

令和 6 年 4 月 29 日現在

機関番号：82611

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K11359

研究課題名(和文) スポーツによる肘関節内側障害のリアルタイム靭帯機能評価法の開発

研究課題名(英文) Development of Real-Time Ligament Function Evaluation Method for Elbow Medial Joint Injury Caused by Sports

研究代表者

原 友紀 (Hara, Yuki)

国立研究開発法人国立精神・神経医療研究センター・病院 総合外科部・医長

研究者番号：30431688

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：大学野球選手を対象に、全身の運動器メディカルチェック項目、肘関節エコー検査、肘関節高分解能MRIを実施し、データを解析し傷害との関連を前向きに検討した。肘関節エコーでは、自然肢位・3kgの外反ストレスの負荷したときの関節裂隙の開大距離、靭帯長、靭帯厚の測定を臥位にて異なる肘関節角度で実施し、至適な検査肢位を明らかにした。野球選手の肘関節外反弛緩性とモーションキャプチャーにより測定された投球動作との関係を調査した。投球時にかかる肘外反ストレスと体幹を含めた投球動作との関連が示された。研究結果は、野球選手におけるEVLの発生機序や傷害との関連を理解する上で有用な基礎データとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、野球選手の肘関節外反弛緩性とモーションキャプチャーにより測定された投球動作との関係を調査した初めての研究である。研究1では、肘関節内側側副靭帯の病態把握に適した検査肢位を明らかにした。研究2では、モーションキャプチャーにより測定されたMEVと肘関節90度屈曲位で評価し、MEVが減少すると投球側における投球前のEVLが増加する傾向を明らかにした。これらの研究結果は、野球選手におけるEVLの発生機序や傷害との関連を理解する上で有用な基礎データとなる。今後、傷害やパフォーマンスとの関連を明らかにするさらなる研究が必要である。

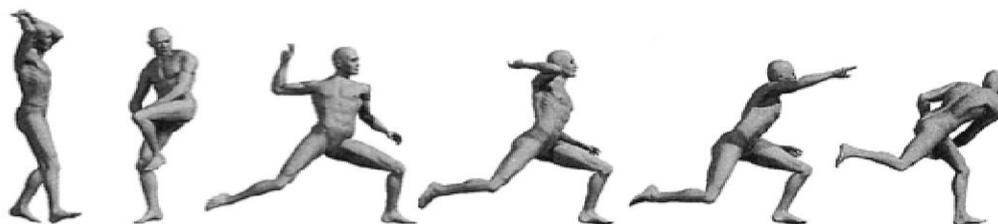
研究成果の概要(英文)：We conducted a comprehensive musculoskeletal medical check-up, elbow joint ultrasound examination, and high-resolution MRI of the elbow joint on university baseball players, and analyzed the data to proactively investigate the relationship with injuries. In the elbow joint ultrasound examination, we measured the joint gap opening distance, ligament length, and ligament thickness under different elbow joint angles in the supine position with natural limb position and 3 kg of valgus stress load, revealing the optimal examination limb position. We investigated the relationship between elbow joint laxity in baseball players and throwing motion measured by motion capture. The relationship between elbow valgus stress during throwing and throwing motion including trunk was demonstrated. The research results provided useful basic data for understanding the mechanism of onset of elbow valgus laxity and its relationship with injuries in baseball players.

研究分野：手外科 肘関節外科

キーワード：肘関節内側側副靭帯 野球肘 エコー

### 1. 研究開始当初の背景

野球や剣道、テニス、バドミントンなど肘関節に負荷のかかるスポーツは多くある。スポーツによる肘関節障害は、障害部位により内側型・外側型・後方型の 3 つに大別され、外側型は離断性骨軟骨炎、後方型は肘頭骨端線閉鎖不全と病態がわかっているのに対し、内側型の病態については、成長期の骨端症・靭帯損傷・その合併によるものなど**複雑**である。下図に示したように投球動作によって肘の内側に離れようとする力が、外側には衝突する力が繰り返しかかる。成長が終わった高校生以降では骨と骨をつなぐ靭帯自体が損傷され、少年期には靭帯が付着している内側骨端核が傷む。内側側副靭帯(Ulnar Collateral Ligament; 以下 UCL) 再建手術、俗にいうミー・ジョン手術が必要になった症例の 70% 以上で、学童期の内側型病変の遺残が観察されており(伊藤ほか, 整災外, 2003)、肘関節内側障害の病態は単一ではない。このように、多くの肘関節内側スポーツ障害は、学童期からの傷害と治癒の繰り返しが関与し、骨軟骨成分の損傷と靭帯損傷が混在しているため、高分解能 MRI などの進歩した画像技術を用いても、**画像上の異常所見は「過去のケガ」による変化も含み、リアルタイムの痛みの原因を正確に診断することが困難である**のが現状である。



a. ワインドアップ    b. 前期コッキング    c. 後期コッキング    d. 加速～リリース    e. フォロースルー

### 2. 研究の目的

本研究は**スポーツによる肘関節内側障害の病態の解明と診断法の確立を目的**とする。病態の解明には、肘関節内側に症状のある選手とない選手における関節構成体の**解剖学的差異**と**機能的差異**を見出すことが必要と考える。またその年代別の**差異**、**競技特性や肢位による差異**を明らかにすることも必要である。これらが明らかとなれば、**縦断的研究**において障害発生前後の変化を抽出する研究を行い、診断法の確立が可能となると考える。

### 3. 研究の方法

#### 【研究1: 大学野球選手を対象としたスポーツによる肘関節内側障害の分類】

概要: 比較的均一な母集団と考えられる大学野球選手を対象に、野球歴・既往歴・現症(疼痛や傷害の有無)・全身の運動器メディカルチェック項目(関節可動域、弛緩性、筋力、圧痛、各種ストレステスト)、肘関節エコー検査、肘関節高分解能 MRI を実施し、データを解析する。肘関節エコーでは、自然肢位・3kg の外反ストレスの負荷したときの関節裂隙の開大距離、靭帯長、靭帯厚の測定を臥位で肘屈曲 90° および 30° で測定した。野球選手と野球歴のないコントロール群との比較を行うために、年齢・性別を合わせたコントロール群 10 例について同様の計測を行った。

#### 【研究2: モーションキャプチャーによる肘関節角度変化を用いた肘関節不安定の推定】

概要: 研究1の被検者のうち、既往歴・自覚症状・画像所見の異常のある UCL 損傷群といずれも存在しない非損傷群 10 名を抽出し、光学式モーションキャプチャーシステムを使用して投球側上肢の動きを解析し、両群で標識の変位角度の差異を検討することで肘関節不安定性の指標となるかを検討した。

#### 4. 研究成果

##### 【研究1】

##### (1-1) Control 群における EVL

各肢位における肘関節内側関節裂隙(MEJS)。安静時の MEJS は、90 度屈曲位で利き手側 3.2 ± 0.9 mm、非利き手側 3.1 ± 1.0 mm、30 度屈曲位で利き手側 3.2 ± 0.7 mm、非利き手側 3.0 ± 0.7 mm であり、両肢位ともに有意な利き手側・非利き手側差はなかった(90 度屈曲位:p = 0.67、30 度屈曲位:p = 0.37)。外反ストレス時の MEJS は、90 度屈曲位で利き手側 4.0 ± 1.1 mm、非利き手側 3.9 ± 1.2 mm、30 度屈曲位で利き手側 4.5 ± 1.4 mm、非利き手側 4.2 ± 1.1 mm であり、両肢位ともに有意な利き手側・非利き手側差はなかった(90 度屈曲位:p = 0.55、30 度屈曲位:p = 0.39)。

肘関節外反角度(EVL)は90度屈曲位の利き手側 0.8 ± 0.7 mm、非利き手側 0.7 ± 0.6 mm、30 度屈曲位の利き手側 1.3 ± 1.1 mm、非利き手側 1.2 ± 0.7 mm であり、両肢位ともに有意な利き手側・非利き手側差はなかった(90 度屈曲位:p = 0.88、30 度屈曲位:p = 0.92)。EVL を利き手側・非利き手側ごとに比較すると、利き手側では 90 度屈曲位と 30 度屈曲位との間に有意差はなかったが(p = 0.06)、非利き手側では 30 度屈曲位の方が 90 度屈曲位よりも有意に増加していた(p = 0.008、効果量 0.84)。

##### (1-2) 野球選手における EVL

安静時の MEJS は、90 度屈曲位で投球側 3.9 ± 0.9 mm、非投球側 3.8 ± 1.0 mm、30 度屈曲位で投球側 4.5 ± 0.8 mm、非投球側 4.7 ± 0.7 mm であり、両肢位ともに有意な投球側・非投球側差はなかった(90 度屈曲位:p = 0.62、30 度屈曲位:p = 0.56)。外反ストレス時の MEJS は、90 度屈曲位で投球側 5.8 ± 1.2 mm、非投球側 5.1 ± 1.5 mm、30 度屈曲位で投球側 5.6 ± 0.7 mm、非投球側 5.4 ± 0.7 mm であり、90 度屈曲位では投球側で非投球側よりも有意に増加していたが(p = 0.019、効果量 0.61)、30 度屈曲位では有意な投球側・非投球側差はなかった(p = 0.28)。

EVL は 90 度屈曲位の投球側 1.9 ± 0.7 mm、非投球側 1.3 ± 0.8 mm、30 度屈曲位の投球側 1.1 ± 0.7 mm、非投球側 0.8 ± 0.6 mm であり、90 度屈曲位では投球側で非投球側よりも有意に増加していたが(p = 0.022、効果量 0.60)、30 度屈曲位では有意な投球側・非投球側差はなかった(p = 0.13)。

EVL を投球側・非投球側ごとに比較すると、投球側では 90 度屈曲位の方が 30 度屈曲位よりも有意に増加していた(p = 0.002、効果量 0.87)。非投球側では 90 度屈曲位と 30 度屈曲位との間に有意差はなかった(p = 0.06)。

##### 【研究1の考察】

Control 群では、利き手側・非利き手側における安静時および外反ストレス時の MEJS、EVL の比較で明らかな側性は認めなかった。一方、非利き手側では 90 度屈曲位の EVL の方が 30 度屈曲位の EVL よりも有意に減少していた。利き手側においても有意ではないものの 90 度屈曲位の EVL の方が 30 度屈曲位の EVL よりも減少している傾向がみられた。本研究結果より、UCL に負荷を受けていなければ、EVL は 90 度屈曲位の方が 30 度屈曲位よりも減少することが示された。

本研究で得られた主な知見は、野球選手における投球側の EVL は 90 度屈曲位の方が 30 度屈曲位よりも有意に増加していたが、非投球側では有意差はなかったことである。つまり、野球選手の投球側肘関節における EVL は 90 度屈曲位の方が 30 度屈曲位よりも明瞭に検出された。これは、SUS による EVL 評価において 90 度屈曲位がより適した肢位であることを示している。投球側では、90 度屈曲位での EVL は 1.9 mm、30 度屈曲位では 1.1 mm であり、その差は 0.8 mm であった(p = 0.002、効果量 0.87)。さらに、MEJS の投球側・非投球側差は、90 度屈曲位では検出できたが、30 度屈曲位では検出できなかった。これらの結果は、90 度屈曲位が SUS による野球選手における EVL の評価において、より適した肢位であることを支持するものである。

## 【研究2】

### (2-1) EVL の評価と超音波検査所見

EVL の評価は、研究①の 90 度屈曲位による評価方法と同様に SUS で行った。安静時と外反ストレス時の 2 条件で MEJS を超音波診断装置 (SONIMAGE MX1; コニカミノルタ社、東京) を用いて観察し、記録した。ウォームアップ開始前に投球前の SUS を行い、次に示す投球動作解析での投球後は速やかにマーカーを除去して投球後の SUS を行った。投球前、投球後ともに両側で実施した。投球前後の SUS で得られた画像から投球前後の EVL を評価した。また、投球前の SUS 時に両側の内側上顆を観察し、UCL 付着部の不整像および裂離骨片の有無、両側 UCL の低エコー領域および石灰化の有無を確認した。さらに、安静時の画像において両側 UCL の厚さを Image J を用いて計測した。

### (2-2) 投球動作解析

投球動作の測定場所は屋内の模擬マウンドとし、投手板から 18.44m にホームプレートを設置した。投手にはホームプレート後方の捕手に向けて全力投球を行うように指示し、球種はストレートとした。球速はスピードガン (1GJYM20100; ミズノ社、大阪) を用いて捕手の後方から計測し、ストライク・ボールは捕手が判定した。投球動作測定はモーションキャプチャーシステム Vicon Lock+ (Vicon Motion System Inc.) により行われた。サンプリング周波数を 250Hz に設定した赤外線カメラを 15 台設置した。測定前の準備として、ウォームアップ後、反射マーカーを身体分析点 47 点に貼付した。本研究では動作開始 (セットポジションの前から目視で両腕両脚が動き出したと確認された時点) からボールリリースまでの動作を測定範囲とし、専用処理ソフト Vicon Nexus (Vicon Motion System Inc.) で反射マーカーを検知し、各マーカーの三次元座標を算出した。算出した三次元座標値は Winter の方法により最適遮断周波数 (5-20Hz) を決定し、Butterworth digital Filter を用いて平滑化した後、各関節角度を算出した [Winter1990]。MEV は逆動力学法を用いて算出し、球速、身長、体重で正規化した値 (normalized maximum elbow varus Torque: 以下 nMEV) を解析に用いた [4,38,39,40]。投球練習を含む十分なウォームアップ後に、モーションキャプチャーシステムにより記録できた投球試技が 10 球に達するまで投球を行った。記録できた投球試技 10 球のうちストライク判定かつ最高球速の試技を解析対象とした。

#### (2-2-1) 投球動作における解析点の定義

投球動作は phase によって動作が異なるため、動作を分割して検討する必要がある。本研究では先行研究を参考に、動作開始からボールリリースまでの中で、踏込脚が地面に接地した時点を踏込脚接地時 (foot contact: 以下 FC)、投球側の肩関節外旋角度が最大に達した時点を肩関節最大外旋時 (maximum external rotation: 以下 MER)、ボールから指が離れた時点をボールリリース時 (ball release: 以下 BR) と定義した [Jobe1990]。

#### (2-2-2) 関節角度の算出

モーションキャプチャーシステムで得られたデータから Vicon Nexus のアプリケーションを用いて、各解析点 (FC、MER、BR、MEV 時) における投球側肘関節屈曲角度、投球側肩関節外旋・外転・水平屈曲角度、体幹前屈・側屈・捻転角度を算出した。体幹前屈角度は鉛直方向と投球方向がなす平面において、鉛直方向と両股関節の midpoint から両肩関節の midpoint を結んだ線がなす角度とし、投球方向への傾斜を正とした。体幹側屈角度は鉛直方向と一三塁方向がなす平面において、鉛直方向と両股関節の midpoint から両肩関節の midpoint を結んだ線がなす角度とし、非投球側への傾斜 (右投げでは一塁方向) を正とした。体幹捻転角度は投球方向と一三塁方向がなす平面において、非投球側肩関節から投球側肩関節へ向かうベクトルと非投球側股関節から投球側股関節へ向かうベクトルがなす角度とし、非投球側肩関節から投球側肩関節へ向かうベクトルが非投球側股関節から投球側股関節へ向かうベクトルよりも本塁方向へ先行している場合 (右投げでは体幹が左回旋している場合) を正とした。

## 【結果】

## (2-1) 超音波検査所見と EVL

投球側・非投球側で比較すると、超音波検査所見のうち投球側で内側上顆の不整 ( $p = 0.003$ )、UCL の低エコー領域 ( $p = 0.033$ ) が有意に多く観察され、UCL の厚さ ( $p = 0.003$ ) は有意に厚かった。また、投球前 MEJS は安静時 ( $p = 0.017$ )、外反ストレス時 ( $p = 0.001$ ) とともに投球側で有意に増加し、投球後 MEJS は外反ストレス時 ( $p < 0.001$ ) のみ投球側で有意に増加していた。EVL に関して、投球前の EVL は投球側・非投球側に明らかな差は認めなかった ( $p = 0.137$ ) が、投球後の EVL は投球側で有意に増加していた ( $p = 0.021$ )。EVL の投球前後差は、有意ではないが、投球側で非投球側よりも増加している傾向がみられた ( $p = 0.086$ )。

### (2-2-1)

MEV は被験者全員において MER またはその前後で計測され、平均  $62.9 \pm 16.8(37.4-99.2)$  Nm であった。また、球速は  $124.3 \pm 8.2$  km/h であった。MEV を球速、身長、体重で正規化した nMEV は平均  $35.9 \times 10^{-4} \pm 6.5 \times 10^{-4}(23.9 \times 10^{-4}-45.1 \times 10^{-4})$  Nm/(m $\times$ kg $\times$ km/h) であった。投球側の各 EVL 同士および投球側の各 EVL と nMEV との相関関係の結果を表 5 に示す。投球側 EVL において投球前と投球後との間には正の相関を認め ( $r = 0.715$ ,  $p = 0.020$ )、投球前と投球前後差の間には負の相関を認めた ( $r = -0.713$ ,  $p = 0.021$ )。また、有意ではないが、投球側 EVL の投球前が増加するほど nMEV が減少する傾向があった ( $r = -0.612$ ,  $p = 0.060$ )。一方で、投球側 EVL の投球後と nMEV ( $r = -0.489$ ,  $p = 0.151$ )、投球側 EVL の投球前後差と nMEV ( $r = 0.384$ ,  $p = 0.273$ ) には明らかな相関関係は認めなかった。

### (2-2-2)nMEV と各関節角度との相関関係

投球側肘関節では MEV 時の屈曲角度と nMEV との間に負の相関を認めた ( $r = -0.656$ ,  $p = 0.039$ )。投球側肩関節では、有意ではないが、FC での外転角度が増加するほど nMEV が増加する傾向があった ( $r = 0.615$ ,  $p = 0.058$ )。また、BR での水平屈曲角度と nMEV との間には負の相関を認めた ( $r = -0.824$ ,  $p = 0.003$ )。体幹では FC での前屈角度と nMEV との間に負の相関を認め ( $r = -0.649$ ,  $p = 0.042$ )、MER での捻転角度と nMEV との間にも負の相関を認めた ( $r = -0.777$ ,  $p = 0.008$ )。

## 【研究2の考察】

本研究は、野球選手の EVL とモーションキャプチャーにより測定された投球動作との関係を調査した初めての研究である。研究 1 では、SUS 時の肘関節屈曲角度が 30 度よりも 90 度の方が、野球選手における EVL をより反映するという仮説に対して、野球選手における EVL の SUS 評価を肘関節 90 度屈曲位と 30 度屈曲位で比較し、90 度屈曲位の肢位が適していることが証明された。研究 2 では、MEV が大きければ投球後の EVL も大きくなるという仮説に対して、モーションキャプチャーにより測定された MEV と肘関節 90 度屈曲位で評価した EVL との関係を検証したが、有意な相関は示されなかった。ただし、MEV が減少すると投球側における投球前の EVL が増加する傾向を認めた。また、投球時にかかる肘外反ストレスと体幹を含めた投球動作との関連が示された。これらの研究結果は、野球選手における EVL の発生機序や傷害との関連を理解する上で有用な基礎データとなる。今後、傷害やパフォーマンスとの関連を明らかにするさらなる研究が必要である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Michinobu R, Ogawa T, Yoshii Y, Ikumi A, Ikeda K, Tsuge H, Teruya S, Hara Y, Yamazaki M.	4. 巻 12
2. 論文標題 Optimal Limb Position for the Stress Ultrasound Evaluation of Elbow Valgus Laxity in Baseball Players.	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Orthop J Sports Med.	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1177/23259671231221523.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 原友紀、道信龍平
2. 発表標題 大学野球部メディカルチェックにおける肘関節内側弛緩性の特徴
3. 学会等名 第65回日本手外科学会学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 エコーによる肘関節内側弛緩性評価の至適肢位の検討
2. 発表標題 道信龍平、原友紀
3. 学会等名 第95回日本整形外科学会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------