体育学研究, 35 : 143—156, 1990.

野球の投手の投動作の3次元動作解析

桜井 伸二¹⁾ 池上 康男¹⁾
矢部 京之助¹⁾ 岡本 敦¹⁾
豊島 進太郎²⁾

Three-dimensional cinematographic analysis of the arm movement during a fastball baseball pitch

Shinji Sakurai¹, Yasuo Ikegami¹, Kyonosuke Yabe¹,
Atsushi Okamoto¹ and Shintaro Toyoshima²

Abstract

Many joint actions are involved in the throwing motion of a fastball pitch; therefore, two dimensional (2-D) procedures are insufficient for analyzing the throwing motion. In this study, three dimensional (3-D) high-speed cinematography was used to record fastball pitches of varsity baseball pitchers. Two small reference sticks were fixed on the hands and forearms of the throwing arm of the subjects to detect their movements. The direct linear transformation (DLT) method was used for 3-D space reconstruction from 2-D images filmed by two phase-locked cameras (200 frames/s). The throwing arm has seven degrees of freedom of joint motion except in the fingers; three for the shoulder, one for the elbow, one for the radioulnar, and two for the wrist. Following seven joint angle changes corresponding to all these degrees of freedom were obtained throughout the pitching motion.

- 1) horizontal abduction/horizontal adduction angle at the shoulder joint,
- 2) abduction/adduction angle at the shoulder joint,
- 3) internal rotation/external rotation angle at the shoulder joint,
- 4) flexion/extension angle at the elbow joint,
- 5) pronation/supination angle at the radio-ulnar joint (forearm),
- 6) radial flexion/ulnar flexion angle at the wrist joint,
- 7) palmar flexion/dorsi flexion angle at the wrist joint.

The results showed that horizontal adduction and internal rotation of the shoulder, extension of the elbow, pronation of the forearm, and palmar flexion of the wrist were the important joint actions for fastball pitching in baseball. Preliminary to these motions were motions in the opposite direction; e.g., horizontal abduction and external rotation of the shoulder, flexion of the elbow, supination of the forearm, and dorsi flexion of the wrist were detected. These motions in the opposite direction would be useful to extend the range of the motion in each joint angle. The results also appear to be connected to intrinsic muscle properties, that greater power can be exerted during shortening of the muscle when it is stretched just before the shortening action.

(Japan J. Phys. Educ., 35: 143—156, September, 1990.)

1) 名古屋大学総合保健体育科学センター
〒464-01 名古屋市千種区不老町
2) 愛知県立大学
〒467 名古屋市瑞穂区高田町

1. *Research Center of Health, Physical Fitness and Sports, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa, Nagoya (464-01)*
2. *Aichi Prefectural University, Takada-cho, Mizuho, Nagoya (467)*

は じ め に

熟練者の投動作においては、「腰—肩—肘—手首—ボールの順に各部位の最大速度があらわれる」と言われる。また、体節の最大スピードが大きくリリース直前のその減速が急激なことが熟練者の投動作の特徴であるなどとも言われる^{(12),(13),(19)}。これまでのこのような投動作のキネマティクスに関する研究の多くは、ボールや身体各部位の運動をある平面に投影した形で行なわれる二次元的な分析法であった。しかしながら、投動作は多くの関節が関与し、しかもひねりを含む動作であるため、一平面内で行なわれているとは見なせないのが普通である。投動作のような運動を解析するためには3次元的な動作分析法が必要であると考えられる。

豊島ら²¹⁾は小学校児童の投・打・蹴運動を上方と側方から映画撮影し、上方のカメラによる映像から肩・腰についてその水平面内での回転角度を求めている。同じく、豊島ら²⁰⁾は種々の投てき物の色々な投げ方による熟練者の投げ動作を2方向から映画撮影し、肩および肘の動きを肉眼で観察している。Feltner and Dapena⁶⁾は、大学生野球投手の投動作を3次元的に分析し、肩および肘関節について運動学および運動力学的考察を行なっている。しかしながら、前腕部の回内・回外、手関節の掌屈・背屈、橈屈・尺屈の運動についてはなんら言及していない。Elliott, et al.⁵⁾は同じく野球の投手を対象としたフィルムの3次元的な分析に基づいてカーブと直球の投球動作を比較検討している。しかしながらその関節角度の定義は不明確であり、前腕部と手部の運動については肉眼に基づく主観的な観察にとどまっている。Pappas, et al.¹⁸⁾もアメリカ大リーグの投手を対象として、肩の内旋・外旋、肘の屈曲・伸展についてそのリリース前0.08秒からリリース後0.05秒の関節角度の変化を報告しているが、同じく前腕部の回内・回外と手部の屈曲・伸展に関する記述は肉眼の観察によるものである。

投動作の研究においては、ボールを投げる側

の腕の運動が最も重要な研究対象の1つと考えられる。上肢の肩、肘、橈尺、手の関節はそれぞれ球関節、蝶番関節、車軸関節、長円関節であり、そこにはそれぞれ3, 1, 1, 2と、計7つの自由度が認められる⁸⁾。これらの7つの関節角度変化（すなわち隣接する体節間の位置関係）が求められれば、体幹部に相対的な投球腕の運動が、手指の運動を除いて完全に知られることになる。ところがこうした観点から投球する側の腕の運動を連続的および定量的に求めた研究はほとんど見られない。

本研究の目的は、野球の投手が直球を投げる動作中の投球する側の腕の運動を、3次元映画解析法を用いることにより、特に上肢関節の全自由度について定量的に解析することである。

方 法

大学の野球部に所属する投手6名を対象として研究を行なった。被験者の身長は 1.77 ± 0.03 m、体重は 68 ± 4 kg（平均値 $\pm$ 標準偏差）であった（表1）。これらの投手のうち1名（subj. 6）は左投げであり、他の5名は右投げであった。いずれもスリークオーター（subj. 1, 2, 3）ないしオーバーハンド（subj. 4, 5, 6）と呼ばれるピッチングスタイルの投手であった。

十分な投球練習の後、各投手にブルペンの練習マウンドから正規の距離に位置する捕手に向かって、最大努力で直球を投げさせた。投手が

Table 1. Physical characteristics of subjects, and initial ball speed of each trial.

subject	age (yrs)	height (m)	body mass (kg)	ball speed (m/s)
1	20	1.75	69	36.7
2	21	1.76	74	37.4
3	22	1.73	68	32.8
4	22	1.80	72	34.5
5	19	1.75	67	33.7
6*	19	1.80	60	34.8
mean	21	1.77	68	35.0
S.D.	1	0.03	4	1.6

* : left-handed pitcher

図1. 実験場面の模式図

本来の投球ができなかったと感じた場合、および投球がストライクではなかった場合にはさらに投球を続けさせた。その動作をシャッターの開閉を完全に同期させた2台の16mm 高速度カメラ（フォトソニックス社, 16-1PL）を用いて、2方向（図1, 右後方および左後方：光軸間の角度約60度）から撮影した。カメラの位置は予備実験によってボールのリリースにいたるまでの腕の運動が観察しやすい場所とした。フィルムスピードの設定は200コマ/秒（露光時間：1/2,400秒）とした。10Hzのパルス光をフィルム端に映し込むことで撮影速度を確認したところ、実際のフィルムスピードは設定値の±1%以内の範囲にあったため、全試行ともフィルムスピードは200コマ/秒として以後の分析を行なった。

被験者の身体各部位（両側の肩峰点、投げる側の肘と手首の関節周囲）には黒色の粘着テープによりマークをつけ、腰の後ろにはマークをつけた長さ40cmの棒をベルトで取り付けた。さらに手部と前腕部の動きの分析を容易にするため、木製の棒と塩化ビニル製の板で作製した2つの部分からなる小ボール（各棒の長さ15cm, 重量計20g）を手背部と前腕部（手背側）にずれないように固定した（図2）。本研究では、手背部に取り付けた小ボールのうち横棒（b—c—d）は分析には用いなかった。

撮影によって得られた2本のフィルムのそれ

図2. 手と前腕の運動の分析のための小ボール

図3. 本研究で用いた座標系（右投げ投手の場合）

それぞれについて、身体各部位のマークを参考にして、左右両肩、投球腕の肘と手の関節中心点の座標計測を行なった。また腰の棒の両端、手部と前腕部の小ボール上のマーク、ボールの中心についても座標計測を行ない、DLT（Direct

Linear Transformation) 法^{1),10)}を用いてそれぞれの点の3次元座標値を求めた。フィルムからの座標計測にはフィルムモーションアナライザー(NAC社, 160B)の映写ヘッド部とデジタイザ(グラフィック社, KD5050 II)を用い, 計算はミニコンピュータ(デーダゼネラル社,

MV-4000)を用いて行なった。なお, 本研究ではボールが手から離れる瞬間(リリース)を便宜的に1.00秒として, 各被験者について1投ずつ, 0.60秒から1.04秒を分析の対象とした。

DLT法で3次元座標値を求めるために用いた道具(リファレンスフレーム)は池上ら¹¹⁾が用

D1, D2

J1

J2

J3

J4

J5

J6

J7

図4. 上腕部の方向を示す角度(D1, D2)および上肢の関節角度の表示法(J1:肩の水平位内転-水平位外転, J2:肩の外転-内転, J3:肩の内旋-外旋, J4:肘の伸展-屈曲, J5:前腕部の回内-回外, J6:手関節の尺屈-桡屈, J7:手関節の掌屈-背屈)。上図の座標系(O'-X'Y'Z')は, 図3の座標系(O-XYZ)を原点が投球腕の肩関節中心点となるように平行移動したものである。

図5. 角度の算出に用いたベクトルの模式図

いたものと同じものであった。すなわち直交する3本のアームからなり前後と左右がそれぞれ長さ2.1m, 高さが1.9mの範囲内に座標値が既知の12個のマークを持ち, 投動作が行なわれる空間をカバーする大きさのものであった。

本研究では右投げの投手の場合には図3に示すような座標系を採用した。すなわち, マウンド上のピッチングプレート前縁の軸足の爪先を原点Oとし, Z軸は鉛直に, Y軸はホームベースに向けて水平に, X軸は両軸に垂直で3塁ベース方向(ホームベースに向かい右方向)に向くものとした。左投げ投手の場合にはY, Zの両軸は同じでX軸を反転させた座標系を採用し, 各点の3次元座標値を得た後は右投げの被験者の場合と全く同様に以下の処理を行なった。

遮断周波数が13.3Hzとなる2次のバターワース型デジタルフィルタ^{23),25)}を用いて各点の3次元座標値を平滑化した。得られた3次元座標値から, 上腕部の方向を示す2つの角度(D1, D2)と7つの関節角度(J1:肩関節の水平位内転—水平位外転, J2:肩関節の外転—内転, J3:肩関節の内旋—外旋, J4:肘関節の伸展—屈曲, J5:前腕部の回内(内旋)—回外(外旋), J6:手関節の尺屈—桡屈, J7:手関節の掌屈—背屈)を, ボールを投げる側の腕について計算で求めた(図4)。

本研究においてはFeltner and Dapena⁶⁾, 池

上ら¹¹⁾にならい, それぞれの体節および小ボールをベクトルであらわし(図4, 図5), 関節角度等はベクトルがなす角度として求めた。左肩から右肩へ向かうベクトルをSD, 腰の棒の両端の中心を便宜的に両腰の中心として両肩の中心から両腰の中心へ向かうベクトルをTR, 両者の外積($SD \times TR$)をFRとする。D1およびD2は, それぞれ上腕部(UA)をX-Y平面に投影したベクトルとX軸がなす角度, およびUAとX-Y平面とのなす角度とした。J1およびJ2はSDとFRがなす平面へのUAの投影(UA')とSDのなす角, およびTRとUAとのなす角とした。J3は前腕部(FA)とFRとをUAに垂直な平面に投影したベクトルをそれぞれFA', FR'とすると, FA'とFR'のなす角度とした。J4はUAとFAがなす角とした。J5は前腕部に取り付けた小ボールWS(e—g)とUAとをFAに垂直な平面に投影したベクトルをそれぞれWS', UA''とすると, WS'とUA''のなす角度とした。J6およびJ7はそれぞれ, 手部的に取り付けた小ボール(HD:c—a)のFAとWSがなす平面への投影(HD')とFAがなす角, およびFAとWT(FAとWSとの外積: $FA \times WS$)がなす平面へのHDの投影(HD'')とFAがなす角とした。なお, J1からJ7の関節角度の表示法(0度, 符号)については日本整形外科学会・日本リハビリテーション学会により制定された「関節可動域表示ならびに測定法」¹⁷⁾を参

図6. Y-Z 平面に投影した各投手の投球動作 (リリースを1.0秒の時点とした).

考にして図4に示すようなものとした。

結 果

フィルムから求められた各投手の投球スピー

ドはリリースの直後で $35.0 \pm 1.6 \text{ m/s}$ (平均値 $\pm$ 標準偏差)であった(表1)。

図6には、分析した時間範囲内の6名の被験者の動作を、Y-Z平面に投影したスティック

図で示した。

図7は、同じく6名の被験者の動作中のボールの動きをX-Y平面に投影したものである。いずれの場合もボールの軌跡は投球方向に対して直線的ではなかった。

図8には、投げる側の肩の位置変化(A)、上腕部の方向を示す角D1とD2の変化(B)、J1からJ7の関節角度変化(C)を、スリークォーター投法のsubj. 1とオーバーハンド投法のsubj. 6の場合について示した。これらの被験者の投げる側の腕の運動はこれらによって完全に記述されたことになる。

これらの変化には個人差も認められたが、被験者間でその変動の傾向としては類似点が多く認められた。図9(A, B, C)には図8と同じ変量について、同一の時刻で6名の被験者の平均値と標準偏差を求めた結果を示す。なお、投げる側の肩の位置変化(A)については各被験者の身長で除した値を求め、それによって処理を行なった。以下の結果についてはこのようにして求めた6名の平均値に基づいて述べることにする。

投げる側の肩の位置については、投球方向(Y方向)への動きが最も顕著に認められ、Z方向の

図7. X-Y平面に投影した投球動作中のボールの軌跡(1/200秒毎, ○印の時点がリリース)。

図 8. 投球動作中の投げる側の肩の位置変化 (A), 上腕部の方向を示す角 D1 と D2 の変化 (B), J1 から J7 の関節角度変化 (C). (subj. 1 および subj. 6 の場合: 細線が subj. 1, 太線が subj. 6 の結果を示す)

運動はごくわずかであった。上腕部の水平面内での位置を示す角 D1 は 0.7–0.8 秒前後に最小となり (0.770 秒に -148.8 ± 15.0 度), 0.8 秒以後に上腕部は急激に前方へと振り出された。リリース時には 24.7 ± 8.2 度であった。また角 D2 の変化から, 上腕は次第に挙上され, リリース時には 7.5 ± 20.6 度となることが認められた。

J1 (肩関節の水平位内転–水平位外転角) では, 最初やや水平位内転の位置に上腕部があり, リリース前 0.31–0.06 秒前後に上腕部が両肩を結ぶ線を超えて水平位外転されその後再び水平位内転する傾向が認められた。J2 (肩関節の外転–内転角) では, リリースに向けて上腕部は次第に挙上 (外転) され, ほぼ体幹部に対して直角の位置に近づいた。J3 (肩関節内旋–外旋角) については, 投球動作中に急速に外旋し, リリース 0.035 秒前で最大位外旋となり, 急激に内旋しながらリリースに至っていた。J4 (肘関節の伸展–屈曲角) については, 伸展位から次第に屈曲しリリース前約 0.15–0.05 秒で最大屈

曲となり, 急速に伸展しリリース時にはほぼ伸展位に戻っていた。J5 (前腕部の回内–回外角) では, 最初回内位にあったものが次第に回外しその後急速に回内してリリースに至っていた。J6 (手関節の尺屈–桡屈角) は, 他の関節運動に比べ最もその変動範囲が小さく, 顕著な関節運動は認められなかった。J7 (手関節の掌屈–背屈角) は, 投球動作中に次第に背屈し, リリースの 0.035 秒前で最大背屈となり, 掌屈しながらリリースとなった。

考 察

Atwater のレビュー³⁾によれば, 野球の投手についてこれまで報告されている最も大きな投球初速 (スピード) は, 試合中にスピードガン (レーダー) で測定されたノーラン・ライアン投手の 45.1 m/s であり, 以下多くの報告がある。本研究と同じ 3 次元映画分析法により大学野球投手の動作を撮影した Feltner and Dapena⁶⁾ が 33.5 m/s , またオーストラリアナショナルチャー

ムについて Elliott, et al.⁵⁾が35.1m/s という投球スピードを報告している。本研究で得られた値はアマチュア投手を対象とした実験条件下でのこれらの直球のスピードとほぼ同じであった。

(1) 投動作における上肢の運動の分析法に関して

本研究で求めた腕の各関節の角度変化を先行研究の結果と比較することはかなり困難である。既に指摘されているように⁶⁾、これまでの投運動に関する多くの研究は2次元的に行なわれてきており、さらに3次元的な分析を行なう場合には関節角度の定義が困難であったからである。Elliott, et al.⁵⁾は投手の動作を3次元撮影によるフィルムから分析しているが、そこで示された関節角度は肩、肘、手首についてそれぞれ1つであり、何をもってその関節角度としているか不明である。Pappas, et al.¹⁸⁾は投球運動中の肩の回旋および肘関節角の変化を求めている。肩の回旋角については、絶対座標系を基準

として水平面と前腕との位置関係から算出しているため、その結果は肩の内外旋ばかりではなく、体幹部などの運動をも反映したものとなっている。また Vaughn²²⁾は高校生および大学生投手の投動作を対象として、上腕部の回旋および肘関節の屈曲・伸展についてその角速度の変化を求めているが、上腕部の回旋についてはやはり固定された空間座標系における回旋角を求めているため、Pappas, et al.¹⁸⁾の結果と同じくその結果は必ずしも肩関節の角度変化を忠実に表わしてはいない。

本研究においては、固定された空間座標系に対してばかりではなく、解剖学的特質に基づき各関節の全ての自由度についてその角度変化を

図9. 投球動作中の投げる側の肩の位置変化 (A), 上腕部の方向を示す角 D1 と D2 の変化 (B), J1 から J7 の関節角度変化 (C). (同一の時刻における 6 名の被験者の値の平均値 $\pm$ 標準偏差)

求め、投球腕の運動の完全な記述を試みた。本研究の分析法とほぼ同様の分析法としては、Feltner and Dapena⁶⁾の研究があげられる。Feltner and Dapena⁶⁾は本研究と同様に、肩について 3, 肘について 1 の関節角度を規定してその変化を求めている。肩の水平位内外転, および内外旋, 肘の伸展屈曲に関しては、本研究においても彼らの研究と同様の角度定義を採用した。ただし彼らの算出法では肩関節の外転-内転の角度を、両肩を結ぶベクトル (本研究における SD に相当) と肩から腰へのベクトル (同 TR) とがなす平面へ投影された上腕部のベクトルと肩のベクトルがなす角としている。このため水平位外転-内転の角度が ± 90 度 ($\pm 1/2\pi$) に近い場合には肩関節の外転-内転の角度が規定できなくなる。そこで本研究ではこれを前述のように体幹部 (TR) と上腕部 (UA) がなす角として求めた。肩の水平位外転-内転の角度が 0 度に近い場合には彼らの算出法による内外転角度と本研究による値はほぼ等しいが、

肩の水平位内外転角が 0 度から離れるほど両者の差は大きくなることになる。なお、本研究の分析範囲においては、各被験者の肩の水平位外転-内転の角度は、 -50.5 度 (水平位外転位) から 32.4 度 (水平位内転位) の範囲にあった。

また、3 次元空間内で平面に投影されたベクトルの運動から関節角度を求める際に、投影されるベクトルと投影する平面とがなす角度が垂直な場合には関節角度を求めることが不能である。またベクトルと平面のなす角度が垂直に近い場合においては、得られる角度値の誤差が大きくなる可能性があり、結果の検討には注意を要する。例えば、UA と FA が平行に近い場合には求められた J3 および J5 の誤差が大きい可能性がある。図 8 中の J3 の 0.7 秒以前で、2 名の投手の結果が大きく異なっていたことは、そのような誤差に起因することも考えられる。そこで関節角度を求める際に、投影されるベクトルと投影する平面がなす角度が 60 度以上となる投手がいた場合には、該当の関節角度の結果を図 9

C

中に示さなかった。これは平面に投影したベクトル長がもとのベクトル長の1/2以下となる場合に相当し、上の例では、J3およびJ5を求める際にJ4の絶対値が30度以下および150度以上である場合に当たる。本研究の分析範囲においてはバックスイング時(0.72秒以前)およびリリース後(1.01秒以後)に肘関節角度(J4)の絶対値が30度以下となる投手が存在した。

豊島ら²⁰⁾は種々の投てき物の色々な投げ方による熟練者の投げ動作を2方向から映画撮影し、握れる投てき物をオーバーハンドで投げる場合、バックスイング時には腕が肩より後方に引かれること、および肘がほぼ完全に伸展していることを観察している。本研究の結果によれば、野球の投手という熟練者でこの動きが定量的に確認された。

Atwater³⁾は、オーバーハンド、サイドアームといった投法の違いによらず、リリース時の肩の外転角度はほぼ一定であると述べている。本研究におけるスリークオーターの投手(subj. 1)

とオーバーハンドの投手(subj. 6)の結果を比較(図8)すると、スリークオーター投法の投手は、オーバーハンド投法の投手に比べ、リリース時の肩の位置がXの正の方向にあり、またリリース時の上腕の方向角(D2)がスリークオーターの投手では0度(水平面上)前後であるのに対し、オーバーハンドの投手では40度前後であった。さらに固定された座標系に対しての上腕部の方向を示す角D2に認められた差に比べ、肩関節の外転角度を示す角J2に認められた差は両投手間で小さかった。また図9に示した全被験者の結果についても、上腕の方向角(D2)のほうが肩関節の内外転角度(J2)に比べ特にリリースの前後でその標準偏差が小さく、投法

によらず投球時の肩関節の運動は似通ったものであることが示唆された。

Elliott, et al.⁵⁾は主観的な観察によってリリースに先立つ前腕部の回内, 手関節の掌屈を報告している。本研究によってこのような動作が定量的に明らかにされた。また Hang⁷⁾は30回/秒のストロボ撮影により得られた写真の内眼による観察から, リリース時に直球では10度から15度程度の前腕部の回内が, またカーブでは同じ程度の回外が認められると報告している。本研究ではリリース後も含めると彼等の報告よりかなり角度範囲の大きな回内動作が直球において観察された。

以上のように, 肩および肘の運動についてばかりではなく, これまで高速度撮影法を用いても肉眼による観察の域を出なかった前腕部と手関節についての運動の分析が, 本研究で用いた方法により定量的に行なえるようになった。

(2) 投動作の運動学的特徴について

Feltner and Dapena⁶⁾は, 野球の投手のリリース0.2秒前からの投動作中の肩と肘の動きを3次元的に分析し, リリース前の主要な動作として, 肩の外旋に引き続いて起こる内旋, 肘の屈曲に引き続いて起こる伸展を報告している。本研究においても同様な傾向が認められた。この他に前腕部の運動についても投球時の回内とそれに先立つ回外動作が認められ, 関節の運動範囲も他の2者同様に大きなものであった。また, 肩関節の水平位内転, 手関節の掌屈というリリースに向けての動作の前にも, それぞれ水平位外転, 背屈という反対向きの動作が認められた。すなわち, 投手の投動作における腕の主要な関節運動は, リリース前後の肩関節の水平位内転と内旋, 肘関節の伸展, 橈尺関節(前腕部)の回内, 手関節の掌屈であるが, いずれについてもそれに先行して, リリースに向かうのと逆の方向への運動(肩の水平位外転と外旋, 肘の屈曲, 前腕部の回外, 手関節の背屈)が各関節で起きていた。

リリースに向かう動作に先立ちこれと逆方向への運動が各関節でおきることで, 関節の

運動範囲は大きくなる。このようにボールの移動距離が大きいこと, あるいは関節の運動範囲が大きいことは, 筋がパワーを発揮する時間とボールに力が加わる距離をのばして大きなエネルギーがボールに与えられることに寄与する²⁴⁾ものと考えられる。

またこれとは別に, 短縮の直前に筋を急激に伸長させることにより大きな力が発揮されるという報告が摘出筋で報告されている⁴⁾。走・歩といった移動運動をはじめとする実際の運動においても, 収縮方向と逆方向への動作が直前に行なわれた場合にはパフォーマンスが向上したり機械的効率が向上することが報告され, このことの原因としては筋に蓄えられた弾性エネルギーが再利用されるためとの説明がなされている^{23,14)}。投動作についても2次元的な分析より, 投球方向への身体各部位の速度変動の傾向から投球時におけるこの効果が議論されてきている^{9,16)}。熟練者では投球方向への身体重心速度がボールをもつ手の速度を凌駕する局面があることから, 体幹部と手の間にある筋肉のいずれかが, 短縮に先立って伸長されている可能性があるというのである。本研究においては, 投手の投動作における腕の主要な関節運動のそれぞれについてその直前に反対方向への運動が認められたことから, 肩関節の水平位内転と内旋, 肘関節の伸展, 橈尺関節(前腕部)の回内, 手関節の掌屈という運動に関連する上肢および上肢帯の諸筋において, この弾性エネルギーの再利用が行なわれている可能性が示唆された。

これらの関節運動が行なわれる時間的な順序に注目すると, おおよそ肩関節の水平位内転—肘関節の伸展—肩関節の内旋および手関節の掌屈—橈尺関節(前腕部)の回内, という順であった。従来, 2次元的な分析法によって得られた結果では, 腰—肩—肘—手首—ボールと体幹に近い部分から末端に向かっての順に各部位の最大速度が出現すると言われてきた^{12,19)}。また「上体, 上腕, 前腕, 手首というように, 中心部から順にねじりもどされることにより, スピードボールを投げることができる」¹⁵⁾などの

表現に認められるように、熟練者の投動作においては体幹部に近い関節の運動が先に起こり、次第に末端の関節の運動が起こるとの意見もある。しかしながら本研究で3次元的な分析法を野球の投手の直球の投球動作に適用したところ、上肢関節の運動に関しては、必ずしも体幹部に近い関節の運動が先に行なわれ末梢の関節の運動が遅れて行なわれるというわけではなかった。

ま と め

野球の投手の前腕部と手部に小ボールを取り付け、3次元映画分析法を用いることにより、投げる側の腕の肩、肘、前腕(橈尺)、手のそれぞれの関節角度について投動作中の角度変化が求められた。この分析法により投球動作における腕の運動が完全に記述できることになった。それによれば、直球の投動作における主要な腕の関節運動は、リリース前後の肩関節の水平位内転と内旋、肘関節の伸展、橈尺関節(前腕部)の回内、手関節の掌屈であり、いずれについても、その運動に先立ち逆方向への運動(肩関節の水平位外転と外旋、肘関節の屈曲、橈尺関節(前腕部)の回外、手関節の背屈)が認められた。

引用・参考文献

- 1) Abdel-Azis, Y.I. and Karara, H.M., "Direct linear transformation from computer coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry," Proc. ASP Symp. on Close-range Photogrammetry. American Society of Photogrammetry, : Falls Church, 1971, pp. 1-18.
- 2) Asmussen, E., and Bonde-Peterson, F., "Apparent efficiency and storage of elastic energy in human muscles during exercise," Acta Physiol. Scand, 92: 537-45, 1974.
- 3) Atwater, A.E., "Biomechanics of overarm throwing movements and of throwing injuries," Exercise and Sport Sciences Reviews, 7: 43-85, 1979.
- 4) Cavagna, G.A., Saibene, F.P. and Margaria, R., "Effect of muscle work on the amount of positive work performed by an isolated muscle," J. Appl. Physiol. 20: 157-58, 1965.
- 5) Elliott, B., Grove, J.R., Gibson, B. and Thurston, B., "A three-dimensional cinematographic analysis of the fastball and curveball pitches in baseball," Int. J. Sport Biomech. 2: 20-28, 1986.
- 6) Feltner, M. and Dapena, J., "Dynamics of the shoulder and elbow joints of the throwing arm during a baseball pitch," Int. J. Sport Biomech. 2: 235-59, 1986.
- 7) Hang, Y., "Little league elbow-A clinical and biomechanical study," Matsui, H. and Kobayashi, K. (Eds.), Biomechanics VIII-A, Human Kinetic Publishers Inc.: Champaign, IL, 1983. pp. 70-85.
- 8) Hay, J.G. and Reid, J.G., Anatomy, mechanics, and human motion, 2nd ed., Prentice Hall, Inc.: Englewood Cliffs, N.J., 1988. pp. 15-30.
- 9) 平野裕一「投球動作のバイオメカニクス」臨床スポーツ医学, 5: 853-58, 1988.
- 10) 池上康男「写真撮影による運動の三次元的解析法」J.J. Sports Sci. 2: 163-70, 1983.
- 11) 池上康男・桜井伸二・池上久子・安藤好郎・袖山 紘「スキーターンの三次元的分析の試み」第8回日本バイオメカニクス学会大会論集'86: 41-45, 1987.
- 12) 石井喜八・斎藤好史「強靱でしなやかな投げ」J.J. Sports Sci. 1: 79-84, 1982.
- 13) Joris, H.J.J., Edwards, A.J., van Muyen, G.J., van Ingen Schenau and Kemper, H.C.G., "Force, velocity and energy flow during the overarm throw in female handball players," J. Biomech. 18: 409-14, 1985.
- 14) Komi, P. and Bosco, C., "Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women," Med. Sci. Sports, 10: 261-65, 1978.
- 15) 松井秀治, 野球の科学, 講談社, 1981, pp. 11-78.
- 16) Miyashita, M., Fukushima, S. and Hirano, Y., "Feedback of biomechanics data," 1984 Olympic Scientific Congress Proceedings "Sports Biomechanics", 1986, pp. 47-54.
- 17) 日本整形外科学会身体障害委員会・日本リハビリテーション医学会評価基準委員会編「関節可動域表示ならびに測定法」リハビリテーション医学, 10: 119-23, 1973.
- 18) Pappas, A.M., Zawacki, R.M. and Sullivan, T.J., "Biomechanics of baseball pitching - A preliminary report," Am. J. Sports Med., 13: 216-22, 1985.
- 19) Sakurai, S. and Miyashita, M., "Developmental aspects of overarm throwing related to age and sex," Human Movement Science, 2: 67-76, 1983.
- 20) 豊島進太郎・三浦望慶・池上康男「種々の投てき物を投げた時の投動作の分析」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: 34-47, 1977.

- 21) 豊島進太郎・荒川健司・星川 保「上方，側方からみた投・打・蹴運動の分析」日本バイオメカニクス学会編，身体運動の科学V，スポーツ・バイオメカニクスへの挑戦，杏林書院，1983，pp. 204—13.
- 22) Vanghn, R.E., "An algorithm for determining arm action during overarm baseball pitches." in Winter, D.A., Norman, R.W., Wells, R.P., Hayes, K.C., and Patla, A.E. (Eds), Biomechanics, Vol. IX-B, Human Kinetic Publishers Inc.: Champaign, IL, 1985, pp. 510—15.
- 23) 横井孝之・斉藤慎一「スプラインとデジタルフィル
ターによるデータスムージングのための Basic プログラム」筑波大学体育科学系紀要，5: 201—06, 1982.
- 24) 吉福康郎「投げる一物体にパワーを注入する」J.J. Sports Sci. 1: 85—90, 1982.
- 25) Winter, D.A., Biomechanics of Human Movement, John Wiley & Sons, Inc.: New York, 1979. pp. 9—46.

(平成元年 4 月 18 日 受付)