野球科学研究 6:60-71, 2022

研究資料

野球投手における体幹部三次元的動作と球速の関係：個人間および個人内分析からのアプローチ

和田　直樹 [1)]　大塚　光雄 [1)]　山口　雄大 [1)]　福田　渉 [2)]

辻　孟彦 [3)]　古城　隆利 [4)]　河野　徳良 [1)]　西山　哲成 [1)]

Naoki Wada[1], Mitsuo Otsuka[1], Yuta Yamaguchi[1], Wataru Fukuda[2], Takehiko Tsuji[3], Takatoshi Kojo[4], Tokuyoshi Kono[1], Tetsunari Nishiyama[1]: Correlation of Three-Dimensional Trunk Kinematics with Ball Velocity in Baseball Pitchers: Inter- and Intra-Subject Comparison

和文抄録：
本研究は，体幹部，すなわち骨盤に対する上胴の三次元的動作と球速の関係について，個人間および個人内分析を用いて明らかにすることを目的とした．6名の大学野球投手の全力投球を三次元動作解析し，投球サイクル中の主要な時点における体幹部のキネマティクスと球速について相関分析を行なった結果，個人間ではボールリリース時のグラブ側の側屈角度，角速度，踏み出し足着地時の投球腕側の捻転角度が球速と非常に強い相関関係を示した（$|\rho| > 0.7$, $p < 0.05$ または0.01）．一方，同様の結果は個人内ではみられず，被験者それぞれにおいて体幹部キネマティクスと球速の関係性は異なった．これらの結果から，一般的には野球投手において踏み出し足着地時の投球腕側の体幹捻転およびそれ以降のグラブ側の体幹側屈の増加が球速の増加に寄与する可能性が示されたが，投手それぞれの特徴を考慮した複合的な観点からの指導が必要であると言える．

Key words: biomechanics, pitching delivery, motion analysis
キーワード：バイオメカニクス，投球，動作解析

Ⅰ．緒言

野球投手において，高い投球速度（以下，球速）の獲得はパフォーマンスの向上において重要な要素である．そのため，球速の増加に貢献する要因は，様々な運動学的観点から調査されてきた．なかでも上胴や骨盤などの体幹部における三次元的動作は，球速に大きく影響する要因として報告さ

1）　日本体育大学体育学部
〒227-0033　横浜市青葉区鴨志田町1221-1
2）　横浜市スポーツ医科学センター
〒222-0036　神奈川県横浜市港北区小机町3302-5
3）　日本体育大学アスレティックデパートメント
〒227-0033　横浜市青葉区鴨志田町1221-1
4）　日本体育大学スポーツマネジメント学部
〒227-0033　横浜市青葉区鴨志田町1221-1

1. *Faculty of Sport Science, Nippon Sport Science University*
1221-1 Kamoshida-cho, Aoba-ku, Yokohama-shi, Kanagawa, 227-0033, Japan
2. *Yokohama Sports Medical Center*
3302-5 Kozukue-cho, Kouhoku-ku, Yokohama-city, Kanagawa, 222-0036, Japan
3. *Athletic Department, Nippon Sport Science University*
1221-1 Kamoshida-cho, Aoba-ku, Yokohama-shi, Kanagawa, 227-0033, Japan
4. *Faculty of Sport Management, Nippon Sport Science University*
1221-1 Kamoshida-cho, Aoba-ku, Yokohama-shi, Kanagawa, 227-0033, Japan

れている（蔭山ほか，2014; 宮西ほか，1996; Stodden, et al., 2001）．

体幹部の動作によって生み出された大きな力学的エネルギーは関節，筋，および腱を介して手関節，そしてボールへ伝えられる（宮西ほか，1997）．体幹部の動作が制限された投球は，通常の投球と比較し球速が減少したとの報告があることから（Leenen, et al., 2020），体幹部における動作が球速の増減に与える影響は大きいと言える．これは，身体の中枢部で発揮された機械的エネルギーが，その遠位部の上腕，前腕，さらには末端である手やボールへと連続的に伝達するムチ動作に制限がかかるためと考えられる．特に，水平面においては投球サイクル序盤および踏み出し足着地時の上胴と骨盤の捻転，いわゆる体幹部のセパレーションが大きい投手ほど球速が高かったことが報告されている（Lin, et al., 2021; Luera, et al., 2020）．また，Cohen, et al.（2019）は，ボールリリース時における上胴の回旋角度が大きく，その最大回旋角速度が高い大学野球投手ほど球速が高かったことを明らかにしている．さらに，投球サイクル終盤において，Andelman, et al.（2019）およびSolomito, et al.（2018）は，上胴の前傾角度が大きい投手ほど球速が高かったこと，Solomito, et al.（2015）は，上胴のグラブ側の側屈角度が大きい投手ほど球速が高かったことをそれぞれ報告している．このことからも，体幹部の三次元的な姿勢や動作は球速の増加において重要な役割を果たしていると考えられる．しかし，投球動作中はそれらの三軸周りの回転運動が同時に発現するため，特定の軸上の変数のみを評価するのではなく，複合的に体幹部の姿勢や動作の特徴を検討する必要がある．特に，投球動作中に上胴は腹筋群や脊柱を介して骨盤と連動すると推測されることから，骨盤の姿勢や動作を考慮した相対的な上胴のキネマティクス変数と球速の関係について検討すべきである．しかし，先述した研究報告（Cohen, et al., 2019; Solomito, et al., 2015, 2018）は分析対象を特定の軸上の上胴にのみ限定しており，また複数の被験者を対象とした個人間分析による所見である．さらに，球速に寄与するキネマティクス的特徴を明らかにする上で個人内における分析所見を重視する必要があり（Stodden, et al., 2005），これまでの個人間分析のみを用いた先行所見をもとにした投球における体幹部の動作指導は必ずしも特定の投手個人に適切であるとは限らない．したがって，個人間分析に加え，個人内分析を用いて投手個人の特徴に適した指導の一助となる所見を得る必要がある．Oyama, et al.（2013）は肩関節最大外旋時に上胴の側屈が大きい投手に見られる全身のバイオメカニクス的特徴を調査し，体幹部の三軸上のキネマティクス変数の算出を行なっているが，骨盤との相対的な角度や角速度については検討されておらず，Luera, et al.（2020）は球速の高い投手に共通するバイオメカニクス的特徴を調査する際に骨盤と上胴の相対値を用いているが，いずれの研究も個人内の特徴や傾向は明らかにしていない．

そこで，本研究の目的は，個人間および個人内分析の両方を用いて，野球投手における体幹部のキネマティクスと球速の関係について調査することとした． それにより，投手個人の個別性を考慮した球速増加の指導やコーチングに役立つ情報を得ることを目指した．

II．方法

1．被験者

被験者は1部リーグ優勝経歴のある大学硬式野球部に所属するオーバーハンドの投手6名（年齢：20.0±0.7歳，身長：1.76±0.03 m，体重：76.3±3.7 kg）であり，被験者と実験協力者には事前に研究の目的および手順を説明し，同意署名を得た（日本体育大学倫理審査委員会，倫理審査承認番号019–H168）．

2．実験手順

それぞれの被験者は必要に応じてストレッチなどのウォーミングアップをし，キャッチボールと低強度の投球練習を行ったのち，解剖学的ランドマーク67箇所に反射マーカを貼付した．本研究で着目した上胴と骨盤の解剖学的ランドマーク8箇所に貼付した反射マーカの貼付位置はそれぞ

れ胸骨上縁，剣状突起，第7頸椎（以下，C7），第10胸椎（以下，T10），左右上前腸骨棘，左右上後腸骨棘である（図1）．その後，被験者は屋内のブルペンマウンド上から規定距離18.44m先に位置する捕手へ向けて大学野球規定のストライクゾーン内に10球入るまで20球以内の全力投球を行った．

3．測定装置

投球試技は前方，後方，および側方から三次元動作解析装置（VICON，Vicon Motion Systems社製）の赤外線カメラ8台を用いてサンプリング周波数200Hzで撮影し，各反射マーカの位置座標を取得した．球速の測定については先行研究（平山ほか，2008；蔭山ほか，2014; Oi, et al., 2018）と同様にスピードガン（1GJYM20100，MIZUNO社製）を捕手の背後に設置して計測した．また，ビデオカメラ（FDR-AX700，SONY社製）を用いて240fpsで投球動作の映像データを取得し，同期信号発生装置（FPF-SYSW02,フォーアシスト社製）を用いてビデオカメラの映像データとマーカの位置座標データの時間情報を同期した．

4．セグメントおよび空間定義とデータの算出方法

取得した反射マーカの三次元位置座標はFleisig, et al.（1996）と同様にButterworth型デジタルフィルターを用いて遮断周波数13.4Hzで平滑化された．その後，マーカの三次元位置座標データから頭部，左右上腕部，左右前腕部，左右手部，左右大腿部，左右下腿部，左右足部，上胴部および骨盤部セグメントで構成される剛体リンクモデルを構築した．本研究では体幹部の動作に着目するため，上胴と骨盤セグメントのみを分析対象とした．上胴セグメントにおいて，T10からC7に向かうベクトルをZ軸（Z_{UT}），T10から剣状突起に向かうベクトルとZ軸の外積をX軸（X_{UT}），Z軸とX軸の外積をY軸（Y_{UT}）とする上胴座標系を設定した．同様に，骨盤セグメントにおいて，X軸（X_P）は左上前腸骨棘から右上前腸骨棘に向かうベクトル，Z軸（Z_P）は左右上後腸骨棘を結んだ線分の中点から右上前腸骨棘に向かうベクトルと左右上後腸骨棘を結んだ線分の中点から左上前腸骨棘に向かうベクトルの外積，Y軸（Y_P）はZ軸とX軸の外積とする骨盤座標系を設定した．グローバル座標系はマウンドプレートの左端後方からホームプレートの右端前方に向かうベクトルをY軸（Y_G），鉛直上向方向のベクトルをZ軸（Z_G），マウンドプレートの左端後方から三塁方向に向かうベクトルをX軸（X_G）とした．体幹部の姿勢については，骨盤座標系から上胴座標系への座標変換の回転成分をX–Y–Zの順にオイラー角変換することで算出した（中村ほか，2004）．体幹部の角度定義は次の通りとした；骨盤に対する上胴の後屈角度を正の値（＋），前屈角度を負の値（－），骨盤に対する上胴の投球腕側の側屈角度を正の値（＋），グラブ側の側屈角度を負の値（－），骨盤に対する上胴の投球腕側の回旋角度を正の値（＋），グラブ側の回旋角度を負の値（－）．左投げ投手の角度値は上胴と骨盤における側屈および回旋角度を左右反転することで，右投げ投手と同じ角度定義になるよう調整した．体幹部の角速度は，角度の変化量を時間微分すること

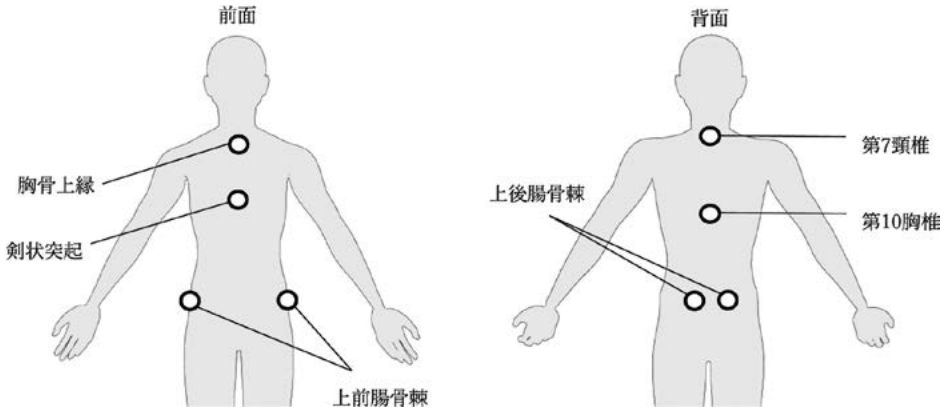

図1　体幹部のマーカ貼付位置

により算出した．また，肩関節最大外旋角度の出現タイミングを算出するために，投球腕の上腕骨内側上顆および外側上顆に貼付したマーカを結ぶ線分の中点から肩関節前部および後部に貼付したマーカの中点へと向かうベクトルをZ軸（Z_A），Z軸と上腕骨内側上顆から外側上顆に向かうベクトルの外積をY軸（Y_A），Y軸とZ軸の外積をX軸（X_A）とする投球腕上腕座標系を設定し，上胴座標系から投球腕上腕座標系への座標変換の回転成分をZ–Y–Xの順にオイラー角変換することでZ軸回りにおける角度を肩関節内外旋角度として算出した（MATLAB2020a, MathWorks社）．グローバル座標系および上胴，骨盤，投球腕上腕の座標系は図2に示す．

5. 分析対象時点

先行研究（Fleisig, et al., 1996; Rojas, et al., 2009）を参考に，投球サイクルにおける主要な場面を，膝関節最大挙上時，踏み出し足着地時，投球腕の肩関節最大外旋時およびボールリリース時の4つに分けた．踏み込み脚の膝関節内外側マーカの中点座標がグローバル座標系のZ軸上で最大になった瞬間を膝関節最大挙上時，踏み出し足のつま先に貼付したマーカの位置座標において，マーカの移動距離がグローバル座標系のZ軸上で10 mm以下になった瞬間を踏み出し足着地時，投球サイクル中に投球腕の肩関節外旋角度の最大値が出現した瞬間を肩関節最大外旋時とした．ボールリリース時は映像データにおいて確認されたボールが指先から離れた瞬間とした．投球サイクルは膝関節最大挙上時を0%，ボールリリース時を100%として時間要素の正規化を行った（図3）．

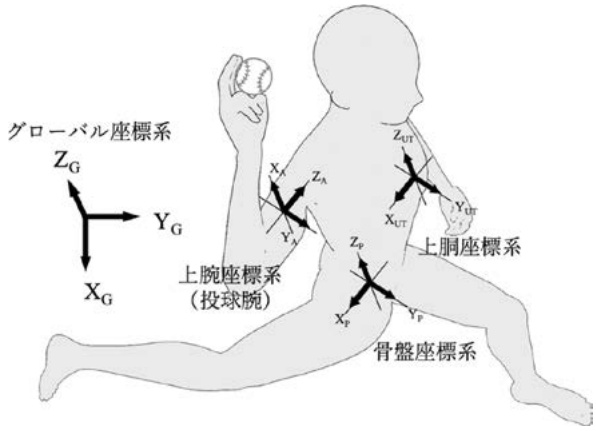

図2　ローカル座標系とグローバル座標系

6. 統計処理

ストライクゾーン内に投球された試技のみを対象に，先行研究（Andelman, et al., 2019; Cohen, et al., 2019; Lin, et al., 2021; Luera, et al., 2020; 宮西ほか，1996; Oyama, et al., 2013; Solomito, et al., 2015, 2018; Stodden, et al., 2001など）にて体幹部と球速の相関関係が多く報告されている踏み出し足着地時，投球腕肩関節最大外旋時，およびボールリリース時の3つの時点における体幹部の角度，角速度に統計処理を行なった．個人間はそれぞれの被験者における変数の平均値および標準偏差（n = 6），個人内は各被験者の全試技（n = 9または10）データを対象に，各時点において体幹部の角度および角速度と球速との関係をスピアマンの順位相関係数ρを用いて示した． 相関係数の評価ではCohen（1988）およびHopkins（1997）の推奨に基づき，強い（$0.5 < |\rho| < 0.7$），または非常に強い（$|\rho| > 0.7$）と判定した．すべての統計処理では，SPSS Statistics 25（IBM社製）を用いた．有意水準は5％未満とした．

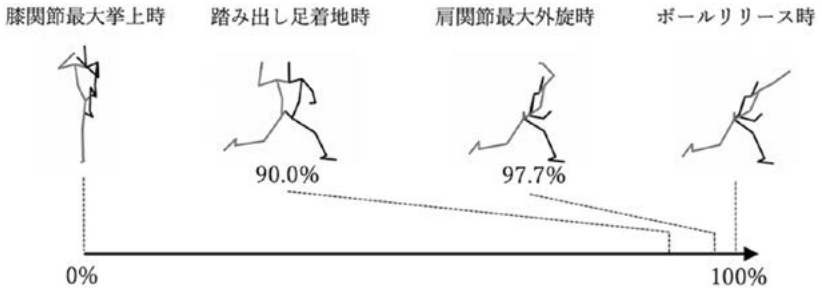

図3　投球サイクル

Ⅲ．結果

1．分析対象試技と球速

分析対象となった被験者は右投げ4名，左投げ2名の計6名，分析対象試技数の合計はデータ取得後にマーカの欠落が確認された2球を除く58球であった．各被験者の球速，投球サイクル中の各時点の正規化された出現時間は表1に示す．計測された被験者6名の球速の平均値は131.2±5.1 km/hであった．

2．個人間分析（表2，図4，図5）

体幹部の前後屈については，投球サイクル90%で後屈し，その後，ボールリリースにかけて急激に前屈角度が増加した．また，投球サイクル87%で後屈角速度は最大に達し，その後，前屈角速度が急激に増加した．側屈については，投球サイクル63%で投球腕側の側屈からグラブ側の側屈に変わり，投球サイクル82%以降に側屈角度が急激に増加した．グラブ側の側屈角速度は投球サイクル95%で最大に達し，ボールリリースに向けて減少した．捻転については，投球サイクル62%で捻転角度は0°になり，踏み出し足着地直前の88%で投球腕側の捻転角度が最大に達した．その後はボールリリースに向けて投球腕側の捻転が減少した．同様に，81%で投球腕側の捻転角速度が最大に達し，以降は95%で最大に達するまでグラブ側の捻転角速度が増加した．

ボールリリース時の側屈角度（$\rho = -0.829$,

表1　各被験者の球速(10試技の平均値±標準偏差)と投球サイクル中の主要時点の出現タイミング

	球速（km/h）	投球サイクル（%）	
		踏み出し足着地	肩関節最大外旋時
被験者 1	142.0 ± 0.8	89.6 ± 0.5	97.8 ± 0.5
被験者 2	129.9 ± 0.8	88.1 ± 1.2	97.6 ± 0.3
被験者 3	128.3 ± 1.4	91.3 ± 0.5	97.7 ± 0.3
被験者 4	129.9 ± 1.5	85.1 ± 1.7	97.1 ± 0.2
被験者 5	126.0 ± 2.2	90.7 ± 0.5	97.7 ± 0.1
被験者 6	130.9 ± 1.0	93.2 ± 0.5	98.7 ± 0.3
6 名分の統計値	131.2 ± 5.1	90.0 ± 3.0	97.7 ± 0.5

6名分の統計値とは，6名毎で10試技の平均値を求め，その6名の平均値の平均値±標準偏差を示す

表2　個人間分析　体幹角度および角速度と球速の関係

項目	踏み出し足着地時	肩関節最大外旋時	ボールリリース時
角度（deg）			
後屈（+）/ 前屈（–）	10.5±8.3 (-0.600)	-5.4±14.1 (-0.086)	-17.7±15.4 (-0.086)
側屈：投球腕側（+）/ グラブ側（–）	0.9±8.7 (0.143)	-41.2±3.0 (-0.657)	-45.5±6.4 (-0.829*)
捻転：投球腕側（+）/ グラブ側（–）	35.5±5.9 (0.771)	2.2±13.4 (0.143)	0.5±14.4 (0.086)
角速度（deg/s）			
後屈（+）/ 前屈（–）	306.7±161.4 (0.600)	-494.7±217.2 (-0.371)	-512.1±270.4 (0.314)
側屈：投球腕側（+）/ グラブ側（–）	-327.7±154.1 (0.200)	-463.5±151.4 (-0.600)	-53.1±146.9 (-0.943*)
捻転：投球腕側（+）/ グラブ側（–）	-195.7±112.3 (-0.486)	-286.1±214.7(-0.371)	3.8±145.6 (-0.314)

平均値±標準偏差(相関係数)，*$p < 0.05$，**$p < 0.01$

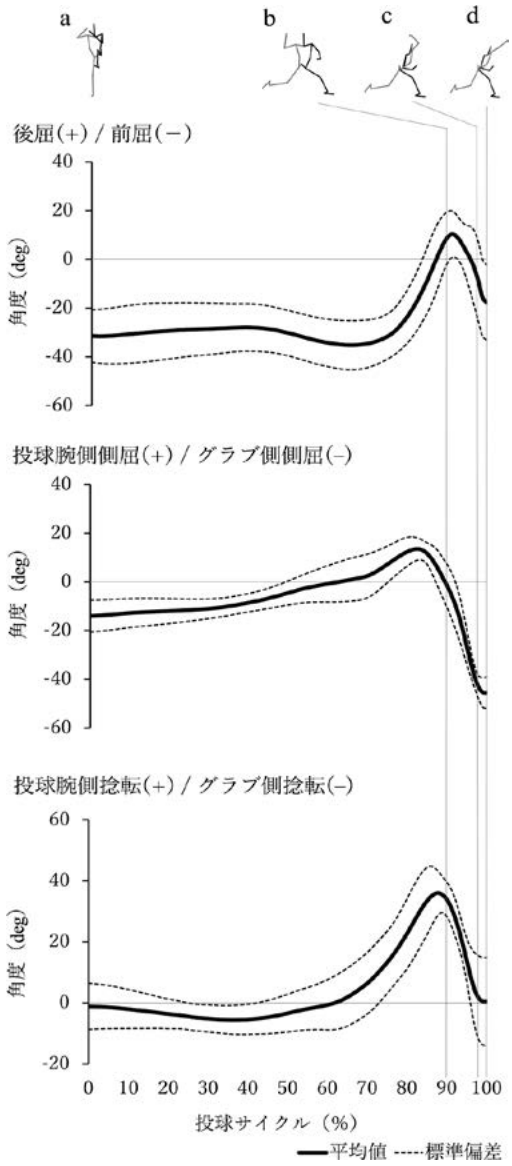

図4　体幹角度
(a) 膝関節最大挙上時，(b) 踏み出し足着地時，(c) 肩関節最大外旋時，(d) ボールリリース時

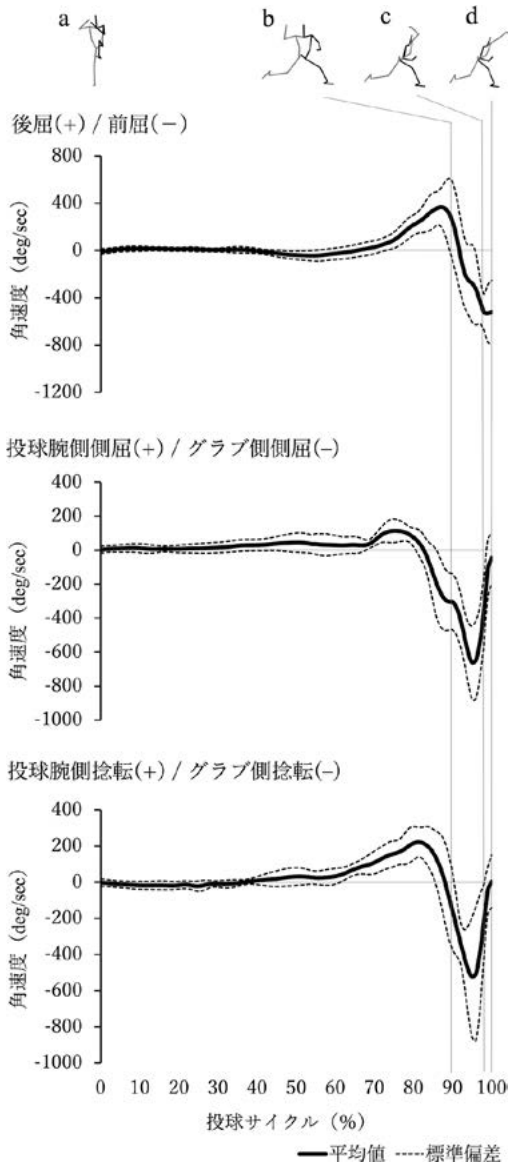

図5　体幹角速度
(a) 膝関節最大挙上時，(b) 踏み出し足着地時，(c) 肩関節最大外旋時，(d) ボールリリース時

$p < 0.05$）は球速と非常に強い負の相関関係を示した．また，踏み出し足着地時の捻転角度（$\rho = 0.771$，$p = 0.07$）は球速と非常に強い正の相関関係を示した．さらにボールリリース時の側屈角速度（$\rho = -0.943$，$p < 0.01$）は球速と非常に強い負の相関関係を示した．

3．個人内分析（表3，表4）

被験者1はボールリリース時の前後屈角度（$\rho = 0.764$，$p < 0.05$）および捻転角度（$\rho = -0.854$，$p < 0.01$）がそれぞれ球速と非常に強い正または負の相関関係を示した．また，踏み出し足着地時の捻転角速度（$\rho = -0.719$，$p < 0.05$），肩関節最大外旋時の前後屈角速度（$\rho = 0.674$，$p < 0.05$），ボールリリース時の前後屈角速度（$\rho = 0.719$，$p < 0.05$）および捻転角速度（$\rho = -0.854$，$p < 0.01$）がそれぞれ球速と強いもしくは非常に強い正または負の相関関係を示した．

被験者2はボールリリース時の前後屈角速度（$\rho = 0.713$，$p < 0.05$）のみ球速と非常に強い正の相関関係を示した．

被験者3は踏み出し足着地時の前後屈角度（$\rho = -0.815$，$p < 0.01$），肩関節最大外旋時の側屈角度（$\rho = -0.642$，$p < 0.05$），ボールリリース時の前後屈角度（$\rho = -0.710$, $p < 0.05$）および側屈

表3　個人内分析　体幹角度と球速の関係

被験者	項目	踏み出し足着地時	肩関節最大外旋時	ボールリリース時
被験者 1	後屈（+）/ 前屈（–）	9.9±3.3 (0.045)	-3.7±2.8 (0.045)	-9.7±4.8 (0.764*)
	側屈：投球腕側（+）/ グラブ側（–）	-5.1±1.0 (0.135)	-44.2±3.1 (-0.360)	-52.0±2.9 (0.180)
	捻転：投球腕側（+）/ グラブ側（–）	44.4±2.6 (0.180)	-5.1±3.2 (-0.405)	-11.5±5.4 (-0.854**)
被験者 2	後屈（+）/ 前屈（–）	-5.1±1.6 (-0.250)	-26.4±2.2 (0.148)	-44.4±3.2 (0.372)
	側屈：投球腕側（+）/ グラブ側（–）	6.5±4.8 (0.449)	-38.5±1.9 (0.026)	-41.6±1.5 (-0.199)
	捻転：投球腕側（+）/ グラブ側（–）	40.0±1.7 (0.148)	11.9±1.6 (-0.315)	12.6±2.3 (-0.238)
被験者 3	後屈（+）/ 前屈（–）	17.9±1.5 (-0.815**)	-6.6±2.6 (-0.475)	-18.6±3.6 (-0.710*)
	側屈：投球腕側（+）/ グラブ側（–）	-15.2±1.4 (-0.173)	-38.2±1.9 (-0.642*)	-41.2±2.2 (-0.691*)
	捻転：投球腕側（+）/ グラブ側（–）	33.3±1.6 (-0.333)	9.1±1.2 (0.086)	7.8±1.6 (0.284)
被験者 4	後屈（+）/ 前屈（–）	13.5±5.4 (0.754*)	-16.9±1.5 (-0.014)	-28.4±2.6 (0.418)
	側屈：投球腕側（+）/ グラブ側（–）	11.3±3.2 (-0.110)	-46.3±2.1 (0.254)	-56.4±1.8 (0.343)
	捻転：投球腕側（+）/ グラブ側（–）	36.0±2.2 (-0.012)	22.3±1.2 (-0.309)	21.5±1.8 (-0.259)
被験者 5	後屈（+）/ 前屈（–）	20.1±1.7 (0.000)	17.7±1.4 (-0.034)	3.7±2.0 (0.695*)
	側屈：投球腕側（+）/ グラブ側（–）	3.6±1.4 (-0.831*)	-39.4±1.8 (-0.627)	-38.4±1.5 (-0.848**)
	捻転：投球腕側（+）/ グラブ側（–）	25.6±1.7 (0.136)	-16.5±1.5 (-0.797*)	-18.7±1.4 (-0.153)
被験者 6	後屈（+）/ 前屈（–）	6.5±1.8 (0.355)	3.5±2.0 (-0.797*)	-8.5±3.6 (-0.676*)
	側屈：投球腕側（+）/ グラブ側（–）	4.4±2.9 (-0.321)	-40.7±1.2 (0.043)	-43.6±1.6 (0.078)
	捻転：投球腕側（+）/ グラブ側（–）	33.6±1.6 (0.208)	-8.7±3.2 (0.529)	-8.9±3.4 (0.208)

平均値±標準偏差(相関係数)．*$p < 0.05$，**$p < 0.01$

表4　個人内分析　体幹角速度と球速の関係

被験者	項目	踏み出し足着地時	肩関節最大外旋時	ボールリリース時
被験者 1	後屈（+）/ 前屈（–）	560.1±42.8 (0.405)	-204.9±147.1 (0.674*)	-350.4±186.4 (0.719*)
	側屈：投球腕側（+）/ グラブ側（–）	-157.6±70.9 (-0.045)	-633.3±108.1 (-0.135)	-186.7±138.1 (0.270)
	捻転：投球腕側（+）/ グラブ側（–）	-258.0±61.8 (-0.719*)	-507.1±130.6 (-0.045)	-184.8±162.5 (-0.854**)
被験者 2	後屈（+）/ 前屈（–）	110.0±93.0 (-0.051)	-459.2±497.8 (0.161)	-481.8±451.3 (0.713*)
	側屈：投球腕側（+）/ グラブ側（–）	-361.2±39.7 (-0.064)	-276.3±250.9 (0.225)	-46.7±211.7 (-0.308)
	捻転：投球腕側（+）/ グラブ側（–）	-24.0±79.6 (0.013)	-247.5±68.3 (-0.308)	186.7±38.5 (-0.083)
被験者 3	後屈（+）/ 前屈（–）	142.9±65.8 (-0.679*)	-592.6±60.6 (-0.691*)	-465.5±73.6 (-0.290)
	側屈：投球腕側（+）/ グラブ側（–）	-316.9±50.1 (-0.210)	-282.4±41.5 (-0.142)	-23.1±39.8 (0.019)
	捻転：投球腕側（+）/ グラブ側（–）	-249.1±28.4 (0.420)	-243.0±48.4 (0.414)	65.7±54.9 (0.617)
被験者 4	後屈（+）/ 前屈（–）	334.5±24.8 (-0.034)	-688.9±97.3 (0.541)	-237.9±79.2 (0.082)
	側屈：投球腕側（+）/ グラブ側（–）	-195.4±89.3 (-0.829**)	-646.4±47.9 (0.034)	-163.5±77.1 (0.637*)
	捻転：投球腕側（+）/ グラブ側（–）	-69.0±88.1 (-0.541)	138.7±79.2 (0.247)	-181.8±59.9 (-0.240)
被験者 5	後屈（+）/ 前屈（–）	239.5±60.6 (-0.865**)	-237.5±61.3 (-0.017)	-450.1±48.2 (0.390)
	側屈：投球腕側（+）/ グラブ側（–）	-300.6±21.4 (-0.898**)	-410.9±120.3 (-0.170)	246.8±92.1 (0.034)
	捻転：投球腕側（+）/ グラブ側（–）	-229.4±28.5 (0.170)	-388.3±68.3 (-0.288)	-7.6±58.1 (-0.644)
被験者 6	後屈（+）/ 前屈（–）	453.0±82.7 (-0.494)	-785.0±48.4 (-0.511)	-1086.8±66.6 (-0.260)
	側屈：投球腕側（+）/ グラブ側（–）	-634.4±102.0 (-0.494)	-532.0±54.4 (0.208)	-145.6±89.9 (0.286)
	捻転：投球腕側（+）/ グラブ側（–）	-344.7±121.2 (0.364)	-469.4±69.4 (0.407)	144.4±92.4 (0.607)

平均値±標準偏差(相関係数)．*$p < 0.05$，**$p < 0.01$

角度（$\rho = -0.691$，$p < 0.05$）がそれぞれ球速と強いもしくは非常に強い負の相関関係を示した．また，踏み出し足着地時の前後屈角速度（$\rho = -0.679$，$p < 0.05$），肩関節最大外旋時の前後屈角速度（$\rho = -0.691$，$p < 0.05$）もそれぞれ球速と強い負の相関関係を示した．

被験者4は踏み出し足着地時の前後屈角度（$\rho = 0.754$，$p < 0.05$）が球速と非常に強い正の相関関係を示した．また，踏み出し足着地時（$\rho = -0.829$，$p < 0.01$），ボールリリース時の側屈角速度（$\rho = 0.637$, $p < 0.05$）もそれぞれ球速と強いもしくは非常に強い正または負の相関関係を示した．

被験者5は踏み出し足着地時の側屈角度（$\rho = -0.831$，$p < 0.05$），肩関節最大外旋時の捻転角度（$\rho = -0.797$，$p < 0.05$），ボールリリース時の前後屈角度（$\rho = 0.695$，$p < 0.05$）および側屈角度（$\rho = -0.848$，$p < 0.01$）がそれぞれ球速と強いもしくは非常に強い正または負の相関関係を示した．また，踏み出し足着地時の前後屈角速度（$\rho = -0.865$，$p < 0.01$）および側屈角速度（$\rho = -0.898$，$p < 0.01$）もそれぞれ球速と非常に強い負の相関関係を示した．

被験者6は肩関節最大外旋時の前後屈角度（$\rho = -0.797$，$p < 0.05$），ボールリリース時の前後屈角度（$\rho = -0.676$，$p < 0.05$）がそれぞれ球速と強いもしくは非常に強い負の相関関係を示した．

Ⅳ．考察

本研究は野球投手における体幹部の動作と球速の関係について明らかにすることを目的とし，個人間，個人内分析の両方を用いて，投球サイクル中の上胴と骨盤から成る体幹角度および角速度と球速の関係を明らかにした．その結果，個人間分析では，投球サイクル終盤のグラブ側の側屈角度および角速度が高値を示した投手は球速が高かったことが明らかとなり，個人内分析においても，同様の結果が複数の被験者でもみられた．一方で，個人間分析でみられた踏み出し足着地時の投球腕側の捻転角度と球速の関係性は個人内分析ではみられなかった．また，個人内における体幹部動作と球速の関係は，それぞれの被験者で異なった．したがって，投球動作における体幹部のトレーニングやコーチングで球速を高めることをねらう際は，投手個人の特徴を考慮した最適なスキル課題を設定する，すなわち，個別性を重視する必要性が示唆された．

1．個人間における球速と体幹部動作の関係について

本研究では，ボールリリース時にグラブ側の体幹側屈角度が大きく，その角速度が高いことが球速の高い投手の特徴として明らかになった．Oyama, et al.（2013）は，投球時の体幹部における側屈がその他の動作およびパフォーマンスに及ぼす影響を調査し，ボールリリース時に上胴のグラブ側の側屈角度が大きい投手はボール速度が高かったことを報告している．さらに，Solomito, et al.（2015）は大学生投手においてボールリリース時の上胴の側屈角度が大きい者ほど球速が高いことを報告しており，本研究結果はこれらの先行所見を支持した．

また，球速の高い投手の特徴として，踏み出し足着地時の投球腕側の体幹捻転角度が大きいことが示された．体幹捻転角度は骨盤の回旋角度に対する上胴の回旋角度であり，多くの先行研究において球速との関係が調査されてきた（Cohen, et al., 2019; 蔭山ほか，2014; Luera, et al., 2020）．例えば，Lin, et al.（2021）は，体幹部のセパレーション（本研究の捻転）に関する質的・量的評価について検討し，踏み出し足着地時に投球方向に対して上胴が閉じていた投手は，開いていた投手と比較して，体幹部のセパレーション角度が大きく，球速が高かったことを報告している．その理由として，骨盤と上胴の回旋角度差がより大きくなることで体幹部の「コイリング（coiling）」が生まれ，投球腕へ効率的にエネルギーが伝達される可能性について言及しており，Nissen, et al.（2007）も同様の見解を示している．このことから，本研究においても踏み出しの前後に上胴を骨盤の回旋方向に対して投球腕方向により回旋させ大きな捻転を獲得した投手ほど，球速を増加させ

ることができたと考えられる．

本研究では，6名の投手の動作しか分析をすることができなかったため，サンプル数の少なさが，本研究の個人間分析における問題であるといえる．しかし，グラブ側の体幹側屈角度と球速の相関関係についてはサンプル数の多い先行研究でも同様の報告があるため，本研究で対象となった競技レベルの大学野球投手においても重要な所見である可能性が高いと考えられる．

2. 個人内における球速と体幹部動作の関係について

被験者3，被験者5では，個人間分析の結果と同様に，ボールリリース時にグラブ側の体幹側屈角度が大きい時ほど，球速は高かった．つまり，同時点において上胴を骨盤に対して投球腕側とは反対側に大きく側屈することは，球速の高い投手の特徴であると同時に，被験者3，被験者5においては個人内での球速の高い投球にも共通する重要な特徴であることが明らかとなった．さらに，被験者5は踏み出し足着地時のグラブ側の側屈角度とその角速度，被験者3は肩関節最大外旋時の側屈角度が大きい投球も球速が高かったことから，両者は踏み出し足の着地以降に側屈を効果的に用いることで球速が増加するタイプである可能性が示唆された．被験者4は被験者5と同様に踏み出し足着地時のグラブ側の側屈角速度が高い時ほど球速は高かったが，ボールリリース時には投球腕側への側屈角速度がより高い時ほど球速が高かった．ボールリリース時における被験者4の側屈角度は全被験者のなかで最も大きい値を示したことから（被験者4：–56.4 ± 1.8º；全被験者平均：–45.5 ± 6.4º），被験者4は投球サイクル終盤には過度の側屈を抑えることで投球腕が適切に加速し，球速が増加した可能性が考えられる．

また，被験者3は体幹部の側屈に加え，踏み出し足着地時の後屈角度と角速度が低値を示し，肩関節外旋時の前傾角速度，ボールリリース時の前屈角度が高値を示した時ほど球速は高かった．したがって，被験者3は踏み出し足着地後にグラブ側への側屈だけでなく前屈を用いることで球速が増加した可能性が考えられる．同様に，被験者6は肩関節最大外旋時およびボールリリース時に前屈角度が大きい時ほど球速は高かった．先行研究ではボールリリース時において上胴の前傾角度が大きかった投手ほど球速が高かったことが報告されていることからも（Matsuo, et al., 2001; Solomito, et al., 2018），被験者6は投球サイクル終盤で前屈を用いて投球方向へ投球腕を加速させることで球速を増加させていた可能性が推察される．

一方で，最も平均球速が高かった被験者1は，被験者6とは異なり投球サイクル終盤に前屈角度が小さく，その角速度が低い時ほど球速は高かった．また，踏み出し足着地時のグラブ側の捻転角速度が高く，ボールリリース時の捻転角度が大きくその角速度が高い時ほど球速は高かった．先行研究では，上胴のグラブ側の最大回旋角速度は踏み出し足着地時から肩関節最大外旋時までに出現するとされ，その値が高かった投手は球速が高かったことが報告されている（Cohen, et al., 2019; Huang, et al., 2010; Stodden, et al., 2005）．これは，踏み出し足着地時以降に骨盤に対して上胴のグラブ側の回旋速度を増加させることが投球腕の加速，さらには球速の増加に寄与したと考えられる．この結果は，球速の高い投手は体幹部における伸張－短縮サイクルを上手く利用し，踏み出し足着地以降に捻転パワーを最大にしている可能性を示唆した比留間・尾縣（2010）および蔭山ほか（2014）の報告からも支持される．このことから，被験者1は投球サイクル終盤で前屈を抑え，グラブ側の捻転を用いることで球速が増加するタイプである可能性が示唆された．また，被験者5は肩関節最大外旋時のグラブ側の捻転角度が大きい時ほど球速が高かったことから，投球腕が投球方向とは反対に大きく回旋する場面で骨盤に対して上胴の回旋が投球方向に大きくなることで投球腕と体幹部の「ラグ（lag）」が増加し（Oyama, et al., 2012; Stodden, et al., 2005），効果的な投球腕の加速が引き起こされた可能性がある．

本研究において，個人間分析でみられた踏み出し足着地時の投球腕側の捻転角度と球速の相関関係は，個人内ではみられなかった．球速が高かった投手の特徴として報告されている体幹部のセパ

レーション角度（本研究の捻転角度）は31°であり，推奨される適切なセパレーション角度は25°以上である（Lin, et al., 2021）ことを考慮すると，本研究の被験者はすでに同時点で比較的大きい捻転角度を獲得しており，個人内での捻転角度のばらつきは球速に影響しなかった可能性がある．

3. トレーニング指導への応用について

個人間分析の結果から，球速の高い投手ほど，踏み出し足の着地時に上胴と骨盤の投球腕側の捻転角度が大きいこと，ボールリリース時にグラブ側に大きく，かつ速く側屈することが示された．一方，個人内分析の結果は被験者それぞれで異なったことから，体幹部の動作に関するトレーニングやコーチングでは，必ずしもすべての投手に対して画一的なスキル課題を設定することが適切ではないことが示唆された．

また，個人間，個人内分析において，体幹部の側屈と捻転は，球速との相関関係が同時にみられなかった．ボールリリース時の上胴のグラブ側への側屈角度が大きい投手ほど上胴の回旋角度が小さかったことが報告されていることから（Oyama, et al., 2013），ボールリリースの瞬間に体幹部の側屈または捻転のいずれかを用いて球速を増加させることが可能であると考えられるが，被験者3，被験者5はグラブ側への大きい側屈，被験者1はグラブ側の大きく速い捻転を用いて球速を増加させていたと推察される．このことから，投手に応じて球速を増加させる体幹部動作の特徴として，投球サイクル終盤に側屈を用いるタイプと捻転を用いるタイプの2種類が存在する可能性が示された．さらに，個人内分析の結果から，タイプの分類に加え個々の投手特有の適切な体幹部の角度および角速度範囲からの逸脱を見抜き，これを補正することで球速が高くなる可能性も示唆している．このように，トレーニングやコーチングにおいて，投手の球速を高める上では，投球タイプごとに体幹部の適切な姿勢や動作を習得するためのスキル課題を設定することが求められよう．

本研究の限界として，個人内の測定では同一測定日に被験者に対して10球しか投球をさせることができなかった点が挙げられる．一般的な実戦では，想定される投手の一試合あたりの投球数は本研究の投球数より多くなり，さらに身体的コンディションも異なることから，投球数の増加に応じて球速が低下する（平山ほか，2008）．本研究では個人内において球速の変化は小さく，とりわけ被験者1，被験者2に関しては，わずかな球速の変化に影響を与えた動作を示すこととなった．今後は，より個人内で球速の変化が大きくなるような状況下で球速と投球動作との関係を明らかにする必要があるといえる．また，本研究では，試技ごとの投球コースの分析を行なっていないため，ストライクゾーン内での投球のばらつきと体幹部の姿勢や動作との関係性について検討できていないことが研究の限界点として挙げられる．しかしながら，本研究ではストライクゾーン内に全力投球を行う際の投手個人の体幹部の特徴を含んだ分析であると考え，本研究では実戦で要求される条件である1）ストライクゾーン内であること，かつ2）最大努力の投球であることを条件とした分析結果を示すことでコーチや指導者，投手自身に有用な所見になり得ると考えられる．

V．結論

本研究では，個人間および個人内分析を用いて，投球サイクルにおける主要な時点での体幹角度，角速度と球速の関係を調査した．その結果，個人間では踏み出し足着地時の投球腕側の体幹捻転角度が球速と非常に強い相関関係にあることが示された．また，ボールリリース時のグラブ側の体幹側屈角度，角速度と球速の非常に強い相関関係は個人間，個人内分析の両方でみられた．一方，個人内分析から，投球サイクル終盤に側屈を用いて球速を増加させるタイプの投手と捻転を用いて球速を増加させるタイプの投手がみられた．またそれぞれの被験者において，球速と関係がみられた体幹の動作は異なり，その関係性の多くが個人間分析の結果と一致しなかった．以上のことから，球速の増加を目的とした体幹部の動作を指導する際は，本研究を含む一般的に有効であると考えられる個人間分析の結果と，個人差を考慮した

個人内分析の結果から得られた結果を合わせて検討する必要があると考えられた．

文献

Andelman, S. M., Solomito, M. J., & Nissen, C. W. (2019) Modifiable mechanical factors associated with increased fastball velocity. Orthopaedic Journal of Sports Medicine, 7 (7), suppl5.

Cohen, J. (1998) Statistical power analysis for the behavioral sciences. Hillsdale, NJ. Lawrence Erlbaum Associates, Publishers: 1–17.

Cohen, A. D., Garibay, E. J., Solomito, M. J. (2019) The association among trunk rotation, ball velocity, and the elbow varus moment in collegiate-level baseball pitchers. American Journal of Sports Medicine, 47 (12): 2816–2820.

Fleisig, G. S., Escamilla, R. F., Andrews, J. R., Matsuo, T., Satterwhite, Y., Barrentine, S. W. (1996) Kinematic and kinetic comparison between baseball pitching and football passing. Journal of Applied Biomechanics, 12 (2): 207–224.

平山大作・藤井範久・阿江通良・小池関也（2008）野球投手における投球数と動作キネティクスとの関係．バイオメカニズム，19: 91–102.

比留間浩介・尾縣貢（2010）中学・高校野球選手の伸張―短縮サイクル運動を含むパワー発揮能力と投球スピードとの関係とその発達特性～上肢と体幹に着目して～．トレーニング科学，22: 205–216.

Hopkins, W. G. (1997) A new view of statistics. Sportsci.org, Internet Society for Sport Science, sportsci.org/resource/stats.（参照日2022年5月12日）

Huang, Y. H., Wu, T. Y., Learman, K. E., Tsai, Y. S. (2010) A comparison of throwing kinematics between youth baseball players with and without a history of medial elbow pain. Chinese Journal of Physiology, 53 (3): 160–166.

蔭山雅洋・岩本峰明・杉山敬・水谷未来・金久博昭・前田明（2014）短縮サイクル運動および動作が投球速度に与える影響．体育学研究，59: 189–201.

Leenen, T., Trigt, B. V., Hoozemans, M., Veeger, D. (2020) Effects of a disturbed kinetic chain in the fastball pitch on elbow kinetics and ball speed. Proceedings, 49 (1): 67.

Lin, Y. C., Chou, P. P. H., Lin, H. T., Su, F. C., Shih, C. L., Lu, C. C. (2021) A new method for evaluating pelvic and trunk rotational pitching mechanics: From qualitative to quantitative approaches. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18 (3): 1–15.

Luera, M. J., Dowling, B., Muddle, T., Jenkins, N. (2020) Differences in rotational kinetics and kinematics for professional baseball pitchers with higher versus lower pitch velocities. Journal of Applied Biomechanics, 36 (2): 68–75.

Matsuo, T., Escamilla, R. F., Fleisig, G. S., Barrentine, S. W., Andrews, J. R. (2001) Comparison of kinematic and temporal parameters between different pitch velocity groups. Journal of Applied Biomechanics, 17 (1): 1–13.

宮西智久・藤井範久・阿江通良・功力靖雄・岡田守彦（1996）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.

宮西智久・藤井範久・阿江通良・功力靖雄・岡田守彦（1997）野球の投球動作における体幹および投球腕の力学的エネルギー・フローに関する3次元解析．体力科学，46 (1): 55–68.

中村康雄・林豊彦・中村真里・中溝寛之・信原克哉・加藤直・飯塚大輔（2004）投球フォームとボール・リリース時の肩関節負荷．バイオメカニズム，17: 123-132.

Nissen, C. W., Westwell, M., Ounpuu, S., Patel, M., Tate, J. P., Pierz, K., Burns, J. P., Bicos, J. (2007) Adolescent baseball pitching technique: A detailed three-dimensional biomechanical analysis. Medicine and Science in Sports and Exercise, 39(8): 1347–1357.

Oi, T., Takagi, Y., Tsuchiyama, K., Hashimoto, K., Tanaka, H., Inui, H., Nobuhara, K., Yoshiya, S. (2018) Three-dimensional kinematic analysis of

throwing motion focusing on pelvic rotation at stride foot contact. Journal of Shoulder and Elbow Surgery, Open Access, 2: 115–119.

Oyama, S. (2012) Baseball pitching kinematics, joint loads, and injury prevention. Journal of Sport and Health Science, 1(2): 80–91.

Oyama, S., Yu, B., Blackburn, J. T., Padua, D. A., Li, L., Myers, J. B. (2013) Effects of excessive contralateral trunk tilt on pitching biomechanics and performance in high school baseball pitchers. American Journal of Sports Medicine, 41(19): 2430–2438.

Rojas, I. L., Provencher, M. T., Bhatia, S., Foucher, K. C., Bach, B. R., Romeo, A. A., Wimmer, M. A., Verma, N. N. (2009) Biceps activity during windmill softball pitching: Injury implications and comparison with overhand throwing. American Journal of Sports Medicine, 37(3): 558–565.

Stodden, D. F., Fleisig, G. S., McLean, S. P., Andrews, J. R. (2005) Relationship of biomechanical factors to baseball pitching velocity: within pitcher variation. Journal of Applied Biomechanics, 21(1): 44–56.

Stodden, D. F., Fleisig, G. S., McLean, S. P., Lyman, S. L., Andrews, J. R. (2001) Relationship of pelvis and upper torso kinematics to pitched baseball velocity. Journal of Applied Biomechanics, 17: 164–172.

Solomito, M. J., Garibay, E. J., Nissen, C. W. (2018) Sagittal plane trunk tilt is associated with upper extremity joint moments and ball velocity in collegiate baseball pitchers. Orthopaedic Journal of Sports Medicine, 6 (10).

Solomito, M. J., Garibay, E. J., Woods, J. R., Õunpuu, S., Nissen, C. W. (2015) Lateral trunk lean in pitchers affects both ball velocity and upper extremity joint moments. American Journal of Sports Medicine, 43 (5): 1235–1240.

（2022年6月28日受付
2023年2月13日受理）

英文抄録 **(Abstract):**

The purpose of this study was to examine the relationship between ball speed and the three-dimensional trunk kinematics using both intra- and inter-subject analysis. Three-dimensional motion of upper trunk and pelvis for the 10 maximum-effort pitches performed by six collegiate baseball pitchers underwent correlation analysis with the ball speed. The inter-subject analysis included the average values of each variable 10 pitches per subject, while intra-subject analysis covered all 10 pitches within each subject. The results of inter-subject analysis showed that the greater ball speed is strongly correlated with the greater trunk pitch-arm side separation angle at stride foot contact ($\rho = 0.771$), trunk glove side lateral bend angle and the angular velocity at ball release ($\rho = -0.829, -0.943$, respectively). Although a few subjects also showed the strong correlation between the ball speed and the trunk lateral bend angle or the angular velocity at ball release, not all inter- and intra-subject correlations matched exactly. And intra-subject relationships between the ball speed and the trunk kinematics were different from one subject to another. These results suggest that the individualized training plans specific to a pitcher's unique characteristics of their trunk kinematics are needed to improve the pitching delivery and increase the ball speed within each pitcher.