

[原著論文]

投球動作の反復が体幹と上肢の筋硬度に及ぼす影響

長谷川 伸*

Effects of repetitive baseball pitching on muscle hardness of trunk and upper limb muscles

Shin HASEGAWA*

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effect of repetitive baseball pitching on the hardness of trunk and upper limb muscles. Six healthy male college students participated in this study. Muscle hardness was evaluated using the new ultrasonic diagnostic instrument which had a pressure gauge attached to the probe of a B-mode ultrasonic diagnostic equipment. Muscle hardness was measured at nine sites (10 muscles: pectoralis major, latissimus dorsi, trapezius, supraspinatus, infraspinatus, biceps brachii, triceps brachii, pronator teres, flexor carpi radialis, flexor carpi ulnaris). Subjects threw 105 balls (15 x 7 sets) with maximum effort in the laboratory. Muscle hardness was measured four times (before pitching, immediately after pitching, 24 hours after pitching, and 48 hours after pitching). Muscle thickness was determined from an ultrasonic image when a compression force of 500 gf, 1000 gf, and 1500 gf was applied to the probe, and a muscle hardness index was calculated from a regression equation. A one-way analysis of variance was used to compare muscle hardness in the four measurements. As a result, the muscle hardness of the supraspinatus muscle at 24 hours and 48 hours after pitching was significantly lower than the value before pitching. The results of this study suggest that repetitive baseball pitching increases the hardness of the supraspinatus muscle.

KEY WORDS : muscle hardness, muscle thickness, pitching

緒 言

2019年は高校野球において球数制限が問題提起され、日本高等学校野球連盟は「投手の障害予防に関する有識者会議」より提出された1週間で1人の投手が投球できる総数を500球以内とすることや、3連戦を回避する日程の設定を含む答申を受け、2020年の選抜大会から3年間の試行期間を設け実施することを決定した¹⁾。投球動作の反復が身体に及ぼす影響については、障害予防の観点から関心がもたれてきたテーマであり、1990年代以降さまざまな指標を用いた研究が行われている。バイオメカニクス分野では、100球程度の投球の後、投球速度が低下し、上肢では投球動作の加速期に上腕二頭筋や橈側手根屈筋において積分筋電図の低下にみられる局所的な筋疲労が示されること、下肢では股関節伸展トルクによる仕事量の低下と足関節底屈トルクによる仕事量の増加など筋疲労に伴う代償作用が起こること、さらに体幹ではボールリリース時の前傾角度の低下といった投球動作の変容が見られることが報告されている²⁻⁴⁾。また、運動生理学分野では、肩関節の回旋腱板筋における筋横断面積や筋厚の増加、水分変化や浮腫によるMRI画像のT2値の増加、骨格筋の損傷を示す血中のクレアチンキナーゼや乳酸脱水素酵素の増加、筋痛の発生などが報告されている⁵⁻⁹⁾。しかし、これらの測定には高額な設備や専門性の高い人員が必要とされることから、指導現場におけるフィードバックに用いられるには至っていない。

筋硬度的評価は臨床やスポーツ現場で行われる触診に近い手法である。筋硬度的測定では、圧入型の筋硬度的計により生体表面から圧力をかけたときの、皮下の組織全体の変位量を数値化する方法が用いられており、非侵襲的で簡潔に筋疲労や筋損傷など筋機能を定量化することができる。しかし、取得された組織の反発力は、皮膚、皮下脂肪、筋など、それぞれ弾性係数が異なる組織の硬さを総合的に求めているため、筋そのものの硬さを直接反映しているとは言い難い^{10,11)}。また、皮下組織厚が押し込み量に近い場合、筋を十分に変形させられないことも筋の硬さを測定するうえでは問題とされている。

近年、Bモード超音波装置を用いて、筋に一定の押圧を加えた際の筋厚の変化から筋硬度的を求める手法が開発され、皮膚、皮下脂肪、筋といった組織の変化を画像によって個々に捉え、筋そのものの硬さを測定できることが期待されている^{12,13)}。筋は安静時でも筋緊張、筋疲労、筋損傷により硬くなるため^{14,15)}、筋硬度的の変化を知ることにより筋のコンディションを評価することができる。一般に短い時間での筋硬度的の増加には血流増加等の要因が関与しているとされ、激しい運動直後に観察される筋硬度的増加は運動性充血の影響が大きく、休息によって短時間で回復する一過性的変動と捉えられる¹⁶⁾。また、筋損傷を伴うような高強度の運動負荷に対しては、数日間にわたって筋の腫脹が生じる。腫脹は筋損傷による炎症や組織再生と関連しており、損傷部へ血漿や血球等が貯留した状態と考えられている。腫脹による内圧変化は筋硬度的にも反映されるため、筋硬度的を測ることにより、筋の損傷と回復の程度をモニタリングできる可能性が示唆されている。

野球的投球動作は下肢、体幹、上肢が関与する全身運動である。身体の各部の筋には伸張性収縮に伴うストレスが生じ、筋損傷や浮腫、筋痛など筋機能の低下が生じるとされることから⁶⁻⁸⁾、筋への力学的なストレスの強い身体部位では、数日にわたり筋硬度的の増加が生じることが予想される。これまでも押し込み型の筋硬度的計により体表から筋硬度的を測定し、投球後の筋硬度的の変化を調べた研究は見られるが¹⁷⁾、圧入型の筋硬度的計を用いた場合、測定部位の皮膚、皮下脂肪、筋の総合的な硬さの評価にとどまらざるをえない。しかし、Bモード超音波装置を用いることにより、筋そのものの硬さの評価が可能となることから、本研究ではBモード超音波装置を用いて、投球動作の反復が体幹や上肢の筋硬度的に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

野球的投球動作は下肢、体幹、上肢が関与する全身運動である。身体の各部の筋には伸張性収縮に伴うストレスが生じ、筋損傷や浮腫、筋痛など筋機能の低下が生じるとされることから⁶⁻⁸⁾、筋への力学的なストレスの強い身体部位では、数日にわたり筋硬度的の増加が生じることが予想される。これまでも押し込み型の筋硬度的計により体表から筋硬度的を測定し、投球後の筋硬度的の変化を調べた研究は見られるが¹⁷⁾、圧入型の筋硬度的計を用いた場合、測定部位の皮膚、皮下脂肪、筋の総合的な硬さの評価にとどまらざるをえない。しかし、Bモード超音波装置を用いることにより、筋そのものの硬さの評価が可能となることから、本研究ではBモード超音波装置を用いて、投球動作の反復が体幹や上肢の筋硬度的に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

方 法

1) 被験者

本研究の被験者は3年以上の野球的経験を持つ健康な男子大学生6名(身長:170.2±4.6cm, 体重:65.2±6.7kg, 年齢:21.8±0.7歳)であった。被験者には事前に研究の目的、内容および実験に伴う危険性について十分な説明を行い、書面にて参加の同意を得た。なお、本研究は九州共立大学倫理委員会の承認(承認番号2018-07)を得て実施した。

2) 筋硬度的の測定

筋硬度的の測定には身体組成専用超音波画像装置(ビューズアイ, 酒井医療機器)を使用した(Fig.1)。同装置は、携帯型のBモード超音波装置のリニア型プローブ(6MHz)の内部ケースと外部ケースの間に力量

計を装着したものであり、プローブに事前に設定した圧迫力が加わった際の超音波画像を撮影することができるものである。本研究では被験者の皮膚表面にプローブを押し当て、0gfから1500gfまでゆっくりと圧迫を加えた際の、500gf、1000gf、1500gfの3段階の超音波画像を撮影し、それぞれの筋厚を測定した。測定は検者間誤差を防ぐため、事前に訓練を積んだ1名の検者が全て実施した。同装置を用いた硬度測定の妥当性については3種類のファントムゲルを用いた実験で検証されており、ヒトの骨格筋においても精度よく高い再現性で安静時の硬度を測定できることが確認されている¹¹⁾。

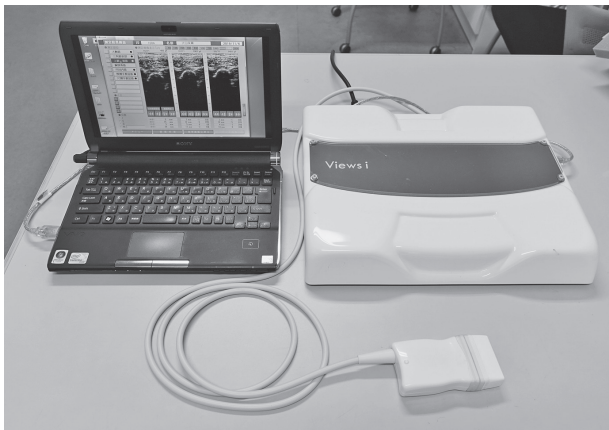


Fig.1 身体組成専用超音波画像装置

測定部位は投球側の9部位とし (Table.1)、各部位で描出される10の筋 (大胸筋, 広背筋, 僧帽筋, 棘上筋, 棘下筋, 上腕二頭筋, 上腕三頭筋, 円回内筋, 橈側手根屈筋, 尺側手根屈筋) を筋硬度の測定対象とした

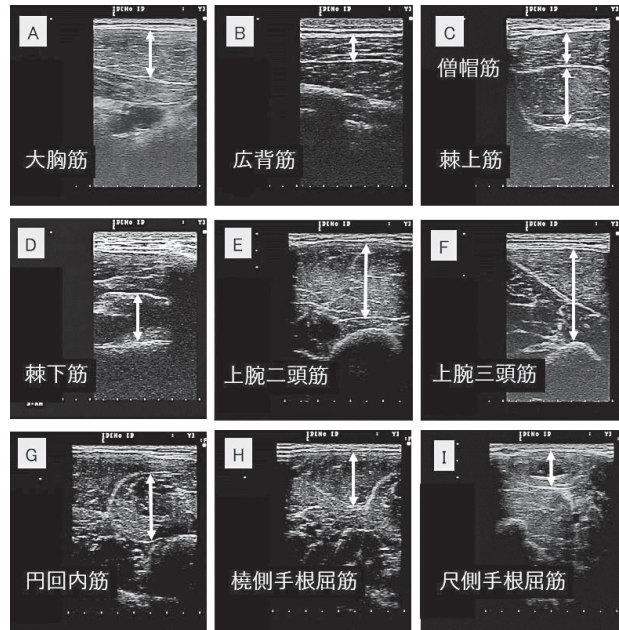


Fig.2 測定部位における超音波画像

A: 胸部、B: 肩甲下部、C: 肩甲棘上部、D: 肩甲棘下部、E: 上腕前部、F: 上腕後部、G: 前腕外側部、H: 前腕中央部、I: 前腕内側部

(Fig.2). 測定肢位は仰臥位, または伏臥位とし, 肩関節, 肘関節, 手関節は中間位, 前腕は回外位を取らせ (解剖学的基本肢位), 全身の筋を十分弛緩させるように指示をした。

取得された超音波画像より, 身体組成専用超音波画像装置の専用解析ソフトを用いて3段階の圧迫条件下における筋厚の計測を行った。筋硬度は, プローブの圧迫力と筋厚の回帰式を求め, 得られた回帰式の勾配の絶対値を筋硬度指数 (=変形量/圧迫力), 回帰式の切片を筋厚 (圧迫加えていない状態の筋厚) とした

Table.1 筋厚の測定部位

測定部位	測定対象筋	測定姿勢	
胸部	鎖骨長の中点の下(第3-4肋骨間)	大胸筋	仰臥位
肩甲下部	肩甲骨下角の5cm直下	広背筋	伏臥位
肩甲棘上部	肩甲棘長の中点、肩甲棘の上方2cm	僧帽筋/棘上筋	仰臥位
肩甲棘下部	肩甲棘長の中点、肩甲棘の下方2cm	棘下筋	伏臥位
上腕前部	肩峰点から上腕長の遠位60%	上腕二頭筋	仰臥位
上腕後部	肩峰点から上腕長の遠位60%	上腕三頭筋	伏臥位
前腕外側部	橈骨点から前腕長の遠位30%	円回内筋	仰臥位
前腕中央部	橈骨点から前腕長の遠位30%	橈側手根屈筋	仰臥位
前腕内側部	橈骨点から前腕長の遠位30%	尺側手根屈筋	仰臥位

(Fig.3). なお、本研究における筋硬度指数は、1kgfの圧迫力あたりの筋厚の変化量を示すことから、数値が大きいものほど柔らかく、数値が小さいものほど硬いことを示している。

筋硬度の測定は、ウォーミングアップの実施前に行うものを投球前測定（以下、投球前）、投球試行の直後に行うものを投球後測定（以下、投球後）、投球試行の1日後の同時間に行うものを24時間後測定（以下、24時間後）、投球試行の2日後の同時間に行うものを48時間後測定（以下48時間後）とし、4回実施した。

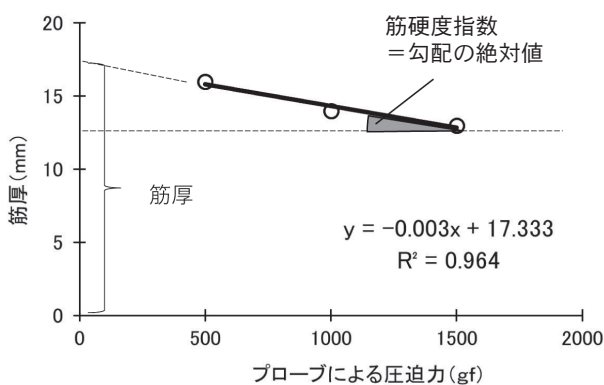


Fig.3 筋硬度指数、筋厚の算出

3) 投球試行

被験者には実験参加の2日前からキャッチボール、ピッチング、筋力トレーニング等の筋硬度に影響を及ぼす可能性がある高強度の身体運動を行わないこと、また、実験期間中（投球試行実施日から48時間後の測定終了まで）には既定のウォーミングアップに含まれる以外のストレッチング、アイシングやマッサージなどを行わないことを指示した。

全ての被験者には、投球試行の前に10分間の自転車エルゴメーター（1.0kp×70回転/分）、7種類の静的ストレッチング（各20秒）、1種類の動的ストレッチングからなる同一のウォーミングアップを行わせ、その後、集球ネットに向かって50球のスローイングを行わせ、全力投球ができる状態を作らせた。

投球試行は実験室内で実施し、集球ネットの前方9mから設定された目標に向かい全力での投球を行わせた。全ての投球は集球ネットの後方2mに設置したスピードガン（MST-1, ATRAS社製）を用いて投球速度を測定し、1球ごとにフィードバックを行うことにより全力投球の維持に努めさせた（Fig.4）。投球は15秒に1球のペースで行わせ、15球を1セットとして2分の休憩をはさみながら、合計7セット実施した

（15球×7セット=105球）。

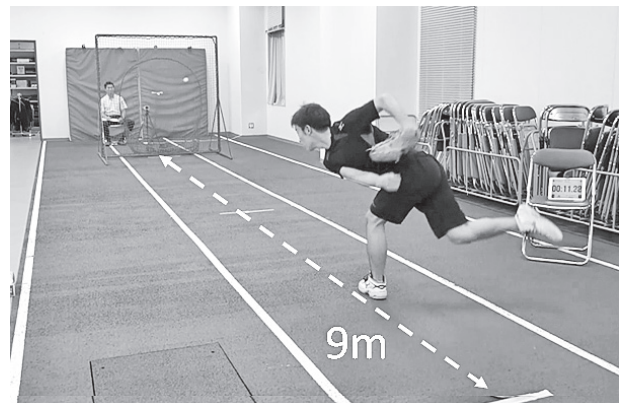


Fig.4 投球試行

4) データ分析

投球前、投球後、24時間後、48時間後における筋硬度指数、筋厚の比較には一元配置の分散分析を用いた。有意性が認められた場合にはDunnnett法による多重比較を行い、投球前の値との比較を行った。全ての統計処理には統計解析ソフトウェア（SPSS, ver25.0 for Windows）を用い、有意水準は5%未満とした。

結 果

1) 投球動作の反復による筋硬度指数の変化

投球前、投球後、24時間後、48時間後における体幹と上肢の筋硬度指数をTable.2に示した。棘上筋の筋硬度指数は24時間後（ $0.8 \pm 0.4 \text{ mm/kgf}$ ）、48時間後（ $0.8 \pm 0.4 \text{ mm/kgf}$ ）において投球前（ $1.5 \pm 0.5 \text{ mm/kgf}$ ）に対して有意に低い値を示した（ $p < 0.05$ ）。一方、その他の9つの筋における筋硬度指数では、投球後、24時間後、48時間後において投球前に対する差は示されなかった。

2) 投球動作の反復による筋厚の変化

投球前、投球後、24時間後、48時間後における体幹と上肢の筋厚をTable3に示した。回帰式から算出された筋厚では、測定を行った全ての筋において、投球後、24時間後、48時間後と投球前との間に差は示されなかった。

考 察

1) 投球動作の反復による筋硬度指数の変化

Table.2 体幹と上肢の筋硬度指数

	筋硬度 (mm/kgf)			
	投球前	投球後	24時間後	48時間後
大胸筋	4.0 ± 2.3	2.2 ± 1.5	2.8 ± 1.3	3.5 ± 2.4
広背筋	3.5 ± 1.6	3.8 ± 1.5	4.2 ± 2.1	3.5 ± 1.4
僧帽筋	0.3 ± 0.5	0.5 ± 0.5	0.7 ± 0.5	0.8 ± 0.4
棘上筋	1.5 ± 0.5	1.2 ± 0.4	0.8 ± 0.4 *	0.8 ± 0.4 *
棘下筋	1.5 ± 1.2	2.0 ± 0.0	2.0 ± 0.6	1.7 ± 1.0
上腕二頭筋	4.5 ± 1.2	4.5 ± 1.0	4.2 ± 0.8	4.2 ± 0.8
上腕三頭筋	4.2 ± 1.6	5.7 ± 1.8	5.0 ± 3.5	5.5 ± 2.1
円回内筋	1.2 ± 1.0	1.5 ± 1.0	1.3 ± 1.2	1.5 ± 0.8
橈側手根屈筋	1.3 ± 0.8	1.0 ± 0.6	0.7 ± 0.8	1.2 ± 0.8
尺側手根屈筋	0.5 ± 0.5	0.5 ± 0.8	0.7 ± 0.5	0.8 ± 0.4

Table.3 体幹と上肢の筋厚

	筋厚 (mm)			
	投球前	投球後	24時間後	48時間後
大胸筋	14.7 ± 2.5	13.1 ± 2.7	14.1 ± 2.5	15.3 ± 3.7
広背筋	15.2 ± 4.9	16.3 ± 4.9	18.1 ± 5.1	15.4 ± 4.7
僧帽筋	9.4 ± 0.8	9.3 ± 1.0	10.2 ± 1.3	10.2 ± 0.5
棘上筋	21.5 ± 3.4	21.6 ± 3.7	20.9 ± 3.7	21.5 ± 4.1
棘下筋	23.3 ± 4.3	22.1 ± 3.3	22.9 ± 4.9	22.2 ± 3.4
上腕二頭筋	19.1 ± 2.1	19.4 ± 2.2	18.6 ± 2.2	18.7 ± 2.4
上腕三頭筋	23.1 ± 3.6	23.9 ± 3.4	24.3 ± 9.6	22.8 ± 5.4
円回内筋	20.9 ± 2.1	19.6 ± 3.1	19.9 ± 1.8	20.7 ± 2.3
橈側手根屈筋	15.7 ± 3.0	15.2 ± 2.0	14.9 ± 2.5	15.0 ± 2.8
尺側手根屈筋	8.9 ± 1.1	9.1 ± 1.7	8.5 ± 1.3	9.1 ± 1.1

投球動作における主要な腕の関節運動はリリース前後の肩関節の水平内転と内旋、肘関節の伸展、橈尺関節の回内、手関節の掌屈であり、いずれについてもそれに先立ち逆方向への運動が認められる¹⁸⁾。本研究における測定対象の筋では、肩関節の水平内転には大胸筋、内旋には大胸筋や広背筋、肘関節の伸展には上腕三頭筋、橈尺関節の回内には円回内筋や橈側手根屈筋、手関節の掌屈には橈側手根屈筋や尺側手根屈筋が対応している。また、「逆方向の運動」についても、肩関節の外旋には棘下筋、肘の屈曲には上腕二頭筋や円回内筋、橈尺関節の回外に上腕二頭筋が対応している

¹⁹⁾。これらの筋の中で投球試行後に筋硬度指数の増加が示されたのは、棘上筋のみであった。棘上筋は肩関節の回旋腱板を構成する筋の1つであり、肩関節の外転に作用するとともに上腕骨頭を関節窩に引き付ける支点形成力の発揮が重視されている。投手の投球動作の反復に関する先行研究では、アマチュア野球投手に98球の投球を行わせたとき、棘上筋の横断面積が投球直後から24時間後（1日後）まで増加し、その機能を示す肩関節の外転筋力も投球直後から24時間後まで低下したことが報告されている^{6,7)}。また、同様にアマチュア野球投手に135球の投球を行わせた研究

では、筋の腫脹や浮腫を示すMRIのT2値（横緩和時間）が投球後から96時間後まで増加し続けたことが報告されている⁸⁾。これらの機序については、外転筋力の低下は、三角筋前部や棘上筋がボールリリース後に腕を減速するために伸張性収縮を繰り返したことにより、疲労と筋損傷が結びつき筋力低下が起きたと考察されている。また、一般にMRIのT2値の増加は、筋の細胞膜が壊れ、筋内のたんぱく質が細胞外に漏れ出したとき、たんぱく質による浸透圧の増加が細胞外への水分流出をもたらす、浮腫が発生した際に示されるものであることから、投球動作の反復による強いストレスにより、棘上筋に生じた筋損傷を反映したものと考察されている。本研究における棘上筋の筋硬度の増加については、運動性充血の影響が強いとされる運動直後ではなく¹⁶⁾、24時間後、48時間後に示されていることから、投球動作の反復による筋の損傷と関連している可能性が高いと考えられる。本研究では48時間後までしか測定を行っていないため、この状態がどれだけの期間にわたり続き、回復に至るのかを知ることができなかったが、回復時間を明らかにすることは、投球制限を行う際に投球数や休息時間を決めるための重要な根拠となりうるものと考えられる。

2) 投球動作の反復による筋厚の変化

本研究では筋硬度の測定のため、超音波装置のプロープにより皮膚表面から圧迫力を加えた画像を撮影した。その際に得られた回帰式より、圧迫が加わっていない状態での筋厚を算出した（圧迫力=0kgfとして算出）。その結果、いずれの筋においても筋厚は投球前、投球後、24時間後、48時間後に差が示されなかった。投球動作を反復したときの筋厚や筋横断面積の変化については、肩関節の回旋腱板筋を対象とした研究報告が見られる。7名のアマチュア投手に98球の投球を行わせた研究では、棘上筋、棘下筋・小円筋、肩甲下筋の筋横断面積がいずれも投球後から24時間後まで増加したことが報告され、その原因は筋損傷による浮腫の影響と考察されている⁷⁾。一方、大学野球部員10名に200球の投球を行わせた研究では、MRI画像から筋厚の測定を行い、投球後に肩甲下筋の筋厚は増加したが、棘上筋や棘下筋・小円筋の筋厚は変わらなかったことが報告されている⁵⁾。先行研究では被験者が大学野球選手であり、本研究の被験者よりも投球速度は高いと予想されることや、投球数が約2倍にも達することなど、投球の反復に伴うストレスの大きさが結果に影響していることが考えられる。しかしながら、筋

厚という指標では投球前と変化が見られない状況下においても、圧迫を加えることにより筋硬度の差を検出できたことから、筋の状態を把握するために、超音波装置を用いた筋硬度測定は利用価値が高いことが示唆された。

3) 本研究の課題

本研究では野球経験を有する男子大学生を対象とした。このため投球試行における投球速度は120km/h台であり、先行研究の大学野球選手やアマチュア野球投手と比較して、投球が身体の及ぼすストレスが小さかった可能性が考えられる。また、筋を圧迫する部位についても、本研究では超音波法による筋厚測定に使用される部位を使用した。投球動作によるストレスを受けやすい部位が必ずしも筋腹部であるとは限らないことから、触診など臨床検査で使用されるポイントについてもよく検討して設定することが必要と考えられる。また、プローブでの圧迫は筋硬度計と比較して、その面積が広い。筋の一部に力を加えることができなかった。より大きく筋の変形を起こさせるような器具の改良や使用法の工夫が必要であると考えられる。

結 論

本研究では投球動作の反復が体幹と上肢の筋硬度に及ぼす影響を明らかにすることを目的とし、大学生男子6名に15球×7セットの投球試行を行わせ、投球前、投球後、24時間後、48時間後に筋硬度を測定し、筋硬度指数、筋厚に関する比較から、次のような結論を得た。

- 1) 筋硬度指数では棘上筋において24時間後、48時間後に投球前に対する低下が示された。
- 2) 筋厚では投球前と投球後、24時間後、48時間後の間に差は示されなかった。

これらのことから、Bモード超音波装置を用いた筋硬度の測定により、100球程度の投球動作の反復が24時間後、48時間後に棘上筋の筋硬度の増加をもたらすことが示唆された。

参考文献

- 1) 「週500球制限」答申、高野連に投手の障害予防、有識者会議提出<https://digital.asahi.com/articles/DA3S14264893.html> (2019年11月21日)
- 2) 高田義弘、岡田修一 (2003)：試合を想定した投球中の上肢筋電図変化。教育医学, 3, 283-291.

- 3) 平山大作, 藤井範久, 小池関也, 阿江通良 (2010) : 野球投手の投球数の増加による下肢関節の力学的仕事量の変化. 体力科学, 59 (2) , 225-232.
- 4) Escamilla, R. F., Barrentine, S. W., Fleisig, G. S., Zheng, N., Takada, Y., Kingsley, D., Andrews, J. R. (2007) :Pitching biomechanics as a pitcher approaches muscular fatigue during a simulated baseball game. *Am J Sports Med*, 35 (1) , 23-33.
- 5) 杉本勝正, 倉上啓介, 所忠, 久崎慎治, 早川克彦, 中根高志 (1999) : 投球動作における肩関節の変化 -MRI及びDynamic MRIによる検索-. 肩関節, 23 (3), 441-444.
- 6) Yanagisawa, O., Miyanaga, Y., Shiraki, H., Shimajo, H., Mukai, N., Niitsu, M., Itai, Y. (2003) : The effects of various therapeutic measures on shoulder strength and muscle soreness after baseball pitching. *J Sports Med Phys Fitness*, 43, 189-201.
- 7) Yanagisawa, O., Miyanaga, Y., Shiraki, H., Simojio, H., Mukai, N., Niitsu, M., Itai, Y. (2003) : The effects of various therapeutic measures on shoulder range of motion and cross-sectional areas of rotator cuff muscles after baseball pitching. *J Sports Med Phys Fitness*, 43 (4) , 356-366.
- 8) Yanagisawa, O., Niitsu, M., Takahashi, H., Itai, Y. (2003) : Magnetic resonance imaging of the rotator cuff muscles after baseball pitching. *J Sports Med Phys Fitness*, 43 (4) , 493-499.
- 9) Potteiger, J. A., Blessing, D. L., & Wilson, G. D. (1992) :Effects of varying recovery periods on muscle enzymes, soreness, and performance in baseball pitchers. *Journal of Athletic Training*, 27 (1) , 27-31.
- 10) 村木里志, 福田修, 福元清剛 (2009) : 超音波粘弾性計測装置を用いた筋力評価の有効性の検討. デサントスポーツ科学, 30,105-113.
- 11) 松林武生, 土肥美智子 (2012) : ヒト骨格筋硬度の客観的評価法の確立. デサントスポーツ科学, 32, 154-161.
- 12) 藤田英二, 沢井史穂, 田中寿史, 福永哲夫 (2015) : 圧力計を搭載した超音波装置によるヒト筋硬度の評価. 理学療法学, 42 (3) , 255-261.
- 13) 河合恒, 大淵修一, 小島基永, 新井武志, 小島成実, 鈴木隆雄, 吉田英世, 金憲経, 平野浩彦, 吉田祐子, 島田裕之, 齋藤京子 (2010) : 超音波測定による大腿前面の筋の硬さと膝伸展筋力の関係. 理学療法学, 25 (6), 969-975.
- 14) Murayama, M., Nosaka, K., Yoneda, T. and Minamitani, K. (2000) : Changes in hardness of the human elbow flexor muscles after eccentric exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 82 (5-6) , 361-367.
- 15) Nordez, A., Guevel, A., Casari, P., Catheline, S., Cornu, C. (2009) :Assessment of muscle hardness changes induced by a submaximal fatiguing isometric contraction. *J Electromyogr Kinesiol*, 19 (3), 484-491.
- 16) 村山光義 (2016) : 押し込み反力計測による筋硬度評価の意義. バイオメカニズム学会誌, 40 (2) , 79-89.
- 17) 長谷川伸 (2015) : 野球のピッチングが筋硬度に及ぼす影響. 九州体育・スポーツ学研究, 29, 13-19.
- 18) 桜井伸二, 池上康男, 矢部京之助, 岡本敦, 豊島進太郎 (1990) : 野球の投手の投動作の3次元動作解析. 体育学研究, 35, 143-156.
- 19) 森於菟, 他 (1950) . 分担解剖学1. 第11版, 金原出版, 333-377.

Received date 2020年1月10日

Accepted date 2020年1月23日