

博士學位論文審査要旨

2022年1月30日

論文題目： 肩甲骨の運動異常を有する野球選手の投球動作における肩関節の
運動学・動力学解析

学位申請者： 植田 篤史

審査委員：

主査： スポーツ健康科学研究科 教授 中村 康雄

副査： スポーツ健康科学研究科 教授 井澤 鉄也

副査： スポーツ健康科学研究科 教授 北條 達也

要 旨：

野球の投球動作において肩関節は、投球パフォーマンスに関与する主要な関節のひとつである。その一方で、肩関節の過剰な運動は肩関節障害を引き起こす要因になることが知られている。とくに肩甲骨の運動異常は、投球パフォーマンス低下の要因や、肩関節の投球障害の要因のひとつと報告されている。さらに肩関節の運動異常を有する野球選手が投球動作を繰り返すことにより、投球パフォーマンスが低下するだけでなく、肩関節の投球障害が重症化し、競技活動の長期離脱を余儀なくされる場合がある。これらを未然に防ぐために、肩関節の運動異常を適切に評価することが必要となる。肩関節の運動異常は、肩に症状を有する野球選手において発生率が高いと報告されている。しかし、無症状の野球選手に対する肩関節の運動異常の発生割合は十分には報告されていない。さらに、肩関節の運動異常と投球パフォーマンスとの関係も明らかにされていない。そこで、この博士論文の目的は、野球選手の肩関節障害の予防とパフォーマンス向上に寄与する知見を得るために、野球選手に対する肩関節の運動異常の発生割合を明らかにすることとした（研究1）。さらに、肩関節の運動異常が投球パフォーマンスに与える影響を明らかにするため、肩関節の運動異常を有する野球選手の投球動作における肩関節の運動学的特徴と動力学的特徴を評価することとした（研究2）。

研究1では、大学とプロレベルの無症状の野球選手に対して肩甲骨の運動異常を評価した。その評価データを先行研究で報告されている4つのタイプに分類し、発生割合を求めた。その結果から、肩甲骨の後傾が低下するタイプ1の肩甲骨の運動異常の発生割合が最も高いことが明らかとなった。

研究2では、タイプ1の肩甲骨の運動異常を有する野球選手と、正常な肩甲骨運動を有する野球選手を対象者として、投球動作を計測した。測定データから肩甲骨と肩甲上腕関節の動作に関して、運動学的および動力学的に評価した。タイプ1の肩甲骨の運動異常を有する野球選手の投球動作は、肩甲骨の後傾が低下し、肩甲上腕関節の外旋角度が増加した。これらは低下した肩甲骨の後傾動作を代償するために肩甲上腕関節の外旋角度が増加したと考えられた。これらの結果から肩関節周囲の軟部組織の捻じれも増加すると推察され、肩関節障害の発症リスクが増加した状態であることが示唆された。

本研究で得られた成果として、大学とプロレベルの無症状の野球選手は肩甲骨の後傾が低下する状態となる肩甲骨の運動異常の発生割合が最も高いことを明らかにした。加えて、このような野球選手は、投球動作中においても肩甲骨の後傾角度が低下し、肩甲上腕関節の外旋角度が増加していることが明らかになった。これらは、野球選手の肩関節障害の予防に対して重要なエビデ

ンスを提供するものであり、高く評価できる。

よって、本論文は、博士（スポーツ健康科学）（同志社大学）の学位論文として十分な価値を有するものと認められる。

総合試験結果の要旨

2022年1月30日

論文題目： 肩甲骨の運動異常を有する野球選手の投球動作における肩関節の
運動学・動力学解析

学位申請者： 植田 篤史

審査委員：

主査： スポーツ健康科学研究科 教授 中村 康雄

副査： スポーツ健康科学研究科 教授 井澤 鉄也

副査： スポーツ健康科学研究科 教授 北條 達也

要 旨：

本論文提出者は、2018年4月より本学大学院スポーツ健康科学研究科スポーツ健康科学専攻博士課程（後期課程）に在学している。修了に必要な単位取得としては、授業科目において「スポーツ・バイオメカニクス深論」「スポーツ健康科学特殊演習」の2科目4単位を、そして研究指導科目において「スポーツ健康科学特殊研究Ⅰ～Ⅵ」の6科目12単位を履修しており、必要単位数を満たしている。また各年度において優れた研究成果を挙げ、英語の語学試験にも合格しており十分な能力を有すると認定されている。

博士論文の内容の一部は *Journal of Bodywork and Movement Therapies* に筆頭著者として掲載された。他の知見に関しては投稿準備中である。

2022年1月29日16時5分より約1時間にわたり提出論文に関する学術講演会（博士学位論文公聴会）が開催され、種々質疑討論がなされたが、提出者の説明により十分な理解が得られた。また、審査委員により論文内容ならびにこれらに関連する諸問題について約1時間30分間にわたり口頭試問を実施した結果、本論文提出者は研究者として十分な学力を有することが認められた。

よって、総合試験の結果は合格であると認める。

博士學位論文要旨

論文題目： 肩甲骨の運動異常を有する野球選手の投球動作における
肩関節の運動学・動力学解析

氏 名： 植田 篤史

要 旨：

野球の投球動作において肩関節は、広範囲かつ高速度に運動することから、投球パフォーマンスに関与する主要な関節のひとつである。その一方で、投球動作中の肩関節の過剰な運動が肩関節障害を引き起こすと知られている。とくに肩甲骨の運動異常 (SD) は投球パフォーマンスの低下に関与すると考えられている。また、SD にともなう投球動作中の肩甲骨後傾の低下や肩甲上腕関節の外旋の増加は肩関節障害の発症の要因になることが知られている。SD は肩に症状を有する野球選手の発生率が非常に高いと報告されているが (Park et al., 2014)、無症状の野球選手における SD の詳細な発生割合に関する報告が非常に少ない。また、SD と投球パフォーマンス、投球動作中の肩甲骨の後傾や肩甲上腕関節の外旋との関連性は明らかにされていない。そこで、この博士論文の目的は、野球選手の肩関節障害の予防とパフォーマンス向上に寄与する知見を明らかにするために、野球選手における SD の発生状況を明らかにすること (研究 1)、SD を有する野球選手における投球パフォーマンスの影響と投球動作中の肩関節の運動学・動力学的な特徴を評価すること (研究 2) とした。

研究 1 野球選手における肩甲骨の運動異常の評価と発生状況の検討

肩甲骨の運動異常 (SD) は野球選手において発生率が高く、肩関節障害の発症リスクを高める危険因子である。このため、投球障害肩の発生数が多い大学やプロレベルの野球選手における SD の評価は投球パフォーマンスの低下や肩関節障害の発生を適切に予防する上で非常に重要である。SD の評価方法として簡便かつ信頼性の高い肩甲骨の運動異常テスト (SDT) が提案されている。SDT は肩関節の挙上と下制動作中に一定の負荷をかけることによって、SD を検出する。この評価方法は、Kibler が提唱した SD を 4 type に分類することができるため、臨床的に有用性が高いと考えられている (Kibler et al., 2002)。SD の 4 type 分類は、type I は肩甲骨の下角の突出、type II は内側縁の突出、type III は過剰な挙上や上方回旋、type IV は type I～III の徴候なしとそれぞれ定義されている (Kibler et al., 2002)。先行研究においてラグビー選手や有症状の野球選手における SD 4 type 分類の発生の特徴が報告されている (Kawasaki et al., 2012, Park et al., 2014) 一方で、無症状の野球選手を対象とした報告は非常に少ない。そこで、研究 1 の目的は、無症状の大学とプロレベルの日本人野球選手に対して、SDT を用いて SD を 4 つの type に分類することとした。

対象者は無症状の大学とプロレベルの野球選手 64 名 (大学野球選手 58 名と日本の独立リーグに所属する野球選手 6 名) とした。投球側の SD の評価は 2kg の負荷を用いた SDT を肩関節の屈曲と外転動作を各 3 周期ずつ実施した。また、SDT 中の肩甲骨運動は身体の後方からデジタルビデオカメラを用いて撮影した。投球側の SD の 4 type 分類は 2 人の理学療法士により評価し、2 人の評価結果が合致したケースを本研究の対象者とした。合致しなかった場合は本研究の対象者から除外した。なお、2 名の理学療法士の SD 評価における検者内信頼性は、kappa 係数を用いて評価した。SD 4 type の評価基準は、type I : 肩甲骨の下角 (肩甲骨内側縁の下 1/3) の突出、type II : 肩甲骨の内側縁の突出 (肩甲骨の内側縁の上 2/3)、type III : 肩甲骨の過剰な挙上と上方回旋、type IV : type I～III に該当しない場合 (正常な肩甲骨運動) とした。なお、それぞれの SD type が

混在しているケースでは混合 type (type I + II, type I + III, type I + II + IIIを含む) として評価した。

本研究における投球側の SD (type I~IIIを含む) の発生数は 26/51 (51%) 名であった。一方で、SD のない正常な肩甲骨運動を有するもの (type IV) は、25/51 名 (49%) であった。SD の 4 type 分類の結果、type I を含むものは 24/51 名 (47%)、type II は 9/51 名 (18%)、type III は 6/51 名 (12%) であった。

先行研究より、無症状の SD を有するものは、正常な肩甲骨運動を有するものよりも肩関節障害の発症リスクが高いこと (オッズ比 8.4) が報告されている (Clarsen et al 2014)。このことから、SD を有する野球選手は無症状であっても肩関節障害の発症リスクが高いことが推察されるため、SDT による野球選手に対する SD のスクリーニング評価が有用であると考えられる。また、SD type I を有する野球選手に生じる肩甲骨後傾の低下は投球パフォーマンスの低下や肩甲上腕関節の過剰な運動を引き起こすと考えられ、次の研究 2 でこれらを定量的に評価した。

研究 2 肩甲骨の運動異常を有する野球選手の投球動作中の肩関節の運動学・動力学的解析

投球動作における肩関節の外旋は投球パフォーマンスに関与する一方で、肩関節負荷を増大させ、投球障害肩の発症リスクを高める (Kibler et al., 2012)。投球動作における肩関節最大外旋時 (MER) における肩関節の外旋は、肩甲上腕関節の外旋だけでなく、肩甲骨後傾や胸椎伸展の動きで構成されている。特に肩甲骨の後傾は投球動作中の過剰な肩甲上腕関節の外旋を抑制することに関与する。一方で、肩甲骨の運動異常 (SD) により肩甲骨の後傾が低下した場合 (SD type I)、投球中の肩関節外旋角度を維持するためには、その代償として肩甲上腕関節の外旋を相対的に増加させる必要がある。このような肩甲上腕関節 (GH) の過剰な外旋は、投球中の肩関節のメカニカルストレスが増大し、投球障害肩の発症リスクを増大させる (Burkhart et al., 2003)。このように、SD は投球動作中の肩甲骨や GH の運動異常を引き起こす要因のひとつと推察されているが、従来の研究では未だ明らかになっていない。そこで、研究 2 の目的は、肩甲骨の後傾を低下させる SD type I の有無と投球動作中の肩甲上腕関節と肩甲骨の運動学的および動力学的な評価変数の関係を明らかにすることとした。

対象者は、健常な大学とプロレベル (日本の独立リーグレベル) の野球選手 51 名とした。なお、研究 2 の対象者は研究 1 において、2 名の検査者の SD 評価が一致した者のみとした。本研究では、野球選手の SD type における投球動作中の肩甲骨の後傾の影響を明らかにするために、次のように群分けをした。SD type I を含む群 (type I のみ、type I と type II の混合 (type I + II)、type I と type III の混合 (type I + III)、type I と II, III の混合 (type I + II + III)) を①異常群とした。一方、コントロール群として、type IV のみを②正常群とした。なお、本研究では肩甲骨の後傾運動に影響を及ぼす SD type I を評価対象としているため、type II のみと type III のみのように type I を含まない SD は本研究の対象から除外した。野球の投球動作はモーションキャプチャシステム (Mac3D, Motion Analysis, USA) を用いて計測した。投球動作中の肩甲骨運動の計測は肩峰に貼付したマーカクラスタを用いた。その他の投球動作中の関節運動は胸部、骨盤、投球側の上腕、前腕、手部に貼付したマーカを用いて計測した。計測したマーカの位置情報から、関節角度、角速度、関節間力、関節モーメントを算出した。また、関節間力と関節モーメントは身長と体重で規格化した値も算出した。投球動作のデータは、投球側の手マーカが最下点になった時点 (STA)、ステップ脚の足底部が床に接地した時点 (SFC)、投球側の肩関節外旋角度が最大になった時点 (MER)、ボールが手から離れた (ボールリリース) 時点 (BR) と各時点間 (STA~MER : EC 期, SFC~MER : LC 期, MER~BR : AC 期) のそれぞれの最大値を算出した。異常群と正常群の球速や投球動作中の肩甲上腕関節 (GH)、肩甲胸郭関節 (ST)、胸郭上腕関節 (TH) などのパラメータは対応のない t 検定を用いて比較した。有意水準は 5% とした。

SD type I を含む異常群 (23 名) の球速と投球動作中の MER の TH の外旋角度は正常群 (22 名)

に対して有意差は認められなかった。一方で、肩関節の運動学的な解析において、異常群のMERのGHの外旋角度は正常群と比較して約9°増加し、MERとLC期の最大値のSTの後傾角度は約5°低下していた。また、肩関節の動力学的な解析に関して、異常群は正常群と比較してLC期のGHの体重で規格化した前方間力が約37N（約4kg）有意に増加していた。

SDtypeIを有する野球選手の投球動作は、MERのGHの過剰な外旋とLC期におけるGHの前方間力の増大を呈していたことから、肩関節周囲の軟部組織の捻じれや前方剪断力が増加し、肩関節障害の発症リスクが高まっている状態であることが示唆された。以上の研究2の結果から、投球動作中のGHの過剰な外旋とLC期のGHの前方間力を抑制するために、肩甲骨後傾を増加させることが非常に重要であると考えられる。

本研究（研究1, 2）では、SDを4typeに分類した結果、無症状の大学とプロレベルの野球選手は肩甲骨後傾の低下を有するSDtypeIの発生割合が最も多かったこと、とくにSDtypeIを有する野球選手はSDを有さない野球選手と比較して、投球動作中のMERのGH外旋角度とLC期のGHの前方間力が増加し、MERとLC期（最大値）の肩甲骨後傾が低下していることが明らかになった。以上のことから、肩甲骨の運動異常テストによるSDの4type分類を用いたスクリーニングを実施することはSDにともなう投球動作中のGHの過剰な外旋やGHの前方剪断力の増加を呈している可能性が高い選手を判別できる可能性があるため、野球選手の肩関節障害の予防に貢献することが期待される。