

〔原著〕

加速度センサを用いた速球とカーブ投球時の 体幹と上肢の運動分析

齋藤 健治¹, 井上一彦², 渡辺正和³
細谷 聡⁴, 井上伸一⁵

要 旨

本研究の目的は、速球とカーブ投球時の上肢と体幹の動きの違いについて明らかにすることであった。大学野球選手の手首と上腕、および背部に計測器を装着して、速球とカーブ投球時の関節運動の角速度を計測した。そして、最大角速度とその時刻、およびボールリリース時の角速度を抽出し、両投球間で比較した。その結果、ボールリリース時の前腕回内角速度と肩内旋角速度は速球の方が大きく、それに対して、最大角速度には差はなかった。前腕回内と肩内旋の最大角速度の時刻は、カーブにおいて速球より遅かった。対照的に体幹運動の角速度には、速球とカーブの間で差は見られなかった。これらの結果から、カーブ投球ではボールリリース時に前腕を相対的に回外位に保つため、両投球種間に差が生じること、そして、カーブ投球では、その前腕回外位を保ちやすくするために、肩内旋の角速度を抑える必要があると考えられた。

キーワード：野球、前腕回内、肩内旋、体幹前傾、体幹回旋

はじめに

身体運動の動作解析には、三次元動作解析法を用いることが一般的となっており、野球投球の動作解析においてもそれを利用することにより多くの知見が蓄積されてきた [25]。三次元動作解析の長所は、被験者を計測器等で拘束しない点、身体全体の動きを一度に計測でき、容

易に再現・確認できる点、さらに動力学解析ソフトウェアが充実している点等にある。また、精度の問題は残るにしても、実際の試合におけるパフォーマンスの計測ができる点も長所といえる [6]。

一方、加速度センサやジャイロセンサなどの慣性センサは小型化が進み、計測への適用が容易になってきたことから、これらを用いた研究

1 名古屋学院大学 スポーツ健康学部

2 岩手県立大学 共通教育センター

3 福岡大学 スポーツ科学部

4 信州大学 繊維学部

5 佐賀大学 文化教育学部

Correspondence to: Kenji Saitou

E-mail: saiken@ngu.ac.jp

Received 30 May, 2014

Revised 12 June, 2014

Accepted 3 July, 2014

も進展してきた [11, 13, 18, 21, 22, 26]。一度に多くの部位を計測対象にできる三次元動作解析と異なり、センサ計測は一般的に計測対象部位が限定的であることが多く、それだけに計測箇所を選定にも注意が必要となる。また、分析する上で実際の動きとの同期をとることが必要になることが多く、したがって、ビデオ撮影を併用することが通常である。このようなセンサ計測であるが、三次元動作解析を補完、あるいは代替的、特定部位計測に適用できる有用性がある。例えば、四肢やバットなどの長軸まわりの回転運動を計測する場合、計測場所を選好できない場合、多数の被験者から手軽にデータを取得したい場合、あるいは練習現場で定期的な縦断データを取得したい場合などには有効である。斎藤ほか [19, 20] は手首に装着した加速度センサにより投球時の加速度を調べ、投球スピードを推定する手法を提案すると同時に、投球動作との関連を考察している。将来、さらなる小型化や無線化によるセンサの高機能化が進めば、このような知見を生かして実際の練習・指導現場での活用が期待できる。そして、その活用がさらに種々のデータ蓄積を生み、コーチングへの多大な貢献がいつそう促進されると期待できる。

ところで、野球の投球動作については前述したように三次元動作解析による多くの研究がなされているが、その中で変化球投球についても調べられている。例えば、カーブ投球については、Ketlinski [12] のフィルム分析を用いた研究や、Atwater [1] が三次元映像分析を行ったのを契機に、その後もスライダークラウチングやチェンジアップなどの球種も含めて研究報告されている [5, 10, 15, 16, 23]。このような研究は、野球肘や野球肩などの障害との関連を明らかにしようとしたものが多い。しかしながら、それら変化

球投球の肩や肘の障害への影響については未だ明確にされていない、野球研究の歴史の中で古くて未だ新しいテーマである。そこには、動力学研究だけではなく、改めて運動学的研究の余地が残っていることを意味している。本研究では、加速度センサを用いて角速度を求めるというセンサ計測の可能性を検討しつつ、速球（日本においては直球と呼ばれる）とカーブ投球時の投球腕と体幹の運動について分析することを目的とした。

方 法

被験者および試技

被験者は、9人の大学野球選手（野球経験が10-12年の右利き投手）であった。被験者の前腕遠位部、上腕部および体幹背部（肩甲骨の高さ）に、角速度を計測するための加速度センサデバイスを装着し、正規の距離18.44 mで捕手に向けて投球を行わせた。ただし、デバイス装着による投球時の負担を軽減するために、前腕と上腕への同時装着は行わず、前腕遠位部と体幹背部、および上腕部と体幹背部の二パターンの計測を行った。投球試技はデバイス装着の上で練習を複数回行い、速球（Fastball）とカーブ（Curveball）の二球種をそれぞれのパターンで三球ずつ行わせた。したがって、投球数は12球であった。このとき、被験者にはできるかぎり通常と同様の意識で投球することをお願いした。投球種の妥当性は験者の視認によった。

なお、本研究は、名古屋学院大学医学研究倫理委員会の承認を得た（承認番号2010-003）。

計測および角速度検出

加速度センサデバイスは、直交するアルミ製の三軸フレーム上に2個ずつ並べられ

た計6個の加速度センサ (Analog Devices, ADXL190, $\pm 100\text{G}$ および ADXL150, $\pm 50\text{G}$) から構成された (図1)。各軸上の加速度センサは, 10 mm 角のL字状アルミ板に, センサ間距離 100 mm , 原点から内側センサまでの距離 (r_x, r_y, r_z) 20 mm で固定した。その結果, 各軸のデバイス長は約 130 mm , デバイス重量は約 100 g となった。体幹背部には, x軸が左右方向, y軸が上下方向に沿うように装着した (図2a)。上腕部および前腕遠位部 (手首) には, 三軸のうちy軸が長軸に沿うように装着した (図2b, c)。前腕遠位部および上腕部に装着したデバイスにはADXL190,

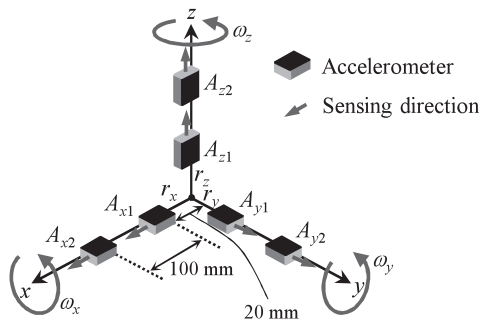


Fig. 1 Scheme of device consisted of six accelerometers. Two accelerometers whose sensing direction were indicated each direction of axis were arranged 100 mm apart on three axes.

体幹背部に装着したデバイスにはADXL150を用いた。これらの信号はサンプリング周波数 1 kHz , 精度 12 bit でA/D変換し, パーソナルコンピュータに取り込んだ。取り込んだ信号は, 4次のバターワースフィルターにより周波数 20 Hz で高域遮断した。

投球のボールリリース (以下「リリース」と略す) は, 被験者の第II, III指先とボールに導通テープを貼り, 電気的に検出した [19]。投球スピードは, スピードガン (PSK Professional, トーアスポーツマシン社) を用いて, 捕手後方の投球線上で計測した。また, 被験者側面からハイスピードカメラ (CASIO, Exsilim, サンプリング 300 Hz) によるビデオ撮影も行った。

角速度の検出

6個の加速度センサで計測される加速度 $A_{x1}, A_{x2}, A_{y1}, A_{y2}, A_{z1}, A_{z2}$ (図1) は, 次式で表される [17, 18]。

$$\begin{aligned} A_{x1} &= \ddot{R}_x - g_x + r_x(\omega_y^2 + \omega_z^2) \\ A_{x2} &= \ddot{R}_x - g_x + (r_x + d)(\omega_y^2 + \omega_z^2) \\ A_{y1} &= \ddot{R}_y - g_y + r_y(\omega_x^2 + \omega_z^2) \\ A_{y2} &= \ddot{R}_y - g_y + (r_y + d)(\omega_x^2 + \omega_z^2) \\ A_{z1} &= \ddot{R}_z - g_z + r_z(\omega_x^2 + \omega_y^2) \\ A_{z2} &= \ddot{R}_z - g_z + (r_z + d)(\omega_x^2 + \omega_y^2) \end{aligned} \quad (1)$$

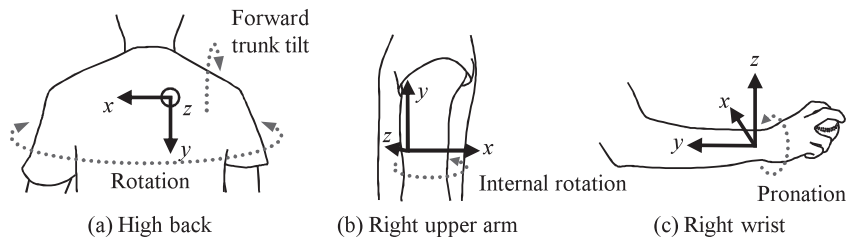


Fig. 2 Measuring device, which consisted of three aluminum frame configured with a rectangular coordinate and two accelerometers arranged on each bar as shown in Fig. 1, were attached on (a) high back, (b) upper arm and (c) wrist of participants.

ここで、 \ddot{R}_x , \ddot{R}_y , \ddot{R}_z は並進加速度, g_x , g_y , g_z は重力加速度, r_x , r_y , r_z は三軸交点から内側のセンサまでの距離, d は各軸上のセンサ間の距離 (100 mm), ω_x , ω_y , ω_z は各軸まわりの角速度を表している。各軸まわりの角速度は、式(1)から次式のように求められる。

$$\begin{aligned} |\omega_x| &= \sqrt{\frac{(A_{y2}-A_{y1})+(A_{z2}-A_{z1})-(A_{x2}-A_{x1})}{2d}} \\ |\omega_y| &= \sqrt{\frac{(A_{x2}-A_{x1})+(A_{z2}-A_{z1})-(A_{y2}-A_{y1})}{2d}} \quad (2) \\ |\omega_z| &= \sqrt{\frac{(A_{x2}-A_{x1})+(A_{y2}-A_{y1})-(A_{z2}-A_{z1})}{2d}} \end{aligned}$$

式(2)は、平方根により角速度を求めているため、低角速度になるほど相対的な誤差が大きくなる [17]。しかし、本研究では相対的に大きな角速度の局面を問題にしているため、この誤差の影響は少ないといえる。

したがって、前述のようなデバイス装着により、前腕の回内外(肘関節伸展時には肩の内外旋を含む)角速度が $|\omega_y|$ として求められる。また、体幹の前後屈は $|\omega_x|$ として、体幹長軸まわりの回旋は $|\omega_z|$ として求められる。式

(2)のように、求められる角速度は絶対値で表され、これは回転の方向が得られないことを意味する。しかしながら、リリース前後においては、ビデオ画像の確認により回転の方向を知ることが容易である。

投球動作の局面分け

一連の投球動作は、図3に示すようにアーリーコッキング期、レイトコッキング期、加速期およびフォロースルー期に分け、リリース時を0 msとして表した。以下では、一般的なケースとしてアーリーコッキング終盤、あるいはレイトコッキング期以降に相当する、リリース前300 ms (-300 ms) からリリース後200 msまでの500 ms間のデータを示す。

統計分析

角速度最大値出現時刻、角速度最大値、およびリリース時角速度への球種(速球とカーブ)の影響については、各被験者の平均値を用いて、一元配置の分散分析により検定した。

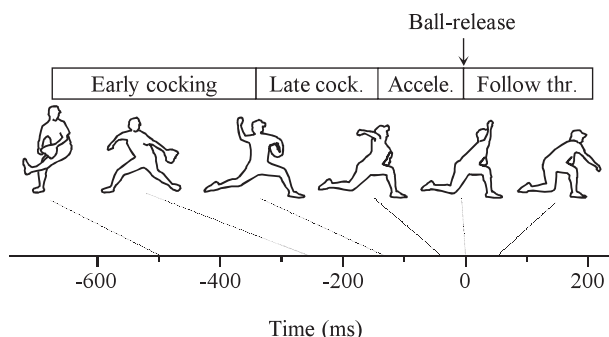


Fig. 3 Pitching motion is explained by four phases that are early cocking phase, late cocking phase, acceleration phase and follow through phase. Zero on the horizontal axis indicates the time of ball-release.

結果

投球スピード

速球とカーブの投球スピードの平均はそれぞれ、 122.0 ± 2.2 km/h と 95.8 ± 3.2 km/h であった。

速球とカーブの投球試技

図4に、ある被験者の速球とカーブ投球試技における、体幹回転と体幹前傾の角速度波形の典型例を、図5に、肩の内外旋と前腕回内外の角速度波形の典型例を示す。体幹の運動においては、速球投球時の前傾にややばらつきが

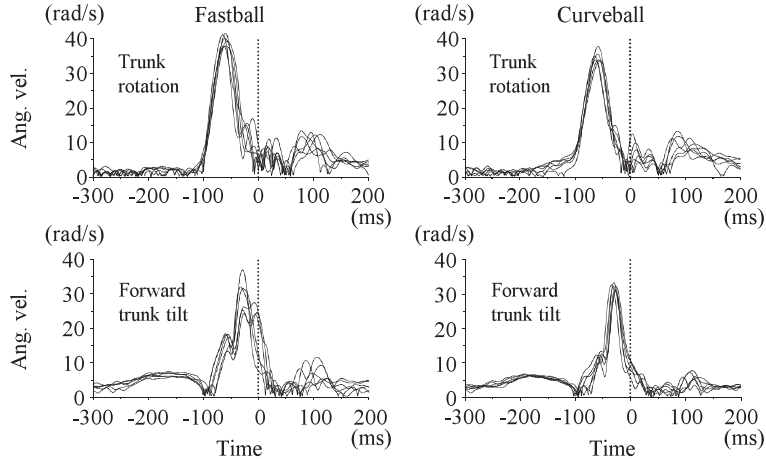


Fig. 4 An example of angular velocity waveforms about trunk rotation and forward trunk tilt when a participant pitched fastball (left column) and curveball (right column) six times. Zero millisecond on time axis indicates the time of ball-release.

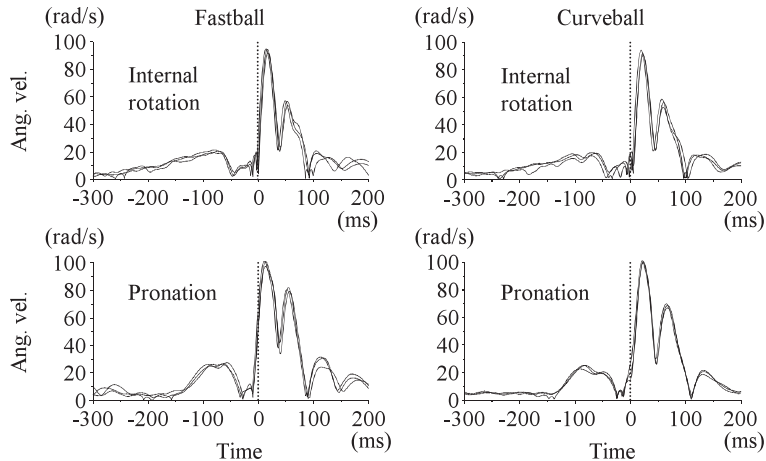


Fig. 5 An example of angular velocity waveforms about internal rotation of shoulder and forearm pronation when a participant pitched fastball (left column) and curveball (right column) three times. Zero millisecond on time axis indicates the time of ball-release.

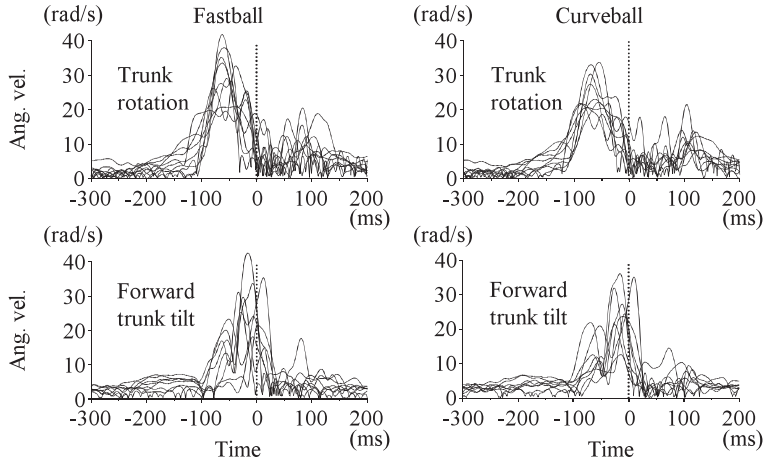


Fig. 6 An example of angular velocity waveforms about trunk rotation and forward trunk tilt when all participants pitched a fastball (left column) and a curveball (right column). Zero millisecond on time axis indicates the time of ball-release.

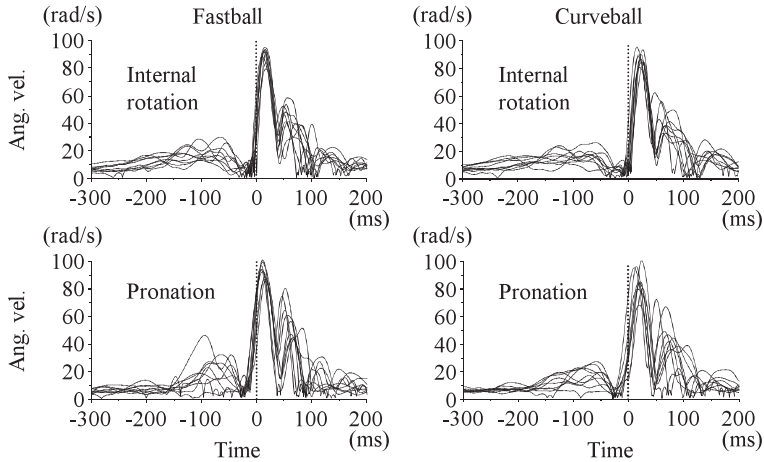


Fig. 7 An example of angular velocity waveforms about internal rotation of shoulder and forearm pronation when all participants pitched a fastball (left column) and a curveball (right column). Zero millisecond on time axis indicates the time of ball-release.

見られるが、概ね、リリース前約50 msおよび約15 ms近辺にそれぞれ体幹回旋と前傾の角速度最大が認められた。肩と前腕の運動においては、三球ずつではあるもののリリース直後約10-20 msに内旋および回内の最大角速度が認められ、50-70 msに外旋および回外の最大角

速度が認められ(双峰の二番目のピーク)、その再現性は高かった。

図6に、全被験者の速球とカーブ投球試技における体幹回旋と体幹前傾の角速度波形の一例を、図7に、肩の内旋と前腕回内外の角速度波形の一例を示す。個人差が認められるもの

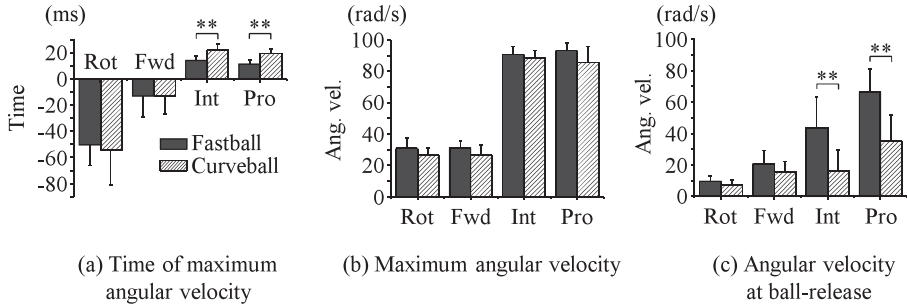


Fig. 8 Comparison between fastball pitch and curveball pitch about the parameters extracted from angular velocities that were measured when all participants pitched both types of pitch. Rot: trunk rotation, Fwd: forward trunk tilt, Int: internal rotation of shoulder joint, Pro: forearm pronation. **p < 0.01

の、リリース前70–50 msに体幹回旋の最大角速度が、リリース前約40 ms以降に体幹前傾の最大角速度が出現した。リリース後に体幹前傾の最大角速度が出現する被験者が一名認められた。内旋と回内の角速度の方が被験者間のばらつきが小さかった。

図8に全被験者のそれぞれの運動および二つの球種について、角速度最大出現時刻、最大角速度およびリリース時角速度を示す。

角速度が最大値に到達する時刻は、体幹回旋においては速球が -60.3 ± 11.9 ms、カーブが -63.0 ± 12.5 ms、体幹前傾においては速球が -13.0 ± 16.6 ms、カーブが -13.4 ± 14.2 msで両者の間に有意な差は認められなかった(図8a)。前腕回内においては速球が 13.1 ± 3.9 ms、カーブが 20.7 ± 5.0 ms、肩内旋においては速球が 14.8 ± 3.7 ms、カーブが 23.7 ± 5.0 msでともに速球が有意に早かった ($p < 0.01$) (図8a)。

最大角速度は、体幹回旋においては速球が 31.4 ± 7.0 rad/s、カーブが 27.2 ± 4.6 rad/s、体幹前傾においては速球が 29.4 ± 7.5 rad/s、カーブが 26.7 ± 7.2 rad/sで両者に有意な差はなかった(図8b)。前腕回内においては速球が 100.5 ± 9.9 rad/s、カーブが 90.7 ± 14.3 rad/s、肩内旋においては速球が 97.6 ± 10.0 rad/s、カーブが

95.8 ± 10.4 rad/sで両者の間に有意な差が認められなかった(図8b)。

リリース時角速度は、体幹回旋においては速球が 8.2 ± 4.5 rad/s、カーブが 6.8 ± 3.9 rad/s、体幹前傾において速球が 18.1 ± 9.6 rad/s、カーブが 15.5 ± 7.7 rad/sで速球とカーブの間に有意な差は認められなかった(図8c)。それに対し、前腕回内においては速球が 68.2 ± 16.7 rad/s、カーブが 36.2 ± 18.5 rad/s、肩内旋においては速球が 44.6 ± 21.5 rad/s、カーブが 17.4 ± 12.2 rad/sで、ともに速球においてカーブより有意に大きかった ($p < 0.01$) (図8c)。

考 察

速球投球時とカーブ投球時の関節運動

近年の野球では、ツーシームやカットボールと呼ばれるムービングファストボール(速球に近いスピードで小さく変化するボール)を含めた多種の変化球が投球術に及ぼす影響は大きい。それらの中でカーブボールは、積極的にトップスピンの回転をボールに与えることにより達成される比較的スピードの遅い古いタイプの球種であり、一般的に縦方向に大きく落下する曲線軌跡を描く特徴がある。

カーブ投球におけるリリース時の映像解析により、親指、中指、人差し指の順、あるいは中指、親指、人差し指の順でボールから離れることが明らかにされている [5, 12, 24]。このような指の順でボールにトップスピンをかけるためには、リリース時の前腕の肢位が回外位にある方が容易である。三次元動作解析法による研究においても、バックスピンをかける速球投球時に比して前腕は回外位にあることが明らかにされている [1, 4, 15, 23]。

本研究では、加速度センサを用いて計測計算した前腕回内外の角速度に、カーブ投球時の特徴が見いだされた。すなわち、カーブ投球は速球投球と比べて、リリース後に見られる回内の最大角速度に差がないのに対し、リリース時の回内角速度が有意に小さかった。リリース時の回内角速度が小さいことは、初期肢位に差がないという前提ではあるが、リリース直前における前腕長軸まわりの二次元平面上での角変位置量(回内量)が小さいことを表している。これらは、ハイスピードカメラ映像から確認できることでもあるが、リリース後の前腕回内運動が投球種に関わらず見られる運動(現象)であることと、カーブ投球におけるリリース時の前腕肢位が、速球投球に比べてより回外位にあることを示唆している。そして、後者の知見は前述の知見 [15, 23] に一致するものである。

肩関節内旋角速度においても同様に、カーブ投球と速球投球のリリース後に見られる最大角速度に有意な差が認められなかったのに対し、リリース時の角速度がカーブ投球において有意に低くなった。肘関節がある程度以上伸展した状態では、前腕の回内運動と肩の内旋運動は連動しやすいため、回外位を維持するために回内角速度を抑えることは、必然的に内旋角速度を抑えることにつながる。逆に、肘を屈曲した状

態では前腕回内運動と肩の内旋運動は連動しないため、回外位の姿勢をとりやすくなる。これは、未熟なカーブ投球において見られる上肢の動作である。一方、できるだけ速球に近い関節運動(投球スピード)でカーブ投球しようとするならば、リリースにおいて回外位(回内の低角速度)が強制される一方で内旋角速度が高くなり、肘関節が伸展する中で上腕(肩)の内旋と前腕の回内の角速度差が大きくなる。この角速度差が、肘関節部位における捻り様のストレスを引き起こすことは十分考えられることである。経験的視点ではあるが、ここに投球スピードの高いカーブを投げることの難しさ、あるいはカーブ投球において速球投球ほど肘関節が伸展しないことの原因の一端があると考えられる。

動力学解析の観点からは、中村・林 [15] が、加速期の肘関節における剪断力がカーブ投球において速球投球より大きいことを示しており、前腕回内外の違いによる靭帯への影響はわからないとしているものの、カーブ投球の肘関節負担を示唆している。ただし、速球とカーブでは関節負担度は変わらないとする報告や [10]、逆に速球に比べカーブ投球における肩や肘関節への負担度は小さいとする報告もあり [16]、依然として明確な結論は得られていないのが現状である。

一方、体幹の回旋および前傾の角速度においては、どちらのパラメータにおいても速球投球とカーブ投球の間に有意な差は認められなかった。これは、実際のゲームにおいて打者に容易に球種を見破られないために、できるだけ同一の動作で投球することが心がけられている、あるいは身につけている結果であると考えられる [5, 23]。

投球動作分析におけるセンサ計測の意義と課題

投球スピードが高くなると、前腕の回内や肩の内旋はその角速度が7,000 deg/sを超えることがあり [3, 7-9]、そのような回転半径の小さな高速運動の計測にはセンサが有効である。例えば、画像分析を用いた研究 [2] では、リリース前後に一旦前腕の回外動作が見られるとする報告があるが、この現象については説明できないままである。前述のように投球時の前腕長軸まわりの運動は、計測が難しい高速運動であるため、このような違いの原因を明確にするためには、センサを併用した計測も必要になる。

本研究で用いた加速度センサデバイスは、二個の加速度センサの出力の差分をとることにより角速度を求める方法であり、配置部位の並進運動だけでなく、皮膚とともにデバイスが動くことによるアーチファクトもキャンセルできるため [17]、画像分析を補完する手段としても欠かせない手法であるといえる。一方で、センサによる計測はセンサ部位に固定された運動座標系での計測となるため、例えば、前腕に配置したセンサの出力には、肘がある程度以上伸展した状態では、肩の内旋の影響が重畳する可能性もある。これらの点については、三次元動作解析法との併用により改めて検証する必要がある。また、ボールリリースの検出法についても同様である。Fleisig et al. [8] の結果と比較すると、本研究のリリース時刻は、上肢の運動（肩内旋角速度最大時刻）を基準にしてみると10 ms程度早くなっていた。これは、人差し指と中指の両指が接触していることが前提の電気的な検出法の影響と考えられ、同様に画像との同時計測による検証が必要といえる。

一方で、センサはモビリティの高さに優位性があり、センサ単独での計測も有効であるが、モビリティの高さや簡便性を生かすためにはセ

ンサ配置数を制限することになり、計測部位の取捨選択が重要になってくる。例えば、投球動作の善し悪しや好不調を知るためには、どの部位の動きを計測すれば最大公約数的な情報が得られるのか等の知見が重要になる。また、実験場所を選ばずに多くの被験者から、あるいは同一被験者から継続的にデータを採取することも可能であり、前述のような最大公約数的な計測部位や縦断的データを有効活用するソフトウェアの開発が進めば、コーチングにおけるセンサ計測の適用が広がると考えられる [14]。

まとめ

野球投球における上肢関節と体幹の関節運動の角速度を、速球とカーブで比較した。9人の大学野球選手に、6個の加速度センサからなるデバイスを装着し、速球とカーブの投球試技を行わせた。速球とカーブの間の違いは体幹の運動には見られなかったが、上肢の運動に見られた。すなわち、角速度の最大値には差がなかったが、リリース時の前腕回内と肩内旋運動の角速度は速球が有意に大きく、それらの最大角速度に到達するタイミングはカーブが有意に遅かった。これらの違いは、カーブ投球時に前腕が相対的に回外位になる必要があり、そのときに生じる肘関節の捻りストレス様の負担を軽減するために、リリース前の肩関節の内旋角速度を抑える必要があるためと考えられた。

参考文献

- [1] Atwater, A. E. (1979) Biomechanics of overarm throwing movements and of throwing injuries. *Exer. Sport Sci. Rev.*, 7: 43-85.
- [2] Barrentine, S. W., Matsuo, T., Escamilla, R.

- F, Fleisig, G. S. and Andrews, J. R. (1998) Kinematic analysis of the wrist and forearm during baseball pitching. *J. Appl. Biomech.*, 14: 24-39.
- [3] Dillman, C. J., Fleisig, G. S. and Andrews, J. R. (1993) Biomechanics of pitching with emphasis upon shoulder kinematics. *J. Orthop. Sport Phys. Therapy*, 18: 402-408.
- [4] Elliott, B., Grove, J. R., Gibson, B. and Thurston, B. (1986) A three-dimensional cinematographic analysis of the fastball and curveball pitches in baseball. *Int. J. Sport Biomech.*, 2: 20-28.
- [5] Escamilla, R. F., Fleisig, G. S., Barrentine, S. W., Zheng, N. and Andrews, R. (1998) Kinematic comparisons of throwing different types of baseball pitches. *J. Appl. Biomech.*, 14: 1-23.
- [6] Escamilla, R. F., Fleisig, G. S., Zheng, N., Barrentine, S. W. and Andrews, J. R. (2001) Kinematic comparisons of 1996 olympic baseball pitchers. *J. Sports Sci.*, 19: 665-676.
- [7] Feltner, M. and Dapena, J. (1986) Dynamics of the shoulder and elbow joints of the throwing arm during a baseball pitch. *Int. J. Sports Biomech.*, 2: 235-259.
- [8] Fleisig, G. S., Escamilla, R. F., Andrews, J. R., Matsuo, T., Satterwhite, Y. and Barrentine, S. W. (1996) Kinematic and kinetic comparison between baseball pitching and football passing. *J. Appl. Biomech.*, 12: 207-224.
- [9] Fleisig, G. S., Barrentine, S. W., Zheng, N., Escamilla, R. F. and Andrews, J. R. (1999) Kinematic and kinetic comparison of baseball pitching among various levels of development. *J. Biomech.*, 32: 1371-1375.
- [10] Fleisig, G. S., Kingsley, D. S., Loftice, J. W., Dinnen, K., Ranganathan, R., Dun, S., Escamilla, R. F. and Andrews, J. R. (2006) Kinetic comparison among the fastball, curveball, change-up, and slider in collegiate baseball pitchers. *Am. J. Sports Med.*, 34(3): 423-430.
- [11] Giansanti, D., Maccioni, G. and Macellari, V. (2005) The development and test of a device for the reconstruction of 3-D position and orientation by means of a kinematic sensor assembly with rate gyroscopes and accelerometers. *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 52(7): 1271-1277.
- [12] Ketlinski, R. (1971) How is the curveball thrown? *Athletic J.*, 51: 75-76.
- [13] Lu, J.-C. and Lin, P.-C. (2011) State derivation of a 12-axis gyroscope-free inertial measurement unit. *Sensors*, 11: 3145-3162.
- [14] 宮地 力 (2012) これからのスポーツテクノロジーの未来を考える. *コーチングクリニック*, 2012. 10: 37-41.
- [15] 中村康雄・林 豊彦 (2010) ストレートとカーブの投球動作の運動学・動力学解析. *Doshisha J. Health Sports Sci.*, 2: 38-46.
- [16] Nissen, C. W., Westwell, M., Ounpuu, S., Patel, M., Solomito, M. and Tate, J. (2009) A biomechanical comparison of the fastball and curveball in adolescent baseball pitchers. *Am. J. Sports Med.* Aug 37(8): 1492-1498.
- [17] 太田 憲・小林一敏 (1994) 加速度計を用いたスポーツにおける角速度・角加速度計測. *計測自動制御学会論文集*, 30(12): 1442-1448.
- [18] 太田 憲・仰木裕嗣・木村 広・廣津信義 (2005) データサイエンス・シリーズ⑩スポーツデータ. 共立出版, pp. 51-57.
- [19] 斎藤健治・仰木裕嗣・市川 浩・山岸正克・宮地 力・高井省三 (2000) 投球時に手首で測定した加速度波形のパターン分類. *いばらき健康・スポーツ科学*, 19: 13-26.
- [20] 斎藤健治・仰木裕嗣・井上伸一・市川 浩・山岸正克・宮地 力・高井省三 (2002) 手首で計測した加速度による投球スピードの推定.

- 体育学研究, 47(1): 41-51.
- [21] 齋藤健治・井上伸一・湯川治敏 (2009) 慣性センサによる野球投球時の上肢と体幹の運動計測. ジョイント・シンポジウム2009スポーツ工学シンポジウム/シンポジウム: ヒューマン・ダイナミクス講演論文集, 177-181.
- [22] 齋藤健治・井上一彦・井上伸一 (2012) 加速度センサにより計測した野球投球時の体幹および前腕の運動と投球スピードとの関係. 人間工学, 48(1): 40-47.
- [23] Sakurai, S., Ikegami, Y., Okamoto, A., Yabe, K. and Toyoshima, S. (1993) A three-dimensional cinematographic analysis of upper limb movement during fastball and curveball baseball pitches. *J. Appl. Biomech.*, 9: 47-65.
- [24] Stevenson, J. M. (1985) Finger release sequence for fastball and curveball pitches. *Can. J. Appl. Sport Sci.*, 10: 21-25.
- [25] Whiteley, R. (2007) Baseball throwing mechanics as they relate to pathology and performance – A review. *J. Sports Sci. Med.* 6: 1-20.
- [26] Zhu, R., Sun, D., Zhou, Z. and Wang, D. (2007) A linear fusion algorithm for attitude determination using low cost MEMS-based sensors. *Measurement*, 40: 322-328.

Motion Analysis of Trunk and Upper Limb with Accelerometers during Pitches of Fastball and Curveball

Kenji Saitou¹, Kazuhiko Inoue², Masakazu Watanabe³
Satoshi Hosoya⁴, Shin-ichi Inoue⁵

Abstract

The purpose of this study was to clarify the difference of joint motion in the upper limb and trunk between fastball pitches and curveball pitches. Nine participants who belonged to a college baseball team were participated in this study. Participants who attached measurement devices to the wrist, the upper-arm and the high back pitched the fastball and curveball to a catcher who was located 18.44m ahead. The angular velocities of joint motion in the upper limb and the trunk during fastball and curveball pitches were measured with these devices. As the results, the angular velocities of forearm pronation and internal rotation of the shoulder at ball-release were higher in fastball pitches than curveball pitches. Maximal angular velocities of those joint motions had no difference between fastball and curveball pitches. The times of the maximal angular velocities of forearm pronation and internal rotation of shoulder were delayed in curveball pitches than fastball pitches. In contrast, all parameters extracted from the angular velocities of trunk motion had no significant difference between fastball pitches and curveball pitches. From these results, the followings concerning curveball pitch were considered. Participants made effort to pitch curveball by the same motion as fastball pitch, but the motion of forearm was different from fastball pitch, because forearm has to make supination relatively for spinning ball reversely in curveball pitch. Furthermore, they have to restrain the angular velocity of the internal rotation of shoulder for making supination easy in curveball pitch.

Keywords: Baseball, Pronation of forearm, Internal rotation of shoulder, Forward trunk tilt, Rotation of trunk

-
- 1 Faculty of Health and Sport, Nagoya Gakuin University
 - 2 Center for Liberal Arts Education and Research, Iwate Prefectural University
 - 3 Faculty of Sports and Health Science, Fukuoka University
 - 4 Faculty of Textile Science and Technology, Shinshu University
 - 5 Faculty of Culture and Education, Saga University