(1)

投球動作解析システムによる TOP ポジションの運動学的解析

(信原病院・バイオメカニクス研究所) 中 村 真 里

(新潟大学工学部) 中 村 康 雄, 林 豊 彦

(信原病院・バイオメカニクス研究所) 福 田 登, 駒 井 正 彦,

橋 本 淳, 信 原 克 哉

(Johns Hopkins University) Edmund Y. Chao

1. はじめに

スポーツ障害の中でも野球投手の肩は、プロ・アマチュア選手共にもっとも障害を起こしやすい部位の1つである。そのためスポーツ障害の防止、リハビリテーションの評価、投球パフォーマンスの向上などを目的として、古くから投球動作の定量的な解析が行われてきた¹⁻³⁾。その手法は、3次元動作測定用のカメラ・システムを用いて投球動作を測定し、投球動作を運動学的・動力学的に解析するものであった⁴⁻⁷⁾。しかし、従来のカメラ・システムは、1) サンプルングレートが低い、2) 同時測定できるマーカ数が少ないなどの制限により投球動作を高精度には測定できなかった^{1-3,8)}。そこで我々は、全身運動を高精度かつ高速に測定できる新しいモーションキャプ

チャ・システムを用いて、投球動作を運動学的・動力学的に解析するシステムを開発している⁹⁾。本研究では、特に肩関節を解析対象としている。

投球動作は、非常に複雑な全身運動である。従って、投球動作を解析するために、これをいくつかの相に分類する必要がある。Jobeらは、投球動作を次の5つの相に分類した¹⁰⁾：1) ワインドアップ、2) 前期コッキング、3) 後期コッキング、4) アクセラレーション、5) フォロースルー(図1)。肩関節の障害に関しては、コッキング相からアクセラレーション相前半にかけて肩関節前方要素、アクセラレーション相後半からフォロースルー相にかけて肩関節後方要素に障害が発生すると言われている¹¹⁾。

投球動作に特に重要な注目点は、非投球側の足の着地 (Foot planting, FP)、投球腕の最大外旋位 (Maximum external rotation, MER)、ボールをリ

図 1 投球相分類

リリース (Ball release, BR) する瞬間である。しかし、従来の相分類と注目点は、肩の障害を解釈することを考慮したものではない。

当院の投球肩障害の患者を対象とした調査では、トップポジション (32.5%)、MER (27.2%)、BR (14.5%) において肩の痛みを訴える患者が多かった¹¹⁾。そこで、我々は、新たな注目点として“トップポジション”に注目した。トップポジションとは、経験的に用いられている野球用語であり、投球動作中の特定の肢位 (投球肩が打者に正対する方向に向かい投球側の肘が後方に残る姿勢) を指す¹²⁾。しかし、トップポジションは、明確には定義されていない。さらに投球動作のような連続動作からこの肢位を特定することは難しく、この肢位を定量的に定義・解析した報告はない。

そこで我々は、次の2つを本研究の目的とした。第一に、投球動作を高精度かつ体の各部位を剛体運動として測定すること、第二に、トップポジションを運動学的に定義することである。そのために、トップポジションの推定法を提案し、実験を通して推定されたトップポジションの妥当性について確認する。

2. で投球動作の測定環境について述べ、3. でトップポジションの定義とその推定法について述べる。4. で投球動作の測定実験、5. にて実験結果について論じる。

2. 投球動作の測定環境

投球動作は、モーションキャプチャ・システム (ProReflex™ MCU-500, Qualisys Inc.) を用いて測定する。このモーションキャプチャ・システムは、7台の CCD カメラを用いて、被験者の体表に貼付した複数個の赤外線反射マーカの位置を連続測定できる。また、そのサンプリングレートは 500 Hz である。赤外光撮影のため野外では測定できないことから、室内に硬式球場と同サイズの投球マウンドと本塁を設置した (図 2)。投球マウンドから本塁までの距離は 60.5 ft (18.4 m)、部屋のサイズは長さ 26.5 m、幅 11.6 m、高さ 3.85 m である。

三次元動作測定システムの概略を図 3 に示す。7 台

のカメラは、予備実験から、被験者体表上の各マーカを最低 2 台のカメラで撮影できるように配置した。また、モーションキャプチャ・システムは、投球動作をビデオ映像として記録できない。そこで 2 台の高速ビデオカメラ (HSV-400, ナック) を用いて、投球動作をビデオ撮影する。このビデオカメラは、200 Hz で投球動作を録画できる。さらに、投球動作測定中に、被験者へ投球速度を告知するため、超音波速度計 (Speed MaxII, ミズノ) を使用する。

被験者の体表には、図 4 に示す位置に直径 14 mm、質量 3.2 g の赤外線反射マーカを 32 個取り付け。皮膚上にマーカを直接貼る場合は、汗によるマーカの剝離を防ぐため、粘性伸縮ガーゼ包帯を皮膚上に貼付し、その上にマーカを接着した。次に、マーカを皮膚上に直接貼付できない部位について説明する。頭部の 3 つのマーカは、帽子に接着した。腰のマーカは、スパッツ上に接着した。上半身は基本的には裸体としているが、被験者が希望する場合は、体に密着する袖のないシャツの着用を許可した (図 2)。その場合は、シャツに直接マーカを貼付した。足部は、靴上から第 3 中足骨頭背側に 1 つ、ソックス上から足関節内果・外果に 1 つずつ接着した。また、ボールには、2 つのマーカを強固に取り付けた。これらは、マーカを結ぶ直線がボール中心を通るように配置した。合計 34 個の反射マーカを、モーションキャプチャ・システムを用いて測定する。

3. フォームの解析法

3.1 上肢座標系の設定

トップポジションの姿勢を評価するための座標系について以下に述べる。第一に、カメラ座標系 Σ_{ca} を投球マウンド上に設定する (図 5)。投球プレート前方右側を原点とし、投球マウンドから本塁に向かうベクトルを X 軸、マウンドから垂直上方向に向かうベクトルを Z 軸とする。Y 軸は、本塁に向かって右側から左側に向かうベクトルとする。

投球動作時の上肢運動を解析するために、投球側腕上に手座標系 Σ_H 、前腕座標系 Σ_F 、上腕座標系 Σ_U

と胴体に胸部座標系 Σ_c を設定する (図 6)。

まず、各座標系の原点となる関節中心について述べる。手関節の関節中心は、尺骨茎状突起マークと橈骨茎状突起マークの midpoint とする。肘関節の関節中心は、上腕骨内上顆マークと上腕骨外上顆マークの midpoint とする。肩の関節中心は、体表上のマークから、その位置を精度良く推定することが困難である。これは、皮膚の動揺のため体表マークから、肩甲骨の位置と姿勢を精度良く推定できないためである。そこで、今回は肩峰に取り付けたマークを肩の関節中心とした。

次に各座標系の決定方法について述べる。上腕座標系の X 軸は、肩関節中心から肘関節中心に向かうベクトルとし、これを上腕骨軸とする。Y 軸は、X 軸と肘関節内側マークから外側マークに向かうベクトルの外積とした。Z 軸は、X 軸と Y 軸との外積とした。前腕座標系と手座標系も同様の方法で設定する。

胸部座標系の原点は、剣状突起と第 7 胸椎棘突起の midpoint とした。Y 軸は、第 7 胸椎棘突起から剣状突起に向かうベクトルとした。Z 軸は、胸骨上切痕から

Y 軸に下ろした垂線とし、これを体幹軸とした。X 軸は、Z 軸と Y 軸の外積とした。

3.2 トップポジションの推定法

トップポジション (Top Position, TOP) とは、投球動作中に生じる特定の姿勢を表す用語である。小山らは、トップポジションを、投球肩が打者に正対する方向に向かい投球側の肘が後方に残る姿勢としている¹²⁾。また、トップポジションという言葉は使用していないが、トム・ハウスは、投球動作中に足を踏み出すときの姿勢として、投球側・非投球側の肘を肩の高さに達するまで挙上し、体幹の向きは非投球側身がホームベースに向くとしている¹³⁾。このように、トップポジションは、いまだ統一的には定義されていない。

そこで本研究では、これまでのトップポジションに共通する概念が、投球腕を最も後方に引いた姿勢であることから、トップポジションを、「非投球側の足が地面に着地する前に、打者に対して投球腕と投球肩を最も後方に引いた姿勢」と定義する。我々

図 2 投球動作測定室

図 3 計測システム概要

図 4 マーカ貼付位置

の提案する TOP となる時点を t_{TOP} と呼ぶことにする。

最後に t_{TOP} の推定法について述べる (図 7)。カメラ座標系において、肩関節 P_S から肘関節 P_E に向かう上腕骨ベクトル V_{ua} を求める。上腕骨ベクトル V_{ua} をカメラ座標系 Σ_{Ca} の XY 平面 (水平面) へ正射影し、射影ベクトル v_{ua} を求める (図 7(a))。 v_{ua} の X 軸、Y 軸成分を v_{uax} 、 v_{uay} と表すと、 v_{ua} は、以下のように表せる。

$$v_{ua} = v_{uax} \cdot u_x + v_{uay} \cdot u_y \quad (1)$$

このとき、Y 軸成分の v_{uay} が非投球側方向に最大となる時点を t_{TOP} とした (図 7 (b))。

この時点の姿勢である TOP は、具体的には、打者

に対して投球腕が 90 度付近まで挙上し、投球腕を最も後方に引いた姿勢に近い。

3.3 運動学的評価指標

t_{TOP} における上肢の姿勢を評価するために、以下の指標を用いる。本研究の投球相分類は、Jobe らの方法に準拠するが (図 1)、後期コッキングとアクセレーション相を、まとめてアクセレーション相とした¹¹⁾。

まず、非投球側の足の着地 (FP)、投球腕の最大外旋位 (MER)、ボールリリース (BR) の推定方法について述べる。これらの肢位になる時点をそれぞれ、

図 5 カメラ座標系 Σ_{Ca}

図 6 上肢の座標系設定

t_{FP} , t_{MER} , t_{BR} とする (表 1).

非投球側の足が地面に着地する瞬間 (FP) は, モーションキャプチャ・システムの測定データから, 高精度には推定できない. これは, モーションキャプチャ・システムで地面の位置を測定していないためである. そこで, 同時に測定している高速ビデオカメラの映像と足部マーカーの垂直移動距離を用いて, FP の時点 t_{FP} を推定した. 次に MER は, アクセラレーション相において, 胸部座標系から見た上腕座標系の X 軸 (上腕骨軸) 周りの回転が最大となる時点 t_{MER} とした. 最後に BR は, ボールに取り付け

(a) 上肢水平面の定義

(b) トップポジションの定義

図 7 トップポジションの推定

た 2 つのマーカーの中心と手関節中心の距離変化から推定する. ボール中心と手関節中心の長さが, 予め測定しておいた被験者の手の長さより離れた時点 t_{BR} とした.

投球動作は, 以下のパラメータを用い解析した:

1. 肩・肘・手関節中心の速度,
2. ボールの速度 (カメラ視覚内にボールが存在する場合のみ算出可能),
3. 体幹の捻れ角度・角速度,
4. 肩関節の内外旋・内外転・水平内外転,
5. 肘関節の屈曲・伸展.

肩関節と肘関節の回転角は, 従来の評価法を用いた³⁾. 体幹の捻れは, 次の方法で推定した. 投球側大転子マーカーから非投球側大転子マーカーに向かうベクトルを腰 V_w ベクトル, 投球側肩峰マーカーから非投球側肩峰マーカーに向かうベクトルを肩ベクトル V_s とする. 肩・腰ベクトルをカメラ座標系の XY 平面 (水平面) に正射影し, ベクトル v_w , v_s の成す角度 α :

$$\alpha = \cos^{-1}(v_w, v_s) \quad (0^\circ \leq \alpha) \quad (2)$$

を体幹の捻れ角とした (図 8).

4. 投球動作測定実験

4.1 実験方法

被験者は, 中学生投手 2 名, 高校生投手 1 名, 大学生投手 1 名, 社会人投手 5 名, プロ野球投手 2 名の合計 11 名とした (表 2). 被験者は, 測定前に十分なウォーミングアップを行なった. 各被験者とも 3 回以上の投球動作を測定した. 測定したデータのうち最もボールスピードの速い 1 例を選択し解析した. 測定したデータはノイズを除去するために Savitzky-Golay 法¹⁴⁾を用いて平滑化した.

4.2 TOP の推定・運動解析結果

3.2 で述べた方法を用い, t_{TOP} を全被験者に対して求めた. すべての被験者について t_{TOP} は, コッキング相かつ FP 前であった. t_{TOP} から t_{BR} までの所要時間は, 0.236 ± 0.0442 [s] であった. また, t_{TOP} における上腕の肢位は, 被験者 11 名において, 外旋

表 1 略語表

	姿勢	時点
トップポジション	TOP	t_{TOP}
非投球側の足の着地	FP	t_{FP}
投球腕の最大外旋位	MER	t_{MER}
ボールリリース	BR	t_{BR}

図 8 角度の算出

(15.5 ± 29.87 [deg]), 外転 (74.2 ± 19.84 [deg]), 水平外転 (37.3 ± 14.10 [deg]) であった。各被験者の解析結果の詳細を、表 3 に示す。

図 9 に投球動作の運動解析結果例を示す。図 9(a) では、 t_{MER} から t_{BR} にかけて上腕が最大外旋位から内旋に移行していた。図 9(b) では、 t_{BR} 付近にて手関節の移動速度とボール速度が最大となった。図 9(c) では、体幹の捻れ角度が、 t_{FP} から t_{MER} にかけて、負から正の方向に大きく変化した。その角速度は、 t_{BR} 直前に最大となった。これらの結果は、全体的な傾向としては全被験者で共通していた。

解析結果から以下のことがわかった：

- 1) 被験者のボール速度の平均は、 113.7 ± 13.38 [km/h] であり、十分に実践時のパフォーマンスを発揮していた、
- 2) TOP で上腕内旋位をとる被験者は 5 名 (11.8 ± 6.08 [deg]), 外旋位をとる被験者は 6 名 (38.1 ± 19.97 [deg]) であった (表 3),
- 3) 投球動作は、TOP, FP, MER, BR の順に進んだ (表 3)。各姿勢から BR までの時間を次に示す：

表 2 被験者

対象	年齢	投球側	経験	身長 (cm)	体重 (kg)	投球フォーム
S. I.	27	左	20	177	85	Sidearm
T. K.	24	左	18	177	80	Three-quarter
K. Y.	25	右	15	187	74	Three-quarter
H. I.	25	右	15	180	78	Sidearm
M. H.	20	右	12	178	78	Three-quarter
Y. S.	22	右	14	180	76	Sidearm
S. K.	30	右	20	184	79	Three-quarter
M. K.	14	右	4	158	45	Three-quarter
R. C.	14	右	4	167	58	Three-quarter
H. S.	19	右	10	178	75	Three-quarter

t_{TOP} から t_{BR} までの時間： 0.236 ± 0.0442 [s],

t_{FP} から t_{BR} までの時間： 0.158 ± 0.0210 [s],

t_{MER} から t_{BR} までの時間： 0.034 ± 0.0019 [s].

- 4) 体幹の捻れ角速度は、 t_{BR} 直前で最大となる。その大きさは、 811.3 ± 135.20 [deg/s] であった (表 3)。また、各速度が最大となる時点から t_{BR} までの所要時間は、 0.047 ± 0.0133 [s] であった。

図 10 に胸部座標系から見た上腕骨(上腕座標系の X 軸)の軌跡を示す。この軌跡には、 t_{TOP} から t_{FP} の間において次の 3 パターンが認められた：

- (a) 胸部座標系上で上腕骨軸の移動が少ないパターン (外転方向： 1.5 ± 13.02 [deg], 水平外転方向： 6.2 ± 5.72 [deg]) (図 10(a)),
- (b) 主に水平内転方向への移動するパターン (外転方向： 5.7 ± 13.19 [deg], 水平内転方向： 14.7 ± 0.27 [deg]) (図 10(b)),
- (c) 主に外転方向に移動するパターン (外転方向： 21.5 ± 5.38 [deg], 水平内転方向： 0.7 ± 15.88 [deg]) (図 10(c)).

パターン(a)に該当する被験者は 7 名, (b)は 2 名 (S.K.と M.K.), (c)は 2 名 (M.H. と H.S.) であった。

5. 考 察

はじめに、本研究で用いた投球動作測定システムについて論じる。次に、トップポジションの推定、最後に投球動作の解析結果について論じる。

5.1 投球動作測定システムについて

投球動作測定システムは、一般に次の3つの条件を満たす必要がある：1) 高サンプリングレート、2) 全身運動の測定、3) 各身体部位に最低3個のマーカを装着（剛体運動の測定のため）。条件1), 2) については、サンプリングレート 500 Hz, 最大 100 個のマーカ位置を同時測定可能なモーションキャプチャ・システムを利用することにより条件を満たした。

条件3) は、11 人の被験者による投球動作測定結果から検証した。その結果、一連の投球動作において、図4に示す全マーカを測定できた。しかし、手の運動推定に関して、次の制限があった。ボール速度とボールリリースの瞬間を精度良く推定するために、尺骨・橈骨茎状突起とボール自体にマーカを取り付けた。そのため、ボールを手で握っている間は手の運動を測定できるが、ボールリリース後に手の運動を測定できなくなる。これを補償するには、第5中手骨頭と第2中手骨頭にマーカを取り付けばよい。しかし、事前の試行を繰り返した結果から、手

周辺にマーカが密集し、測定が困難であった。今後、被験者の自然な投球動作を妨げず、手の甲上のマーカを測定できるマーカ位置を検討する必要がある。

5.2 推定したトップポジションの妥当性

トップポジションは、その時点を厳密に推定することは、非常に難しい。そこで、我々は、上腕の姿勢から、トップポジションの時点を簡易かつ安定して推定できる方法を提案した。この時点 t_{TOP} の推定から、トップポジションが、コッキング相かつ非投球側の足の着地の時点 t_{FP} 前ということを示した。 t_{TOP} は、すべての被験者について安定して推定できた。

トム・ハウスは、投球動作中に足を踏み出すときの姿勢は、投球側・非投球側の肘を肩の高さに達するまで挙上し、体幹の向きは非投球側身がホームベースに向くと述べている¹³⁾。また、小山は、投球肩が打者に正対する方向に向かい投球側の肘が後方に残る姿勢を指すと述べている¹²⁾。今回推定した時点 t_{TOP} の姿勢は、これら従来のトップポジションの姿勢に非常に類似していた。また、3.2 で述べた t_{TOP} の推定

表 3 各被験者の解析結果

	被験者	S. I.	T. K.	K. Y.	H. I.	M. H.	Y. S.	S. K.	M. K.	R. C.	H. S.	M. T.
最高速度												
ボール	[km/h]	-	-	123.5	122.0	123.7	120.7	124.4	88.0	98.8	118.4	103.7
体幹の捻れ角速度	[deg/s]	851.7	840.8	853.7	926.6	1011.9	827.6	884.6	498.1	675.8	791.2	761.8
各体幹捻れ角速度が最大の時点から BR の時点までの所要時間												
	[s]	0.048	0.040	0.030	0.032	0.038	0.054	0.038	0.072	0.066	0.046	0.050
各注目時点から BR の時点までの所要時間												
t _{TOP} から t _{BR} の間	[s]	0.186	0.224	0.202	0.216	0.252	0.184	0.254	0.322	0.216	0.296	0.250
t _{FP} から t _{BR} の間	[s]	0.182	0.124	0.158	0.152	0.136	0.160	0.144	0.150	0.158	0.188	0.186
t _{MER} から t _{BR} の間	[s]	0.036	0.036	0.032	0.036	0.032	0.032	0.036	0.032	0.034	0.034	0.036
TOP の時点における胸部に対する上腕の姿勢												
肩内旋(－)・外旋(＋)	[deg]	23.2	-16.7	-10.1	43.4	-16.5	-2.0	18.4	46.8	25.4	-13.5	71.5
肩内転(－)・外転(＋)	[deg]	67.6	63.2	100.4	105.4	50.7	82.2	70.2	43.3	67.6	69.6	95.7
肩水平内転(＋)・外転(－)	[deg]	-46.5	-33.0	-19.7	-24.7	-30.2	-41.7	-61.6	-19.8	-49.1	-53.5	-30.2
FP の時点における胸部に対する上腕骨の姿勢												
肩内旋(－)・外旋(＋)	[deg]	18.6	78.9	11.7	81.3	38.8	11.6	86.5	86.5	47.7	27.0	89.2
肩内転(－)・外転(＋)	[deg]	67.7	76.1	115.0	81.2	68.5	86.4	66.5	58.3	73.7	94.9	92.5
肩水平内転(＋)・外転(－)	[deg]	-46.4	-37.2	-28.5	-38.5	-32.3	-53.2	-46.7	-5.3	-55.8	-49.9	-28.7

(a) 肩・肘関節の回旋角度

(b) 肩・肘・手・ボールの速度

(c) 体幹の捻れ角度・角速度

図 9 投球動作解析結果

(a) t_{TOP} から t_{FP} の間に上腕骨軸の移動が少ないパターン：(b)と(c)に該当しないすべての被験者7名

(b) t_{TOP} から t_{FP} の間に上腕骨軸が主に水平内転方向へ移動するパターン：被験者2名 (S.K.と M.K.)

(c) t_{TOP} から t_{FP} の間に上腕骨軸が主に外転方向に移動するパターン：被験者2名 (M.H.と H.S.)

図 10 胸部座標系における上腕骨軸の軌跡

法は、簡便である。よって、提案した推定法は、臨床でのリアルタイム解析などに有効である。

以上述べたように、本研究で提案するトップポジションの推定法は、臨床的な投球動作解析に妥当であると考えられる。

5.3 投球動作の解析

図 10 は、胸部座標系から見た上腕の運動軌跡を表す。 t_{TOP} は、その運動軌跡が大きく変化する時点の近くにあった。この運動が大きく変化する時点にて、痛みを訴える患者が多いことから、その時点の付近では、肩関節に大きな負荷がかかっていると考えられる^{15,16)}。今後、トップポジションの推定時点 t_{TOP} と運動軌跡の変化時点との関係を明らかにするとともに、トップポジションでの肩関節に加わる力の逆動力学的解析を行なう必要がある。

さらに、図 10 に示したように、上腕の運動軌跡には 3 つのパターンが認められた。パターン(a)では t_{TOP} から t_{FP} の間が短く (0.050 ± 0.0331 [s])、パターン(b)(c)では t_{TOP} から t_{FP} の間が長かった (0.127 ± 0.0305 [s]) (表 3)。後者のパターンは、打者が投球のタイミングを予測しにくいように、動作のタイミングを外しているものと考えられた。

パターン(b)と(c)の違いは、 t_{TOP} 以降の軌道形態である。しかし、この形態の違いは、投球者の技能、投球フォームに依存していた。今後、パターンがどのような要素により決定されるのか検討していきたい。

6. ま と め

本論文では、投球動作を高精度測定するためのシステムについて述べた。また、従来定性的であったトップポジションを新たに定義し、その推定法を述べた。中学生からプロ野球投手までの投球動作を測定・解析し、推定したトップポジションの妥当性を示した。

今後の課題は投球動作測定用に設置したカメラ・システムの測定精度評価と体表上のマーカーから肩の関節中心を精度良く推定することである。また今回解析した各注目時点について逆動力学的解析を通して

肩関節障害の発生メカニズムを解明することである。

謝辞

本研究は、平成 12 年度兵庫県医師会勤務医事業医学研究助成を受けている。

参 考 文 献

- 1) Pappas, A. M., Zawacki, R. M., & Sullivan, T. J.: Biomechanics of baseball pitching: a preliminary report, *The American Journal of Sports Medicine*, 13(4), 216-222, (1985).
- 2) Elliott, B. & J. Grove R.: A three-dimensional cinematographic analysis of the fastball and curveball pitches in baseball, *International Journal of Sport Biomechanics*, 2, 20-28, (1986).
- 3) Feltner, M. & Dapena, J.: Dynamics of the shoulder and elbow joints of the throwing arm during a baseball pitch, *International Journal of Sport Biomechanics*, 2, 235-259, (1986).
- 4) 宮西智久, 藤井範久, 阿江通良, 功力靖男, 岡田守彦: 野球の投球動作におけるボール速度に対する体幹および投球腕の貢献度に関する 3 次元的研究, *体育学研究*, 41, 23-37, (1996).
- 5) Fleisig, G. S., Escamilla, R. F., Andrews, J. R., Matsuto, T., Satterwhite, Y., & Barrentine, S. W.: Kinematic and kinetic comparison between baseball pitching and football passing, *Journal of Applied Biomechanics*, 12, 207-224, (1996).
- 6) 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, *JBSE*, 4(2), 116-124, (2000).
- 7) 江原義弘, 別府正敏, 野村進, 国見ゆみ子, 神谷成仁, 土屋辰夫, 藤網光留, 星昌博: 投球時における肩の負荷の力学的分析, *バイオメカニズム学会編, バイオメカニズム* 14, 39-48, (1998).
- 8) Fleisig, G. S., Barrentine, S. W., Zheng, N., Escamilla, R. F., & Andrews, J. R.: Kinematic and kinetic comparison of baseball pitching among various levels of development, *Journal of Biomechanics*, 32, 1371-1375, (1999).
- 9) 中村康雄, 林豊彦, 中村真里, 駒井正彦, 橋本淳, 信原克哉, Edmund Y. Chao: 投球動作における肩関節運動の逆動力学的解析, *医用電子と生体工学*, 第 39 巻 特別号, 453, (2001).
- 10) Jobe, F.W.: Operative techniques in upper extremity sports injuries, Mosby, St.Louis, (1996).
- 11) 信原克哉: 肩—その機能と臨床—第 3 版, 医学書院, 東京, (2001).
- 12) 小山裕史: 初動負荷理論による野球トレーニング革命, ベースボールマガジン社, 100-106, (1999).
- 13) トム・ハウス: ウイニングピッチャー, 114-115, ベースボールマガジン社, (1995).
- 14) 南茂夫: 科学計測のための波形データ処理, CQ 出版, 90-99, (1994).
- 15) Hashimoto, J. & Nobuhara, K.: The Throwing Plane. —A New Concept for the Analysis and Treatment of Throwing Injury, *2nd. Academic Congress of*

Asian Shoulder Association, 59, (1996).

16) 橋本淳, 中村真里, 駒井正彦, 野村星一, 小林佐智, 塚西茂

昭, 信原克哉: スポーツ障害フォーラム会誌, vol. 6, (2001). (in print)

KINEMATIC ANALYSIS OF THE TOP POSITION DURING BASEBALL PITCHING

Mari NAKAMURA*, Yasuo NAKAMURA**, Toyohiko HAYASHI**,
Noboru FUKUDA*, Masahiko KOMAI*, Jun HASHIMOTO*,
Katsuya NOBUHARA*, and Edmund Y. S. CHAO***

**Nobuhara Hospital and Institute of Biomechanics*

***Faculty of Engineering, Niigata University*

****Johns Hopkins University, Biomechanics Laboratory*

Baseball pitching involves a complicated and rapid movement that has been investigated to prevent injuries and to improve the pitching performance. It is difficult to assess the pitching motion with high accuracy and a high sampling rate, due to the limitations of preexistent camera systems. The current camera system, however, has enough capacity to measure pitching motions with high accuracy and a high sampling rate.

We have been diagnosing shoulder joint injuries caused by pitching. The patients (N = 939) felt pain during the pitching sequence as follows: top position (32.5%), maximum external rotation (27.2%), and ball release (14.5%). Hence the top position is one of the most important postures to investigate the mechanisms of shoulder joint injury in pitchers. There have been no studies that focused on the top position, however.

The main purpose of this study was to develop a system to assess the pitching motion accurately. Another purpose was to estimate the instant of the top position and evaluate the kinematics of the shoulder and elbow joints.

Pitching movement was assessed using a motion capture system (ProReflex MCU500, Qualisys Inc., Sweden) in a studio that has an official pitcher's mound and home base. This system can record the positions of reflective markers at 500

Hz using seven CCD cameras. Thirty-two markers were mounted on the joints and body landmarks of each subject. Two markers were mounted on the ball. The pitching motions of eleven subjects were assessed, after a period for warm up. Kinematics parameters were calculated using three-axis gyroscopic Euler angle.

The instant of the top position was observed for all subjects before the lead foot touched the ground. The interval from the top position to ball release was 0.242 ± 0.0438 [s] (n = 11). The subjects were divided into two groups by the type of posture at the instant of the top position, as follows: internal rotation group (n = 5), 11.8 ± 6.08 degrees, and external rotation group (n = 6), 38.1 ± 19.97 . Other kinematics parameters at the top position were adduction of the shoulder at 74.2 ± 19.84 degrees, horizontal adduction of the shoulder at 37.3 ± 14.10 degrees, and extension of the elbow at 92.1 ± 21.63 degrees. The timing and posture of the estimated top position were almost the same as those of the conventional top position.

From the top position to lead foot contact on the pitching sequence, there were three patterns of elbow leading. The three patterns did not depend upon experience. We interpreted them as individual variations.