

高校生投手における投球障害発生メカニズムの解明 — 体幹・下肢関節機能に着目した三次元動作解析 —

瀬尾和弥¹⁾, 森原 徹²⁾, 松井知之¹⁾, 東 善一¹⁾, 平本真知子¹⁾

1) 京都府立医科大学附属病院 リハビリテーション部

2) 京都府立医大大学院 運動器機能再生外科学 (整形外科)

1. はじめに

京都では、京都府高等学校野球連盟と連携して、投球障害予防を目的にメディカルチェックを行っている。メディカルチェックにおいて、医師によるストレステストや超音波診断で、野球肘と判断した選手は受診した選手の30%に及んでいる。野球肘は、大きく内側障害、外側障害、後方障害に分類される^{1) 2)}。内側、外側障害は数多く報告されているが、^{3) 4) 5)}、肘頭骨棘、肘頭疲労骨折などの肘関節後方障害については、報告が少なく、その発生頻度の詳細は不明である^{6) 7)}。肘関節後方障害の発症機序については、レイトコッキング期～アクセレーション期の肘関節外反伸展ストレス^{7) 8)}、フォロースルー期の肘関節過伸展ストレスにおいて生じる⁹⁾とされており、投球フォームの評価が重要である。野球肘のリスクファクターとして、身体的要因(身長・体重)、練習環境(投球数)が挙げられている^{10) 11)}が、球種や投球フォームにも問題があると考えられており、野球肘の治療にはフォームの矯正が重要である^{12) 13)}。投球動作は、三次元的な動き(矢状面・前額面・水平面)が要求され、特に水平面における骨盤・体幹の回旋運動は重要である。体幹の回旋制限は肩・肘関節に影響を及ぼし¹⁴⁾、foot contact直前に体幹の過度な回旋(体が開く)が生じると、肘関節への外反トルクが増大する¹⁵⁾。

しかし、肘関節後方障害選手の投球動作における下肢・体幹運動について詳細な検討は行われていない。

本研究では、肘関節後方障害を有する高校生投手の投球動作中における下肢・体幹運動に着目し、投球動作特性を明らかにすることを目的とした。

2. 研究方法

2. 1. 対象

メディカルチェックにおいて、肘頭の圧痛または、肘関節伸展ストレステストで陽性所見を認めた選手のうち、二次検診を受診し、単純X線像・CT像・MR画像にて、肘関節後方障害と診断された高校硬式野球部に所属する投手7校9名(年齢 16.7 ± 0.7 歳、身長 175.8 ± 3.6 cm、体重 64.4 ± 5.5 kg)を対象とした。対照群として高校硬式野球部に所属する、肩・肘に疼痛なく全力投球可能な投手13校15名(年齢 16.5 ± 0.6 歳、身長 173.5 ± 5.6 cm、体重 67.5 ± 8.5 kg)とした。年齢、身長、体重、手の速度は、2群間で有意差を認めなかった。投法は、オーバースローまたはスリークォーターであった。

2. 2. 投球動作計測

投球動作の計測は、9台の赤外線カメラで構成される三次元動作解析装置(Vicon motion systems社製: VICON MX)を用いて行った(図1)。被験者には、体表に赤外線反射マーカを、plug in gait model¹⁶⁾に従って39個貼付した。十分なウォーミングアップの後、前方に設置した

ネットの的に向かって、セットポジションから全力投球を行わせた。取り込み周波数は 250 Hz とし¹⁷⁾、5 回計測を行った。

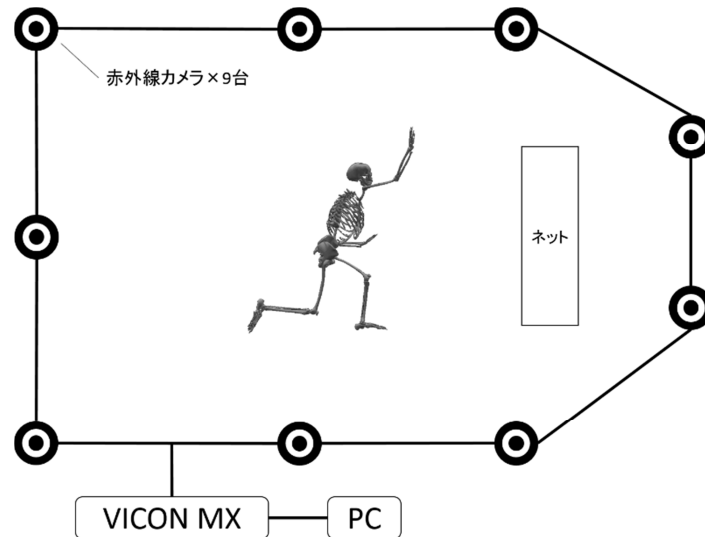


図1 投球動作計測環境

2. 3. データ処理

投球側第2指MP関節に貼付したマーカー速度（以下、手の速度）の最大値が最速の1試行の解析を行った。計測したマーカー位置座標データは、butterworth filter 13.4Hz で平滑化処理を行った。

2. 4. 分析時期

投球動作の分析時期は、Jobe¹⁸⁾、Fleisig¹⁹⁾らの分類を参考に、start：投球開始（非投球側下肢挙上開始）、knee elevation (KE)：非投球側膝最大挙上、foot contact (FC)：非投球側下肢接地、MER：投球側肩関節最大外旋位（maximum external rotation）、ball release (BR)：ボールリリース、finish：投球終了（投球側手の進行方向変換点）の6時点とした。

2. 5. 検討項目

検討項目は、胸郭屈曲/伸展・側屈・回旋、骨盤前傾/後傾・側方傾斜・回旋、胸腰部屈曲/伸展・側屈・回旋、股関節屈曲/伸展・内転/外転・内旋/外旋、膝関節屈曲/伸展、足関節底屈/背屈角度とした。

2. 6. 角度定義

胸郭、骨盤角度は、計測空間座標系に対する角度、胸腰部、股関節、膝関節、足関節角度は、隣接セグメントのなす角度とした。

2. 7. 統計処理

各変数を肘関節後方障害群と対照群の2群間で比較した。統計学的解析は、正規性の検定には、シャピロ-ウィルク検定を、等分散性の検定には、ルベーン検定を用いた。正規分布に従い等分散の場合は、スチューデントのt検定を行い、等分散でない場合は、ウェルチのt検定を行った。正規分布に従わない場合は、マン・ホイットニーのU検定を用いた。いずれも、有意水準は5%とした。解析にはオープンソース・フリーソフトウェア R.2.8.1 (<http://www.r-project.org/>)²⁰⁾を用いた。

2. 8. 説明と同意

本研究は、京都府立医科大学医学倫理審査委員会の承認を得て実施し、対象者には、本研究の主旨を説明し、全例同意を得た。

3. 結果

3. 1. 投球側下肢関節角度

3. 1. 1. 投球側股関節

股関節屈曲/伸展角度において、start, finish で有意差を認めた。start, finish とも障害群で有意に屈曲位であった。(図 2. a)

股関節内転/外転角度において、MER で有意差を認め、障害群において、有意に外転位であった。(図 2. b)

股関節内旋/外旋角度においてはいずれの時点でも有意差を認めなかった。(図 2. c)

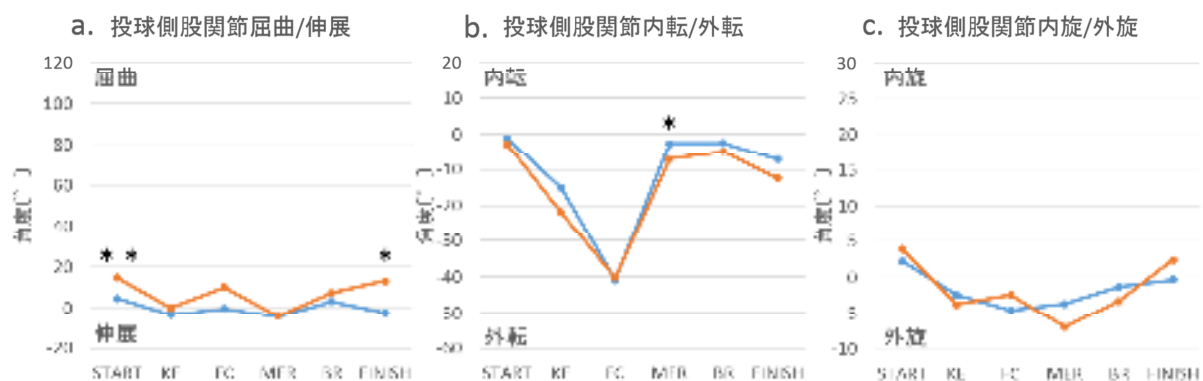


図 2 投球側股関節角度

青線：対照群 赤線：障害群

a. 股関節屈曲/伸展 屈曲：+ 伸展：-

b. 股関節内転/外転 内転：+ 外転：-

c. 股関節内旋/外旋 内旋：+ 外旋：-

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

3. 1. 2. 投球側膝関節

膝関節屈曲/伸展角度では, start 時において有意差を認め, 障害群で有意に屈曲位であった. (図 3)



図 3 投球側膝関節屈曲/伸展角度
 青線 : 対照群 赤線 : 障害群 屈曲 : +
 ** : $p < 0.01$ * : $p < 0.05$

3. 1. 3. 投球側足関節

足関節底屈/背屈角度では, start 時において有意差を認め, 障害群で有意に背屈位であった. (図 4)

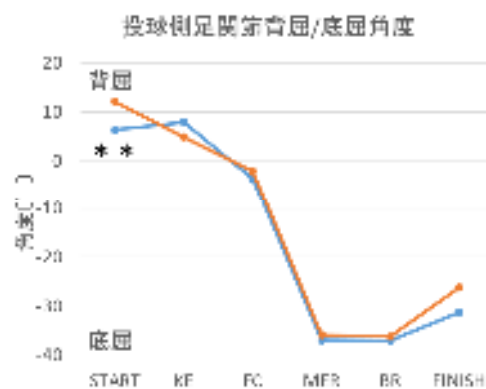


図 4 投球側足関節底屈/背屈角度
 青線 : 対照群 赤線 : 障害群 底屈 : + 背屈 : -
 ** : $p < 0.01$ * : $p < 0.05$

3. 2. 非投球側下肢関節角度

3. 2. 1. 非投球側股関節

非投球側股関節屈曲/伸展, 内転/外転, 内旋/外旋ともに, いずれの時点でも有意差を認めなかった. (図 5. a, b, c)

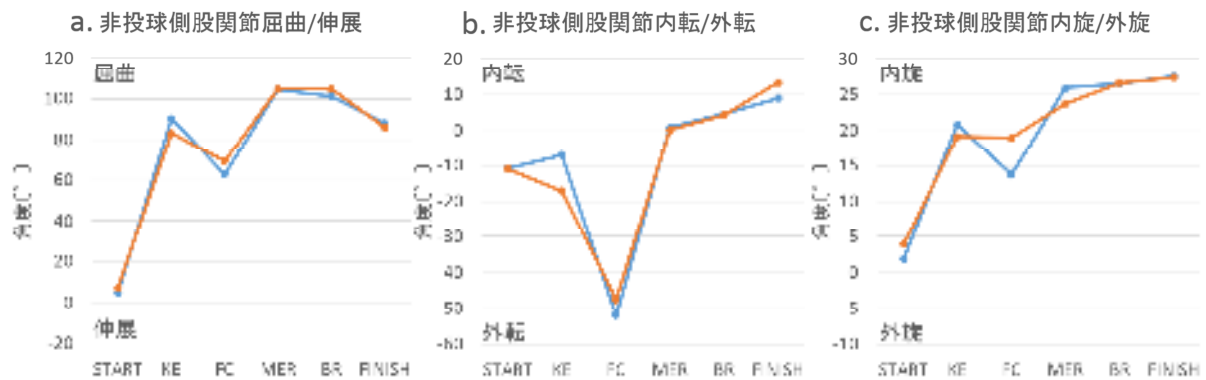


図 5 非投球側股関節角度

青線：対照群 赤線：障害群

- a. 股関節屈曲/伸展 屈曲：+ 伸展：-
- b. 股関節内転/外転 内転：+ 外転：-
- c. 股関節内旋/外旋 内旋：+ 外旋：-

3. 2. 2. 非投球側膝関節

非投球側膝関節屈曲/伸展は, ball release において有意差を認め, 障害群において有意に屈曲していた. (図 6)



図 6 非投球側膝関節屈曲/伸展角度

青線：対照群 赤線：障害群 屈曲：+

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

3. 2. 3. 非投球側足関節

非投球側足関節底屈/背屈角度では, ball release, finish の時点で有意差を認め, 障害群において有意に背屈していた. (図 7)

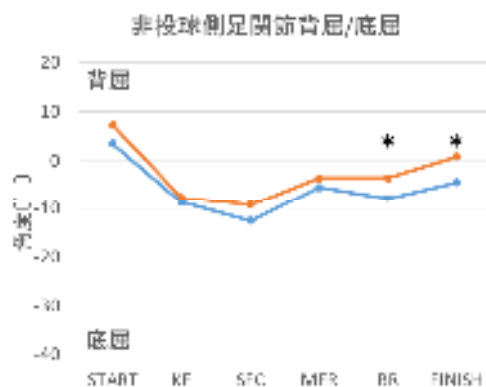


図 7 非投球側足関節底屈/背屈角度

青線：対照群 赤線：障害群 背屈：+ 底屈：-
 ** : $p < 0.01$ * : $p < 0.05$

3. 3. 胸郭角度変化

胸郭角度変化は, 屈曲/伸展, 側屈, 回旋ともに, いずれの時点でも有意差を認めなかった. (図 8. a, b, c)

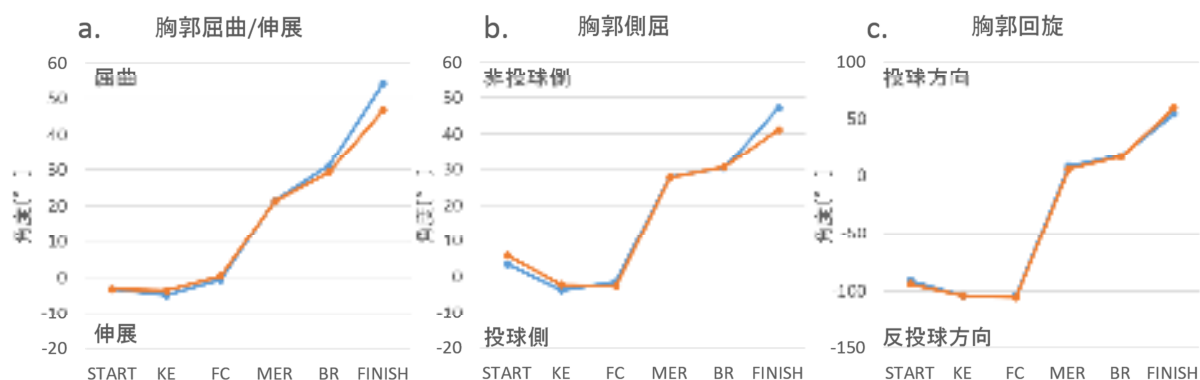


図 8 胸郭角度

青線：対照群 赤線：障害群
 a. 胸郭屈曲/伸展 屈曲：+ 伸展：-
 b. 胸郭側屈 非投球側側屈：+ 投球側側屈：-
 c. 胸郭回旋 投球方向回旋：+ 反投球方向回旋：-

3. 4. 骨盤角度変化

骨盤角度変化は、側方傾斜において、MER時に有意差を認め、障害群は投球側側方傾斜していた。(図9. b) 前傾/後傾, 回旋においては、いずれの時点でも有意差を認めなかった。(図9. a, c)

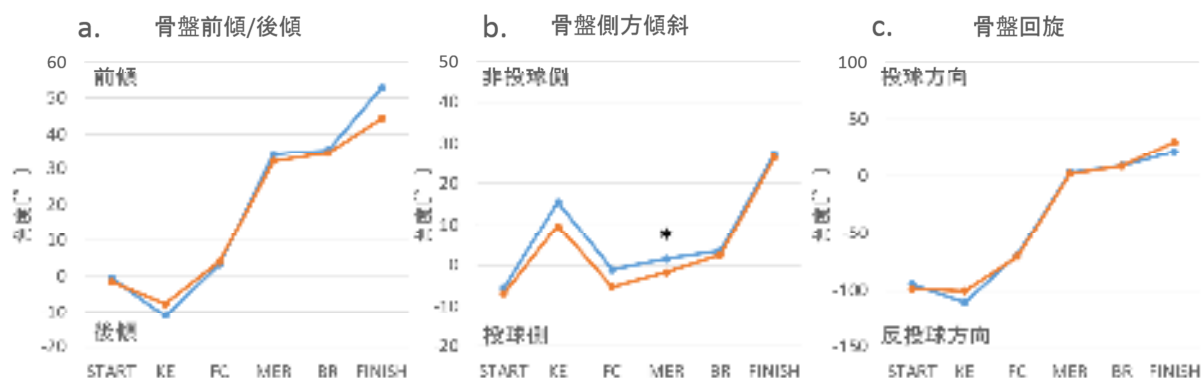


図9 骨盤角度

青線：対照群 赤線：障害群

a. 骨盤前傾/後傾 前傾：+ 後傾：-

b. 骨盤側方傾斜 非投球側傾斜：+ 投球側傾斜：-

c. 骨盤回旋 投球方向回旋：+ 反投球方向回旋：-

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

3. 5. 胸腰部角度変化

胸腰部角度変化は、胸腰部側屈角度において、MER時に有意差を認め、障害群において有意に非投球側に側屈していた。屈曲/伸展, 回旋はともに、いずれの時点でも有意差を認めなかった。(図10. a, b, c)

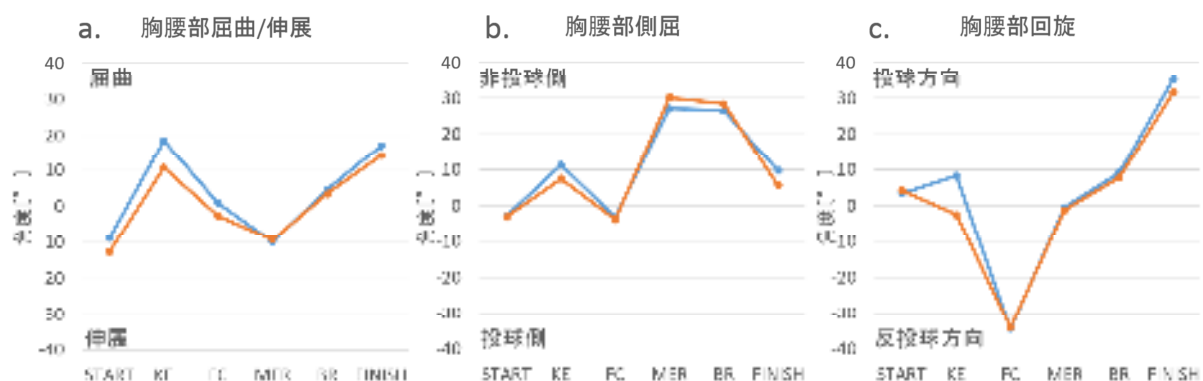


図10 胸腰部角度

青線：対照群 赤線：障害群

a. 胸腰部屈曲/伸展 屈曲：+ 伸展：-

b. 胸腰部側屈 非投球側側屈：+ 投球側側屈：-

c. 胸腰部回旋 投球方向回旋：+ 反投球方向回旋：-

4. 考察

投球動作は、wind-up期、アーリーコッキング期、レイトコッキング期、アクセレーション期およびフォロースルー期に分類されることが多い^{12) 13)}。本研究では、臨床で簡便に評価しやすいよう、各々のフェーズが切り替わる時点である、knee elevation, foot contact, MER, ball release と、これに、投球動作開始時 (start)、投球動作終了時 (finish) を加えて、6つの時点について、角度を比較した。

その結果、障害群は start 時の姿勢において、投球側股関節、膝関節は屈曲し、足関節は背屈しており、下肢は全体的に屈曲位であった。wind-up期は非投球側下肢の挙上により位置エネルギーを蓄積するフェーズである。start 時、投球側下肢は屈曲位であるため、位置エネルギーが低下した姿勢となっており、非効率な投球動作の開始姿勢となっている。この start 時からのエネルギーの損失は、その後のフェーズでのエネルギー挽回のため、よりボールに近い末梢での代償を必要とし、肩肘へのストレスとなる可能性がある。

MER 時の骨盤側方傾斜に有意差を認め、障害群において骨盤投球側側方傾斜が大きかった。骨盤投球側側方傾斜が大きい選手は、体重移動していく段階で、非投球側下肢の支持性が低下している可能性があり、体重移動を阻害している可能性がある。また、この姿勢の崩れにより更に体重移動が阻害され finish 時の姿勢に影響を与えている可能性があると考えた。障害群の ball release における膝関節屈曲角度、足関節背屈角度の増大、finish における足関節背屈角度の増大は、膝関節、足関節から姿勢が崩れていることを示しており、非投球側下肢の支持性の低下を示す結果であると考えた。

finish 時の、投球側股関節屈曲/伸展角度については、対照群は非投球側股関節を支点とした天秤となり、胸郭屈曲に合わせて、投球側股関節は伸展し、体幹の前方への回転運動を行っていると考えた。一方、障害群では、非投球側股関節を支点として、胸郭は屈曲するが、投球側下肢も屈曲し、体幹の前方への回転運動を妨げていると考えた。(図 11) 体幹屈曲が少ない投球動作は、肩関節後方へのストレスが増大すると考えられている²¹⁾、本研究の障害群においても、体幹の前方への回転運動が阻害された結果、フォロースルー期において肘関節後方へのストレス増大へとつながっている可能性がある。この投球側下肢の運動の違いは、非投球側下肢の支持性に影響されている可能性があり、今後、力学的な検討も行っていく必要がある。

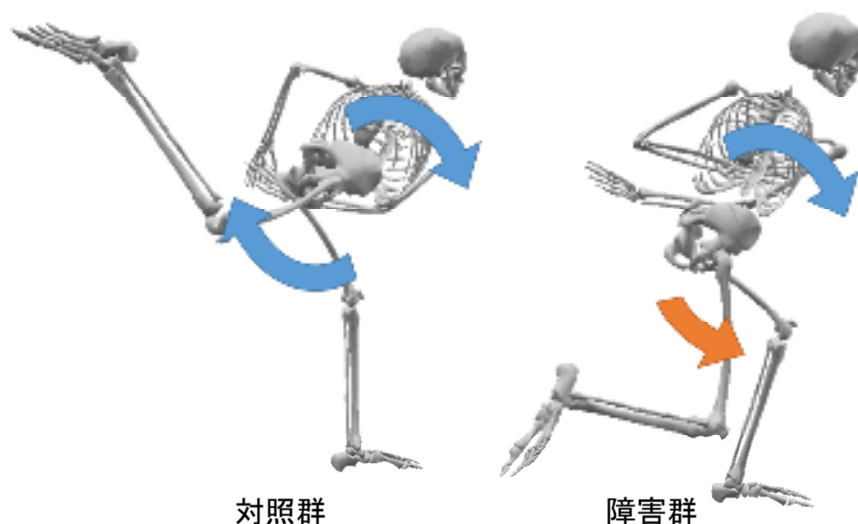


図 11 finish 時の姿勢

投球動作は約 2 秒間という瞬間的に行われ、さらに三次元的な動きを伴うため、動作中の姿勢を捉えることは難しい。そこで臨床での評価のポイントとして、start 時、finish 時の姿勢は、比較的捉えやすく、この時期における投球側下肢の屈曲や、finish 時の投球側股関節の伸展を、評価することで、投球障害に繋がる投球フォームを抽出できる可能性がある。投球動作において、動作開始時の姿勢が、動作中に修正されるケースが報告されており²²⁾、start 時の姿勢だけでなく、finish 時の姿勢も評価し、start 時の姿勢が投球動作中に修正されているのか、start 時以降の問題で finish まで問題が残るのかを判断する必要がある。

5. まとめ

本研究により、肘関節後方障害例と健常高校生投手の投球動作を、三次元動作解析装置を用いて比較し、後方障害例の投球動作特性を明らかにした。

障害群において start 時に投球側股関節、膝関節は屈曲が増大し、足関節は背屈角度が増大していた。MER 時には、骨盤投球側側方傾斜が増大し、finish 時、投球側股関節伸展角度は減少していた。

障害群の投球動作は、骨盤投球側側方傾斜の増大により前方への体重移動が阻害されていると考えた。また、finish 時の投球側股関節伸展角度の減少により、スムーズな回転運動による胸郭の前屈が阻害され、フォロースルーにおける、肘関節へのストレスが増大していると考えた。

文献

- 1) Slocum DB: Classification of elbow injuries from baseball pitching, *Texas medicine*, 64 (3), 48-53, 1968.
- 2) 岡 義範: 野球肘 内・外側障害の診断と治療, *骨・関節・靭帯*, 19 (3), 211-220, 2006.
- 3) 辻野昭人, 伊藤恵康: 内側型野球肘牽引障害の病態と治療, *骨・関節・靭帯*, 18 (11), 975-983, 2005.
- 4) Brogdon BG, Crow NE: Little leaguer's elbow, *Am J Roentgenol*, 83, 671-675, 1960.
- 5) Mihara K, Suzuki K, Makiuchi D, et al.: Surgical treatment for osteochondritis dissecans of the humeral capitellum, *J shoulder Elbow surg.*, 19 (1), 31-37, 2010.
- 6) 山崎哲也: 投球障害肘 後内側障害の診断と治療, *臨床スポーツ医学*, 30 (9), 895-901, 2013.
- 7) Wilson FD, Andrews JR, Blackburn TA, et al.: Valgus extension over load in pitching elbow. *Am.J.Sports.Med.* 11:83-88.1983
- 8) 伊藤恵康, 辻野昭人, 鶴飼康二, ほか: スポーツ障害としての肘頭骨端離開・疲労骨折の病態, 11 (1), 45-46, 2004.
- 9) 伊藤益英, 斉藤明義, 舟波 達ほか: 肘頭疲労骨折バイオメカニズムからの検討, *日本整形外科スポーツ医学会雑誌*, 14 (1), 55-60, 1994.
- 10) Lyman S, Fleisig GS, Waterbor JW, Funkhouser EM, Pulley L, Andrews JR, Osinski ED, Roseman JM.: Longitudinal study of elbow and shoulder pain in youth baseball pitchers. *Med Sci Sports Exerc.* 33 (11): 1803-1810, 2001.
- 11) Harada M, Takahara M, Mura N, Sasaki J, Ito T, Ogino T.: Risk factors for elbow injuries among young baseball players. *J Shoulder Elbow Surg.* 19 (4): 502-507, 2010.
- 12) 松尾知之: 競技復帰のための投球フォーム—指導者の経験知とバイオメカニクス研究の融合点から探る, *臨床スポーツ医学*, 29, 313-319.
- 13) 坂田 淳: 内側型野球肘患者の疼痛出現相における投球フォームの違いと理学所見について, *日本整形外科スポーツ医学会雑誌*, 32, 259-265.
- 14) Aragon VJ, Oyama S, Oliaro SM, Padua DA, Myers JB.: Trunk-rotation flexibility in collegiate softball players with or without a history of shoulder or elbow injury: *J Athl Train* 47: 507-513, 2012.
- 15) Aguinaldo AL, Chambers H.: Correlation of throwing mechanics with elbow valgus load in adult baseball pitchers. *Am J Sports Med* 37: 2043-2048, 2009.
- 16) 宮崎茂明, 石田康行, 鳥取部光司ほか: 投球動作における身体運動と肩甲帯周囲の筋活動特性—正常肩および投球障害肩での検討—, *臨床バイオメカニクス*, 32, 167-172, 2011.
- 17) Nissen CW, Westwell M, Öunpuu S, et al.: A biomechanical comparison of the fastball and curveball in adolescent baseball pitchers, *Am J Sports Med*, 37, 1492-1498, 2009.
- 18) Jobe FW, Bradley JP: Rotator cuff injuries in baseball. Prevention and rehabilitation, *Sports medicine*, 6, 378-387, 1988.

- 19) Fleisig GS, Barrentine SW, Zheng N et al. : Kinematic and kinetic comparison of baseball pitching among various levels of development, *Journal of biomechanics*, 32, 1371-1375, 1999.
- 20) R Development Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Available at: <http://www.R-project.org>.
- 21) 伊藤博一, 河崎尚史, 井尻哲也, ほか: 年代別にみた投動作の特徴 (第一部) —加速期体幹運動とボールリリース—, *臨床スポーツ医学会誌*, 19 (3), 480-483. 2011.
- 22) 川野哲英: ファンクショナルエクササイズ⑨ 姿勢と動作, *トレーニング・ジャーナル*, 24 (10), 48-53, 2002.