. 先行研究との比較

Stodden ら³⁰⁾はピッチャー個人間の骨盤と体幹上部の運動学的相違が球速と重要な関係があるとし、ピッチャーの球速を決定する要因は肩関節最大外旋位およびボールリリース時における骨盤の向き、肩関節最大外旋位における体幹上部の向き、Arm Cocking における骨盤の平均角速度および Arm Acceleration における体幹上部の平均角速度だとした。球速を向上させるため、ピッチャーは肩関節最大外旋位において骨盤および体幹上部はより回旋し、オープンの状態にした。また、ボールリリースにおいて骨盤の向きはよりマイナス方向にあり、オープンの状態であった。骨盤の平均角速度は Arm Cocking において大きいと球速も大きくなり、体幹上部の平均角速度は Arm Cocking において大きいと球速も大きくなると示した³⁰⁾。

本研究において、S 試行は野球のピッチングのように静止状態から投球したが、球速に影響を与える要因は股関節の角度および角速度が挙げられた。Fleisig ら¹⁰⁾はピッチングと QB の投球を運動学的に比較し、ストライドはピッチャーの方が QB より大きく、ボールリリースにおいてピッチャーは QB より体幹を前傾させ、ピッチャーは骨盤と体幹上部の最大角速度に QB よりも早く達したと示した。S 試行において骨盤と体幹上部は Late Cocking から Acceleration にかけて常に回旋し続けており、ピッチャーのような回旋におけるタイミングのずれがみられなかった。そのため、QB は体幹の回旋によって運動連鎖を起こすのではな

く，ストライドを拡大させ，股関節の伸展および内転によって上体に下肢からのエネルギーを伝達させたと考えられる．

Stodden ら³⁰⁾は野球におけるピッチングの骨盤と体幹上部の運動を報告した．本研究における S 試行および R 試行と，Stodden らによる報告を比較した(図 25)．肩関節最大外転位において，いずれも骨盤がオープンの状態，体幹上部がクローズの状態であり，体幹に回旋動作が生まれていることがわかる．体幹上部の向きと骨盤の向きの角度の差で体幹の回旋角度を算出すると，ピッチャー³⁰⁾が 46° ，S 試行が 20° ，R 試行が 51° となる．また，それぞれの球速はピッチャーが $35\text{m/s}(126\text{km/時})$ ，S 試行が 78.1 km/時 ，R 試行が 69.6km/時 であった．R 試行における体幹の回旋角度が一番大きいですが，球速は R 試行が一番低値を示している．これは体幹の回旋角度そのものが球速に影響を与えるのではないことを示している．Late Cocking および Acceleration において体幹上部の角速度をみると，S 試行($-300^{\circ}/\text{s}$ ， $-312^{\circ}/\text{s}$)と R 試行($-320^{\circ}/\text{s}$ ， $-272^{\circ}/\text{s}$)に比べてピッチャー($-920^{\circ}/\text{s}$ ， $-810^{\circ}/\text{s}$)は 2～3 倍の値を示していたことから，球速に直接影響を与えるのは体幹回旋角度ではなく体幹回旋角速度だと考えられる．

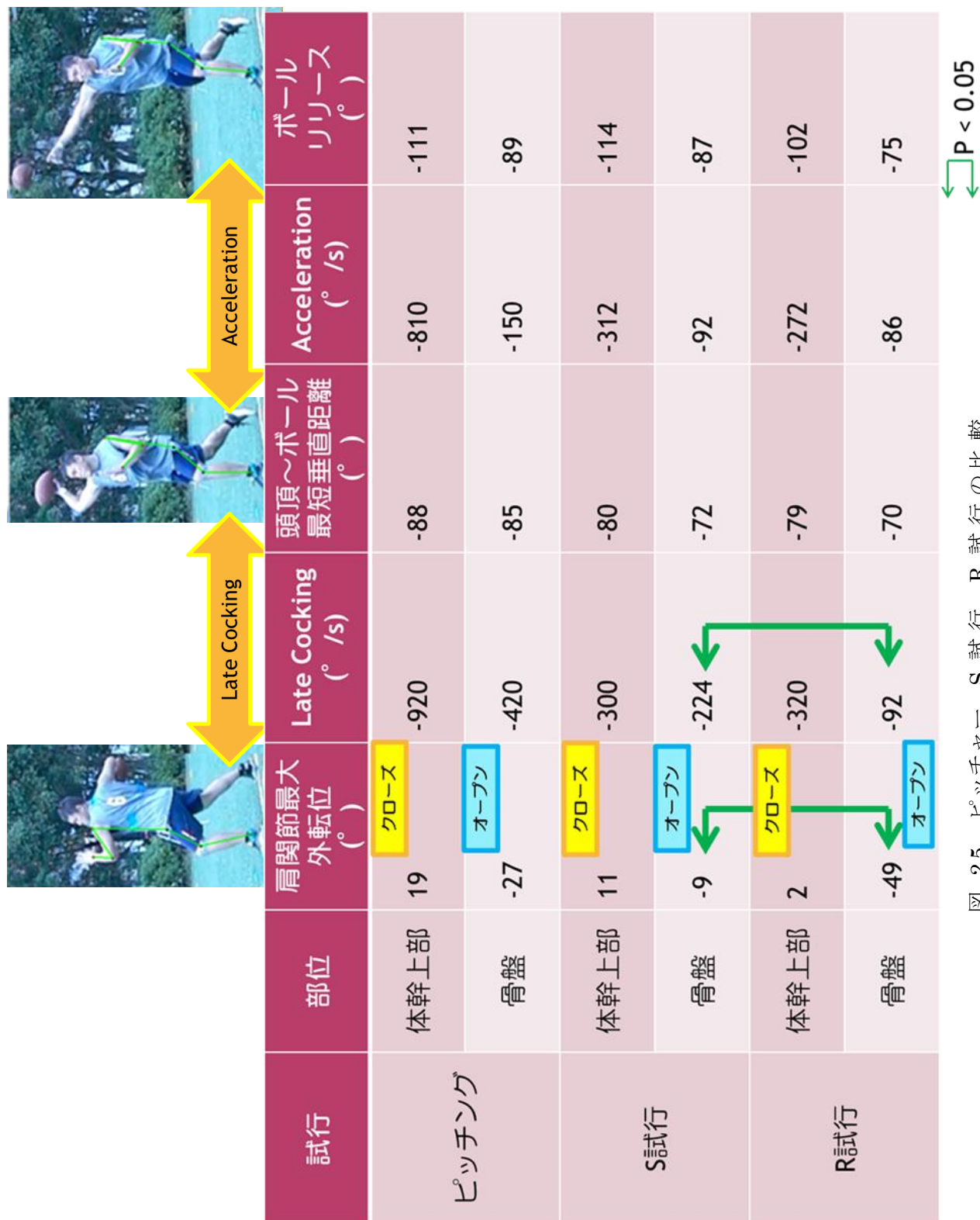


図 25. ピッチャー、S 試行、R 試行の比較

5. まとめ

表 9 に S 試行と R 試行における各関節角度をまとめた．投球は支持脚の伸展による床反力を受けることによって運動連鎖が始まる．その後足関節，膝関節，股関節，椎間関節，胸鎖関節，肩関節，肘関節，橈尺関節，手関節が回転軸となり，体節が回転することでボールにエネルギーを伝える^{2,5,6,9,11,32}）．

S 試行では，Late Cocking において支持脚・股関節の伸展によって地面に力を加え，Late Cocking から Acceleration にかけて支持脚・股関節の内転によって骨盤を回旋させた．また，踏込脚の接地後は踏込脚・股関節を内転させることによって骨盤の回旋にブレーキをかけ，体幹上部の回旋を促した．

R 試行において，踏込脚が接地せず身体が上方に移動するため支持脚・股関節に伸展の動きは見られない．そのため Late Cocking では支持脚・股関節を内転させることで骨盤を回旋させ，Acceleration で踏込脚・股関節を内転させることで，キック動作フォワードスイング¹⁶⁾様の動作によって骨盤にブレーキをかけた．

表9. 局面毎の関節角度変化

部位	試行	肩関節最大外転位 (°)	Late Cocking	頭頂～ボール 最短垂直距離 (°)	Acceleration	ボールリリース時 (°)
体幹回旋角度	S試行	11.47	不変	-11.98	不変	-26.85
	R試行	51.30	回旋	-9.27	不変	-25.24
体幹上部の向き	S試行	11.04	回旋	-86.42	回旋	-114.12
	R試行	2.38	回旋	-79.42	回旋	-102.73
骨盤の向き	S試行	-9.46	回旋	-71.67	回旋	-87.27
	R試行	-48.92	回旋	-70.15	回旋	-75.59
支持脚股関節屈伸角度	S試行	50.66	伸展	20.27	不変	21.64
	R試行	29.04	不変	26.21	不変	32.79
支持脚股関節内外転角度	S試行	17.40	内転	11.23	内転	1.14
	R試行	6.54	内転	-3.88	不変	-7.55
踏込脚股関節屈伸角度	S試行	45.30	不変	38.71	不変	38.86
	R試行	18.00	不変	38.05	不変	36.54
踏込脚股関節内外転角度	S試行	13.67	内転	内転	内転	-11.52
	R試行	-3.96	不変	5.78	内転	-5.55

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

V. 結論

S 試行における球速は R 試行における球速よりも有意に高値を示した。その要因として考えられるのは、R 試行が投球の初めからオープンの状態であり、大きな角速度を生み出せないこと、踏込脚が接地しないために体重移動が十分にできず、床反力を生み出す支持脚の伸展が制限されることが挙げられる。

S 試行において球速に影響を与えるのは支持脚股関節の伸展内転角速度および踏込脚股関節の外転角であり、R 試行において球速に影響を与えるのは骨盤の角度と角速度および支持脚股関節の伸展内転角速度であった。

参考文献

- 1) 朝倉孝雄 ,アメリカンフットボール・ゲームアンドプレー,ナツメ社,2009.
- 2) Atwater AE. Biomechanics of overarm throwing movements and of throwing injuries. Exerc Sport Sci Rev 1979;7:43-85.
- 3) Brian M,Campbell, David F,Stodden, Megan K. Lower extremity muscle activation during baseball pitching. J Strength Cond Res 2010;24(4):964-971
- 4) DeRenne Coop, Kwok Ho, Blitzblau A. Effects of weighted implement training on throwing velocity. J Appl Sport Biomech 1990;4:16-19.
- 5) Dillman CJ. Proper mechanics of pitching. Sports Med Update 1990;5:15-18.
- 6) Dillman CJ, Fleisig GS, Andrews JR. Biomechanics of pitching with emphasis upon shoulder kinematics. J Orthop Sports Phys Ther 1993;18:402-408.
- 7) Dostal WF, Soderberg GL, Andrews JG. Actions of hip muscles. Phys Ther 1986;66:351-359.
- 8) Feltner ME, Dapena J. Three-dimensional interactions in a two-segment kinetic chain. Part I : general model. Int J Sport Biomech 1989;5:403-419.
- 9) Feltner ME, Dapena J. Three-dimensional interactions in a two-segment kinetic chain. Part II : application to the throwing arm in baseball pitching. Int J Sport Biomech 1989;5:420-450.
- 10) Fleisig GS, et al. Kinematic and kinetic comparison between

- baseball pitching and football passing. J Appl Biomech
1996;12:207-224.
- 11) Fleisig GS, et al. Kinetic of baseball pitching with implications
about injury mechanisms. Am J Sports Med 1995;23:233-239.
- 12) Fleisig GS, et al. Biomechanics of throwing. In: Zachazewski JE,
Magee DJ, Quillen, eds. Athletic injuries and rehabilitation.
Philadelphia: WB Saunders, 1996:332-353
- 13) Fleisig GS, Barrentine SW, Zheng N, Escamilla RF, Andrews JR.
Kinematic and kinetic comparison of baseball pitching among
various levels of development. J of Biomech 1999;32:1371-1375.
- 14) Frank W, et al. An EMG analysis of the shoulder in pitching. Ame
J Sports Med 1984;12(3):218-220
- 15) Groppe JL: High tech tennis, ed2, Champaign, IL, 1992, Human
Kinetics Publisher.
- 16) Hay JG. The Biomechanics of sports techniques. 4th ed.
Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1996
- 17) 平山大作, 藤井範久, 小池関也, 阿江通良. 野球投手の投球数の増加に
よる下肢関節の力学的仕事量の変化. 体力科学 2010;59:225-232
- 18) 井尻朋人, 宮下浩二, 浦辺幸夫, 藤川博樹, 武本有紀子. 体幹アラ
イメントが投球時の肩関節運動に与える影響. 体力科学
2009;58:73-80.
- 19) Kaplan LD, Flanigan DC, Norwig John, Patrick Jost, James
Bradley. Prevalence and Variance of shoulder injuries in elite
collegiate football players. Ame J Sports Med 2006;33:1142-1146.
- 20) 川村卓・島田一志・高橋佳三・森本吉謙・小池関也・阿江通良. 野

- 球の打撃における上肢の動作に関するキネマティクスの研究：ヘッドスピード上位群と下位群のスイング局面の比較．体育学研究
2008;53: 423-438.
- 21) Kelly BT, Sherry I, Backus, Russell F, Warren, Riley JW.
Electromyographic analysis and phase definition of the overhead football throw. Am J Sports Med 2002;30:837-844.
- 22) Kelly BT, Barnes RP, Powell JW, Warren RF. Shoulder injuries to quarterbacks in the national football league. Am J Sports Med 2004;32(2):328-331
- 23) L'Hermette M, Polle G, Tourny-Chollet C, Dujardin F. Hip passive range of motion and frequency of radiographic hip osteoarthritis in former elite handball players. Br J Sports Med. 2006;40:45-49.
- 24) James R. Andrew, Charles J. Dillman, Glenn S. Fleisig, Eugene G. Jameson, スポーツ科学・医学事典 スポーツ運動科学—バイオメカニクスと生理学—, 西村書店, 第 38 章オーバーヘッドスポーツのバイオメカニクス, 2010;482-500.
- 25) Lindsay DM, Maitland ME, Lowe RC, et al. Comparison of isokinetic internal and external hip rotation torques using different testing positions. J Orthop Phys Ther 1992;16:43-50.
- 26) 宮西智久, 宮永豊, 福林徹, 馬見塚尚孝, 藤井範久, 阿江通良, 功力靖雄, 岡田守彦. 投球動作における肘・肩関節の 3 次元動力学的研究-投球上肢の運動パターンと障害発生の可能性との関連- 体力科学
1999;48:583-596.
- 27) Neumann DA : 嶋田智明・平田総一郎訳, 筋骨格筋のキネシオ

- ロジー.医歯薬出版株式会社,2007. < Donald A. Neumann. (2002) Kinesiology of the Musculoskeletal System: foundations for physical rehabilitation. Mosby, Inc: USA.>
- 28) Andrew J. Robb, Glenn Fleisig, Kevin Wilk, Leonard Macrina, Becky Bolt, Jason Pajaczkowski. Passive Ranges of Motion of the Hips and Their Relationship With Pitching Biomechanics and Ball Velocity in Professional Baseball Pitchers, Am J Sports Med 2010;38:2487-2493
- 29) Sisto DJ, Jobe FW, Moynes DR. An electromyographic analysis of the elbow in pitching. Am J Sports Med 1987;15:260-263.
- 30) Stodden DF, Fleisig GS, McLean SP, Lyman SL, Andrews JR. Relationship of pelvis and upper torso kinematics to pitched baseball velocity. J Appl Biomech 2001;17:164-172.
- 31) Toyoshima S et al.: Contribution of the body parts to throwing performance. In: Nelson RC and Morehouse CA eds, Biomechanics IV. Pp169-174, University Park Press, 1974.
- 32) Werner SL, et al. Biomechanics of the elbow during baseball pitching. J Orthop Sports Phys Ther 1993;17:274-278.
- 33) Williams M, Wesley W. Hip rotator action of the adductor longus muscle. Phys Ther Rev 1952;31:90-92.
- 34) Williams PL, Bannister LH, Berry M, et al. Gray's Anatomy, 38th ed, New York, Churchill Livingstone, 1995.

謝 辞

本研究は，早稲田大学スポーツ科学学術院 岡田純一准教授のご指導の下に実施されました．本研究において，岡田准教授には多岐にわたり実験および論文執筆など，全ての面において多大なるご指導，ご助言を賜りました．岡田准教授に心からの感謝の意を表します．

本研究の実施にあたり，多くの方々から様々なご協力を頂きました．副査である早稲田大学スポーツ科学学術院 土屋純教授をはじめ，コーチング科学研究領域の諸先生方には多大なるご指導，ご助言を賜りました．厚く御礼を申し上げます．早稲田大学スポーツ科学学術院 平山邦明講師には，研究に関する指導をはじめ，研究外のことにしても様々なご指導を賜りました．厚く御礼を申し上げます．また，本研究に被験者として参加して頂いたオービックスーガルズ，オール三菱ライオンズ，そして早稲田大学ビッグベアーズの選手の皆様には，ご多忙の中実験に協力して頂きました．また，各チームの監督をはじめ，コーチ，トレーナー，スタッフの皆様には日程調節や器具の手配などにご協力頂きました．関係者の皆様に深く感謝致します．そしてこの２年間，私を支えてくれた家族および友人たちに感謝いたします．

最後に皆様のご健康と今後の更なるご発展を心よりお祈り申し上げます．

2014 年 1 月 10 日

又 あゆみ