

野球投球動作の肩関節周りの発揮トルク・稼働範囲と肩・肘関節傷害リスクとの関係

谷本 道哉¹, 吉岡 伸輔², 瀬戸口 芳正³, 平島 雅也⁴

要旨

背景: 野球投球時の肩関節まわりの発揮トルク・稼働範囲と肩・肘関節まわりの傷害との関連が示唆されているが,その詳細は明らかではない。**目的:** 野球投球動作時の肩関節周りの発揮トルクおよび稼働範囲,また肩関節周りの等尺性最大筋力および静的可動域の傷害発症リスクとの関係を明らかにする。**方法:** 大学男子硬式野球部に所属する投手 12 名を用いて,投球動作時の肩関節周りの発揮トルク (内旋,水平内転),稼働範囲 (外旋,水平外転) を逆動力学より算出した。また肩関節周りの等尺性最大筋力と静的関節可動域の測定を行った。以上の測定項目と,肩・肘関節まわりの傷害発症リスク指標 (肩関節引張力,せん断力,肘関節外反トルク) との関係の評価を行った。なお,力の要素は球速の 2 乗で除して標準化したものを評価に用いた。**結果:** 投球時の発揮トルクと傷害リスク指標との関係は,肩関節内旋トルクは肘関節内反トルクと有意な正の相関 ($P<0.001$) を,肩関節水平内転トルクは肩関節せん断力と有意な正の相関 ($P<0.001$) を示した。投球時の関節稼働範囲と傷害リスク指標との関係は,投球時の肩関節外旋稼働範囲は肘関節内反トルクと有意な負の相関 ($P<0.05$) を,投球時の肩関節水平外転稼働範囲は肩関節せん断力と有意な負の相関 ($P<0.001$) を示した。投球時の肩関節の発揮トルク (肩関節内旋,水平内転の和) の大きい上位 6 名の「上半身パワータイプ」は,下位 6 名の「非上半身パワータイプ」よりも肘関節内反トルクが大きい傾向 ($P<0.1$),肩関節せん断力は有意に高値 ($P<0.05$) であった。**結論:** 肩関節周りの発揮トルクを強く使う投手のほうが,また肩関節周りの稼働範囲が小さい投手のほうが肩・肘回りの傷害発症リスク指標が高くなるという関係が観察された。上肢の発揮トルク主動ではない投法,また肩関節周りの大きな稼働範囲を使った投法が,肩・肘関節まわりの傷害リスクを軽減するという点において優れることが示唆される。

キーワード: 投球傷害, 肘関節外反トルク, 肩関節せん断力, 関節トルク, 関節稼働範囲

1. 結論

野球の投手にもいろいろなタイプの選手がいる。大きく分けると,上半身の筋肉量が大きく上半身の筋力を強く使って投げる「上半身パワータイプ」と,上半身は比較的細身で上半身の筋力はそれほど大きく使わずに投げる「非上半身パワータイプ」の 2 タイプに分けられる印象がある。どちらのほうがパフォーマンスとして優れているかは言えなさそうであるが,肩・肘の傷害リスクに関しては違いがあるかもしれない。

野球投手の発症する傷害には野球肘や野球肩など,肩・肘に症状を呈する場合が多い^(1, 2, 3, 4)。野球投手の整形外科的疾患の治療を行っている臨床の現場からは,肩・肘の傷害を抱える投手には前述の「上半身パワータイプ」的な選手が多いようであるという声が聞かれる。しかし,実際のところは現時点では不明である。

本研究では「投球時の肩・肘の傷害リスクと投球動作特性 (投球時の発揮トルク・関節稼働範囲), および体力特性 (筋力・柔軟性) との関係」を調べることを目的とした。なお,肩・肘の傷害リスク指標としては,肩関節の引張力 (肩関節内旋軸の関節間力), せん断力 (肩関節内外転軸の関節間力), および肘関節外反トルクを採用した⁽⁵⁾。

原稿受付 2012 年 11 月 14 日

本研究は近畿大学生理工学部戦略的研究 No.02-IV-9, 2009 の助成を受けた。

1. 近畿大学生理工学部人間工学科, 〒649-6493 和歌山県紀の川市西三谷 930

2. 立命館大学スポーツ健康科学部, 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1 丁目 1-1

3. みどりクリニック, 〒514-1113 三重県津市久居野村町 366-1

4. 東京大学大学院教育学研究科, 〒113-8655 東京都文京区本郷 7-3-1

2. 研究方法

2.1 被験者

被験者は、大学男子硬式野球部に所属する男性投手 12 名とした。被験者の身体特性は以下の通りであった。被験者には、本研究の趣旨および危険性について説明を行い、書面にて参加の同意を得た。

表 1 被験者の形態的特性

身長 (cm)	体重 (kg)	年齢 (歳)	胸囲 (cm)	胴囲 (cm)	腰囲 (cm)
179.3±3.5	77.8±5.7	20.0±0.7	95.1±4.6	83.8±3.9	100.6±3.2

平均±標準偏差を示す。N=12 名。

2.2 実験プロトコル

被験者の体力特性として、筋力、柔軟性テストを行った。また、投球時の各部位の動きを光学式 3 次元動作解析 MAC 3D System (Motion analysis 社製) により撮影、座標化し、各関節の角度変化、トルク変化、せん断力、引張力変化を求めた。投球動作は 30 分間のウォームアップの後、5 球の全力の直球を投げてもらい、球速のもっとも速かった試技を成功試技として分析の対象とした。ウォームアップは被験者各自に普段行っている通りの方法で行ってもらった。

測定項目は、等尺性最大筋力、静的関節可動域（以上体力特性パラメータ）、および投球動作の動力学分析による投球時の肩関節の最大発揮トルク、稼働範囲（以上投球動作特性パラメータ）と肩関節・肘関節の傷害リスク指標パラメータの算出とした。肩関節周辺の傷害リスク指標パラメータとして肩関節の引張力（肩関節内旋軸の関節間力）およびせん断力（肩関節内外転軸の関節間力）を、肘関節周辺の傷害リスク指標として肘関節外反トルクを採用した（図 1）。いずれもそれぞれの部位の傷害と強い関係があるとされる指標である⁽⁵⁾。

2.3 比較分析内容

上記体力特性パラメータおよび投球動作特性パラメータと、肩関節・肘関節の傷害リスク指標パラメータとの関係の分析を行った。また各パラメータ間の関係の分析を行った。なお、測定項目のうちの最大筋力、発揮トルク、せん断力等の力の項目は、ボールに与えた運動エネルギー量に対する値として標準化するため、球速の 2 乗で除した値を分析に用いた。ただし、等尺性最大筋力と投球時の発揮トルクの関係（最大筋力に対する投球時発揮トルクの相対量の評価）の分析においてのみ測定値そのものの比較分析を合わせて行った。

また、被験者 12 名の内、投球時の肩関節発揮トルク最大値（（肩関節内旋トルク＋肩関節水平内転トルク）／球速の 2 乗）の上位 6 名を上半身パワータイプ、下位 6 名を非上半身パワータイプとして振り分け、2 群の体力特性、投球動作特性、肩・肘関節傷害リスク指標の各パラメータの比較を行った。

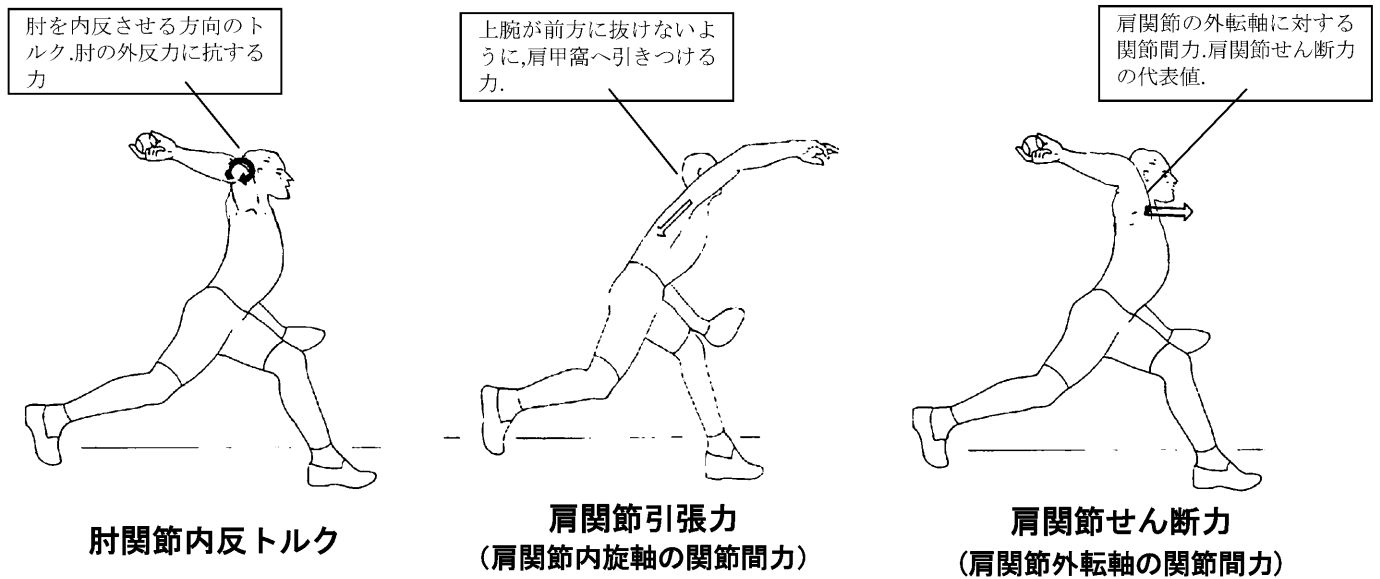


図1 肩関節・肘関節の傷害リスク指標

2.4 形態計測

形態計測として身長,体重,胸囲,腹囲,腰囲の測定を行った.胸囲は乳首の位置,腹囲は臍の位置,腰囲は腰部の最大周径の位置での測定とした.

2.5 等尺性最大筋力

肩関節内旋,股関節伸展,および膝関節伸展の等尺性最大筋力を BIODEX System4 (BIODEX 社製) を用いて測定した.肩関節内旋筋力は座位にて肩関節水平内転角度 0° ,内転角度 0° ,外転角度 90° および肘屈曲角度 90° の姿勢で,股関節伸展筋力は仰臥位にて股関節屈曲角度 90° 度,膝屈曲角度 90° の姿勢で,膝関節伸展筋力は座位にて股関節屈曲角度 90° 度,膝屈曲角度 90° の姿勢でそれぞれ測定した.測定時間は約 5 秒間,測定回数は 3 回とし,それぞれの最大値を測定値として採用した.各測定間の休息時間は 2 分間とした.

2.6 静的関節可動域テスト

肩関節周りの静的可動域評価として,投球肢の肩関節外旋および水平外転の静的可動域テストを行った.肩関節外旋可動域テストは仰臥位にて肩関節水平内転角度 0° ,内転角度 0° の姿勢で,肩関節水平外転可動域テストは仰臥位にて肩関節水平内転角度 0° ,外転角度 90° の姿勢で行った.測定は験者の徒手による他動的可動域で評価した.

白色マーカを投球肢側の肩峰(a),肘頭(b),尺骨茎状突起(c),上前腸骨棘(d),反対肢側の肩峰(e)に貼付し,前額面における ad ベクトルと bc ベクトルのなす角より肩関節外旋角度を,水平面における ab ベクトルと ad ベクトルのなす角より肩関節水平外転角度を算出した.デジタルカメラにて前額面および水平面画像を撮影し,ビデオ動作解析システム Frame Dias (ディケイエイチ社製) にて各マーカ位置を座標化し,角度の算出を行った.

2.7 投球動作の記録および動作・動力学分析

投球動作を光学式3次元動作解析 MAC 3D System (Motion analysis 社製) を用いて撮影,座標化した.図1に示すポイントに反射マーカ (直径 1.3cm) を貼付した.また,ボールには主要な指接触部分を除くボール表面全体に反射材を貼付した.反射マーカの動きを 200Hz で 16 台の赤外線ハイスピードカメラ Raptor-4 (Motion analysis 社製) にて撮影した.三次元の各マーカの時間ごとの座標は direct linear transformation method を用いて算出した⁽⁶⁾.座標データはバターワースローパスフィルターを用いて平滑化を行った.ローパスのカットオフ周波数は残差分析により算出した⁽⁷⁾.動作データは 1000Hz にてスプライン補間した.

被験者の体重と上肢各セグメントのセグメント長を計測し,各セグメントのパラメータを Ae と Yokoi の日本人の標準値と合わせて,各セグメントの重量と慣性モーメントを算出した^(8, 9).これらの値を用いて各関節の角度変化,トルクおよびせん断力,引張力変化を Hirashima らの分析方法にしたがって算出した⁽¹⁰⁾.投球速度は,ボールリリース時のボール中心の3次元速度ベクトルの大きさとした.

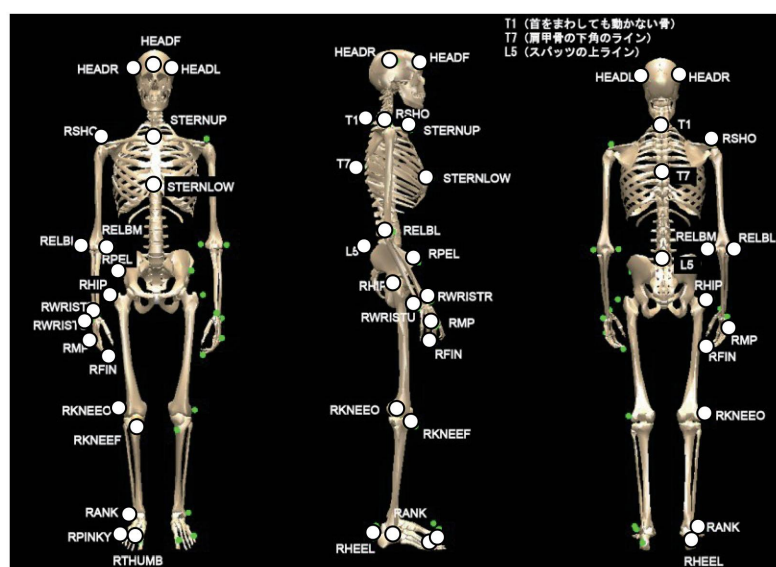


図2 反射マーカ貼付位置

2.8 統計処理

等尺性最大筋力,静的関節可動域 (以上体力特性パラメータ),投球時の各関節の最大発揮トルク,稼働範囲 (以上投球動作特性パラメータ),投球時の肘関節内反トルク,肩関節せん断力,肩関節引張力 (以上肩・肘傷害リスク指標パラメータ) のそれぞれの関係を検討するために,Pearson の相関係数を用いた.上半身パワータイプと非上半身パワータイプの各パラメータの平均値の差の検定には対応のない t 検定を用いた.各測定から得られたデータは平均値 \pm 標準偏差で表した.また,それぞれ危険率 5%未満をもって統計的に有意とし,10%未満をもって有意傾向とした.

3. 結果

3.1 投球時発揮トルクと肩・肘の傷害リスク指標との関係

投球時肩関節内旋トルク最大値と,投球時の肘関節内反トルク最大値との間に強い相関がみられ ($R^2=0.869$), 肩関節内旋トルクの増大に伴い,肘関節内反トルクが有意に増大する関係が認められた ($P<0.001$).投球時肩関

節内旋トルク最大値と、投球時の肩関節引張力、せん断力の最大値との間には有意な相関が認められなかった。投球時肩関節水平内転トルク最大値と、投球時の肩関節せん断力の最大値との間に強い相関がみられ ($R^2=0.871$)、肩関節水平内転トルクの増大に伴い、肩関節せん断力が有意に増大する関係が認められた ($P<0.001$)。投球時肩関節水平内転トルク最大値と投球時の肘関節内反トルク、肩関節引張力の最大値との間に有意な相関は認められなかった。(図 3)

つまり、投球時の肩関節内旋トルクが大きいほど肘関節内反トルクが大きく、投球時の肩関節水平内転トルクが大きいほど肩関節せん断力が大きくなる関係が観察された。

3.2 等尺性最大筋力と投球時発揮トルクとの関係

肩関節内旋の、等尺性最大筋力と投球時の発揮トルク最大値との間に相関がみられ ($R^2=0.527$)、等尺性最大筋力の増大に伴い、発揮トルク最大値が有意に増大する関係が認められた ($P<0.05$)。また、球速の 2 乗で相対化しない、肩関節内旋の、等尺性最大筋力と投球時の発揮トルク最大値の、それぞれの絶対値との間には強い相関がみられ ($R^2=0.661$)、等尺性筋力の増大に伴い、発揮トルク最大値が有意に増大する関係が認められた ($P<0.01$)。また、被験者全員において投球時の発揮トルク最大値が等尺性最大筋力を上回っていた。(図 4)

つまり、肩関節内旋動作においては筋力が高い投手ほど投球時に強いトルクを発揮しており、その大きさは等尺性最大筋力を上回る大きなものであることが観察された。

3.3 投球時関節稼働範囲と肩・肘の傷害リスク指標との関係

投球時肩関節外旋角度最大値と、投球時の肘関節内反トルク最大値との間に相関がみられ ($R^2=0.403$)、肩関節外旋角度の増大に伴い(マイナスが外旋方向)、肘関節内反トルクが有意に減少する関係が認められた ($P<0.05$)。投球時肩関節外旋角度最大値と投球時の肩関節引張力、せん断力の最大値との間には有意な相関が認められなかった。投球時肩関節水平外転角度最大値と、投球時の肩関節せん断力の最大値との間に強い相関がみられ ($R^2=0.784$)、肩関節水平外転角度の増大に伴い(マイナスが水平外転方向)、肩関節せん断力が有意に減少する関係が認められた ($P<0.001$)。投球時肩関節水平外転角度最大値と、投球時の肘関節内反トルク、肩関節引張力の最大値との間に有意な相関は認められなかった。(図 5)

つまり、投球時の肩関節外旋角度が大きいほど肘関節内反トルクが小さく、投球時の肩関節水平外転角度が大きいほど肩関節せん断力が小さくなることが観察された。

3.4 肩関節可動域と投球時稼働範囲との関係

肩関節外旋の静的可動域と投球時の稼働範囲との間に有意な相関は認められなかった。なお、多くの被験者において(9名/12名)投球時の稼働範囲が静的可動域を上回っていた。肩関節水平外転の静的可動域と投球時の稼働範囲との間に有意な相関は認められなかった。また、被験者全員において投球時の稼働範囲は静的可動域を大きく下回っていた。(図 6)

つまり、肩関節外旋動作においては静的可動域が大きいほど投球時の稼働範囲が大きくなるわけではないことが観察された。ただし、多くの被験者において投球時の稼働範囲が静的可動域を上回っており、つまり可動域が稼働範囲に対して余裕を持っていない場合が多かった。肩関節水平外転動作においては静的可動域が大きいほど投球時の稼働範囲が大きくなるわけではないことが観察された。なお、すべての被験者において投球時の稼働範囲は静的可動域を大きく上回っており、可動域が稼働範囲に対して十分に余裕を持っていたと言える。

3.5 投球時肩関節まわりの発揮トルクと稼働範囲との関係

投球時の肩関節周りの発揮トルクと関節稼働範囲の関係をみると、肩関節内旋トルク最大値と肩関節外旋角度最大値との間に相関がみられ ($R^2=0.429$)、肩関節内旋トルクの増大に伴い、肩関節外旋角度が有意に減少する関係が認められた ($P<0.05$)。肩関節水平内転トルク最大値と肩関節水平外転角度最大値との間には強い相関がみられ ($R^2=0.748$)、肩関節水平内転トルクの増大に伴い、肩関節水平外転角度が有意に減少する関係が認められた ($P<0.001$)。(図 7)

つまり、肩関節内旋動作においても肩関節水平内転動作においても投球時の発揮トルクが大きいほど、それぞれ外旋、水平外転の稼働範囲が小さくなることが観察された。

3.6 肩関節まわりの等尺性最大筋力と関節可動域との関係

肩関節周りの等尺性最大筋力と静的可動域の関係をみると、等尺性肩関節内旋筋力と肩関節外旋の静的可動域との間に有意な相関が認められなかった。また、等尺性肩関節内旋筋力の増大に伴い、肩関節水平外転の静的可動域が減少する傾向がみられた ($P<0.1$)。(図 8)

つまり、肩関節内旋筋力が強いほど肩関節水平外転の稼働範囲が小さくなる傾向が観察された。

3.7 上半身パワータイプと非上半身パワータイプの振り分けと各パラメータの関係

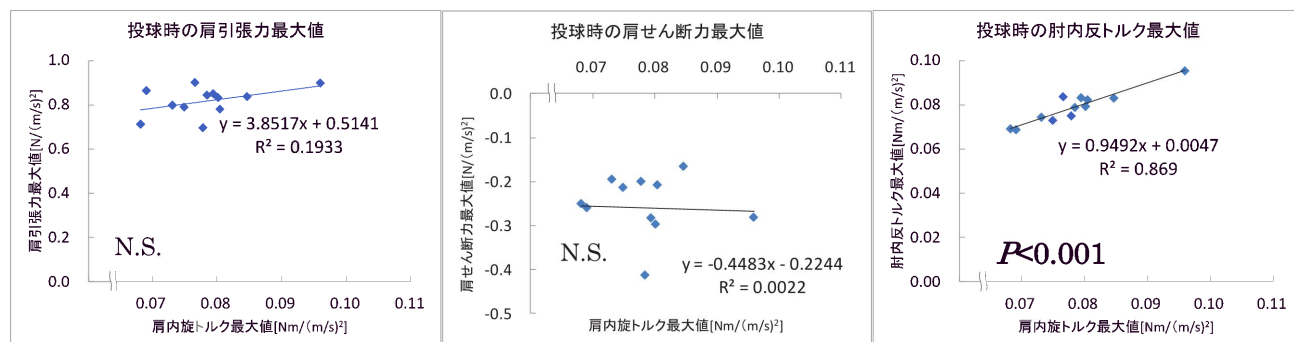
上半身パワータイプ[投球時の肩関節発揮トルク最大値の和 ((肩関節内旋トルク+肩関節水平内転トルク) / 球速の 2 乗) の上位 6 名]と非上半身パワータイプ[同下位 6 名]の 2 群の各パラメータは以下のとおりであった。(図 9)

投球時パラメータ：投球時の上肢の発揮トルク最大値は、肩関節水平内転トルクにおいて上半身パワータイプが有意に高く ($P<0.01$)、肩関節内旋トルクでは両群に有意差は認められなかった。投球時の肩関節発揮トルク最大値の総和は、上半身パワータイプで $0.168\pm0.015 \text{ Nm/(m/s)}^2$ (平均値 \pm 標準偏差)、非上半身パワータイプで $0.136\pm0.004 \text{ Nm/(m/s)}^2$ であり、前者は後者よりも平均値で約 24%高かった。投球時の関節稼働範囲は、肩関節水平外転最大値において非上半身パワータイプが有意に高く ($P<0.05$)、肩関節外旋最大値では両群に有意差は認められなかった。

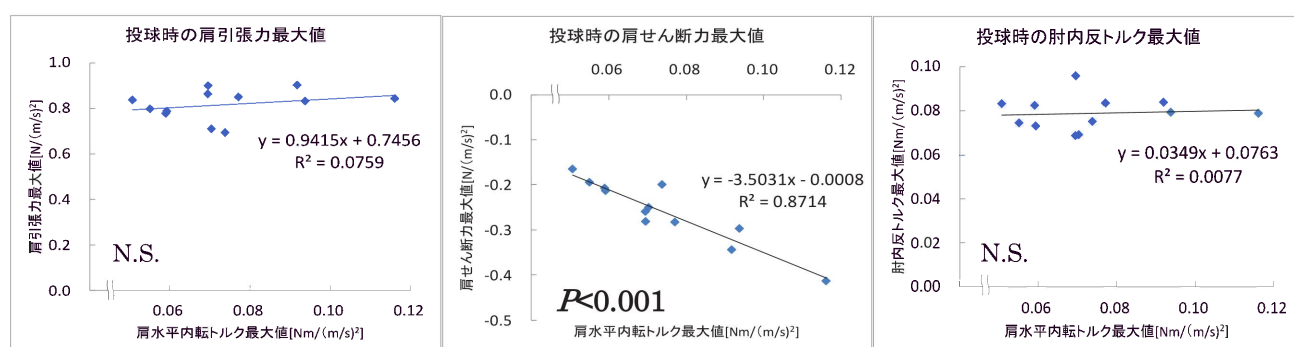
体力特性：等尺性最大筋力は、測定した 4 つの動作いずれにおいても群間の有意差は認められなかった。股関節伸展、膝関節伸展の最大筋力は非上半身パワータイプで若干高い様子が、肩関節内旋筋力が上半身パワータイプで若干高い様子が観察されたが、いずれも P 値は 0.2 以上であった。

傷害リスク指標および球速 肩・肘傷害リスク指標は、肩関節せん断力において上半身パワータイプで有意に高値を ($P<0.05$)、肘関節内反トルクにおいて上半身パワー群で高値を示す傾向であった ($P<0.1$)。肩関節引張力では群間の有意差はみとめられなかった。なお、投球パフォーマンスの重要な要素の一つである球速を比べると、非上半身パワータイプで高値を示す傾向がみられた。

投球時肩関節内旋トルク最大値との関係

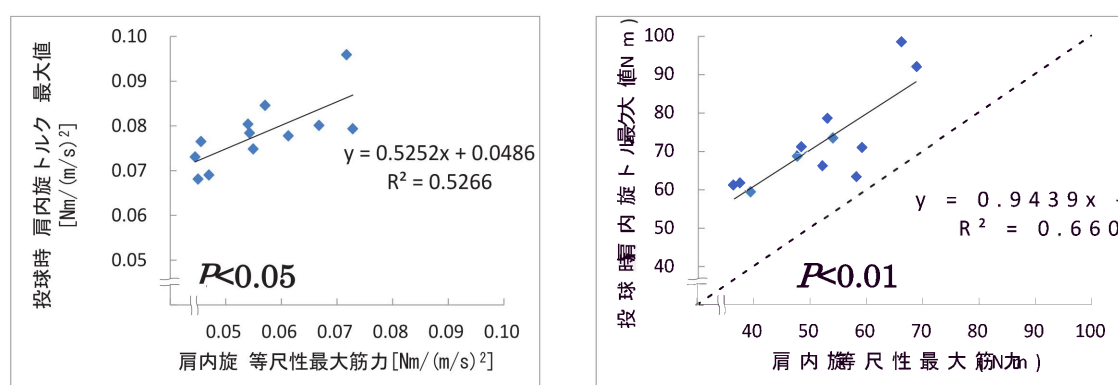


投球時肩関節水平内転トルク最大値との関係



N.S. : 縦軸と横軸の間に $P<0.1$ 以下の相関を認めないことを示す

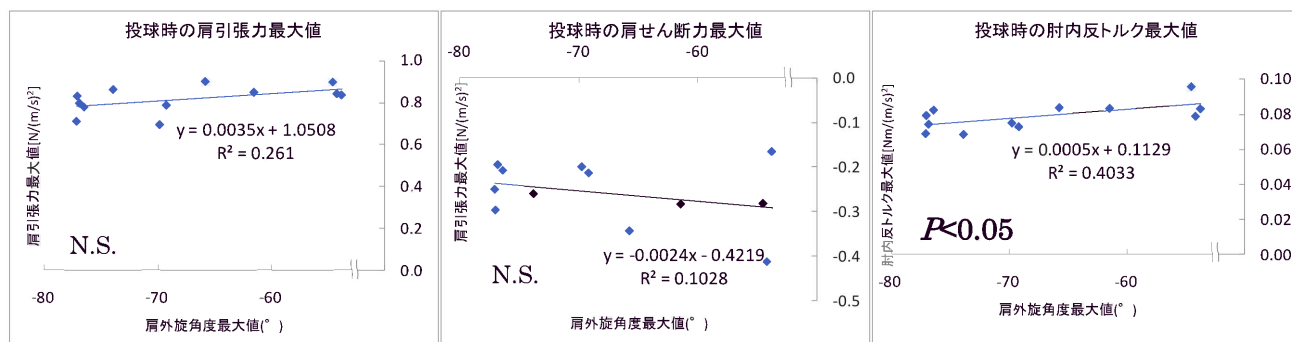
図3 投球時発揮トルクと肩・肘関節の傷害リスク指標との関係



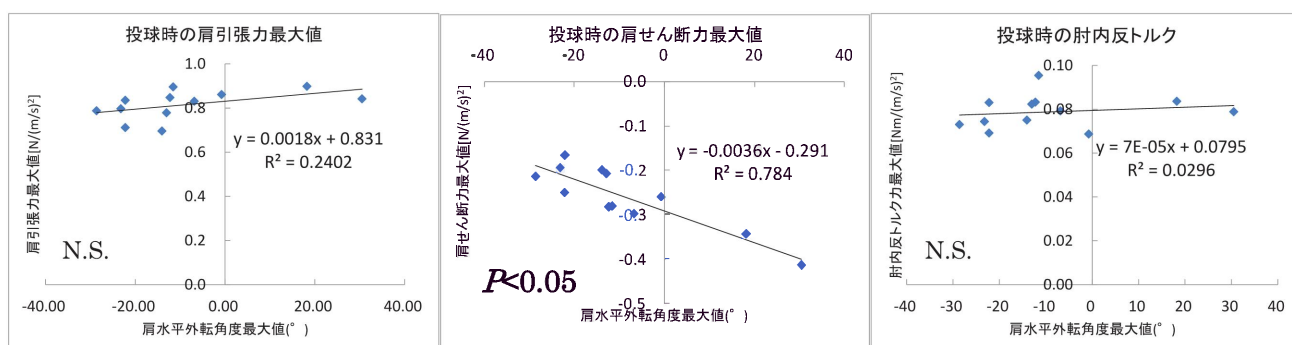
----- : $y=x$ を示す.

図4 等尺性最大筋力と投球時発揮トルクの関係

投球時肩関節外旋角度最大値との関係

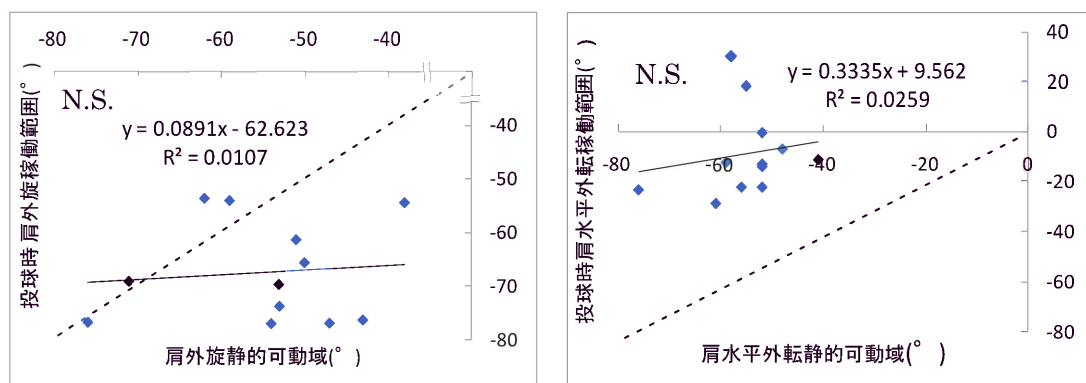


投球時肩関節水平外転角度最大値との関係



N.S. : 縦軸と横軸の間に $P < 0.1$ 以下の相関係数を認めないことを示す

図5 投球時肩関節稼働範囲と肩・肘関節の傷害リスク指標との関係



N.S. : 縦軸と横軸の間に $P < 0.1$ 以下の相関係数を認めないことを示す, ----: $y = x$ を示す.

図6 静的可動域と投球時関節可動範囲の関係

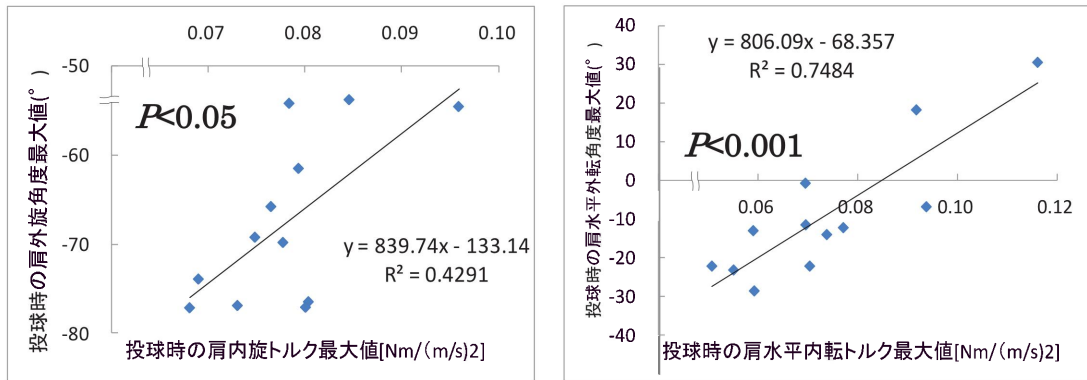
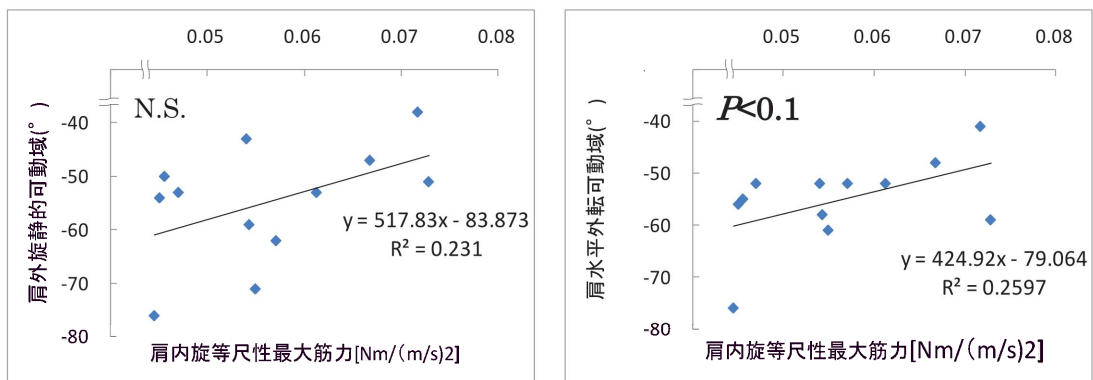


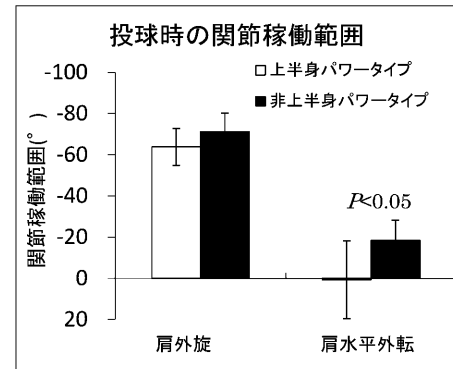
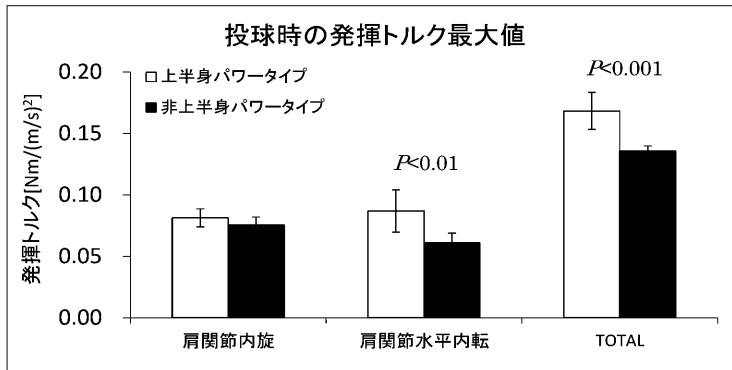
図 7 投球時肩関節まわりの発揮トルクと稼働範囲との関係



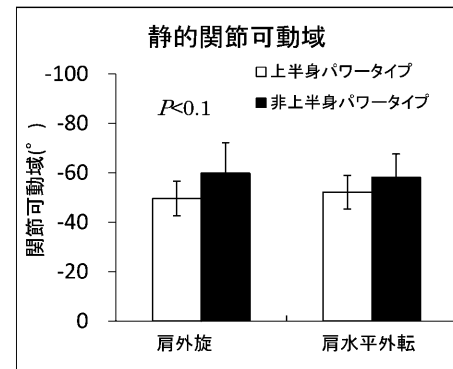
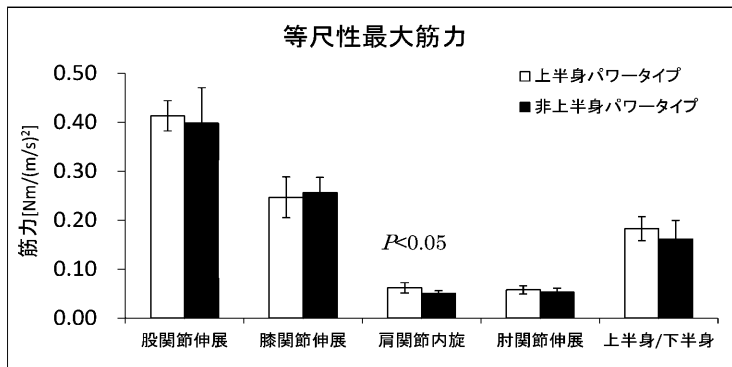
N.S. : 縦軸と横軸の間に $P < 0.1$ 以下の相関係数を認めないことを示す

図 8 肩関節まわりの等尺性最大筋力と静的可動域との関係

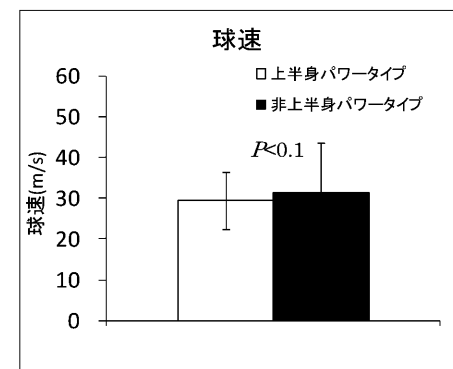
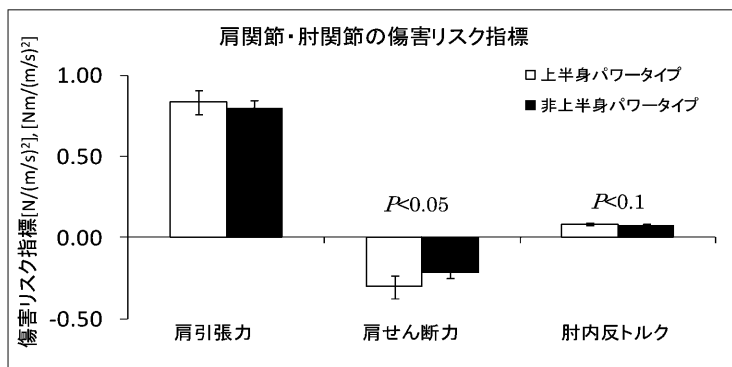
投球時パラメータ



体力特性パラメータ



傷害リスク指標パラメータおよび球速



平均値±標準偏差を示す。「等尺性最大筋力」のグラフの上半身/下半身は単位なし。「肩関節・肘関節の傷害リスク指標」のグラフの肩引張力および肩せん断力の単位は $[N/(m/s)^2]$ 、肘関節内反トルクの単位は $[Nm/(m/s)^2]$ 。

図9 上半身パワータイプと非上半身パワータイプの各パラメータの比較

4. 考察

4.1 野球投手の肩・肘関節傷害と投球スタイル

野球の投球動作は主に下肢・体幹から伝えられたエネルギーを、上肢を通してボールに与える動作である⁽¹¹⁾。この際、肩関節・肘関節が過負荷となり傷害を生じることが多く、野球肩⁽¹²⁾、野球肘⁽¹³⁾などの発症が問題となっている。

野球の投手にはいろいろなタイプの投球スタイルがある。本研究では投球時の上肢の発揮トルク、関節稼働範囲等と肩・肘の傷害リスク指標との関係を比較し、投球スタイルと傷害リスクの関係を明らかにすることを目的とした。

4.2 投球動作時の発揮トルクと肩・肘関節の傷害リスク

投球時の肩関節せん断力最大値と発揮トルク最大値との関係をみると、肩関節水平内転トルクが大きいほど肩関節せん断力が大きいという関係であった（図3 中列）。投球時の肘関節内反トルク最大値と発揮トルク最大値との関係は、肩関節内旋トルクが大きいほど肘関節内反トルクが大きいという関係であった（図3 右列）。肩関節内旋トルク最大値と肘関節内反トルク最大値の出現時間のずれは平均 0.003 秒程度とほぼ一致していた（データ未掲載）。肩関節内旋トルク最大値の出現時間は肘関節が大きく屈曲しているため、肩関節内旋トルクがダイレクトに肘関節内反トルクに影響していると考えられる。なお、投球時の肩関節引張り力最大値と発揮トルク最大値との関係では、いずれの肩関節トルクとも有意な相関は見られなかった（図3 左列）。

等尺性最大筋力と投球時発揮トルク最大値の関係をみると、肩関節内旋動作では等尺性筋力が強い選手ほど投球時の発揮トルクが大きくなるという関係が見られた（図4）。また、全被験者において投球時の発揮トルクが等尺性筋力を上回っていたことから、いずれの投手においても肩関節内旋筋力は投球時に十分に発揮していたといえる。

肩関節の内旋動作は、投球時の上肢の関節動作の中でもっとも仕事量の大きい動作である⁽¹⁴⁾。投球時の肩関節の内旋トルク最大値の小さい投手は、肩関節の内旋トルクを抑えているといわけではない。内旋トルクは十分に発揮しているが、ボールに与える運動エネルギー（球速の2乗に比例）に対する肩関節内旋トルクの貢献度が相対的に低く、他の部位の貢献が高いということと考えられる。

肩関節内旋動作において投球時の発揮トルクが等尺性最大筋力を上回る理由として、投球時の発揮トルク最大値出現時間において等尺性収縮よりも大きな張力特性をもつ伸張性収縮が行われていること、また靱帯等の関節構造による受動的なトルクが発生していることが考えられる。伸張性収縮による筋張力負荷の増大、受動トルクによる靱帯等の関節構造への力学的負荷の増大は傷害発生の一要因となりえる。このような点においても、肩関節内旋トルクの大きさは傷害リスクに関係しているといえる。なお、これらの負荷量（筋張力、受動トルク）を定量評価することは現在の分析技術では不可能である。

4.3 投球動作時の関節稼働範囲と肩・肘関節の傷害リスク

投球時の肩関節せん断力最大値と関節稼働範囲との関係をみると、肩関節水平外転角度が大きい、つまり腕を後方に大きく引いて投げているほど肩関節せん断力が小さいという関係であった（図5 中列）。投球時の肘関節内反トルク最大値と関節稼働範囲との関係をみると、肩関節外旋角度が大きい、つまり前腕を後方に倒して投げているほど肘関節内反トルクが小さいという関係であった（図5 右列）。肩関節外旋角度最大値と肘関節内反トルク最大値の出現時間のずれは平均 0.009 秒程度とほぼ一致していた（データ未掲載）。肘関節内反トルクには肘関節の前方への加速が関係しているとされる⁽²⁾。肩関節の外旋角度と肘関節屈曲角度が大きいほど前腕部の肘関節の加速方向に対する慣性モーメントが大きくなり、肘関節外反トルクの増大につながるものと考えられる。

なお、投球時の肩関節引張り最大値と関節稼働範囲との関係では、いずれの肩関節稼働範囲とも有意な相関は見られなかった（図 6 左列）。

静的可動域と投球時稼働範囲の関係をみると、肩関節外旋動作では有意な相関が認められず、また、多くの被験者において（9 人/12 人）投球時稼働範囲が静的可動域を上回っていた（図 6 左）。つまり、肩関節外旋の可動域が大きいほど投球時に大きな稼働範囲を使っているわけではない。しかし、多くの被験者において可動域が稼働範囲よりも小さいことから、静的可動域は投球時稼働範囲の制限にはなっていると考えられる。このことは投球時の肩関節内旋トルクが等尺性筋力を上回っていたことに関係している可能性がある。静的可動域を超える稼働範囲においては、関節構造による受動トルクが大きく生じると考えられるからである。

肩関節水平外転動作では、静的可動域と投球時稼働範囲に有意な相関は認められず、全被験者において投球時の稼働範囲が静的可動域を大きく下回っていた。つまり、肩関節水平外転の可動域が大きいほど投球時に大きな稼働範囲を使っているわけではない。また静的可動域は投球時稼働範囲に対して十分な余裕があり稼働範囲の制限にはなっていないと考えられる。（図 6 右）

以上から、投球動作において肩関節の外旋、水平外転の稼働域を大きく使うことが、肩関節、肘関節の傷害リスクを減じることが示唆される。肩関節の静的可動域の大きさは、外旋、水平外転とも投球動作中の稼働範囲と関係しない結果であったが、肩関節外旋に関しては、静的可動域が投球時の稼働範囲に対して余裕を持っていない場合があること、そしてそのことが関節構造に負荷をかける受動トルクの大きさに関係することから、静的可動域を高めておくことも肩関節、肘関節の傷害リスクを減じる上で重要と考えられる。

4.4 投球時の発揮トルクと稼働範囲および等尺性筋力と可動域の関係

結果 3.1-3.4 において投球時の発揮トルクと関節稼働範囲と肩・肘関節の傷害リスク指標との関係を示したが、発揮トルクと関節稼働範囲はそれぞれが独立に肩・肘関節の傷害リスク指標を決定しているわけではない。投球時の発揮トルクと関節稼働範囲の関係を調べる必要がある。

投球時の肩関節内旋トルク最大値と肩関節外旋角度最大値とは有意な相関（ $P<0.05$ ）、肩関節水平内転トルク最大値と水平外転角度最大値も有意な相関（ $P<0.001$ ）を示した。つまり肩関節周りの発揮トルクが大きいほど関節稼働範囲が小さくなる関係が見られた。発揮トルクと肩・肘関節傷害リスクとの関係には関節稼働範囲が影響している、また関節稼働範囲と肩・肘関節傷害リスクとの関係には発揮トルクが関係している可能性がある。なお、等尺性最大筋力と静的可動域の間には有意な相関は認められなかった。（図 7,8）

4.5 上半身パワータイプと非上半身パワータイプの比較

上半身パワータイプ[投球時の肩関節発揮トルク最大値の和（肩関節内旋トルク+肩関節水平内転トルク+肘伸展トルク/球速 2 乗）の上位 6 名]と非上半身パワータイプ[同下位 6 名]の 2 群を比較すると、上半身パワータイプでは、肩関節水平外転の投球時の稼働範囲が有意に小さく（ $P<0.05$ ）、肩関節せん断力が有意に大きく（ $P<0.05$ ）、肘関節内反トルクが大きくなる傾向（ $P<0.1$ ）が観察された。上半身パワータイプは関節稼働範囲が小さく傷害リスクが高いということになる。また、球速は非上半身パワータイプのほうが高くなる傾向が見られ、パフォーマンスの点で上半身パワータイプは劣る様子が見られる。（図 9）

なお、等尺性最大筋力は測定した上肢、下肢の 4 つの項目いずれにおいても 2 群間の有意差は認められなかった。上肢の筋力の強さ、下肢の筋力の強さは上半身パワータイプ、非上半身パワータイプのタイプの違いには関係しなかった。また、上半身と下半身の筋力の比率とも関係がなかった。つまり上半身の筋力が強い投手が上半身パワータイプに該当するというわけではない、また上半身に対して下半身の筋力が強い投手が非上半身パワータイプに該当するというわけではないということである。両タイプの違いは筋力特性によるものではなく、主に動作特

性によるものであると考えられる。

5. 結論

投球時の発揮トルク, 関節稼働範囲等と肩・肘の傷害リスクとの関係を明らかにすることは, 投球による傷害予防法を考える上で役立つ情報となると考えられる。投球による傷害は, 成長過程の骨端線が脆弱であるジュニア選手にとって特に深刻な問題であり⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾, その予防のための投球フォームが模索されている。

本研究結果では, 投球時の肩関節周りの発揮トルクが大きい投手のほうが, また肩関節周りの稼働範囲が小さい投手のほうが肩・肘回りの傷害発症リスク指標が高くなるという関係が観察された。上肢の発揮トルク主動ではない投法, また肩関節周りの大きな稼働範囲を使った投法が, 肩・肘関節まわりの傷害リスクを軽減するという点において優れることが示唆される。

1. Burkhart, S. S., Morgan, C. D., and Kibler, W. B. (2003) The disabled throwing shoulder: spectrum of pathology Part III: The SICK scapula, scapular dyskinesis, the kinetic chain, and rehabilitation. *Arthroscopy* **19**, 641-661
2. 仲島佑紀, 岡., 高橋隆 (2010) 肘関節の不安定性と理学療法のポイント. *理学療法* **27**, 1287-1294
3. Braun, S., Kokmeyer, D., and Millett, P. J. (2009) Shoulder injuries in the throwing athlete. *J Bone Joint Surg Am* **91**, 966-978
4. Maffet, M. W., Gartsman, G. M., and Moseley, B. (1995) Superior labrum-biceps tendon complex lesions of the shoulder. *Am J Sports Med* **23**, 93-98
5. Fleisig, G. S., Barrentine, S. W., Escamilla, R. F., and Andrews, J. R. (1996) Biomechanics of overhand throwing with implications for injuries. *Sports Med* **21**, 421-437
6. Abdel-Aziz YI, K. H. (1971) *Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry*. In: *Proceedings of the Symposium on Close-Range Photogrammetry*, American Society of Photogrammetry, Falls Church, VA
7. Winter, D. A. (1990) *Biomechanics and Motor Control of Human Movement 2nd ed.*, Wiley-Interscience, New York
8. Ae M, T. H., Yokoi T. (1992) *Estimation of inertia properties of the body segments in Japanese athletes*. In: *Bio-mechanisms 11*, Tokyo Daigaku Shuppan-Kai, Tokyo
9. Yokoi T, T. A., Okada H, Ohyama KB, Muraoka M. (1998) Is the selection of body segment inertia parameters critical to the results of kinematic and kinetic analysis of human movement? *Anthropol Sci* **106**, 371/381
10. Hirashima, M., Kudo, K., Watarai, K., and Ohtsuki, T. (2007) Control of 3D limb dynamics in unconstrained overarm throws of different speeds performed by skilled baseball players. *J Neurophysiol* **97**, 680-691
11. Kibler, W. B. (1998) The role of the scapula in athletic shoulder function. *Am J Sports Med* **26**, 325-337
12. Diveley, R. L., and Meyer, P. Q. (1959) Baseball shoulder. *J Am Med Assoc* **171**, 1659-1661
13. Loomer, R. L. (1982) Elbow injuries in athletes. *Can J Appl Sport Sci* **7**, 164-166
14. Feltner, M., Dapena, J. (1986) Dynamics of the shoulder and elbow joint of the throwing arm during baseball pitch. *Int J Sport Biomech* **2**, 235-239
15. 岩堀祐介 (2011) リトルリーガーズショルダーの診断 In ; 宗田大 復帰を目指すスポーツ整形外科, メジカルビュー社, 東京
16. Dotter, W. E. (1953) Little leaguer's shoulder: a fracture of the proximal epiphysial cartilage of the humerus due to baseball pitching. *Guthrie Clin Bull* **23**, 68-72
17. Brogdon, B. G., and Crow, N. E. (1960) Little leaguer's elbow. *Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med* **83**, 671-675

Relation between shoulder and elbow joint torque and motion range in baseball throwing and risk of shoulder and elbow injury

Michiya Tanimoto¹, Shinsuke Yoshioka², Yoshimasa Setoguchi³, Masaya Hirashima⁴

Background: Shoulder joint torque and motion range in baseball throwing are considered to have relation with the risk of shoulder and elbow injury. **Purpose:** The purpose of this study is to investigate the relation among shoulder joint torque and motion range in baseball throwing, shoulder isometric muscle force and static motion range, and the risk of shoulder and elbow injury. **Method:** Twelve baseball pitchers affiliated with the baseball club of the University performed maximum speed ball pitching with motion capture kinematics and kinetics analysis, isometric muscle force tests of shoulder inner rotation, and motion range tests of shoulder external rotation and horizontal abduction. The relation among the kinetic characteristics of throwing, the physical characteristics, and the risk of shoulder and elbow injury was investigated **Result:** Shoulder inner rotation torque in throwing has strong correlation with elbow inversion torque ($P<0.001$). Shoulder horizontal adduction torque in throwing has strong correlation with shoulder shear force ($P<0.001$). Motion range of shoulder external rotation in throwing has correlation with elbow inversion torque ($P<0.05$). Motion range of shoulder horizontal abduction in throwing has strong correlation with shoulder shear force ($P<0.001$). "Upper arm power type group" defined as the top six subjects with large upper arm torque (amount of shoulder inner rotation and horizontal adduction) in throwing have larger elbow inversion torque ($P<0.1$) and larger shear force ($P<0.05$). **Conclusion:** These results suggested that throwing motion without strong upper arm torque and with larger shoulder motion range decrease the risk of shoulder and elbow injury in throwing.

Key words: injury by throwing, elbow joint inversion torque, shoulder joint shear force, joint torque, joint motion range

1. Department of Biomedical Engineering, Kinki University, Wakayama 649-6493, Japan

2. College of Sport & Health Science, Ritsumeikan University, Shiga 270-1695, Japan

3. Midori clinic, Mie 270-1695, 514-1113, Japan

4. Graduate School of Education, University of Tokyo, Tokyo 113-0033, Japan