

博士（人間科学）学位論文

野球選手の投球側に見られる回旋腱板筋
(Rotator cuff muscles) の形態および筋力特性

Morphological and strength characteristics of
the rotator cuff muscles in baseball players

2005年1月

早稲田大学大学院 人間科学研究科

長谷川 伸

Shin, Hasegawa

研究指導教員： 加藤 清忠 教授

目次

第1章 序論

1.1	はじめに	1
1.2	投動作における回旋腱板筋の役割	2
1.3	回旋腱板筋に関する形態的研究	3
1.4	回旋腱板筋に関する機能的研究	7
1.5	本研究の目的と論文の構成	

9

第2章 回旋腱板筋の筋厚・筋力における加齢変化

2.1	はじめに	11
2.2	方法	11
2.3	結果	14
2.4	考察	18
2.5	まとめ	21

第3章 超音波断層法を用いた後部回旋腱板筋の筋厚評価

3.1	肩関節障害を持たない野球選手の後部回旋腱板筋の形態的・機能的特性	
3.1.1	はじめに	23
3.1.2	方法	23
3.1.3	結果	28
3.1.4	考察	31
3.1.5	まとめ	34
3.2	肩関節障害が後部回旋腱板筋の形態と機能に及ぼす影響	
3.2.1	はじめに	36
3.2.2	方法	36
3.2.3	結果	39
3.2.4	考察	44
3.2.5	まとめ	49

第4章 MRIを用いた回旋腱板筋の筋体積評価

4.1	はじめに	50
4.2	方法	50
4.3	結果	54
4.4	考察	59
4.5	まとめ	65

第5章 総合討論	
5.1 肩関節障害を持たない野球選手の回旋腱板筋の形態・機能における特性	66
5.2 競技歴の長期化に伴う影響	68
5.3 野球選手を対象とした筋力測定法	68
5.4 本研究の問題点と今後の課題	70
第6章 結論	71
引用文献	72

第1章 序論

1.1 はじめに

Rotator cuff (回旋腱蓋、回旋腱板) は上腕骨頭を覆う棘上筋、棘下筋、小円筋、肩甲下筋の停止腱で構成される共同腱であり、このRotator cuffに関連するこれらの4つの筋はRotator cuff muscles (以下回旋腱板筋とする) と呼ばれる (森ら, 1950; Basmajian, 1974; Moor, 1997)。この内前3筋は肩甲骨の後面に位置し機能的に協働関係にあることから、後部回旋腱板筋 (Pageら, 1993) と呼ばれる。これらの筋は機能的に肩関節の動的安定性の維持に貢献しており、したがってスポーツ動作における運動遂行に重要な役割を果たしている。近年では肩関節のスポーツ障害予防の観点からそれらの筋のトレーニングが行われるようになってきている。しかし、回旋腱板筋をトレーニングするという発想は比較的新しいものであり、この筋のトレーニングに関する研究も1982年に発表されたJobeら(1982)の論文がその始まりとされている。

スポーツ分野における回旋腱板筋に関する研究もそれ以降盛んになり、野球 (Jobe, 1983; Jobe, 1984; Gowan, 1987; Glousman, 1988; DiGiovin, 1992)、テニス (Ryu, 1988)、水泳 (Nuber, 1986; Pink, 1991, 1993; Scovazzo, 1991)、バレーボール (Rokito, 1998) などオーバーヘッド競技中における筋活動の定量化、トレーニングや機能評価に用いるための姿勢や肢位 (Townsend, 1990; Blackburn, 1990; Worrell, 1992; Malanga, 1996; Kelly, 1996; Jenp, 1996)、競技者の肩関節回旋筋力の特性 (Alderlink, 1986; Brown, 1988; Hinton, 1988; Mikesky, 1995; Sirota, 1997; Ellenbecker, 1997; Newsham, 1998) などに関心が寄せられてきた。

回旋腱板筋の機能やトレーニング効果を評価するにあたっては、肩関節回旋筋力や外転筋力がよく利用されている。しかし、ここで測定される筋力は複数の筋の活動の結果として示されるものであり、個々の筋の評価を筋力だけから行うことは困難であるという問題が存在する。

一方、超音波法やMRI法などで得られる画像は筋の形態評価に役立つものであり、上腕部、大腿部、下腿部などにおける筋体積や生理学的筋断面積の算出法が報告されて以来、これらの方法は生体の筋形態分析に関する多くの研究に利用されている。回旋腱板筋は深層に位置し、一部の筋を除き体表からの観察や触診による評価が難しいことから、その機能評価やトレーニング効果の定量化において画像を用いた形態分析は有用であると思われる。しかし、従来超音波法やMRI法の画像は腱板 (Rotator cuff) 断裂などのスポーツ障害の診断には広く用いられているが、腱板を構成する回旋腱板筋のトレーニング効果の評価やスポーツ選手の肩関節関連筋の形態特性に関する研究にはあまり用いられていない。

1.2 投球動作における回旋腱板筋の役割

投球動作における肩関節の主要な運動は外旋と内旋であり (Feltner and Dapena, 1986)、内旋運動は投球速度の 34.1% に貢献しており、上肢の運動中で最も高い貢献度を持つとされている (宮西, 1996)。

投球動作中の回旋腱板筋に関する筋電図学的研究については Jobe らのグループによる一連の報告が見られる (Jobe, 1983 ; 1984, Gowan, 1987 ; Glousman, 1988 ; DiGiovin, 1992)。

Jobe (1983) は一般健常男性を対象とした研究において投球動作を 5 つの局面に分けて分析し (図 1-1)、コッキング相では始めに三角筋、次に後部回旋腱板筋 (棘上筋、棘下筋、小円筋) が活動し始め、最後に肩甲下筋が活動するという筋活動の順序性について報告しているが、この順序性は後に発表された大学・プロ野球投手を対象とした研究においても同様であることが示されている (DiGiovin, 1992)。一方、プロ野球投手とアマチュア野球投手の相違点については、プロ野球選手では加速相において後部回旋腱板筋の活動が低下し、同時に肩甲下筋が高い活動を示すことが報告され、効率的な腕の加速が起こることが示唆されている (Gowan, 1987)。また、肩関節障害を持つ選手の筋放電パターンの特徴としては、肩関節に前方不安定性のある者と健常者の比較から、肩関節に前方不安定性のある者では後期コッキング相以降に肩甲下筋の活動低下が見られることが報告されている (Glousman, 1988)。

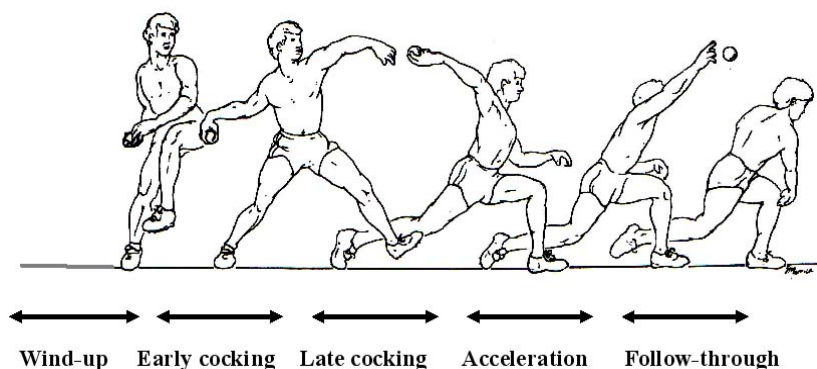


図 1-1 投球動作の 5 つの局面 (Glousman et al, 1988)

- Wind-up phase : 投球動作の開始からボールを持つ手がグラブから離れるまで
- Early cocking phase : 踏出した足が接地するまで
- Late cocking phase : 肩関節が最大外転・外旋位に達するまで
- Acceleration phase : ボールリリースまで
- Follow-through phase : 投球動作の終了まで

また、力学的な観点からの研究では、肩甲骨腕関節に加わる力やトルクが検討され、アマチュア投手やプロ野球投手を対象とした研究からボールリリース直後の肩関節には体重の 108%にも相当する牽引力が加わることが報告されており (Fleisig, 1995 ; Warner, 2001)、リリース直後に回旋腱板筋全体に強い遠心性の負荷が加わることが示唆されている。このような負荷の繰り返しが回旋腱板筋へ及ぼす影響として、100 球以上の投球を行った場合には投球後 24 時間以上に渡る内旋、外旋筋力の低下、さらに 6 時間以上にわたり MRI 画像の T2 値上昇に示される棘上筋、棘下筋、小円筋の浮腫が生じることが報告されている (Yanagisawa, 2003A, 2003B)。

1.3 回旋腱板筋に関する形態的研究

棘上筋、棘下筋、肩甲下筋、小円筋の 4 筋で構成される回旋腱板筋はいずれも筋内にも腱性部分 (筋内腱) が存在し、棘上筋、棘下筋、小円筋は羽状筋、肩甲下筋は多羽状筋の構造をとり (皆川, 1996 ; 竹村, 1999)、筋の両端にある腱または腱膜にすべての筋線維が付着する紡錘状筋と比べると筋線維の長さが短く運動範囲は小さいが、その分筋線維数が多く大きな力発揮ができるという特徴を持つことが示されている。

回旋腱板筋に関する形態学的な研究においては、屍体標本を用いた筋体積、生理学的筋断面面積 (Bassett, 1990 ; Karlsson, 1992 ; Keating, 1993 ; Johnson, 1996 ; 竹村, 1999 ; Jull-Kristensen, 2000 ; Alusio, 2003)、モーメントアーム (Kuhlman, 1992 ; Otis, 1994 ; Kuechle, 2000) などが報告されている。

生理学的筋断面面積から見た回旋腱板筋により生じる肩関節の内旋力と外旋力については、棘下筋と小円筋の合計と肩甲下筋の比較から、Wood(1989)、Veeger(1991)、Keating(1993)、Herzberg(1998)、竹村(1998) が内旋力優位としているのに対し、Bassett(1990)、Johnson(1996) は外旋力優位、Karlsson(1992) が内旋力と外旋力が等しいと報告しており、回旋腱板筋全体に対する各筋の比率はほぼ一定値を示すものの、標本ごとに筋体積や生理学的筋断面面積の個体差は大きいことが示されている (表 1-1, 表 1-2)。

棘上筋 (Supraspinatus m.)

棘上筋は棘上窩と棘上筋膜の内面から起こり、上腕骨大結節の上部に停止する。1 つの筋内腱を有する羽状筋であり、筋内腱は筋外腱の前方約 1/3 に移行している。筋線維はその走行から前部線維、後部線維の 2 つに分けられ、前部線維は後部線維の 2 倍以上の筋体積、生理学的筋断面面積を持つ。また、筋線維束長は前部が 3.9 ± 0.6 cm、後部が 4.1 ± 0.6 cm と他の 3 つの筋と比べて短く、筋線維のタイプにおいても Type I 線維が 59.3%とその比率は他の回旋腱板筋の

値と大きな差はないことから (Jhonson, 1973)、収縮速度は遅く、関節を動かすよりも上腕骨頭に安定性を与える機能に適する筋と考えられている (竹村, 1998)。

モーメントアームに関する研究から前部、後部線維はともに外転作用を持つが、モーメントアームは内旋するほど後部線維、外旋するほど前部線維で大きくなり、その貢献度が変化することが報告されている (DeLuca and Forrest, 1973; Otis, 1994)。

棘下筋 (Infraspinatus m.)

棘下筋は棘下窩と棘下筋膜の内面から起こり、上腕骨大結節の後縁に停止する。板状の1つの筋内腱を有する羽状筋であり、筋内腱は筋外腱のほぼ全幅へ移行する。羽状角は他の回旋腱板筋に比べて大きい(竹村 1998)。筋線維は走行から上部、下部とその深層に位置する中部、の3部位に分けられ、筋体積、生理学的筋断面積は中部、下部、上部の順に大きい。筋線維タイプは Type I 線維が 45.3%を占めるが他の回旋腱板筋の値と大きな差は見られない (Jhonson, 1973)。

棘下筋は棘上筋とともに外旋筋力の 50-75%に貢献する。モーメントアームの大きさから上部線維は外転に伴い外旋作用が低下することが報告されている。しかし、上部線維は棘下筋全体の生理学的筋断面積の 15%以下に過ぎず、中部線維や、下部線維のモーメントアームの大きさは外転により顕著な差が生じず、上肢挙上に伴い筋の発揮する力の変化は小さいことから、肢位に関わらず最も強力な外旋筋であると考えられている (Kuechle, 2000; Kuhlman, 1992)。また、棘下筋は棘上筋とともに外転筋力の 25~50%に貢献しているが、外転モーメントアームは上部、中部、下部の順に大きい。しかし、最大の貢献度を持つ上部線維は内旋に伴い外転作用が低下することが報告されている (Kuhlman, 1992; Otis, 1994)。

小円筋 (Teras minor m.)

小円筋は肩甲骨後面の外側縁部上半から起こり、上腕骨大結節後縁の下部、大結節稜の上端に停止する。1つの短い筋内腱を有する羽状筋であり、筋内腱は筋外腱のほぼ中央に移行している。筋線維束の走行から上部線維、下部線維の2部位に分けられるが、その筋体積、生理学的筋断面積の大きさに一定の関係は示されない (竹村, 1998)。小円筋は棘下筋と同様に外転作用を持つが、外転に伴いその作用は低下することが報告されている (Otis, 1994)。

肩甲下筋 (Subscapularis m.)

肩甲下筋は肩甲下窩と筋膜内面から起こり、上腕骨前面の小結節と小結節稜上端に停止する。4~6本の筋内腱を有する多羽状筋であり、筋内腱は筋外腱のほぼ全幅より八つ手状に移行している。筋線維束の走行から上部線維、中部線維、下部線維の3部位に分けられる。上部・中部

と下部は異なる神経支配を受け、異なる筋活動を示すことが報告されている (Decker, 2003 ; McCann, 1994 ; Kato, 1989)。筋体積、生理学的筋断面積は下部、上部、中部の順に大きく、筋全体の生理学的断面積は回旋腱板筋の中で最大であり、回旋腱板筋全体の 41.2~51.6%を占める (Wood, 1989 ; Bassett, 1990 ; Veeger, 1991 ; Karlsson, 1992 ; Keating, 1993 ; Jhonson, 1996 ; 竹村, 1998)。肩甲下筋は大胸筋とともに最も強力な内旋作用を持つが、上部線維では外転に伴い内旋モーメントアームが低下するが、中部、下部線維では変化しない。また、肩甲下筋の 3 部位はいずれも外転作用も持つが、棘下筋と同様に上部線維が最大のモーメントアームを持ち、内旋するほどその作用は低下することが報告されている (Otis, 1994)。

生体に関する研究では、超音波法を用いて棘上筋や棘下筋の筋厚や筋断面積を求める試みがなされている (Katayose, 2001 ; 福西, 2003)。しかし、棘上筋や肩甲下筋では肩峰や肩甲骨体により超音波を妨げられること、小円筋では超音波画像上での棘下筋との区分が難しいことから、回旋腱板筋全体を対象とした研究は見られず、棘上筋と棘下筋など後部腱板筋のみを対象とした研究が多い。MRI 法については筋体積や生理学的筋断面積の算出法とその妥当性 (Jull-Kristensen, 2000 ; Tingart, 2003) が示されるようになったが、同法を利用した研究データはまだ見られない。このように超音波法による回旋腱板筋の解析には問題点が多いことから、野球選手の回旋腱板筋を対象とした形態学的研究においても、視診による野球選手の棘下筋萎縮の発生率に関する報告は多く見られるが (林原, 1958 ; 五味, 1966 ; 靱田, 1972 ; 小久保, 1972 ; Cummins, 2004)、定量化されたデータを示した研究は超音波法による筋萎縮に関するわずかなものしか見られない (森沢, 1987 ; 山田, 1996)。

表 1-1. 回旋腱板筋の生理学的筋断面積

	n	棘上筋		棘下筋		小円筋		肩甲下筋	
		cm ²	(%)	cm ²	(%)	cm ²	(%)	cm ²	(%)
Bassett (1990)	5	5.7	(15.5)	*13.6	(43.2)	—	(—)	15.9	(41.8)
Veeger (1991)	14	5.2	(16.7)	9.5	(30.5)	2.9	(9.4)	13.5	(43.3)
Keating (1993)	5	4.0	(15.4)	5.9	(23.1)	2.6	(9.9)	13.5	(51.6)
Jhonson (1996)	6	3.0	(15.9)	6.1	(31.7)	2.1	(11.1)	7.9	(41.3)
竹村(1998)	5	6.7	(20.9)	9.2	(30.0)	2.1	(6.8)	12.9	(42.2)
Jull-Kristensen (2000)	9	6.6	(15.9)	*13.6	(35.7)	—	(—)	19.4	(48.4)
Alusio (2003)	5	5.3	(16.0)	9.9	(29.8)	2.4	(7.2)	15.6	(47.0)

(%) : 4つの回旋腱板筋の生理学的筋断面積の総和に対する割合

* : 棘下筋+小円筋

表 1-2. 回旋腱板筋の筋体積

	n	棘上筋		棘下筋		小円筋		肩甲下筋	
		cm ³	(%)	cm ³	(%)	cm ³	(%)	cm ³	(%)
Bassett (1990)	7	48.7	(—)	*131.3	(—)	—	(—)	140.1	(—)
Veeger (1991)	7	43.6	(—)	116.8	(—)	21.7	(—)	135.8	(—)
Keating (1993)	5	23.0	(17.2)	44.0	(33.2)	12.4	(9.4)	53.0	(40.1)
Takemura (1998)	5	{ **20.9 9.3	{ (—) (—)	{ ***8.1 32.9 12.8	{ (—) (—) (—)	{ ***7.1 4.1	{ (—) (—)	{ ***23.9 17.7 33.7	{ (—) (—) (—)
Jull-Kristensen (2000)	9	29.3	(12.9)	*84.4	(42.7)	—	(—)	90.0	(44.4)
Tinger (2003)	12	37.0	(—)	97.0	(—)	—	(—)	99.0	(—)
Alusio (2003)	5	32.1	(13.8)	79.3	(33.8)	16.3	(7.0)	106.2	(45.5)

(%) : 4つの回旋腱板筋の筋体積の総和に対する割合

: 筋重量 (g) , * : 棘下筋+小円筋, ** : 上段より前部, 後部, *** : 上より上部, 中部, 下部

1.4 回旋腱板筋に関する機能的な研究

回旋腱板筋の機能を評価するための基準値を作るため、一般成人、肩関節障害を持つ患者、肩関節を酷使する競技者等を対象とした肩関節回旋筋力や外転筋力に関する研究が行われてきた。一般成人では等速性筋力や等尺性筋力について利き腕と非利き腕（健側と患側、投球側と非投球側）の間で比較したとき、内旋筋力、外旋筋力ともに利き腕側に優位性があることが報告されている（Otis, 1990 ; Cahalan, 1991）。

野球投手の肩関節回旋筋力については Alderink ら（1986）による報告以来、約 15 年の間に競技レベルや、求心性、遠心性といった測定モードの異なる研究が報告されているが、等速性筋力に関する研究の結果は内旋筋力では高校生からプロまでの投手のいずれもが投球側が非投球側に対して同等か高い値を示している（表 1-3）。しかし、外旋筋力では投球側が非投球側を下回るとする報告が見られており、一般成人に見られるような優位性が示されなかった（Brown, 1988 ; Wilk, 1993 ; Sirota, 1997 ; Ellenbecker, 1997）。同様に等尺性筋力についても肩に障害を持たないプロ野球投手の投球側では、内旋筋力は非投球側より高い値を示すが、外旋筋力は非投球側よりも低い値を示すことが報告されており（Magnusson, 1994 ; Donatelli, 2000）、測定様式をこえて共通の特徴が示される。

また、野球選手の外旋／内旋筋力比率（ER／IR ratio）については投球側が非投球側よりも低い値を示す、いわゆる相対的な muscle imbalance が示されることが報告されている（表 1-4）。同様の傾向は投球を伴う競技の選手（McMaster, 1991 ; Noffal, 2003）、テニス選手（Chandler, 1992 ; Ellenbecker, 2002）など、いわゆるオーバーヘッド型のスポーツ選手に見られ、競技継続に伴う選択的な内旋筋の発達で相対的な筋力バランスに変化をもたらすことが示唆されている。

棘上筋についてはその機能評価のために外転筋力や Supraspinatus test により測定される棘上筋筋力（Supraspinatus strength）が用いられている。Supraspinatus test は肩甲骨面（Scapular plane）において挙上動作を行うものであり、外転筋力よりも棘上筋の機能を反映する指標と考えられている。外転筋力や棘上筋筋力では等速性筋力に関する報告は少なく（Wilk, 1995）、多くが等尺性筋力に関するものである。

プロ野球投手を対象とした研究から、肩関節障害の既往を持たない投手では棘上筋筋力では両側間に差が見られないが（Donatelli, 2000）、既往を持つ投手では投球側が有意に低い値を示すことが報告されている（Magnusson, 1994）。

これまでの研究から、健常な一般成人では利き腕の優位性が見られることの多い肩関節の外

表 1-3 肩關節回旋筋力

Subject	Investigator	Test speed (deg/sec)	External rotation			Internal rotation		
			D>ND	D=ND	D<ND	D>ND	D=ND	D<ND
High school	Hinton (1988)	90	○			○		
		240		○		○		
High school & Collegiate	Alderink and Kuck (1986)	90		○			○	
		120		○			○	
		210			○		○	
		300			○		○	
Collegiate	Mikesky (1995)	90		○			○	
		210		○			○	
		300		○			○	
	Newsham (1998)	180		○			○	
		300		○			○	
		450		○			○	
Professional	Brown (1988)	180	○			○		
		240	○			○		
		300	○			○		
	Wilk (1993)	180			○		○	
		300		○			○	
	Sirota (1997)	60		○			○	
		120		○			○	
		300		○			○	
	Ellenbecker (1997)	210		○			○	
		300		○			○	

D : dominant side, ND : nondominant side

表 1-4 肩關節回旋筋力比

Subject	Investigator	Test speed (deg/sec)	ER/IR ratio		
			D	ND	
High school	Hinton (1988)	90	0.69	0.76	*
		240	0.71	0.80	*
High school & Collegiate	Alderink and Kuck (1986)	90	0.66	0.70	
		120	0.68	0.72	
		210	0.71	0.76	
		300	0.70	0.76	
Collegiate	Cook (1987)	180	0.70	0.81	*
		300	0.70	0.81	*
	Mikesky (1995)	90	0.69	0.76	*
		210	0.71	0.76	*
	Newsham (1998)	300	0.72	0.75	
		180	0.67	0.73	
		300	0.64	0.67	
	Professional	Brown (1988)	450	0.66	0.67
180			0.67	0.71	
240			0.61	0.66	
300		0.65	0.65		
Wilk (1993)	180	0.65	0.64	*	
	300	0.61	0.70	*	
	Sirota (1997)	60	0.98	0.85	
		120	0.97	0.91	
Ellenbecker (1997)	210	0.67	0.74	*	
	300	0.70	0.78	*	

* : significant differ from the nondominant side.

旋筋力や棘上筋筋力において、野球選手では投球側の外転筋力、外旋筋力外旋／内旋筋力比率などが非投球側を下回る場合があることが報告されている。しかし、競技歴、競技レベル別に同一研究者が行った横断的研究や同一集団を追跡した縦断的研究は見られず、長期に渡り競技を継続することが肩関節機能にどのような影響を与えるかという点については明らかではない。

1.5 本研究の目的と論文の構成

Jobe ら (1982) の論文が発表されて以降、野球選手の回旋腱板筋に関して多くの研究がなされ、いくつかのトレーニング法や肩関節障害の予防法が考案されてきた。しかし、未だ解明されず共通の理解がなされていない分野も多い。現在、野球の指導現場では投手の練習法について「肩は消耗品」として数多くの投げ込みをさせないという考え方と、「肩をつくる」ために数多くの投げ込みを行うという相反する考え方が共存している。

従来の野球選手を対象とした多数の研究報告の中では、肩関節筋力について外旋筋力では投球側が非投球側に対して低下しているという報告も見られる。しかし、肩関節筋力に関する研究には異なる測定方法が採用されていることや、縦断的、横断的な研究が見られないという問題を含んでいる。肩関節に関連する筋の形態学的特性に関しては、従来スポーツ障害との関連において、その診断のために体表から筋を触診するとか、その映像を撮って検査する場合が多く、野球選手の肩関節筋力に大きな影響を与える関連筋の形態評価を両側にわたって詳細に行った研究はほとんど見られない。このように、野球選手の投球側は筋力低下や筋萎縮傾向を有するのか、反対に筋肥大や筋力増加というトレーニング効果が示されるのかに関しては必ずしも明らかになっていない。したがって、長年にわたる投球動作の反復や多数の投げ込みが肩関節に関連する筋、特に回旋腱板筋にどのような影響を与えるかという大きな疑問に関してさらに詳細な情報を収集し、野球選手の肩関節筋力や関連筋形態を評価してその一般的傾向を明らかにする必要がある。そこで本研究では幅広い年齢の野球選手を対象に、筋力測定では Hand-held dynamometer と等速性ダイナモメーターを用い、また形態分析では超音波法と MRI 法を用いて投球側と非投球側を中心に比較し、年齢および競技歴の差の影響や大学生野球選手の肩関節障害のある選手とない選手の肩関節筋力と回旋腱板筋形態の実態を分析し、投球が肩の筋力や筋形態に与える影響を明らかにしようと考えた。

本論文は第 1～5 章で構成され、その概要は以下の通りである。

第 1 章では回旋腱板筋に関する先行研究について投動作における役割、機能的側面、形態的

側面の3点から文献のレビューを行った。

第2章では最も競技人口が多い中学生から大学生に対する横断的な研究を行い、年齢・競技歴が野球選手の回旋腱板筋の形態・機能及ぼす影響について検討した。

第3章では超音波法を用いて後部回旋腱板筋（棘上筋、棘下筋）の形態測定と筋力測定から肩関節に障害を持たない選手の特性を把握するとともに、肩関節障害を持つ選手との比較からその相違点について検討した。

第4章ではMRI法を用いて回旋腱板筋全体を対象とし、筋断面積、筋体積、生理学的筋断面積を指標とした形態分析を行った。また、筋力測定においても2～3章で使用したHand-held dynamometerによる等尺性筋力に加え、Cybexを使用した等速性筋力の測定値も指標に加えた。

第5章では第1～4章までの研究を総合して1) 肩関節に障害を持たない野球選手の回旋腱板筋の形態・機能における特性、2) 競技歴の長期化に伴う影響に関する総括を行なった。

第2章 回旋腱板筋の筋厚・筋力における加齢変化

2.1 はじめに

1980年代以降、野球選手の肩関節障害に対する関心の高まりから、肩関節の回旋筋力 (Alderlink, 1986; Brown, 1988; Hinton, 1988; Mikesky, 1995; Sirota, 1997; Ellenbecker, 1997; Newsham, 1998) や関節可動域 (Bigliani, 1997; Brown, 1988; Donatelli, 2000; Baltachi, 2001; Crockett, 2002; Ellenbecker, 2002; Osbahr, 2002; Reagan, 2002) に関する研究報告が多く行われるようになった。これらの研究において、投球側と非投球側の比較から内旋筋力では投球側の方が高いか同等であることが報告されているが、外旋筋力や外旋/内旋筋力比では投球側の方が低いとする報告も多く見られる。外旋筋力は棘下筋、小円筋をはじめ後部回旋腱板筋群の機能を示す指標と考えられており、慢性的な肩関節障害を持つ選手では筋力が低下傾向にあって、棘下筋萎縮など回旋腱板筋の形態にも変化が見られることが報告されている (山田, 1996)。

一方、関節可動域については競技レベルに関わらず、野球選手の投球側では外旋可動域は非投球側と比較して大きく、反対に内旋可動域については小さいことが報告されている。一般成人を対象とした同様の研究においては両側間に差は見られないことから (Crockett, 2002)、野球選手に見られる肩関節可動域の変化は投球を反復することにより生じるものと考えられている。

野球選手の肩関節筋力や関節可動域については、競技レベル別の報告が多く見られるが、同一の測定方法による横断的研究は行われておらず、投球側に特有の筋力や可動域がいずれの段階で生じるのかという点については明らかではない。

本研究では小学生の時期に競技を開始し、継続している中学生から大学生までの野球選手の肩関節の回旋動作に関わる筋力、後部回旋腱板筋 (棘上筋と棘下筋) の筋厚、関節可動域を測定し、成長過程において生じる肩関節の機能的、形態的特性の形成について検討することを目的とした。

2.2 方法

2.2.1 被験者

被験者は12歳から21歳までの男子野球選手であり、小学生の時期にチームに所属して野球を開始し、週1回以上頻度で競技を継続している者であり、いずれも利き腕と投球側が一致す

る者である。肩関節回旋筋力、後部回旋腱板筋（棘上筋、棘下筋）の筋厚、肩関節回旋可動域はそれぞれ 243 名、312 名、109 名の被験者を対象としたデータであり、各年齢群の被験者全体の競技歴と身長、体重は表 2-1 の通りである。（ ）内に示したのは投手の数であり、その比率は 6.7%～50.0%であり年齢によりばらつきがあるが、14 歳以上ではいずれも 20%以上が投手であった。各被験者には事前に実験内容に関する説明を十分に行い参加の同意を得た。

表 2-1 被験者の身体特性

Group	Total n	ST n	MT n	ROM n	Playing career (yr)	Body height (cm)	Body weight (kg)
12yr	14(1)	8(1)	6(0)	8(1)	4.0±1.2	158.4±8.7	48.9±12.0
13yr	20(1)	15(1)	5(0)	15(1)	5.5±1.1	159.9±6.9	49.1±7.7
14yr	25(5)	14(3)	11(2)	14(3)	5.8±1.2	168.6±6.0	56.7±8.1
15yr	48(9)	37(9)	36(6)	14(5)	5.9±2.0	171.0±6.0	61.5±7.4
16yr	65(11)	30(4)	59(10)	11(2)	6.6±1.9	171.7±5.7	64.1±8.8
17yr	58(14)	33(9)	49(12)	8(2)	8.4±1.9	172.2±5.2	64.0±7.6
18yr	54(20)	22(11)	46(16)	9(5)	9.6±1.7	174.3±5.7	72.4±7.1
19yr	63(20)	38(17)	38(7)	8(5)	10.6±2.2	175.9±6.1	73.3±9.1
20yr	53(19)	29(13)	39(12)	6(5)	11.0±1.6	175.8±6.0	74.1±5.7
21yr	28(9)	17(8)	23(7)	9(5)	11.6±2.5	175.3±6.3	74.0±6.2

Mean±SD.

ST:strength, MT:muscle thickness, ROM:range of motion. (): Number of pitchers.

2.2.2 筋厚測定

棘上筋（SSP ; supraspinatus m）棘下筋（ISP ; infraspinatus m.）の筋厚の計測は B モード超音波検査装置（SSD-500, Aloka 社製）により 5MHz の探触子を使用して行った。測定姿勢は椅座位で上肢を下垂させた姿勢とし、肘関節は屈曲 90 度、肩関節は回旋中間位とした。棘上筋、棘下筋の測定部位の決定は、肩峰角から肩甲骨内側縁を結ぶ直線の中央部における 30mm 上方および下方とした。ビデオに記録した映像はコンピュータに取り込み、画像解析用ソフト（Scion Image, Scion corporation）を用いて筋厚の計測後、身長による基準化を行った。棘上筋の筋厚は僧帽筋との境界から肩甲骨まで、棘下筋の筋厚は三角筋との境界から肩甲骨までの距離とし

た（図 2-1）。

また、本研究の対象者とは別に一般成人男性 20 名について再現性を検証するため 1 週間以内に 2 度の測定を実施した。1 回目と 2 回目における相関係数は、棘上筋が $r = 0.957$ 、棘下筋（が $r = 0.911$ 、三角筋後部が $r = 0.897$ であり、高い再現性が得られた。

さらに、屍体 1 体（左右両側）を用いて本研究で採用した方法の妥当性について調査した。調査にあたっては、生体の場合と同様に測定位置を決定し、超音波測定装置を用いて画像を撮影し、計測点の確認と筋厚の実測を試みた。その結果、画像計測と実測との筋厚差は、各測定部位において棘上筋では 1.0mm 以下、棘下筋では 1.1mm 以下であった。生体と屍体では筋の状態が異なるものの、両計測法間に顕著な差がないことが確認された。

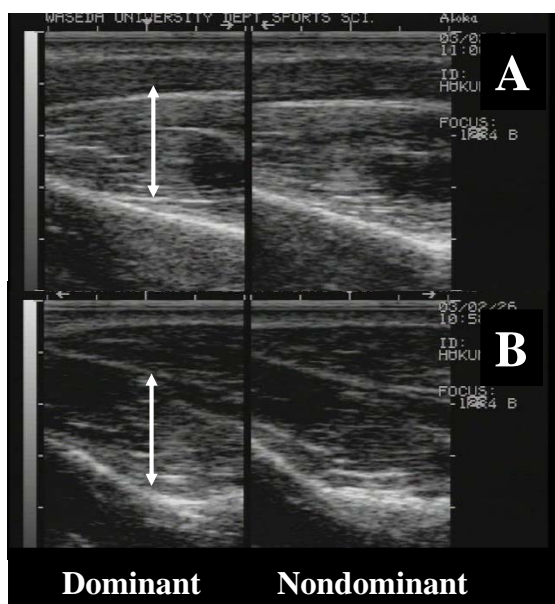


図 2-1 棘上筋 (A)、棘下筋 (B) の超音波画像



図 2-2 肩関節回旋筋力の測定姿勢

2.2.3 筋力測定

肩関節回旋筋力の測定には Hand-held dynamometer (Power Track II, Jtech 社製) を用いた。測定姿勢は仰臥位にて肩関節 90 度外転、回旋中間位、肘関節 90 度屈曲位、前腕中間位とした（図 2-2）。被験者には等尺性最大筋力を 3 秒間発揮するように指示した。Hand-held dynamometer の測定では尺骨茎状突起遠位端にその測定部の中心が位置するように設定し、検者が保持する Hand-held dynamometer に対して被験者が最大努力で押す make test の手法に準じて測定を実施した。測定回数は 2 回とし、その平均値を測定値として採用した。また 1 回目

と 2 回目の値が 10%以上異なる場合には 3 回目の測定を行い、近似した 2 つの値の平均値を測定値とした。全ての測定は同一検者が行なった。また、測定された筋力値は肘関節中心から測定時の Hand-held dynamometer の接触部位までの距離を乗じてトルクに換算し、体重による基準化を行った。本研究に用いた Hand-held dynamometer による内外旋筋力の測定法に関する妥当性と再現性は確認されている (Sullivan, 1988)。

2.2.4 関節可動域測定

関節可動域の測定にはアーム式角度計を用いた。測定姿勢は仰臥位、肩関節外転 90 度・回旋中間位、前腕中間位とし、肘部と前腕がベッドの外側に出るように位置を決定した。角度計の支点は肘頭上に合わせ、基本軸は肘頭を通る床への垂直線、移動軸を尺骨として内旋可動域、外旋可動域ともに肩甲骨の動きが生じない範囲での受動的可動域を測定した。関節可動域の測定はいずれも同一検者が行った。

2.2.5 統計処理

各測定値は平均値±標準偏差で表した。投球側と非投球側の比較には対応のある t 検定を用いた。投球側における測定値の年齢群ごと比較には一元配置の分散分析を行い、有意性が認められたときには Scheffe 法による多重比較を行った。いずれも危険率は 5%未満とした。

2.3 結果

2.3.1 回旋腱板筋の筋厚

年齢別にみた棘上筋、棘下筋における筋厚の値を図 2-3 に示した。投球側 (DOM) と非投球側 (NDOM) の比較では、棘下筋は 17~19 歳群において DOM が NDOM に対して有意に高い値を示したが ($p < 0.05-0.01$)、その他の年齢群では両側間に差は見られなかった。また、棘上筋では両側間の差はいずれの年齢群においても見られなかった。

年齢別の比較では、棘上筋では年齢間に差が見られなかったが、棘下筋では 18~21 歳群が 12 歳、13 歳群に対して有意に高い値を示し、さらに 21 歳群では 14~16 歳群に対しても有意に高い値を示した。 ($p < 0.05$)。

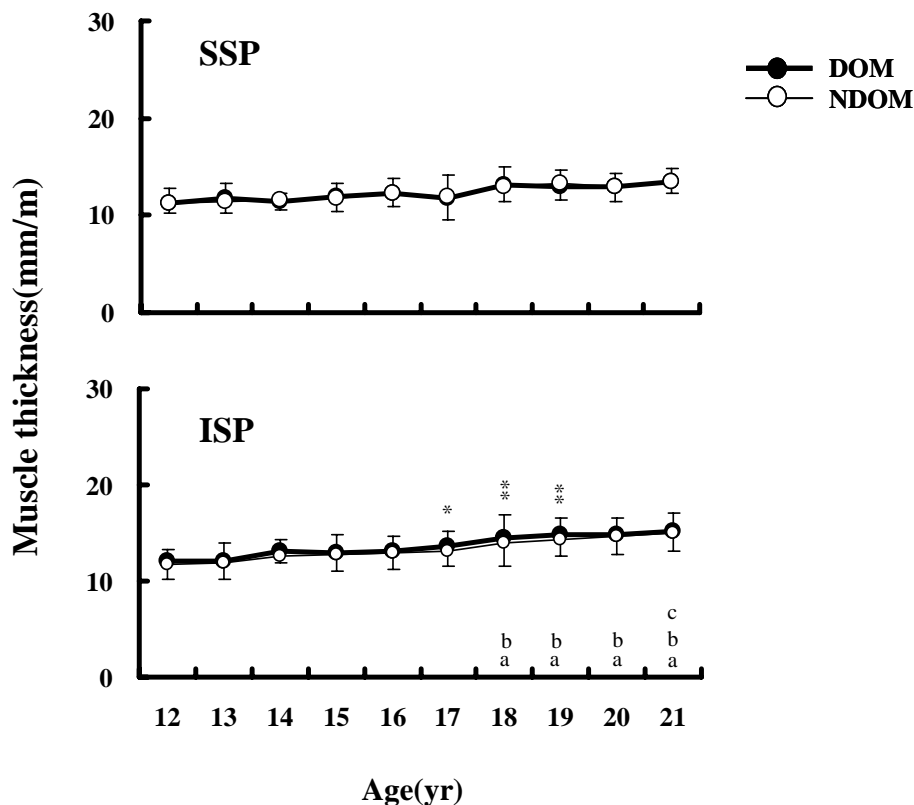


図 2-3. 棘上筋と棘下筋の筋厚

SSP:supraspinatus, ISP:infraspinatus, DOM:dominant side, NDOM:nondominant side

*:p<0.05,**:p<0.01.Significant difference from nondominant side.

a : p<0.05. Significant difference from 12 years groups in dominant side.

b : p<0.05. Significant difference from 13 years groups in dominant side.

c : p<0.05. Significant difference from 14~16 years groups in dominant side.

2.3.2 肩関節回旋筋力

年齢群別にみた肩関節外旋筋力、内旋筋力、外旋／内旋筋力比率を図 2-4 に示した。

投球側と非投球側の比較において、外旋筋力では 13 歳群、18~21 歳群において NDOM が DOM に対して有意に高い値を示し (p<0.05-0.001) たが、16~18 歳における内旋筋力、19~21 歳群における ER/IR 比率では NDOM が DOM に対して有意に高い値を示した (p<0.05)。

また、年齢別の比較において、外旋筋力では 14~20 歳群が 12 歳群ならびに 13 歳群に対して有意に高い値を示し (p<0.05)、21 歳群は 14~19 歳群に対して有意に低い値を示した (p<0.05)。内旋筋力では 13~21 歳群が 12 歳群に対して、14~21 歳群が 13 歳群に対して有意に高

い値を示し ($p < 0.05$)、21 歳群では 14~20 歳群に対して有意に低い値を示した ($p < 0.05$)。また、外旋/内旋筋力比率ではいずれの年齢群間にも差は見られなかった。

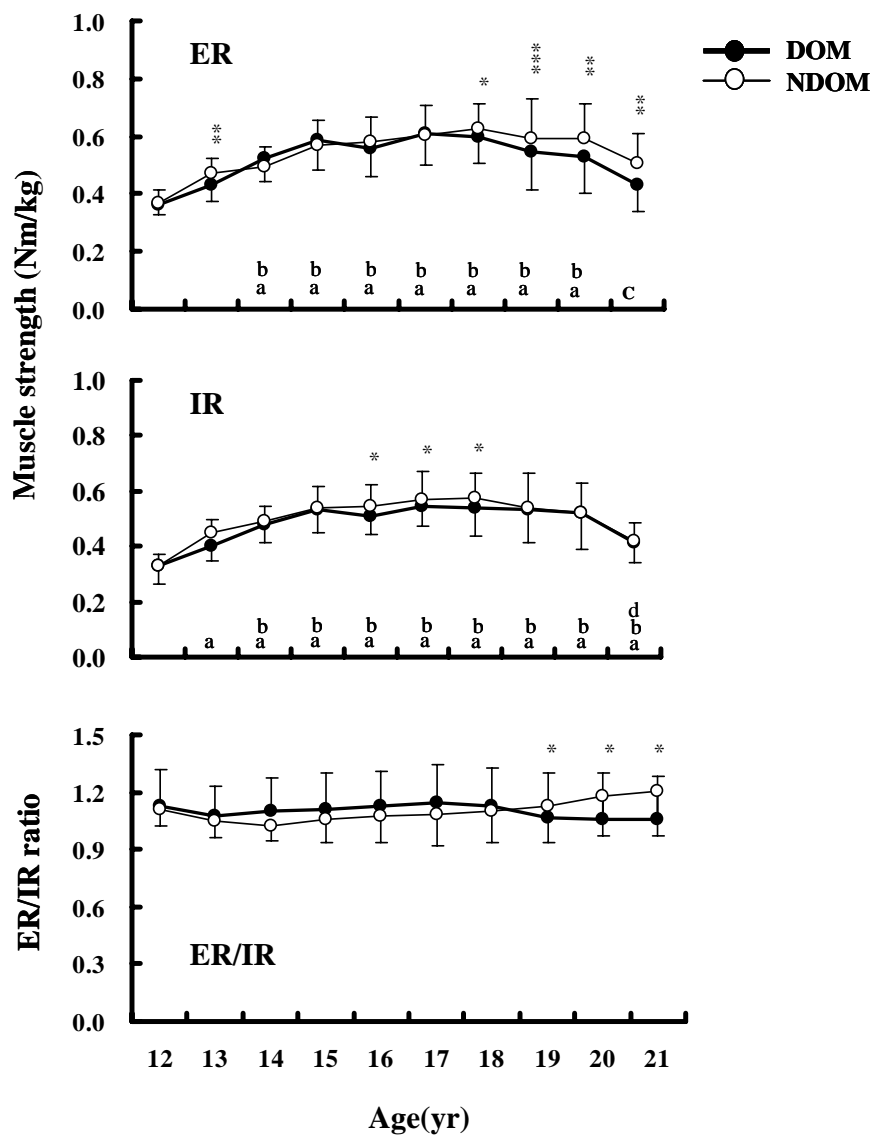


図 2-4. 肩関節外旋、内旋トルクと外旋/内旋筋力比

ER : external rotation, IR:internal rotation,DOM:dominant side,NDOM:nondominant side.

*: $p < 0.05$,**: $p < 0.01$,***: $p < 0.001$.Significant difference from nondominant side.

a: $p < 0.05$. Significant difference from 12 years groups in dominant side.

b: $p < 0.05$. Significant difference from 13 years groups in dominant side.

c: $p < 0.05$. Significant difference from 14~19years groups in dominant side.

d: $p < 0.05$. Significant difference from 14~20 years groups in dominant side.

2.3.3 肩関節回旋可動域

年齢別にみた肩関節外旋可動域、内旋可動域、全回旋可動域の値を図 2-5 に示した。

外旋可動域はいずれの年齢群においても DOM が NDOM に対して有意に高い値を示し、内旋可動域では NDOM が DOM に対して有意に高い値を示した ($p < 0.05-0.001$)。内旋可動域と外旋可動域を合わせた全回旋可動域は 15、16 歳群では NDOM が DOM より高い値を示したが ($p < 0.05-0.01$)、その他の年齢群では両側間に差は示されなかった。

投球側における回旋可動域の年齢別の比較では、外旋可動域は 16~21 歳群では 12 歳群、13 歳群に対して、16~18 歳群と 21 歳群では 14 歳群に対して、16 歳群では 15 歳群に対して有意に低値を示した ($p < 0.05$)。

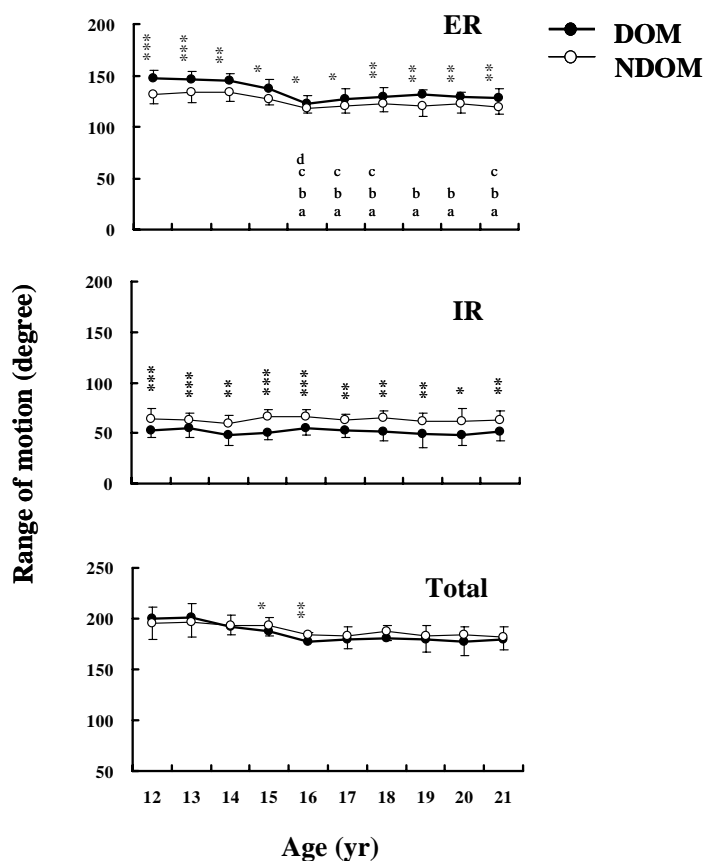


図 2-5. 肩関節可動域

ER : External rotation ,IR:Internal rotation.,DOM:dominant side, NDOM:nondominant side

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$.Significant difference from nondominant side.

a: $p < 0.05$. Significant difference from 12 years groups in dominant side.

b: $p < 0.05$. Significant difference from 13 years groups in dominant side.

c: $p < 0.05$. Significant difference from 14 years groups in dominant side.

d: $p < 0.05$. Significant difference from 15 years groups in dominant side.

2.4 考察

2.4.1 回旋腱板筋筋厚

棘上筋と棘下筋は肩甲上神経の支配を受け肩関節の外転、外旋作用を持つとともに肩関節の動的安定性に貢献している。しかし、高頻度でオーバーヘッド動作を繰り返す野球、テニス、バレーボールなどの選手には肩甲上神経の障害による棘上筋や棘下筋の筋萎縮が生じやすい。肩甲上神経の障害では絞扼部位が肩甲切痕部では棘上筋、棘下筋両方の萎縮が生じ、肩甲棘基部外側縁では棘下筋単独麻痺が生じるとされている (Bryan, 1989; Ringel, 1990)。鞆田ら (1972) は 220 名の大学生野球選手の 32.4% に棘下筋萎縮を認め、棘下筋に顕著な萎縮が見られる者ほど棘上筋にも萎縮が目立ち、棘上筋と棘下筋の筋萎縮の程度は平行していることを報告しており、野球選手の棘上筋は棘下筋とともに投球動作の反復に伴う筋萎縮の生じやすい筋であると考えられている。しかし、この傾向が競技歴の長期化と関連するのかどうかは明らかではない。

MRI や超音波法を用いた研究から棘上筋の筋腹における筋厚ではプロ野球投手 (投球側 25.4mm、非投球側 26.6mm)、大学生選手 (投球側 26.4 mm、非投球側 25.9mm) とともに両側間の差は見られないことが報告されている (長谷川, 2002; Miniaci, 2002)。本研究においても棘上筋の筋厚は 12 歳から 21 歳までのいずれの群においても両側間に差は見られないことから、競技歴の長期化は棘上筋萎縮に必然的に結びつくものではないことが示唆された。

棘下筋の筋厚について著者ら (長谷川, 2002, 2003) は本研究と同様の測定部位 (肩甲棘長の 50% 部位) では肩関節障害を持たない大学生野球選手の場合、投球側が有意に高い値を示すことを報告した。しかし、本研究では 17~19 歳群では投球側が高い値を示したのに対して、20 歳群、21 歳群では同様の結果を得ることはできなかった (図 2-3)。この原因としては先行研究ではメディカルチェックによるスクリーニングを行い、障害を持たない選手に限定したのに対して、本研究では日常の練習を行なうことのできる選手全てを対象としたことが影響しているものと考えられる。山田ら (1996) は Impingement test 陽性者や Loosening test 陽性者など肩関節に障害のある選手では投球側の棘下筋の筋厚は非投球側よりも低いことを報告している。また鞆田ら (1972) は棘下筋萎縮が競技歴 6 年以上の選手に多く見られ、競技歴の長さに関連するとしている。本研究においても 18 歳以上の群において投球側の外旋筋力低下傾向が見られることなどから、競技歴の長期化に伴い被験者の中に慢性的な肩関節の障害を持つものが多く含まれる可能性が考えられる。

本研究における棘上筋、棘下筋の筋厚は 18 歳以降では各群間に有意な差が見られないことから、18 歳頃に成人と同水準に達するものと考えられる。また、競技歴が長くなっても投球側に

は非投球側を下回るような筋萎縮の傾向は見られないことが示唆された。

2.4.2 肩関節回旋筋力

野球選手の肩関節回旋筋力については高校生、大学生、プロ等の選手を対象とした多数の報告が行われている。これらの研究において外旋筋力や外旋／内旋筋力比については両側が同等とするものから投球側が弱いとするものまで見られるが (Alderink, 1986 ; Wilk, 1993 ; Magnusson, 1994)、対象者の年齢の違いによる顕著な傾向を報告した研究はみられない。

本研究では外旋筋力は13歳群を除く12～17歳群では両側間における差は見られなかったが、18～21歳群ではDOMがNDOMに対して有意に低い値を示した (図2-4)。本研究において測定に用いた90度外転位では外旋に貢献する筋のpotential momentの大きさは棘下筋、小円筋、棘上筋の順に高いことから (Kuechle, 2000)、外旋筋力は主に後部回旋腱板筋の機能を示すものと考えることができる。投球動作のフォロースルー相初期 (減速相) では肩関節後部には体重の約90%の牽引力が掛かり (Fleisig, 1995)、筋電図学的研究からも棘上筋や棘下筋、小円筋には高い筋活動が示されると報告されている (Jobe, 1983 ; DiGiovine, 1992)。このため、外旋筋群は遠心性収縮による微細な損傷を受けやすく、肩関節障害を持ち保存療法や外科的治療を要する選手では投球側の外旋筋力や外転筋力が非投球側に対して低下することも報告されている (杉山, 1998; Magnusson, 1994)。

本研究の年齢が高い群においてDOMの筋力低下が示された理由としては、本研究では医学的な検査による被験者の選定は行っておらず、日常的な練習を行うことができる選手の全てを対象としたため、競技続行に支障をきたさない程度の慢性化した肩関節障害を含む者が多く含まれていた可能性や、表2-1に示すように18歳以上の群では投手の人数の割合が高くなっていることによる影響が考えられる。

肩関節内旋筋力については肩関節に障害を持たない選手を対象とした研究では、投球側が強い (Brown, 1988; Hinton, 1988; Ellenbecker, 1997) か同等 (Wilk, 1993; Magnusson, 1994; Sirota, 1997 ; Newsham, 1998 ; Donatelli, 2000) とされており、この傾向は対象が高校生からプロまでの報告で一致している。しかし、本研究においては多くの年齢群では両側間に差は見られなかったが、16～18歳群においては投球側が非投球側よりも有意に低い値を示した (図2-4)。この年齢群だけがこのような傾向を示した理由については明らかではない。しかし、測定は比較的疲労の影響の少ないプレシーズンに練習開始前に実施したものであるが、前日の練習内容までコントロールすることができなかった。100球程度の投球を行った後には疲労による内旋筋力の

低下が見られ、その影響は 24 時間後でも低下が続くとされていることから (杉山, 1998 ; Yanagisawa, 2003)、疲労による筋力低下の影響が出た可能性も考えられる。しかし、投球側の内旋筋力低下傾向はその後の 19~21 歳群には見られないことから、野球を継続することにより進行するような変化ではないものと考えられる。

外旋/内旋筋力比率については高校生やプロにおいて投球側が低値を示すとした報告もおおよそ半数見られる (Cook, 1987 ; Hinton, 1988 ; Wilk, 1993 ; Mikesky, 1995 ; Ellenbecker, 1997)。本研究においても 12~18 歳群では両側間に差が見られないが、19 歳以上の群では投球側の比率が非投球側に対して低値を示す傾向が見られた (図 2-4)。該当する年齢群の内旋筋力には両側間に差が見られないことから、同比率の低下は主として外旋筋力低下によるものと考えられる。

本研究において外旋筋力、内旋筋力はいずれも 18 歳でピークに達し、その後は低下傾向を示した (図 2-4)。特に、年齢が高くなり競技歴が長くなるに従い外旋筋力の低下が顕著になっていることから、後部回旋腱板筋の機能的低下については競技歴の長期化と関連がある可能性が示唆された。

2.4.3 関節可動域

野球選手の投球側が非投球側と異なる関節可動域を持つことは古くから知られている (King, 1969)。野球選手の肩関節可動域に関する研究は多く行われているが、そのほとんどは投球側における内旋可動域の減少と外旋可動域の増加、全可動域には差がみられないことを示している (Bigliani, 1997 ; Brown, 1988 ; Donatelli, 2000 ; Baltachi, 2001 ; Crockett, 2002 ; Ellenbecker, 2002 ; Osbahr, 2002 ; Reagan, 2002)。このような野球選手の関節可動域の非対称性が生じる原因としては軟部組織の適応や上腕骨の後捻 (retroversion) の影響が考えられる (Crockett, 2002 ; Osbahr, 2002 ; Reagan, 2002)。

前者は投球動作中に受ける強い外旋ストレスにより肩甲上腕関節前部の関節包や筋など軟部組織が影響を受けるというものである。Yanagisawa ら (2003) は大学生投手を対象に 98 球の投球を行った後では外旋可動域が増大し、24 時間後においてもその増大が続くことから、投球による前方関節包や内旋筋群の伸張の影響を指摘している。後者については上腕骨頭軸と前額面がなす角度 (後捻角) は一般的には約 30 度とされているが (Kapandji, 1986 ; Kronberg, 1990)、野球選手の投球側では 33.2~40.0 度を示し (Crockett, 2002 ; Osbahr, 2002 ; Reagan, 2002)、非投球側や一般成人の利き腕と比較しても有意に大きいことから、骨の形状変化により関節可動

域が変化するというものである。さらに、野球選手の上腕骨後捻角が肩関節の外旋可動域や投球側と非投球側の外旋、内旋可動域の差と有意な相関を示すこと (Osahr, 2002 ; Reagan, 2002) や、全回旋可動域では両側間に差が見られないこと (Baltachi, 2001 ; Crockett, 2002 ; Ellenbecker, 2002 ; Reagan, 2002) などから、Crockett ら (2002) は野球選手に共通して見られる外旋可動域増加、内旋可動域低下は軟部組織の変化よりも上腕骨後捻の影響が強いとしている。

投球側の外旋可動域についてはプロ野球選手が 103~141.0 度の範囲、大学生選手が 116.3~131.5 度の範囲と報告されており (Bigliani, 1997 ; Brown, 1988 ; Donatelli, 2000 ; Baltachi, 2001 ; Crockett, 2002 ; Ellenbecker, 2002 ; Osahr, 2002 ; Reagan, 2002)、本研究の大学生選手のデータもこれらの範囲内であることから、成人選手では競技レベルにより顕著な差は見られないものと考えられる。

本研究における年齢ごとの比較では投球側の外旋可動域は 16 歳を境にそれ以下の年齢群に対する低下が見られた。一般に上腕骨後捻角は生下時では約 14 度であり (Ito, 1995)、それ以降成長するにしたがい徐々に大きくなり、成人では約 30 度になるとされている。本研究に見られる外旋可動域低下は成長期に見られる上腕骨の後捻角増加とは逆の傾向を示すものであり、上腕骨の形状だけで説明することはできず、筋や靭帯など軟部組織の影響を受けているものと考えられる。

関節可動域については、成長に伴い両側ともに可動域低下傾向が見られるが、非投球側と比較したときの投球側の外旋可動域増加、内旋可動域減少という野球選手特有の傾向は全ての年齢で維持されていることから、肩関節可動域の特徴は競技歴の短い 12 歳時に既に形成されていることが示唆された。

2.5 まとめ

本研究では競技歴の長期化に伴ってみられる肩関節の機能的、形態的特性を明らかにすることを目的とし、12 歳から 21 歳までの野球選手を対象に肩関節の回旋筋力、後部回旋腱板筋の筋厚、回旋可動域の測定を行った。

その結果、野球選手の肩関節に見られる回旋筋力、回旋腱板筋の筋厚、回旋可動域の特徴について以下のような結論を得た。

- 1) 棘上筋の筋厚はいずれの年齢においても両側間に差は見られず、棘下筋の筋厚も 17~19 歳群では投球側の方が高い値を示すが、その前後では両側間に差は見られなかった。
- 2) 外旋筋力は 18 歳から 21 歳の群では投球側が非投球側に対して低い値を示し、19 歳以上の

群では外旋/内旋筋力比率にも低下が見られた。

3) 関節可動域では、いずれの年齢においても外旋可動域は投球側、内旋可動域は非投球側において高値を示し、全回旋可動域は15、16歳群以外では両側間に差が見られなかった。

以上のことから、野球選手の投球側では年齢の増加に関わらず棘上筋や棘下筋の筋厚は非投球側と同水準にあるが、18歳以上の群では外旋筋力の低下やそれに伴う外旋/内旋筋力比率の低下傾向が見られることから、筋の筋力発揮能力が低下した者が多く含まれている可能性が示唆された。また、関節可動域については対象とした全ての年齢群において成人野球選手の投球側にみられる外旋可動域増加、内旋可動域減少という特徴が12歳時に既に生じていることが示唆された。

第3章 超音波断層法を用いた後部回旋腱板筋の筋厚評価

3.1 肩関節障害を持たない野球選手の後部回旋腱板筋の形態的・機能的特性

3.1.1 はじめに

回旋腱板筋の形態については屍体を用いた研究が多く見られるが、生体、特にスポーツ選手を対象とした研究は少ない。その原因としてはスポーツ動作中における役割に関心が集まるようになったのが比較的新しいことが考えられる。しかし、臨床的には野球選手には高頻度で棘下筋の筋萎縮が見られることは古くから知られており、視診に基づく評価から大学およびプロの野球選手を対象に林原（1958）は46.5%、鞆田（1972）は32.4%の選手に棘下筋萎縮が見られたことを報告している。また、他のオーバーヘッド型スポーツ（槍投げ、ハンドボール、テニス、バレーボール）の選手と比較しても野球選手の棘下筋萎縮率が高いことから、その機序に関する研究も行われてきた（五味淵, 1966；鞆田, 1972；小久保, 1972；Bryan, 1989；Ringel, 1990）。

超音波法を用いて野球選手の棘下筋萎縮を評価した研究が森沢（1987）、山田（1996）により行われている。しかし、森沢（1987）は棘下筋萎縮を画像で評価しているものの筋厚に関する定量的なデータを示しておらず、山田（1996）はインピンジメントテストや不安定性テストが陽性の選手では棘下筋の筋厚が対照群に対して低下することを報告しているが、肩関節に障害を持たない選手の両肩の比較は行っていない。既に肩関節回旋筋力に関する研究では競技レベル別に肩関節障害を持たない選手の標準値が示されており、機能評価に役立っていることから、形態面においても標準値を示すことは評価を行う上で重要と考えられる。

そこで、本研究では超音波法を用いた筋厚測定による形態的分析と等尺性筋力の測定から、肩関節に障害を持たない野球選手の投球側における後部回旋腱板筋（特に棘上筋と棘下筋）の特性を明らかにすることを目的とした。

3.1.2 方法

3.1.2.1 被験者

被験者は中学校、高校を通じ継続的に野球を行い、6年以上の競技歴（平均 10.4 ± 1.7 年）を持つ18歳から24歳の男子大学生野球部員37名（投手12名、野手25名）である。被験者は、全員が測定前に行われたメディカルチェックにおいて、肩関節に対するストレステスト（インピンジメントテスト、ヤーガソンテスト）、関節不安定性テスト（肩関節前方、後方、下方不安定性）の結果が陽性を示さなかった者である。測定はいずれもオフシーズン期間に実施した。

また、片腕のみを頻繁に用いるようなスポーツ種目を行っていない同年齢の男子大学生 22 名を対照群とした。野球選手群、対照群ともに、利き腕側と投球側は全員が一致していた。全ての被験者には事前に測定内容を十分に説明し、実験参加の承諾を得た。

野球選手群、対照群ともに身長、体重、前腕長、上腕長を測定した。なお、前腕長は橈骨頭から橈骨茎状突起まで、上腕長は肩峰から上腕骨外側上顆までとし、マルチンの計測器を用いて被験者の右側を計測した。なお、これらの計測値において、野球選手群は年齢を除く身長、体重、上腕長、前腕長の項目において対照群よりも有意に高い値を示した（表 3-1-1）。

表 3-1-1. 被験者の身体特性.

Variables		Baseball (n=37)	Control (n=22)
Age	(yr)	20.4±1.5	20.8±1.2
Height	(cm)	176.2±5.8***	172.1±5.1
Weight	(kg)	74.6±6.6***	66.7±8.5
Forearm length	(cm)	25.9±1.4***	24.4±1.4
Upper arm length	(cm)	32.5±1.7***	30.5±3.7

Mean±SD, Significantly different from controls. ***:P<0.001

3.1.2.2 筋厚測定

筋厚は 5MHz の探触子を使用して、B モード超音波検査装置 (SSD-500, Aloka 社製) により測定した。被験者は椅子に座らせて、上肢を下垂させ、肩関節回旋中間位をとらせた。棘上筋と棘下筋の測定では、肩峰角から肩甲骨内側縁を結ぶ直線の 30mm 上方と下方にラインを設定し、それぞれの筋について、このラインに沿って撮影を行った。さらに、同ライン上において、肩甲棘長 (肩峰角から肩甲骨内側縁までの直線距離) を基準として、肩甲棘内側 1/4 (25% 部位)、外側 1/4 (75% 部位) のポイントに体表にペンで印をつけ、この範囲を分析の対象とした (図 3-1-1)。得られた映像はプリンター (ECHO COPIER SSZ-307, Aloka 社製) により記録し、画像から肩甲棘長の 25% 部位から 75% 部位までの計測点を決定し、5% 刻みにノギスを用いて計測を行った。

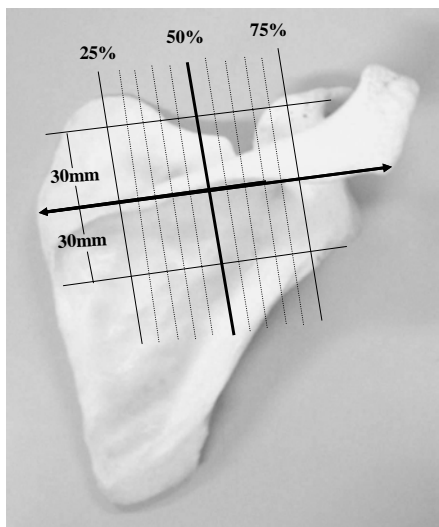


図 3-1-1.
超音波法による筋厚測定部位（肩甲骨後面）

棘上筋と棘下筋の筋厚計測では、皮下脂肪組織と筋組織の境界線から肩甲骨面までを筋厚として測定し、すべて同一験者が計測を行い2回の計測値の平均値を測定値とした（図3-1-2）。

回旋腱板筋における超音波法の妥当性と信頼性は確認されているが(Jull-Kristensen, 2000)、本研究では20名については再現性を検証するため1週間以内に再度測定を実施した。1回目と2回目における相関係数と測定値間の差は、棘上筋（50%部位）が $r = 0.957$ 、 $0.4 \pm 0.6\text{mm}$ 、棘下筋（50%部位）が $r = 0.911$ 、 $0.5 \pm 1.0\text{mm}$ であり、高い再現性が得られた。また、屍体1体（左右両側）を用いて本研究で採用した方法の妥当性について調査した。調査にあたっては、生体の場合と同様に測定位置を決定し、超音波測定装置を用いて画像を撮影した。その後、表層から深層へと順次解剖を進め、計測点の確認と筋厚の実測を試みた。その結果、画像計測と実測との筋厚差は、50%部位において棘上筋では 1.0mm 以下、棘下筋では 1.1mm 以下であった。生体と屍体では筋の状態が異なるものの、両計測法間に顕著な差がないことが確認された。さらに、従来、小円筋との区別が困難であるとされていた棘下筋外側部の計測では、外側75%部位（最外側計測部位）は棘下筋外側縁から約 15mm 内側であった。したがって、25%～75%の計測部位には小円筋は含まれず、全部位が棘下筋の筋厚であることが明確にされた（図3-1-3）。

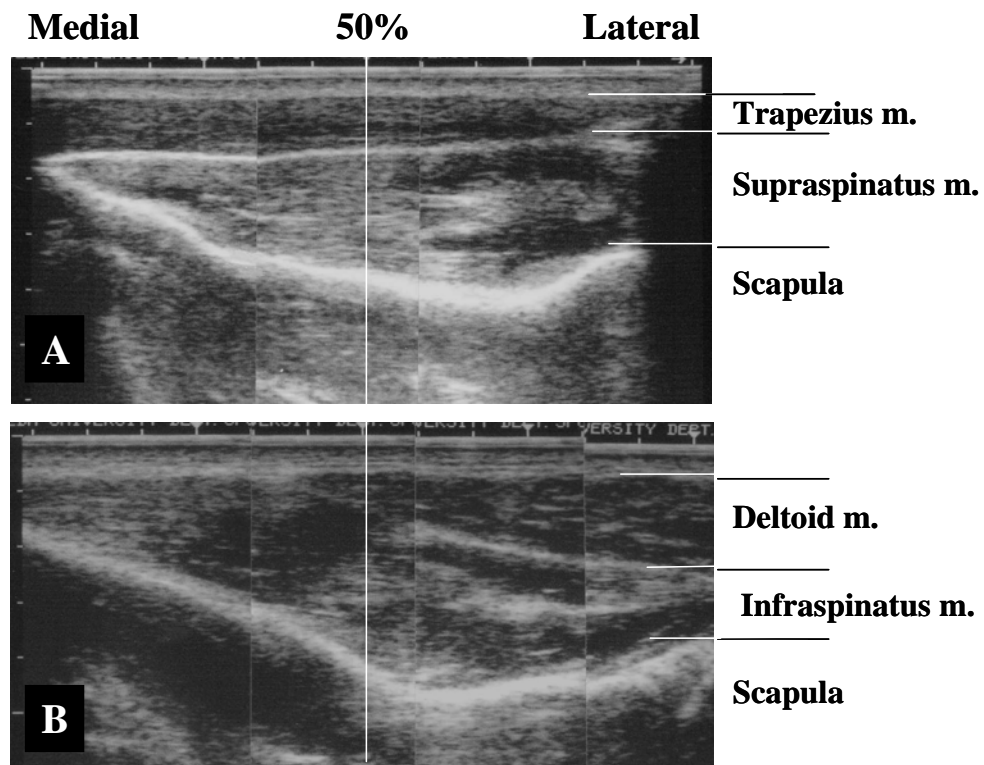


図3-1-2 棘上筋 (A) と棘下筋 (B) の超音波画像

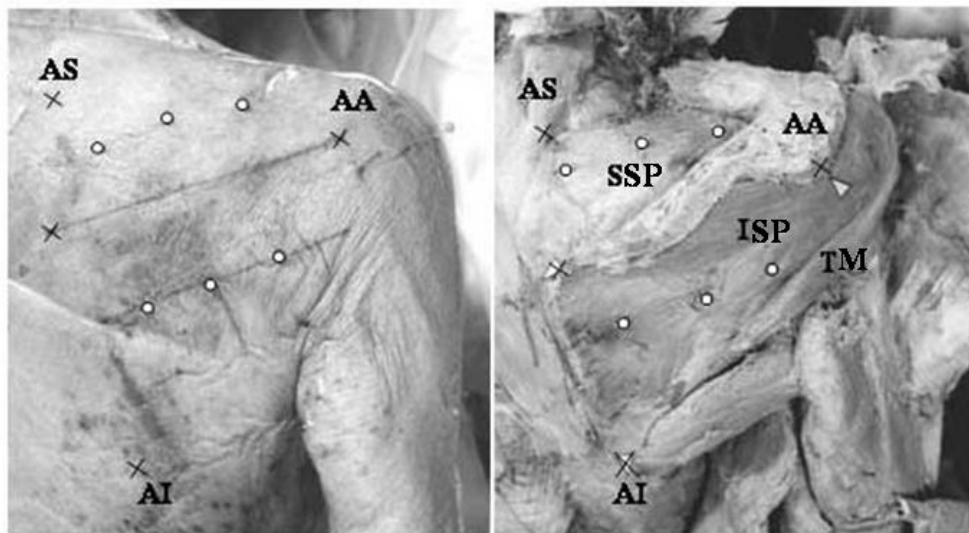


図3-1-3 屍体における回旋腱板筋の測定ポイント (右肩、背面)

Left: before dissection, Right: after dissection

SSP: supraspinatus, ISP: infraspinatus, TM: teres minor

AS: angulus superior, AI: angulus inferior, AA: angulus acromialis

3.1.2.3 筋力測定

肩関節の筋力測定では Hand-held dynamometer (Power Track II, Jtech Medical Industry) を用いて等尺性筋力を測定した。肩関節の筋力評価における Hand-held dynamometer の妥当性と信頼性はこれまでに先行研究で証明されている (Magnusson, 1990 ; Sullivan, 1998)。

肩関節の外転筋力に関する研究では、三角筋の関与を少なくし、棘上筋の機能をより反映させるため、肩甲骨面での肩関節最大内旋位における挙上筋力を用いたものが多く見られる (Jobe, 1982 ; Magnusson, 1994 ; 鳥塚, 1998 ; Donatelli, 2000)。本研究においても、この方法に基づき、棘上筋機能の測定では被験者を椅子に座らせ、肩甲骨面において肩関節外転 45 度、内旋位における挙上筋力を測定し、その値を外転筋力 (Abduction strength) とした (図 3-1-4A)。また、棘下筋機能の測定では、被験者を椅子に座らせ、上肢を下垂させ、肩関節回旋中間位、肘関節 90 度屈曲位、前腕中間位における外旋筋力 (External rotation strength) を測定した (図 3-1-4B)。いずれの測定においても、Hand-held dynamometer が前腕部、尺骨茎状突起近位縁に位置するように置いて測定した。被験者にはウォーミングアップを行った後、測定者により固定された Hand-held dynamometer に対し徐々に力を出し、3 秒間の最大努力での筋力発揮を行うように指示を与えた。全ての測定は経験を積んだ同一験者が実施し、2 回の試行の平均値を測定値とした。また、併せて測定により得られた外転筋力、外旋筋力にそれぞれ前腕長と上腕長の和、前腕長を掛け合わせることでトルクを求め、さらに体重で補正した体重あたりのトルクを算出した。

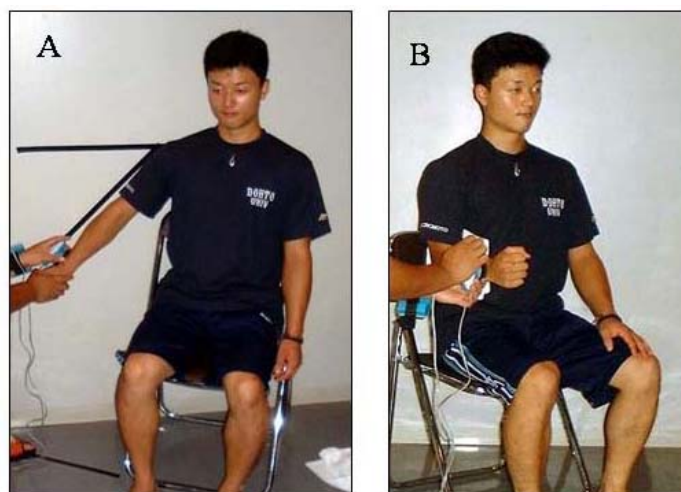


図 3-1-4 外転筋力 (A) と外旋筋力 (B) の徒手筋力テスト姿勢

3.1.2.4 統計処理

全てのデータは平均値±標準偏差で示した。群内における投球側と非投球側の比較には対応のある t-test を用いた。また、群間の比較には一元配置の分散分析を用い、有意性が認められたときには多重比較に Student t-test を用いて対照群との比較を行った。いずれも有意水準は危険率 5%未満とした。

3.1.3 結果

3.1.3.1 筋厚

全測定範囲における棘上筋と棘下筋の筋厚変化を図 3-1-5、図 3-1-6 に示した。各計測点における筋厚は棘上筋では 25%部位が最も低いが、外側に向かって順次増加し、65%から 75%部位が最も高い値を示した。この傾向は野球選手群、対照群ともに同様であった。しかし、棘下筋では、野球選手群、対照群ともに 55%から 60%部位の値が最も高く、それから内側や外側の部位では順次低下していた。

棘上筋の筋厚では、野球選手群の投球側と非投球側の間に、いずれの部位においても差は見られなかった。しかし、対照群では 70%と 75%部位において投球側が非投球側に対し有意に高い値を示した ($p < 0.05$)。棘下筋の筋厚は、野球選手群では 50%から 60%部位の範囲で、対照群では 55%から 75%部位の範囲で投球側が非投球側に対し有意に高い値を示した ($p < 0.05-0.01$)。

棘上筋の最大筋厚 (表 3-1-2) は、野球選手群では投球側において $26.4 \pm 2.7\text{mm}$ 、非投球側において $25.9 \pm 2.5\text{mm}$ と両側間に差は見られなかったのに対して、対照群では投球側が $24.9 \pm 2.7\text{mm}$ 、非投球側が $24.2 \pm 2.5\text{mm}$ と投球側が有意に高い値を示した ($p < 0.05$)。一方、棘下筋では、野球選手群で投球側が $27.7 \pm 2.5\text{mm}$ 、非投球側が $26.5 \pm 2.6\text{mm}$ 、対照群では投球側が $25.5 \pm 4.9\text{mm}$ 、非投球側が $24.2 \pm 4.8\text{mm}$ であり、両群ともに投球側が非投球側に対し、有意に高い値を示した ($p < 0.01$)。

対照群との比較では、棘上筋の筋厚最大値は投球側と非投球側において、いずれも野球選手群が有意に高い値を示した。しかし、身長による補正を加えた筋厚では、投球側 (野球選手群 $12.8 \pm 1.2\text{mm/m}$ 、対照群 $12.3 \pm 1.3\text{mm/m}$)、非投球側 (野球選手群 $12.5 \pm 1.2\text{mm/m}$ 、対照群 $12.0 \pm 1.1\text{mm/m}$) とともに両群間に差は見られなかった。

同様に、棘下筋の筋厚最大値は投球側、非投球側ともに野球選手群が有意に高い値を示した ($p < 0.05-0.01$)。しかし、身長による補正を加えた筋厚では、投球側 (野球選手群 $13.4 \pm 1.3\text{mm/m}$ 、対照群 $12.6 \pm 2.5\text{mm/m}$)、非投球側 (野球選手群 $12.8 \pm 1.4\text{mm/m}$ 、対照群 $12.0 \pm$

2.4mm/m) とともに両群間に差は見られなかった。

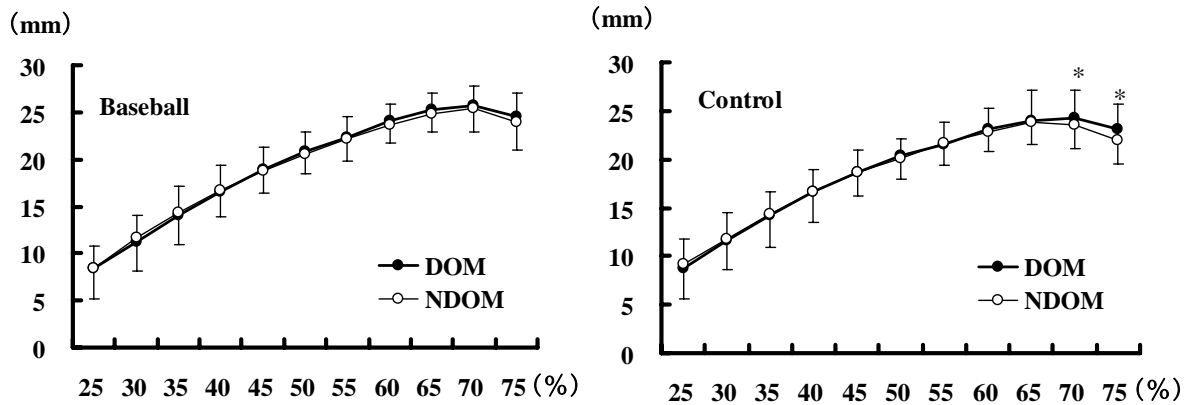


図 3-1-5 棘上筋の筋厚

DOM : dominant side, NDOM : nondominant side.

*: $p < 0.05$. Significant difference from nondominant side.

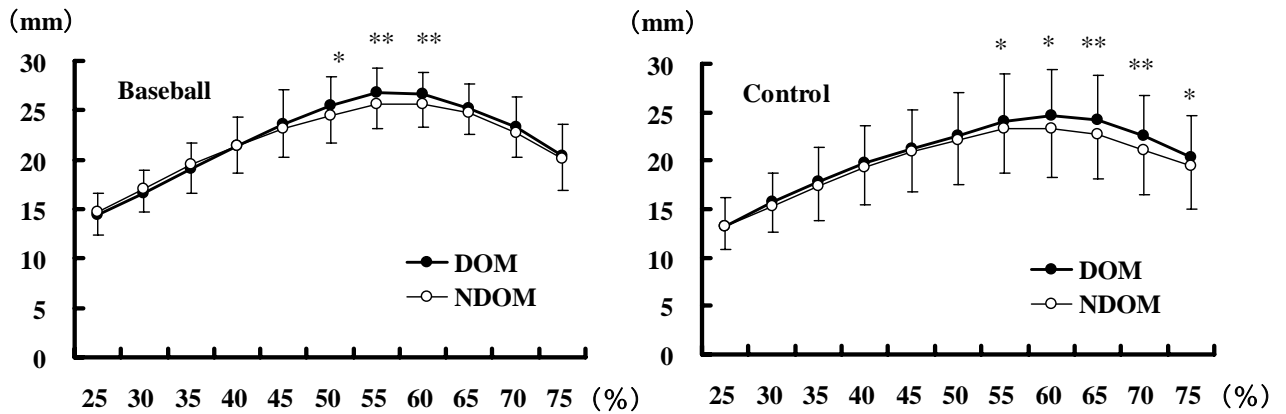


図 3-1-6 棘下筋の筋厚

DOM : dominant side, NDOM : nondominant side.

*: $p < 0.05$. Significant difference from nondominant side.

表 3-1-2 棘上筋と棘下筋の筋厚

Muscle	Group	Maximum thickness(mm)		Maximum thickness/Height(mm/m)	
		DOM	NDOM	DOM	NDOM
SSP	Baseball	#26.4±2.7	#25.9±2.5	12.8±1.2	12.5±1.2
	Control	*24.9±2.7	24.2±2.5	*12.3±1.3	12.0±1.1
ISP	Baseball	**#27.7±2.5	##26.5±2.6	**13.4±1.3	12.8±1.4
	Control	**25.5±4.9	24.2±4.8	**12.6±2.5	12.0±2.4

Mean±SD. DOM:Dominant side, NDOM:Nondominant side.

SSP:Supraspinatus, ISP:Infraspinatus.

*: p < 0.05, **: p < 0.01, Significantly different from nondominant side.

#: p < 0.05, ##: p < 0.01, Significantly different from control.

3.1.3.2 筋力

外転筋力、外旋筋力の値とそれらをもとに算出されたトルク、体重あたりのトルクを表 3-1-3 に示した。外転トルクは野球選手群が投球側で 48.0±8.6Nm、非投球側で 47.4±8.3Nm であり、対照群がそれぞれ 43.3±8.9Nm、43.8±8.0Nm であり、両群ともに両側間に有意な差は見られなかった。

また、外旋トルクにおいても野球選手群が投球側で 30.9±5.4Nm、非投球側で 31.5±5.6Nm であり、対照群がそれぞれ 26.7±5.1Nm、25.3±5.0Nm であり、外転筋力と同様に、両群ともに両側間に有意な差は見られなかった。

群間の絶対値における比較では、外転トルクは投球側において、野球選手群が対照群に対し高い値を示した (p < 0.05)。しかし、体重による補正後の比較では、投球側 (野球選手群 0.65±0.13Nm·kg⁻¹、対照群 0.65±0.12 Nm·kg⁻¹)、非投球側 (野球選手群 0.64±0.11Nm·kg⁻¹、対照群 0.66±0.12 Nm·kg⁻¹) とともに両群間に有意な差は見られなかった。

同様に、外旋トルクの群間比較においても、絶対値では投球側、非投球側ともに野球選手群が対照群に対し高い値を示したが (p < 0.01-0.001)、体重補正後の比較では投球側 (野球選手群 0.41±0.06 Nm·kg⁻¹、対照群 0.40±0.08 Nm·kg⁻¹)、非投球側 (野球選手群 0.42±0.07 Nm·kg⁻¹、対照群 0.38±0.07 Nm·kg⁻¹) のいずれにも有意な差は見られなかった。

表 3-1-3 肩関節の外転筋力と外旋筋力

Strength	Group	Maximam Strength		Maximam Torque		Maximum Torque/Weight	
		(N)		(Nm)		(Nm · kg ⁻¹)	
		DOM	NDOM	DOM	NDOM	DOM	NDOM
ABD	Baseball	82.2±14.3	81.1±13.5	[#] 48.0±8.6	47.4±8.3	0.65±0.13	0.64±0.11
	Control	78.9±14.8	79.4±10.8	43.3±8.9	43.8±8.0	0.65±0.12	0.66±0.12
ER	Baseball	[#] 119.1±19.1	^{###} 121.1±19.6	[#] 30.9±5.4	^{###} 31.5±5.6	0.41±0.06	0.42±0.07
	Control	108.7±17.3	103.4±18.4	26.7±5.1	25.3±5.0	0.40±0.08	0.38±0.07

Mean±SD. DOM:Dominant side,NDOM:nondominant side.

ABD:Abduction,ER:External rotation. p <0.05,

[#]: p <0.05, ^{##}: p <0.01, ^{###}: p <0.001. Significantly different from controls.

3.1.4 考 察

3.1.4.1 筋 厚

野球選手の棘上筋の筋厚についてはMRIにより測定を行った Miniaci ら(2002)は、筋腹部の筋厚は投球側で 25.4mm、非投球側で 26.6mm という値を報告しており、これは本研究の野球選手群に見られた投球側 26.4mm、非投球側 25.9mm という筋厚最大値と非常に近似した値である。したがって、本研究野球選手の棘上筋筋厚は、野球選手の一般的傾向を示していると考えられる。

投球側と非投球側の比較では、野球選手群では身長補正された棘上筋の筋厚において、両側間の差は見られなかった。しかし、対照群には差が見られ、利腕側が有意に高い値を示した(表 3-1-2)。対照群は投球を含む片側的な運動は行っていないことから、この傾向はスポーツ活動などによる筋肥大とは考えにくい。Katayose ら(2001)は超音波法による棘上筋の断面積の測定から、一般成人では利腕側が高い値を示したことを報告しており、これは本研究対照群の傾向と一致している。このように、本研究の野球選手群は、対照群に対する優位性が見られないだけでなく、対照群に示されるような利腕側の優位性が見られないことから(図 3-1-5)、野球の投球自体が筋肥大をもたらすような運動ではないことが示唆された。

本研究で対象とした棘上筋と棘下筋はともに肩甲上神経の支配を受けているが、オーバーハ

ンド動作を含む競技者に多く報告されている肩甲上神経の障害では絞扼部位が肩甲切痕部では棘上筋・棘下筋両方の麻痺が生じ、肩甲棘基部外側縁では棘下筋単独麻痺が生じるとされている (Bryan, 1989 ; Ringel, 1990)。林原ら (1957) は大学生野球選手の 62.9%、そのうち投手では 70.8%に棘下筋萎縮が見られたことを報告している。また靱田ら (1972) は 220 名の大学生野球選手の 32.4%に棘下筋萎縮を認め、棘下筋に顕著な萎縮が見られる者ほど棘上筋にも萎縮が目立ち、棘上筋と棘下筋の萎縮の程度は平行していることや、筋萎縮が競技歴 6 年以上の選手に見られ、競技歴が長いほど発現頻度も高いことを報告している。

本研究では被験者の競技年数は平均 10.4 ± 1.7 年と比較的長期であるにも関わらず、専門の医師による問診、ストレステスト、不安定性テストの結果、診断時に肩関節に障害がないと判断された選手のみを対象としており、筋萎縮を示すような投球側の非投球側に対する筋厚低下や超音波検査における異常は認められなかった。

山田ら (1996) は、超音波法により肩甲棘下 30mm、肩甲棘長の内側 1/4 の 1 部位での計測を行っているが、その報告の中で、大学生野球選手の筋厚は投球側で 13.1 ± 0.2 mm、非投球側で 13.6 ± 0.2 mm であり、投球側の筋厚低下が見られたとしている。本研究では、同部位における棘下筋の筋厚はそれぞれ 12.2 ± 1.9 mm と 12.5 ± 2.0 mm であったが、両側間に統計上有意な差は見られなかった。さらに本研究では、起始部から停止部に向かい、より広範囲の筋厚を測定することにより、筋全体の筋厚変化を観察することができた。野球選手群では 50%から 65%部位において、対照群では 55%から 75%部位において投球側が非投球側に対し有意に高い値を示した (図 3-1-6)。King ら (1969) は投球の反復に対する形態的適応として、プロ野球投手では投球側の腕から肩甲帯にかけて筋肥大が見られることを報告しており、ボールの加速に貢献する筋群では筋肥大が生じることを示唆している。一方、投球動作中における棘下筋の役割は腕の減速作用と肩関節の安定化であり、フォロースルー相において最大の活動を示すとされている。この際に生じる遠心性収縮がローテーターカフ筋群に及ぼす影響については明らかではないが、トレーニングとして筋に遠心性収縮をもたらす運動を行ったときには、求心性収縮のみのトレーニングの場合と同等か、それ以上の筋断面積の増加がみられることも報告されている。しかしながら、本研究では野球選手群における棘下筋筋厚の投球側優位の範囲は、対照群のものよりも狭く、むしろ利き腕が非利き腕に対して示す優位性が、局所的にしかみられなかったものと考えられる。

このように、本研究で見られた投球側の棘下筋の肥大は、投球動作の繰り返しによるトレーニングの効果なのか、利き腕として高頻度で使用しているためなのかは明らかではないが、肩

関節に障害を持たない選手では、投球側の棘上筋や棘下筋の筋厚は必ずしも非投球側に対して低下するわけではないことが示唆された。

3.1.4.2 筋力

本研究の野球選手群において、絶対値では、投球側と非投球側ともに外転筋力、外旋筋力の両筋力は対照群よりも高い値を示した（表 3-1-3）。しかし、このような本研究野球選手群の外転筋力と外旋筋力の絶対値の高さは、体重あたりの相対値においても、いずれも両群間に差が見られなかったことから、野球選手群は対照群よりも筋量が多いため高い筋力を示すものと推測される。

投球側と非投球側の比較では、本研究の野球選手群は外転筋力の絶対値、相対値のいずれも両側間に差を示さなかった。また、対照群も同様の傾向を示した（表 3-1-3）。このような本研究の傾向は、Donatelli ら（2000）のプロ野球投手を対象とした報告と一致するものである。これに対して、Magnusson ら（1994）はプロ野球投手の測定から、投球側では非投球側に対して外転筋力が低下していることを報告している。これらの不一致は、いずれの研究も筋力測定時に肩の痛みのない被験者を対象としているが、Magnusson ら（1994）の被験者では過去に肩関節障害に対する保存的治療歴を持つ被験者（19%）や外科的治療歴をもつ被験者（26%）が多く含まれていることによるものと考えられる。肩関節障害による外転筋力低下については、インピンジメントサイン陽性群では陰性群に対し有意な筋力低下を示すこと（Leroux, 1994；鳥塚, 1998）や、腱板断裂（棘上筋腱の単独断裂）により外転筋力の 20～30%低下が見られる（佐志, 2000）ことが報告されている。本研究では、こうした影響を受けないよう、測定にあたってはインピンジメントテストを含むストレステストにおいて陰性の者を対象としており、野球選手群の外転筋力は正常値を示すものと考えられる。

肩関節外旋には棘下筋と小円筋が働き、三角筋が補助筋として作用している。前述のように、外旋筋力においても体重あたりの相対値の比較では、本研究の野球選手群、対照群ともに投球側と非投球側の間に差が見られなかった（表 3-1-3）。Magnusson ら（1994）の外旋筋力には両側間に差がないとする結果と一致するものである。また、等尺性筋力と等速性ピークトルクの間には高い相関があるとされており（Kramer, 1996）、等速性筋力測定による研究においても、高校生、大学生、社会人、プロの各野球選手において投球側と非投球側の間で外旋筋力に差が見られないと報告されている（Hinton, 1988；Mikesky, 1997；Newsham, 1998；鈴木, 1997；Ellenbecker, 1997；Sirota, 1997）。これらはいずれも本研究の結果と一致する。

また、野球選手群と対照群の外旋筋力の群間比較において、両側ともに差は見られなかった(表 3-1-3)。Magnusson ら (1994) は、プロ野球投手の外旋筋力が同年齢の対照群に対し低値を示すことを報告しているが、同研究の被験者は肩関節障害の既往をもつ者も含んでいることから、障害が影響していることが考えられる。

本研究では、野球選手群と対照群の両側間において差が見られないことや、相対値において両群の投球側間に差が見られないことから、投球継続によるトレーニング効果として、外転筋力や外旋筋力の向上は見られず、本研究のような肩障害を持たない選手では、両肩の筋力がほぼ同水準にあると言える。これらの結果は、メディカルチェックの標準値作成やリハビリテーションの目標値として、非投球側の値を測定することが重要であることを示唆している。

3.1.4.3.筋厚と筋力の関係

筋の筋力発揮能力については筋の生理学的断面積あたりの筋張力や、筋体積あたりの関節トルクとして固有筋力が算出され、筋のトレーニング効果やスポーツ選手の競技特性に関する報告が行われている (Kawakami, 1995;Fukunaga, 1996;Kanehisa, 1997)。

本研究では筋体積の測定は行っていないため正確な固有筋力を求めることはできないが、筋体積を筋厚と筋長、筋幅の積とすれば、筋厚は筋体積を決定する重要な要因と考えられる。これまでに棘上筋や棘下筋の筋長や筋幅がトレーニングや特定の運動により変化したことを示す報告はみられないことから、本研究では投球側と非投球側の筋長や筋幅が同じであるものと仮定し、計測した 25~75%部位の平均筋厚と関節トルクの比から両側における棘上筋、棘下筋の筋力発揮能力に関する検討を行った。

外転トルク/棘上筋筋厚は投球側が $2.98 \pm 0.62 \text{Nm/mm}$ 、非投球側が $2.94 \pm 0.58 \text{Nm/mm}$ であり両側間に差は見られなかった。外旋トルク/棘下筋筋厚についても投球側が $1.65 \pm 0.29 \text{Nm/mm}$ 、非投球側が $1.71 \pm 0.30 \text{Nm/mm}$ であり両側間の差は見られなかった。

筋厚が筋体積を決定する大きな要因と考えると、本指数において投球側と非投球側に差が示されないことから、肩関節に障害を持たない野球選手では棘上筋や棘下筋の筋量あたりの発揮トルクには両側間で差が見られないものと考えられる。

3.1.5 まとめ

本研究では、投球競技の継続が後部回旋腱板筋の形態や機能に与える影響を明らかにすることを目的とし、大学生野球選手を対象に棘上筋、棘下筋の筋厚、さらにその機能として外転筋

力、外旋筋力の測定を行った。その結果、野球選手の投球側にみられる後部回旋腱板筋の筋厚と筋力の特徴について以下のような結論を得た。

- 1) 棘上筋の筋厚は非投球側との間に差は見られなかったが、棘下筋の筋厚は局所的（50～60% 部位）には非投球側に対し有意に高い値を示した。
- 2) 身長補正後の棘上筋と棘下筋の筋厚は対照群と比較して有意な差は見られなかった。
- 3) 外転筋力、外旋筋力ともに非投球側との間に有意な差は見られなかった。
- 4) 体重補正を加えた外転筋力と外旋筋力は対照群と比較して有意な差は見られなかった。
- 5) 棘上筋、棘下筋の筋厚あたりの筋力にはいずれも差は見られなかった。

以上のことから、肩関節に障害のない大学野球選手では投球側の棘上筋や棘下筋の筋厚が非投球側に対して同等または上回る傾向にあるが、その機能を示す等尺性筋力においては外転筋力、外旋筋力ともに両側に差が見られなかった。このことから投球動作の反復には後部回旋腱板筋の筋力発揮能力を向上させる効果は見られないことが示唆された。

3.2 肩関節障害が後部回旋腱板筋の形態と機能に及ぼす影響

3.2.1 はじめに

野球選手の回旋腱板筋に関する報告は国内では40年以上前から行われているが、当時はプロ野球選手の45.8%、大学野球選手の32.4%に棘下筋萎縮が見られたことが報告されている（林原, 1958; 梶田, 1972）。一方、Cummins (2004) はメジャーリーグ投手では棘下筋萎縮が4.4%にしか見られなかったことを報告しており、これらの報告には大きな隔たりが見られる。しかし、いずれの研究も筋萎縮の判断が視診に基づいたものであり、定量的な評価はなされておらず、筋萎縮の有無を決定する基準は明確ではない。また、肩関節に障害を持たない野球選手の場合、回旋腱板筋の筋のサイズが投球側において優位性を示すのかどうかという点も明らかではない。

回旋腱板筋の機能的評価においては肩関節の不安定性やインピンジメント徴候など肩関節に障害を持つ野球選手の場合、外転筋力の低下や、外旋筋力の内旋筋力に対する相対的な低下が見られることが知られているが（Magnusson, 1994; Timm, 1997）、肩関節に障害を持たない選手の場合にも、投球側の筋力が非投球側を下回るとした報告が見られ（Alderink, 1986; Wilk, 1993）、投球側において外旋・外転筋力は非投球側に対する優位性を持たない可能性が示唆されている。

そこで、本研究では肩関節の外転筋力や回旋筋力の測定とともに、それらの機能に関連する棘上筋、棘下筋、三角筋後部の筋腹全体にわたる筋厚を測定し、肩関節に障害のない選手とインピンジメントテスト陽性選手の筋力と筋厚の特徴を明らかにすることを目的とした。

3.2.2 方法

3.2.2.1 被験者

某大学の硬式野球部に所属する男子大学生57名（投手16名、野手41名）について、春季リーグ戦開幕前5～6週の期間に整形外科的メディカルチェックを実施し、その結果をもとに肩関節に障害のない正常群（NOR 群：Normal group, N=19）とインピンジメントテスト陽性群（IMP 群：impingement group, N=17）の2群を抽出して本研究の被験者とした。

被験者は本研究年度の春季、秋季の全国大会においてベスト4以上の戦績を残した野球部のベンチ入りメンバーを中心に構成される大学生としては高い競技レベルの選手であり、野球歴は8～12年の範囲であった。

メディカルチェックにおける肩関節の検査項目は、①誘発テスト（インピンジメントテスト、

ヤーガソンテスト)、②関節不安定性テスト(前方、後方、下方)、③圧痛の有無、④筋力測定(外転筋力、内旋筋力、外旋筋力)であり、①～③の項目については整形外科医の診断により陽性と陰性の判断が行なわれた。

本研究におけるインピンジメントテストにはSupraspinatus impingement test(棘上筋衝突テスト)と呼ばれる検査法を採用した(新関, 2000)。同検査法は、被験者に上腕を90度外転して、肘を直角に曲げ肩関節を完全内旋させる姿勢を取らせ、肩峰下スペースにストレスを加えて圧痛の有無を確認することにより、棘上筋の損傷や炎症の検査を行なうものである。

Supraspinatus impingement testにおいて陽性と判断された者のうち、筋力測定時に肩痛のため測定が実施できなかった2名を除外した17名をIMP群とした。さらに、同検査において陰性を示した残りの40名の中から、ヤーガソンテスト、関節不安定性テストの結果がいずれも陰性であり、棘上筋、棘下筋、上腕二頭筋に圧痛が示されなかった19名をNOR群とした。両グループ(NOR群19名、IMP群17名、合計36名)の身長、体重、年齢、競技歴には有意な差は見られなかった(表3-2-1)。また、メディカルチェックの参加者全員に対し、本研究の目的および測定内容を説明し、研究参加の同意を得た。

表 3-2-1. 被験者の身体特性

Group	NOR (n=19)	IMP (n=17)
Age(yr)	19.3±0.9	18.9±1.0
Playing career(yr)	9.5±1.3	9.2±1.4
Height(cm)	173.8±5.8	173.7±5.5
Weight (kg)	72.3±5.7	74.3±5.8

Values are mean±SD.

3.2.2.2 筋厚測定

筋厚の測定にはBモード超音波検査装置(SSD-500, Aloka社製)により5MHzの探触子を使用して行った。測定肢位は椅座位で上肢を下垂させた姿勢とし、肘関節は屈曲90度、肩関節は回旋中間位とした。棘上筋、棘下筋、三角筋の測定部位の決定は、肩峰角(Angulus acromialis)から肩甲骨内側縁(Trigonum spinae scapulae)を結ぶ直線の30mm上方と下方にラインを設定し、同ライン上において、肩甲棘長(肩峰角から肩甲骨内側縁までの直線距離)を基準として、肩

甲棘内側 1/4 (25%部位)、外側 1/4 (75%部位) の範囲を分析の対象として撮影し、ビデオに記録した。記録された画像はコンピュータに取込み、画像解析ソフト (Scion Image, Scion Corporation) を用いて肩甲棘長の 25%から 75%部位までの計測点における筋厚を計測した。

筋厚は棘上筋では僧帽筋との境界から肩甲骨面まで、棘下筋では皮下脂肪組織との境界線から肩甲骨面まで、三角筋では皮下脂肪組織から棘下筋との境界までとした。いずれの測定においても、全て同一験者が計測を行い 2 回の計測値の平均値を測定値とした。

3.2.2.3 筋力測定

本研究では棘上筋筋力を評価する目的で、被験者を椅子に座らせ、等尺性外転筋力を測定した。従来、棘上筋筋力の測定肢位は肩関節外転 30~90 度の範囲内で様々な設定により実施されているが、本研究では疼痛を誘発しやすい外転 60~120 度の painful arc を避け、林田(2000)の方法に基づき肩甲骨面において肩関節外転 45 度、内旋位での挙上筋力を外転筋力として測定した。測定には 4.4~556.0 N の計測範囲を持つ Hand-held dynamometer (Power Track II、Jtech Medical Industry) を用いた。肩関節の筋力評価における Hand-held dynamometer を用いた報告はこれまでも多く見られ、その妥当性と信頼性は証明されている (鳥塚, 1998 ; 林田, 2002 ; 鳥居, 2000)。

被験者にはウォーミングアップの後、最大努力で 3 秒間の筋力発揮を行わせた。Hand-held dynamometer は前腕部、尺骨茎状突起近位縁に位置するように置いて測定した (図 3-2-1A)。全ての測定は経験を積んだ同一験者が実施し、2 回の試行の平均値を測定値とした。また、測定された外転筋力は肩峰から Hand-held dynamometer 接触部中心までの距離を用いてトルクに変換した。

肩関節内旋・外旋筋力の測定には Biodex multi-joint system(Biodex Medical System, Inc, Shirley, NY)を用いた。姿勢は座位で肩関節 90 度外転、肘関節 90 度屈曲位とし、ダイナモメーターの回転軸を上腕骨の長軸に一致させ、体幹と骨盤をベルトで椅子に固定した (図 3-2-1B) 全ての測定は同一験者が実施し、測定手順と装置の説明を事前に行い、試行は最大努力での筋力発揮を行うことを強調し、視覚的フィードバックや外部からの掛け声は行わなかった。測定は 180deg/sec と 300deg/sec の 2 つの角速度で実施した。以上の測定条件は Wilk(1991)の方法に基づいて決定した。測定前には被験者を測定機器に慣れさせるために、ウォーミングアップとして 5 回の最大努力の反復を各テスト速度で行わせた。測定における反復回数はそれぞれの角速度で 5 回とし、可動域を 90 度外転位で外旋 90 度から内旋 10 度までとし

た。試行は非投球側から開始し、180deg/sec、300deg/sec の順に実施し、終了後に投球側へと移った。休息時間はウォーミングアップと測定の間、角速度・測定側変更に伴う間ともに 90 秒とした。ダイナモメーターの較正、重力補正はテスト前に行った。等速性筋力のデータの分析には 5 回の反復中に見られた最大値（ピークトルク）を用いた。また、得られた肩関節トルクはいずれも体重により標準化した。

本研究において内旋筋力の測定は、棘上筋、棘下筋、三角筋後部の機能を反映するものではないため、外旋・内旋比において外旋筋力を評価することを主要な目的として行なった。

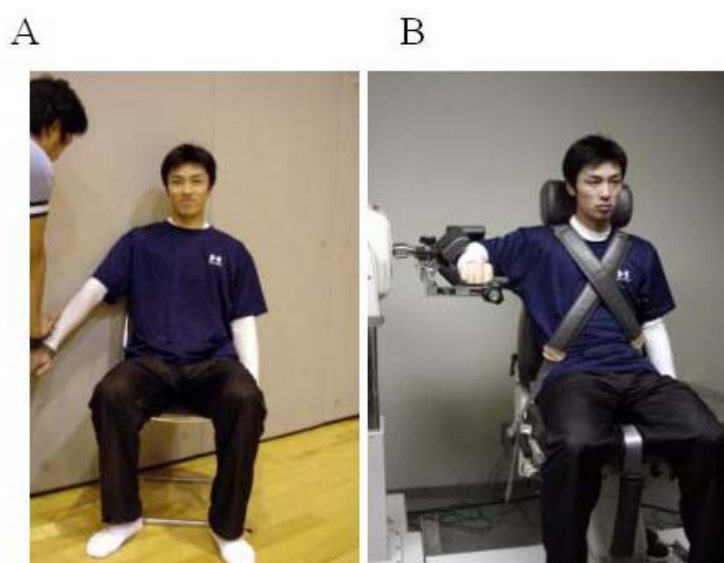


図 3-2-1 肩関節外転筋力 (A) と外旋筋力 (B) の測定姿勢

3.2.2.4 統計処理

データはいずれも平均値±標準偏差として表わした。投球側と非投球側における各測定項目の比較には Student の paired *t*-test を用いた。また群間の比較には一元配置の分散分析を行い、有意性が認められたときには Dunnett 法による多重比較を行った。いずれも統計的有意水準は 5%未満とした。

3.2.3 結果

3.2.3.1 筋厚

肩甲棘内側 1/4 (25%) から外側 1/4 (75%) の測定範囲における、棘上筋、棘下筋、三角筋後部の各筋厚を図 3-2-2 に、それらの平均筋厚を表 3-2-2 に示した。

棘上筋の筋厚では、両群ともに25%部位が最も薄く、外側に向かって順次増加し、65%から70%部位が最も厚い形状を示した(図3-2-2)。投球側(DOM)と非投球側(NDOM)の比較において、NOR群ではいずれの部位においても両側間に差は示されなかったが、IMP群では25%から60%部位において投球側が非投球側に対して有意に低い値を示した($p < 0.05-0.001$)。また、測定範囲における11部位の平均筋厚は、NOR群では両側間に差は見られなかったのに対して、IMP群では投球側が有意に低い値を示した($p < 0.01$)。

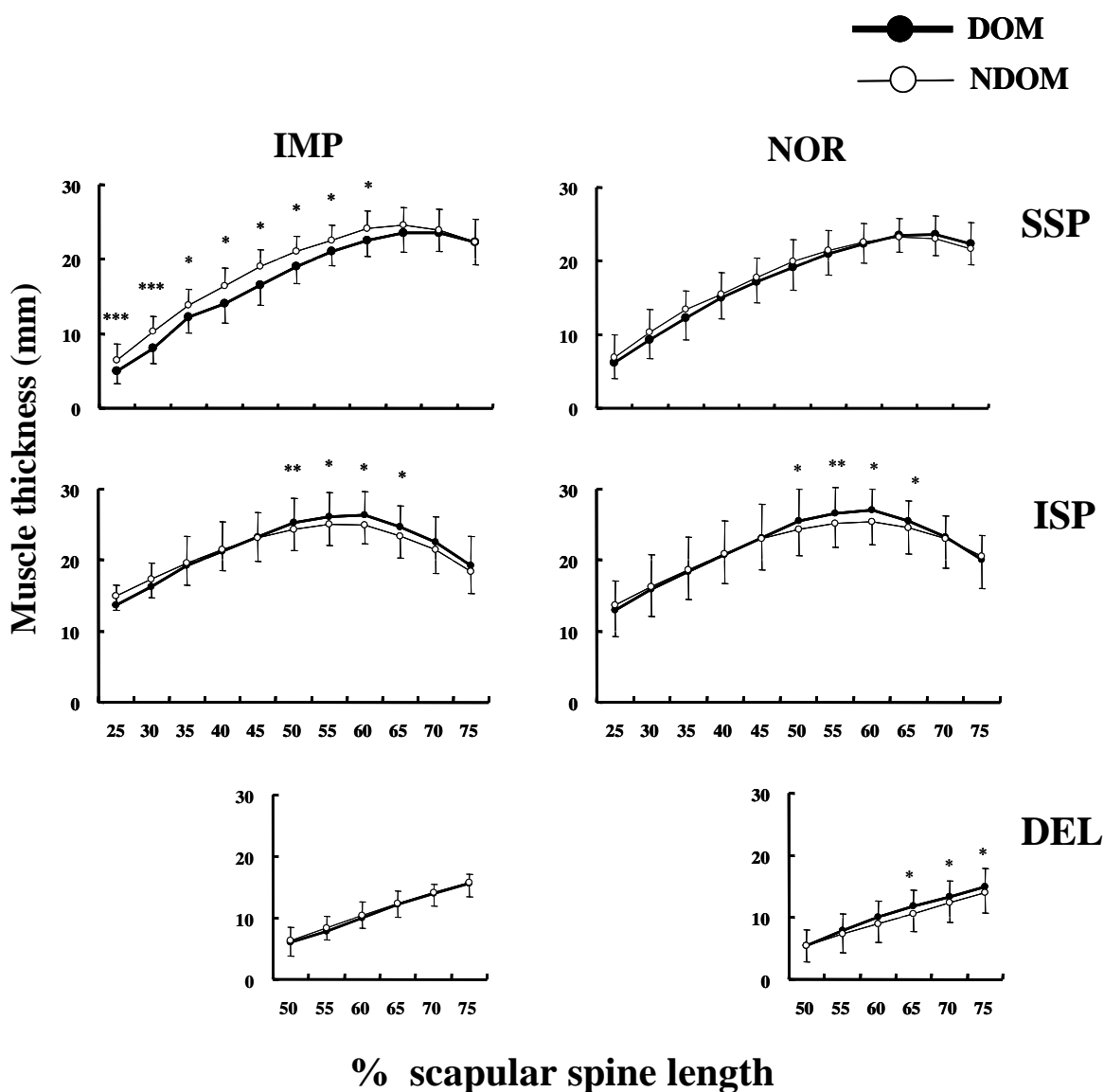


図3-2-2 棘上筋、棘下筋、三角筋の筋厚

SSP : supraspinatus,ISP:infraspinatus,DEL:deltoid.

IMP:impingement groups,NOR:normal groups.

DOM:dominant side,NDOM:nondominant side.

*: $p < 0.05$,** $p < 0.01$.Significant difference from nondominant side.

表 3-2-2. 投球側と非投球側の平均筋厚の比較

Mean muscle thickness	Group Side	NOR (n=19)		IMP (n=17)	
		DOM	NDOM	DOM	NDOM
Supraspinatus	(mm)	17.4±2.3	17.8±2.1	**17.1±1.9	18.6±1.8
Infraspinatus	(mm)	21.7±3.0	21.4±2.7	21.6±2.5	21.3±2.1
Posterior deltoid	(mm)	*10.6±2.4	9.8±2.7	10.9±1.9	11.2±1.9

DOM: Dominant side, NDOM: Nondominant side.

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$: significantly different from nondominant side .

棘下筋の筋厚では、両群ともに 55%から 60%部位の値が最も厚く、内側や外側に向けて順次低下する形状を示した (図 3-2-2)。IMP 群、NOR 群ともに 50%から 65%部位では投球側が非投球側に対して有意に高い値を示した ($p < 0.05-0.01$)。しかし、棘下筋の平均筋厚では NOR 群、IMP 群ともに両側間に差は見られなかった (表 3-2-2)。

三角筋後部の筋厚では、両群ともに 50%部位が最も薄く、外側に向けて順次増加する形状を示した (図 3-2-2)。NOR 群では 60%から 75%部位において投球側が非投球側に対し有意に高い値を示したが ($p < 0.05$)、IMP 群ではいずれの部位においても両側間に差は見られなかった。また、平均筋厚においても、NOR 群では投球側が非投球側に対し有意に高い値を示したが ($p < 0.05$)、IMP 群では両側間に差は見られなかった (表 3-2-2)。

各筋の平均筋厚から求めた投球側/非投球側比率 (DOM/NDOM 比率) による比較において、棘上筋では NOR 群が IMP 群に対して有意に高い値を示したが ($p < 0.05$)、棘下筋、三角筋では両群間に差は見られなかった (図 3-2-3)

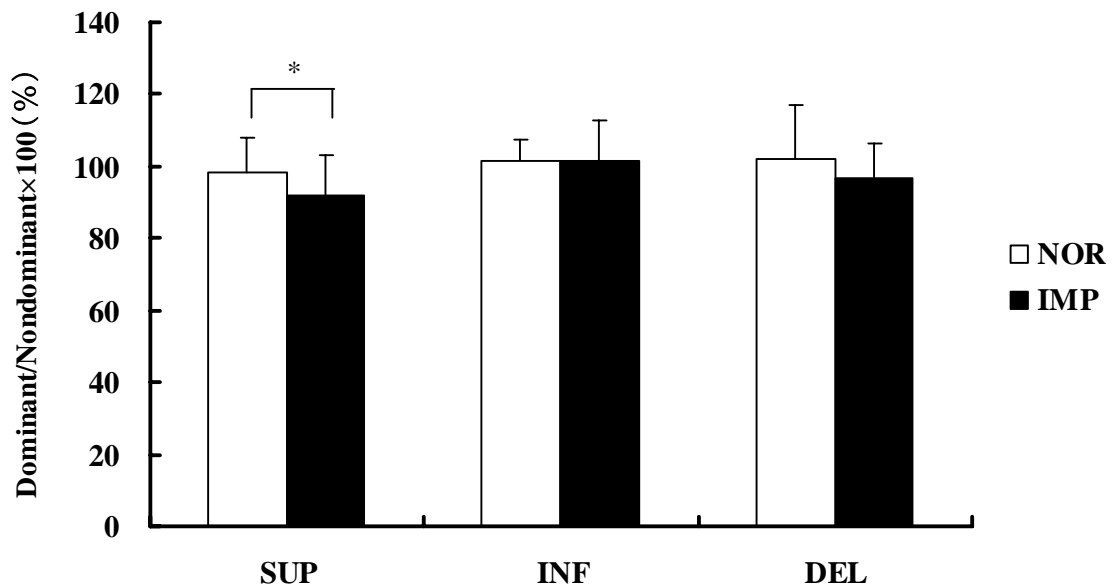


図 3-2-3 投球側と非投球側の筋厚比

SUP : supraspinatus, INF; infraspinatus, DEL; deltoid

DOM: dominant side, NDOM: nondominant side

* : $p < 0.05$ Significant difference from normal group.

3.2.3.2 筋力

肩関節の外転筋力、外旋筋力、内旋筋力、外旋/内旋筋力比を表 3-2-3 に示した。投球側と非投球側の比較では、NOR 群は外旋筋力および外旋/内旋筋力比において 180, 300deg/sec において投球側が低値を示した ($p < 0.05-0.01$)。また、内旋筋力では 180deg/sec において投球側が有意に高値を示した ($p < 0.05$)。一方、IMP 群では、外転筋力、300deg/sec における外旋筋力、180deg/sec における外旋/内旋筋力比において投球側が有意に低い値を示した ($p < 0.05-0.01$)。

外転筋力と外旋筋力の DOM/NDOM 比率による比較を図 3-2-4 に示した。外転筋力では NOR 群が $102.2 \pm 10.9\%$ であり、IMP 群の $90.3 \pm 14.1\%$ に対して有意に高い値を示したが ($p < 0.01$)、外旋筋力ではいずれの角速度においても両群間に差は見られなかった。

表 3-2-3 投球側と非投球側の肩関節筋力の比較

Strength	Group Side	NOR (n=19)		IMP (n=17)	
		DOM	NDOM	DOM	NDOM
ABD (Nm/kg)		0.39±0.14	0.38±0.13	** 0.39±0.17	0.43±0.15
ER 180 (Nm/kg)		* 0.23±0.04	0.25±0.03	0.22±0.05	0.23±0.04
ER 300 (Nm/kg)		** 0.19±0.03	0.20±0.04	* 0.17±0.05	0.19±0.04
IR 180 (Nm/kg)		* 0.52±0.11	0.48±0.09	0.49±0.08	0.44±0.09
IR 300 (Nm/kg)		0.43±0.11	0.40±0.11	0.40±0.10	0.38±0.12
ER/IR180		** 0.57±0.13	0.64±0.12	** 0.56±0.10	0.65±0.13
ER/IR300		* 0.61±0.21	0.70±0.26	0.60±0.18	0.69±0.26

DOM: Dominant side, NDOM: Nondominant side.

ABD: Abduction, ER: External rotation, IR: Internal rotation

ER/IR: External rotation/Internal rotation ratio 180: 180deg/sec, 300: 300deg/sec

* p < 0.05, ** p < 0.01 : significantly different from nondominant side

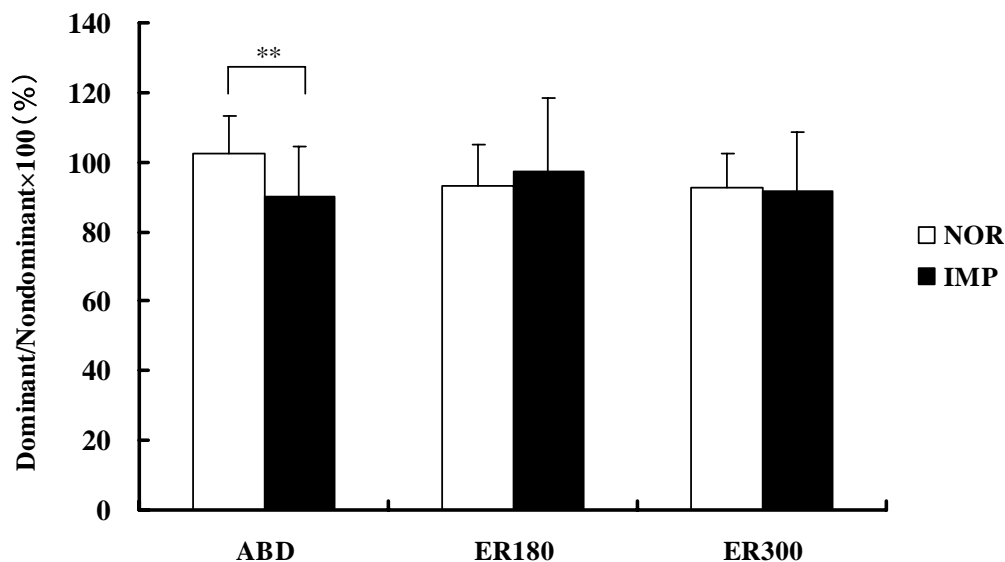


図 3-2-4 ピークトルクの投球側/非投球側比率

ABD : 外転筋力、ER : 外旋筋力、DOM : 投球側、NDOM : 非投球側

** : p < 0.01, Significant difference from normal group.

3.2.4 考 察

3.2.4.1 筋 厚

3.2.4.1.1 棘上筋筋厚

本研究では後部回旋腱板筋（棘上筋、棘下筋）と三角筋後部における筋厚を測定し、NOR 群と IMP 群において投球側と非投球側の比較を行なった。NOR 群の棘上筋筋厚では投球側と非投球側の間にいずれの測定部位においても差は見られなかった(図 3-2-2)。Miniaci (2002) は、肩に障害を持たないプロ野球投手の回旋腱板筋について MRI による測定を行い、棘上筋では筋腹部の筋厚は投球側が 25.4mm、非投球側が 26.6mm であったことを報告している。本研究 NOR 群において棘上筋の筋厚が最大値を示し、筋腹に相当すると考えられる 65%部位では、投球側と非投球側の値はそれぞれ、 $23.5 \pm 2.4\text{mm}$ 、 $23.2 \pm 2.6\text{mm}$ となっており、このアメリカのプロ野球選手に見られるよりもやや低い値を示したが、両側間の差が非常に小さい点については一致するものであった。一方、Katayose (2001) は超音波法により 20 歳代から 60 歳代までの日本人一般成人の棘上筋断面積を測定し、年代、性別に関わりなく利き腕側が高値を示すことを報告している。著者ら (2002) も一般男子大学生の棘上筋筋厚は筋腹部では利き腕側が高いことを確認しており、一般成人の棘上筋では利き腕が非利き腕に対して大きな筋サイズを示すものと考えられる。しかし、本研究の野球選手では両群ともに全員が利き腕と投球腕は一致しているにもかかわらず、NOR 群の棘上筋筋厚にはいずれの部位においても投球側と非投球側の間に差が見られず、しかも IMP 群では 25%~60%部位において投球側の方が有意に低い値を示した(図 3-2-2)。また、最大筋厚や規定された特定の一部分の筋厚のみでは筋全体の差がとらえにくいと考え、測定 11 部位の平均値の比較も行なったが、その結果も同様に NOR 群では両側間に差が見られないのに対して、IMP 群では投球側が非投球側を下回った。このことから、本研究被験者のような競技歴 8 年以上と経験の比較的長い野球選手の棘上筋では高頻度の使用に対して筋肥大が起こらないばかりでなく、IMP 群のように場合によっては筋萎縮を生じる可能性があることが推測される。

3.2.4.1.2 棘下筋筋厚

野球選手の棘下筋萎縮については視診に基づいた報告が多く、プロ野球選手では 45.8%、大学野球選手では 32.4%と相当に高い割合で筋萎縮が見られるとされ、その発現頻度は競技経験年数が長い者や、オーバースローの投手において高いことが報告されている (Timm, 1972 ; 靱田, 1972)。一方、棘下筋について超音波法を用いて日本人野球選手の肩甲棘下方 3cm、同内側

1/4 における筋厚を測定した山田ら (1996) は、利き腕側が $13.8 \pm 1.9\text{mm}$ 、非利き腕側が $14.1 \pm 1.8\text{mm}$ であり、両側間の比較では投球側が低い傾向にはあるものの、有意な差は見られないことを報告している。

本研究においても同部位 (25%部位=内側 1/4) の測定値は、投球側、非投球側それぞれ NOR 群が $13.0 \pm 4.1\text{mm}$ 、 $13.6 \pm 4.3\text{mm}$ 、IMP 群が $13.5 \pm 2.8\text{mm}$ 、 $14.6 \pm 2.5\text{mm}$ であり、投球側においてやや低い傾向が見られたが、その差はいずれも有意なものではなかった。山田ら (1996) が対象とした野球選手は病院に来院した者であり、Impingement test 陽性者や Loosening test 陽性者が約半数含まれているにも関わらず、本研究同様に両側間に差が見られていないことから、野球選手において棘下筋萎縮が生じるのは誘発テストで陽性を示すだけでなく、更に悪化した状態の特徴であることが示唆された。

一般に筋厚や筋断面積の測定には筋腹部を用いることが多いが (Miniaci, 2002 ; Katayose, 2002 ; Zanetti, 1998)、本研究において棘下筋の筋腹に相当する部位 (50~65%部位) の筋厚は両群ともに投球側が有意に高い値を示した (図 3-2-2)。しかし、平均筋厚の比較においては両群ともに両側間の差は見られず (表 3-2-2)、その投球側優位の程度は比較的小さく局所的なものであった。また同様の傾向は著者らの研究において、オーバーヘッド動作を含むスポーツを行っていない一般大学生の棘下筋にも見られた (長谷川, 2002)。したがって本研究の両群に見られる局所的な棘下筋筋厚の投球側優位傾向は、投球動作に対する適応というよりむしろ利き腕による影響が強いものと考えられる。

前述のように、本研究 IMP 群において棘上筋には投球側の平均筋厚の低下が見られたのに対して、棘下筋では NOR 群と同様に両側間に差は見られなかった。このような棘上筋と棘下筋の異なる結果については、本研究における被験者抽出に用いたインピンジメントテストが棘上筋の過剰使用による損傷や炎症の検査に用いられるテストであり、棘上筋に問題のある選手をより抽出し易くしたことや、その症状の程度は軽く、まだその影響が棘下筋にまで及んでいないためではないかと推測される。

3.2.4.1.3 三角筋後部筋厚

三角筋後部は、機能解剖学的には肩関節を外旋させる作用を持つ筋であるが、投球に見られるような前額面や肩甲骨面 (前額面より水平屈曲 30 度) において 90 度外転した姿勢では、モーメントアームが小さくなるため、外旋筋としての貢献度はあまり大きくないと考えられている (Castaing, 1996 ; Kuechle, 2000)。しかし、筋電図学的研究からは、三角筋後部は投球動作

の加速相において三角筋中部や僧帽筋、菱形筋などの諸筋とともに活動し、上腕が内旋や内転する過程で肩関節の損傷を防ぎ、フォロースルー相において三角筋前部や中部とともに投球肩関節の安定性維持に貢献することが示唆されており、後部回旋腱板筋とともに投球動作中の肩の安定機構として重要であると思われる (Jobe, 1983 ; 亀山, 1998)。しかし、従来、三角筋の形態に関する研究報告はほとんど見当たらない。

本研究では、三角筋後部に相当する肩甲棘 50~75%部位における筋厚を計測した。投球側と非投球側の比較において、NOR 群では 60%から 75%部位において投球側が有意に高い値を示したのに対して、IMP 群ではいずれの部位においても両側間の差は見られなかった (図 3-2-2)。また平均筋厚の比較においても同様の結果が見られた (表 3-2-2)。

三角筋後部が投球動作中の肩関節安定に働くことを考慮すれば、NOR 群に見られる投球側の優位性は肩関節における機能発揮のみならず障害予防の観点からも非常に重要であると思われる。しかし、本研究の IMP 群においては、NOR 群に見られるような利き腕の筋肥大傾向は示されなかった。三角筋後部は後部回旋腱板筋の協働筋としてフォロースルー相では伸張性ストレスにさらされ、また、肩の慢性的障害には三角筋の筋萎縮を伴うことが多いことから (山本, 1993)、本研究 IMP 群の三角筋後部も回旋腱板筋と同様に神経性の要因や軽度な筋損傷の影響を受けている可能性が考えられる。また、このことは投球側の肩関節における回旋腱板筋の役割がそれだけ大きくなる可能性を示唆するものでもある。

3.2.4.2 筋力

3.2.4.2.1 外転筋力

従来、肩関節外転筋力の測定では、等速性測定機器を用いた場合と比較して、運動中の関節中心を一定に維持できることや肩痛のある被験者の痛みを誘発しにくいことから、等尺性筋力の測定が多く行われている。本研究では、棘上筋筋力を測定する目的で、肩関節内旋位、外転 45 度における等尺性外転筋力を測定した。

本研究における外転筋力の両側間の比較では、NOR 群では両側間に差が見られなかったのに対して、IMP 群では投球側が有意に低い値を示した (表 3-2-3)。Donatelli (2000) は、本研究の NOR 群と同様に、肩関節に障害のないプロ野球投手において投球側と非投球側の間に外転筋力の差は見られなかったことを報告しており、肩関節障害のない野球選手の外転筋力は投球側と非投球側がほぼ同水準にあるものと考えられる。しかし、インピンジメントテストが陽性者の場合には、陰性者の非投球側に対して投球側における外転筋力の絶対値の低下や DOM/NDOM

比率が有意に低下することが報告され、棘上筋の機能低下がインピンジメントによる滑液包炎や腱板炎を引き起こすことが指摘されている（鳥塚, 1998 ; 鳥居, 2000）。本研究においても DOM /NDOM 比率は NOR 群では $102.2 \pm 10.9\%$ であるのに対して、IMP 群では $90.3 \pm 14.1\%$ と有意に低く（図 3-2-4）、前記報告と同様の傾向を示した。このように、本研究では外転筋力の絶対値や両側間の比率とともに、先に示した棘上筋厚の DOM /NDOM 比率においても IMP 群が NOR 群に対して低い値を示している。したがって、本研究 IMP 群では棘上筋は形態的にも、機能的にも投球側において低下傾向にあると考えられる。

3.2.4.2.2 回旋筋力

肩関節の回旋筋力については、従来さまざまな姿勢、角速度、筋収縮様式による測定が行なわれているが、座位で肩関節 90 度外転、肘関節 90 度屈曲姿勢が投球競技者向けの標準的な測定姿勢として Wilk (1991) により推奨されていることから、本研究においてもこの姿勢によって等速性筋力の測定を行った。

両側間の比較において、本研究の NOR 群では 180, 300deg/sec の外旋筋力、外旋 / 内旋筋力比に投球側が低い傾向が見られた（表 3-2-3）。投球側と非投球側の比較において、内旋筋力では両側が同等とする報告が最も多いが（Alderlink, 1986 ; Mikesky, 1995 ; Newsham, 1998 ; Wilk, 1993）、投球側優位を示した報告も見られる（Hinton, 1988 ; Brown, 1988 ; Ellenbecker, 1997）。

一方、外旋筋力では両側が同等（Mikesky, 1995 ; Newsham, 1998 ; Sirota, 1997 ; Ellenbecker, 1997）、投球側優位（Brown, 1988）、さらに角速度によっては非投球側優位

（Hinton, 1988 ; Alderlink, 1986 ; Wilk, 1993）とする報告も見られ、一致した結果が得られていない。これらの先行研究は、本研究 NOR 群と同様に肩関節障害を持たない者を対象としているが、そのような被験者においても、投球側の外旋筋力が非投球側を下回る場合がある点が内旋筋力とは異なる特徴的な傾向である。本章第 1 節では等尺性筋力の測定において、肩関節障害を持たない野球選手では外旋筋力の低下が見られないことを示しており、相互の結果に相違が見られる。この原因としては等尺性筋力測定と等速性筋力測定に用いた 1) 測定角速度、2) 測定肢位、3) 関節角度、関節可動域のちがいが影響しているものと考えられる。等速性筋力の測定により両側間の差が見られる原因の 1 つとして、等尺性筋力の測定に用いた関節角度とは別の角度でピークトルクが出現していることが考えられ、野球選手の肩関節機能の評価では特定の関節角度だけではなく、筋力発揮に適切な関節角度を含む測定を行うことが重要であることが示唆された。

また、本研究 IMP 群においても 300deg/sec の外旋筋力、外旋/内旋筋力比率は投球側が非投球側に対して有意に低い値を示した(表 3-2-3)。この結果は、Leroux ら (1994) のインピンジメントテスト陽性群の患側の外旋筋力低下に関する報告や、Warner (1990) の一般成人インピンジメント群の内旋/外旋比率が対照群と比較して有意に高く、相対的な外旋筋の筋力低下をインピンジメント症候群の重要な特徴とした報告と一致するものである。本研究では IMP 群と NOR 群の外旋/内旋比率には群間の差が見られなかったが、野球選手の投球側では外旋/内旋比率に低下傾向が共通してみられることから (Hinton, 1988 ; Wilk, 1993)、野球選手同士の比較では一般成人との比較に比べて差が示されにくいことが原因と考えられる。

本研究の外旋筋力について DOM/NDOM 比率を求めて行なった NOR 群と IMP 群の比較では、いずれの角速度においても両群間に有意な差は見られなかった (図 3-2-4)。同様に、外旋作用に関連するとされている棘下筋、三角筋後部筋厚の DOM/NDOM 比率の比較においても、IMP 群と NOR 群の間に差は見られなかった (図 3-2-3)。したがって、肩関節外旋に関わるこれらの筋は NOR 群、IMP 群ともに形態的にも、機能的にも両側間で差が少なく、類似した傾向にあることが示唆された。

3.2.4.3. 筋厚と筋力の関係

筋厚と筋力 (関節トルク) の関係について、本章第 1 節と同様に棘上筋、棘下筋の 25~75% 部位の平均筋厚から外転トルク/棘上筋筋厚、外旋トルク/棘下筋筋厚を算出し投球側と非投球側の比較を行った。

外転トルク/棘上筋筋厚は NOR 群では投球側が $1.9 \pm 0.8 \text{ Nm/mm}$ 、非投球側が $1.8 \pm 0.7 \text{ Nm/mm}$ であった。また、IMP 群においても投球側が $2.0 \pm 0.9 \text{ Nm/mm}$ 、非投球側が $2.0 \pm 1.8 \text{ Nm/mm}$ であり、いずれの群においても両側間に差はみられなかった。IMP 群では棘上筋の筋厚や外転筋力において投球側に低下傾向が示されるが、本指数において両側間に差が見られないことから、筋力低下は筋量の変化に見合った低下であり、筋量あたりの発揮トルクの低下によるものではないことが示唆された。

一方、外旋トルク (180deg/sec)/棘下筋筋厚は NOR 群では投球側が $1.1 \pm 0.2 \text{ Nm/mm}$ 、非投球側が $1.6 \pm 0.2 \text{ Nm/mm}$ 、IMP 群では投球側が $1.1 \pm 0.2 \text{ Nm/mm}$ 、非投球側が $1.6 \pm 0.2 \text{ Nm/mm}$ といずれの群においても投球側が有意に低値を示した ($p < 0.01$)。同様に外旋トルク (300deg/sec)/棘下筋筋厚においても NOR 群では投球側が $1.2 \pm 0.3 \text{ Nm/mm}$ 、非投球側が $1.3 \pm 0.3 \text{ Nm/mm}$ ($p < 0.01$)、IMP 群では投球側が $1.2 \pm 0.3 \text{ Nm/mm}$ 、非投球側が $1.3 \pm 0.2 \text{ Nm/mm}$ ($p < 0.001$) といずれの群に

においても投球側が有意に低値を示した。

筋の筋力発揮能力を評価するために筋張力/生理学的筋断面積や関節トルク/筋体積から固有筋力の比較が行われている。本研究では筋体積を決定する要因のうち筋長や筋幅は投球側と非投球側で同じであり、筋厚により筋体積が変化するという仮定に基づき両側の比較を行った。NOR 群、IMP 群ともに棘下筋の筋力発揮能力を示す同指数において投球側が低値を示すことから、長期間にわたり投球動作を繰り返すことが、投球側の棘下筋において固有筋力の低下をもたらすことが示唆された。この原因については明らかではないが、肩関節障害のない選手にも共通して見られるものであることから、棘下筋の筋疲労や筋損傷によるものではなく投球動作において外旋筋の活動を抑制することにより肩関節の内旋を妨げないような神経的な適応が生じている可能性も考えられる。

3.2.5 まとめ

本研究では8年以上の競技経験を有する大学野球選手36名を対象に、インピンジメントテストの陰性群（NOR 群）と陽性群（IMP 群）に分けて、超音波法に基づく棘上筋、棘下筋、三角筋後部の形態およびこれらの筋と関連する肩関節機能について検討し、以下のような結論を得た。

- 1) NOR 群の投球側では棘下筋や三角筋後部の筋厚は局所的に非投球側に対して高い値を示し、三角筋後部では平均筋厚においても非投球側に対して高い値を示した。
- 2) IMP 群の投球側では棘上筋の平均筋厚が非投球側を下回った。また、棘下筋の筋厚が部分的に非投球側を上回ったが平均筋厚に差はみられなかった。
- 3) NOR 群の投球側では等速性外旋筋力（180, 300deg/sec）は非投球側を下回ったが、内旋筋力（180deg/sec）は非投球側を上回る値を示した。
- 4) IMP 群の投球側では等尺性外転筋力、等速性外旋筋力（300deg/sec）、外旋/内旋筋力比率が非投球側に対して低い値を示した。

以上のことから、投球側の棘下筋では肩関節に障害の有無に関わらず部分的な筋肥大と等速性外旋筋力の低下、さらにその結果生じる筋力発揮能力低下が見られることが示唆された。また、肩関節に障害を持たない選手では棘上筋、棘下筋、三角筋後部において投球側の筋厚低下は見られないが、インピンジメントテスト陽性選手では棘上筋の筋厚低下とそれに対応した外転筋力の低下が示されることから、回旋腱板筋の筋萎縮傾向は肩関節障害を持つ選手のみに見られる特徴であると考えられる。

第4章 MRIを用いた回旋腱板筋の筋体積評価

4.1 はじめに

前章では超音波法を用いて棘上筋、棘下筋の筋厚を測定し、徒手筋力テストにおける筋力との関係から野球選手の特徴について検討を行った。回旋腱板筋は先に示した棘上筋、棘下筋と肩甲下筋、小円筋の4つの筋により構成される。従来、超音波法を用いた研究では棘上筋、棘下筋を対象としたものがいくつか見られるが、小円筋については棘下筋との区別が難しいこと、肩甲下筋については肩甲骨と胸郭の間に位置し超音波画像が得られないことから、これらの筋の筋厚や筋断面積に関する報告は非常に少ない。回旋腱板筋の生理学的筋断面積について Keating (1993) は棘上筋、棘下筋、小円筋からなる後部回旋腱板筋の総合計が肩甲下筋とほぼ等しいことを報告している。一方、野球選手の肩関節回旋筋力に関する研究の多くにおいて外旋／内旋筋力比は0.61~0.98と内旋筋力が優位であり、その傾向は投球側の方が強いことが示されている (Hinton, 1988 ; Alderink, 1986 ; Cook, 1987 ; Mikesky, 1995 ; Newsham, 1998 ; Brown, 1988 ; Wilk, 1993 ; Sirota, 1997 ; Ellenbecker, 1997)。この原因としては投球動作の反復による内旋筋力の特異的な増加や、後部回旋腱板筋の機能低下などが考えられているが、こうした外旋筋力と内旋筋力のバランスの変化が回旋腱板筋の筋量により生じるものなのか、他の表層筋の影響なのかという点について検討した研究は見られない。

本研究では投球を頻繁に行うことにより肩関節をとりまく筋の筋量や筋間の筋量比に変化が生じるかどうかという観点から筋断面積や筋体積を算出する方法として使用されるようになったMRIにより、野球選手の回旋腱板筋と三角筋の筋体積を測定するとともに、これらの各筋に関連した筋力について等尺性筋力、等速性筋力の測定を行い、投球が肩関節回旋筋群に及ぼす影響について検討することを目的とした。

4.2 方法

4.2.1 被験者

被験者は硬式野球部に所属する大学野球投手12名 (Baseball pitchers group : PG、年齢 19.6 ± 1.1 歳、身長 178.1 ± 7.1 cm、体重 75.9 ± 5.5 kg) とオーバーハンド動作を伴う競技を行っていない一般成人男子10名 (Control groups : CG、年齢 24.8 ± 2.3 歳、身長 173.9 ± 3.8 cm、体重 73.3 ± 7.5 kg) である。両群間では年齢についてはCGが有意に高い値を示したが ($p < 0.01$)、身長、体重には統計上有意味な差は見られなかった。大学野球投手はいずれも小学生時代に競技

を開始しており、競技歴 11.4 ± 1.3 年、投手歴 8.0 ± 3.2 年であり、この内 6 名は高校または大学レベルの全国大会の出場経験を持つ者であった。いずれの被験者も肩関節障害の既往や測定時における肩痛はなく、利き腕と投球側の一致する者であった。全ての被験者には事前に本研究の主旨、安全性について十分に説明し、文書による実験参加の同意を得た。なお、本研究は早稲田大学スポーツ科学部研究倫理委員会の承認を得て実施した。

4.2.2 筋体積の測定

筋断面積の撮影には MRI (Straits II, 日立メディコ, 1.5T) を用いた。被験者の測定姿勢は仰臥位で肩関節内転位、回旋中間位とし、肩甲骨の下にウレタン性のマットを敷くことにより圧迫による筋の変形を緩和した。被験者には肩峰後角、肩甲棘内側縁、肩甲骨下角の皮膚表面に脂溶性カプセルを取り付け、これらの 3 点のマーカータ目印に、肩上部 (肩峰上皮表面) から肩甲骨下角まで、さらに肩外側から肩甲骨内側縁までが撮影範囲内に入るように設定した。

撮影は両肩を片側ずつ行い、マーカータ目印に肩甲棘内側縁の高さで撮影した水平断面像において上腕骨頭中心から関節窩中央、肩甲棘内側縁を通る線を設定し、これに直交する斜位矢状断面 (Oblique sagittal plane) を決定した後、肩甲棘内側縁より遠位方向へスライス厚 5mm、スライス間隔 3mm にて T1 強調画像 (TR=440msec、TE=20msec) を撮影した (図 4-1)。スライス数は被験者により異なるが、いずれも 25 枚以内であった。全ての画像は matrix 256×256 pixel、FOV (Field of view) 25×25 cm とした。

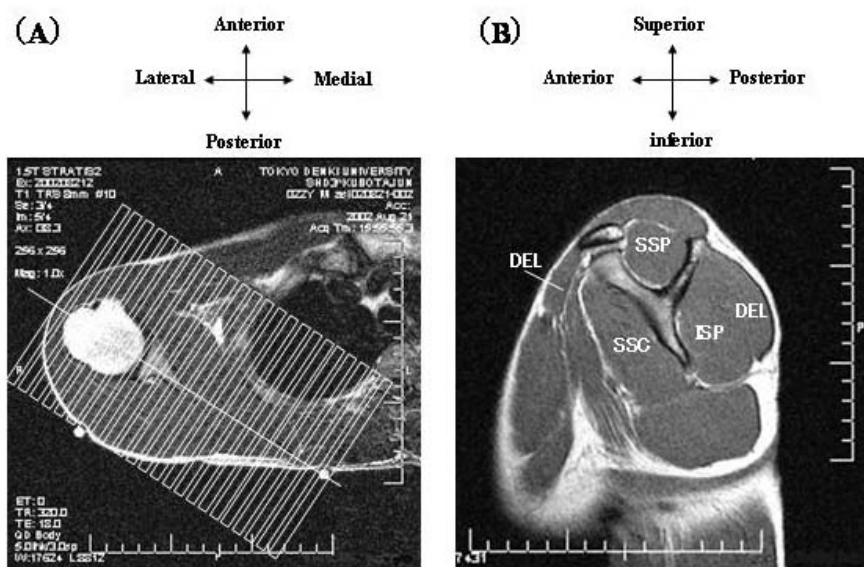


図 4-1 MRI スキャンの水平断面 (A) と斜位矢状面 (B)

SSP:supraspinatus, ISP:infraspinatus, SSC:subscapularis, DEL:deltoid

撮影された画像はコンピュータに取り込み、棘上筋、棘下筋、肩甲下筋、三角筋の輪郭を画像解析ソフト (Scion Image, Scion Corporation) を用いて、スライスごとに対象とした筋の輪郭を3回ずつトレースし、その面積の平均値を筋断面積として算出した。

本研究において対象とした筋は、棘上筋 (Supraspinatus : SSP)、棘下筋、小円筋、肩甲下筋 (Subscapularis : SSC)、三角筋 (Deltoid : DEL) の5筋であるが、画像上において棘下筋と小円筋の両筋を起始から停止までの全スライスにおいて明確に区別することができないため、Jull-kristensen ら (2000) と同様に一つの筋、棘下筋 (Infraspinatus : ISP) として分析した。

各筋の筋体積は各スライスの筋断面積とスライス厚 (0.5cm) を掛け合わせて算出したスライス厚部分の体積と、Ross (1996) の計算式 (the truncated cone formula) に基づいて算出したスライス間隔部分の体積を合算することにより求めた。

また、各筋において撮影された近位のスライスと遠位のスライスまでのスライス数から以下の式により筋長 [Muscle length (cm) : ML = スライス数 × 0.5 + (スライス数 - 1) × 0.3] を算出した。さらに算出された筋体積を筋線維長 [Jull-kristensen (2000) の示す屍体解剖によるデータによる] で除すことにより各筋の生理学的断面積 [Physiological cross-sectional area (cm²) : PCSA = 筋体積 / 筋線維長] を算出した。三角筋については、筋の起始部が広く筋線維の走行とその機能が前部、中部、後部では異なることが知られているが、MRI画像においてこれらの部位を区分することができないことから、PCSAの算出は行わなかった。

MRI による回旋腱板筋の筋体積測定の妥当性と再現性は認められている (Jull-kristensen, 2000 ; Tingart, 2003)。

4.2.3 筋力テスト

4.2.3.1 等尺性筋力

等尺性筋力の測定には 4.4~556.0N の計測範囲を持つ Hand-held dynamometer (Power Track II, Jtech Medical Industry) を用いた。肩関節筋力の評価において Hand-held dynamometer を用いた報告はこれまでも多く見られ、その妥当性と再現性は証明されている (Sullivan, 1988 ; Magnusson, 1990)。

内旋筋力の測定は①座位で肩関節外転 0 度、回旋中間位、肘関節屈曲 90 度、前腕中間位 (IR-1) と②仰臥位で肩関節外転 90 度、回旋中間位、肘関節屈曲 90 度、前腕中間位 (IR-2) の2種類の姿勢で行った。外旋筋力の測定も同様に①、②の2種類の姿勢で行った (ER-1, ER-2)。また、外転筋力 (ABD) の測定は、被験者を椅子に座らせ、肩甲骨面において肩関節外転 45 度で内旋

位をとらせて測定した。

被験者にはウォーミングアップの後、最大努力で3秒間の筋力発揮を行わせた。全ての測定は経験を積んだ同一検者が実施し、2回の試行の平均値を測定値とした。

4.2.3.2 等速性筋力

本研究の野球投手群 (PG) の中から実験参加の同意の得られた9名に対して等速性ダイナモメーター (Cybex340, Lumex 社製) を使用して等速性筋力の測定を実施した。測定姿勢は仰臥位、肩関節外転90度、肘関節屈曲90度、前腕中間位であり、ダイナモメーターの回転軸を上腕骨の長軸に一致させ、体幹と骨盤をベルトで椅子に固定した (図4-2)。測定は60, 180, 300deg/secの3種類の角速度で実施した。

全ての測定は同一検者が実施し、測定手順と装置の説明を事前に行い、試行は最大努力での筋力発揮を行うことを強調し、視覚的フィードバックや外部からの掛け声は行わなかった。測定前には被験者を測定機器に慣れさせるために、ウォーミングアップとして各テスト速度で4回の反復を行わせた。測定における反復回数はそれぞれの角速度で3回とし、可動域を90度外転位で外旋90度から内旋30度までとした。試行は非投球側から開始し、60deg/sec、180deg/sec、300deg/secの順に実施し、終了後に投球側へと移った。休息時間はウォーミングアップと測定の間、角速度・測定側変更に伴う間ともに90秒とした。ダイナモメーターの較正、重力補正はテスト前に行った。等速性筋力のデータの分析には3回の反復中に見られたピークトルク、ピークトルクが出現した試行における可動域全体の平均パワーを用いた。

4.2.4 統計処理

各指標の測定値は平均値±標準偏差で表した。また、測定項目間の関係は相関分析により検討し、ピアソンの相関係数を求めた。

両側間における比較には、対応のあるt-testを用い、両群間における比較には一元配置の分散分析を用い、有意性が認められたときには多重比較にDunnett法を用いて対照群との比較を行った。いずれも有意水準は危険率5%未満とした。



図4-2 Cybexの測定姿勢

4.3 結果

4.3.1 筋体積

被験者 22 名について競技や利き腕の影響が少ないと考えられる非投球側（非利き腕側）の棘上筋（SSP）、棘下筋（ISP）、肩甲下筋（SSC）、三角筋（DEL）の筋体積と他の形態的指標（身長、体重、前腕長、上腕長）間の相関係数を求めたところ、全ての筋の筋体積と体重の間には有意な正の相関関係が認められた（SSP； $r=0.420$ 、 $p<0.05$ 、ISP； $r=0.637$ 、 $p<0.01$ 、SSC； $r=0.660$ 、 $p<0.01$ 、DEL； $r=0.756$ 、 $p<0.001$ ）（図 4-3）。また ISP（ $r=0.497$ ）と SSC（ $r=0.430$ ）では上腕長とも有意な正の相関が見られたが、身長や前腕長ではいずれの筋体積との間にも有意な相関は見られなかった。

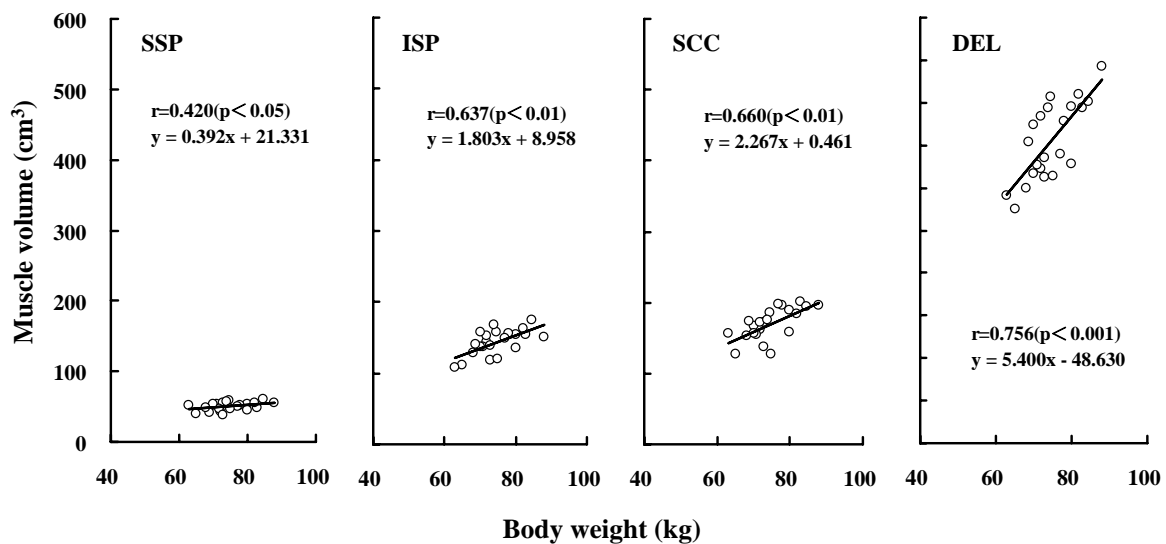


図 4-3 被験者の体重と筋体積の関係

SSP：棘上筋、ISP：棘下筋、SSC 肩甲下筋、DEL：三角筋

PG、CGの各回旋腱板筋と三角筋の筋長（ML）、解剖学的断面積の最大値（ $ACSA_{max}$ ）、筋体積（MV）、筋体積の体重補正值（ MV/BW ）、生理学的筋断面積（PCSA）を表 4-1 に示した。

両側間の比較から、DEL では PG、CG の筋長、筋体積、筋体積の体重補正值に、CG の解剖学的断面積において DOM が有意に高い値を示した（ $p < 0.05-0.01$ ）。しかし、回旋腱板筋ではいずれの筋においても PG、CG とともに両側間の差は見られなかった。ISP、SSC の筋体積、生理学的筋断面積では PG が CG に対して有意に高い値を示し（ $p < 0.05-0.01$ ）、SSC では筋体積の体重補正值においても PG が有意に高い値を示した（ $p < 0.05$ ）。

また、両群における DOM の肩甲棘内側からのスライスごとの ACSA を図 4-4 に示した。両群間で差が見られたのは肩甲下筋の内側部のみであり、その他の筋形状に差は見られなかった。

表 4-1 回旋腱板筋と三角筋の筋体積

		PG		CG	
		DOM	NDOM	DOM	NDOM
<i>ML (cm)</i>	<i>SSP</i>	10.9±0.6	10.7±0.7	10.6±0.8	10.5±1.4
	<i>ISP</i>	13.1±0.9	12.8±0.6	12.5±1.0	12.7±0.9
	<i>SSC</i>	11.9±0.7	# 11.9±0.8	11.5±0.9	11.1±1.1
	<i>DEL</i>	* 11.8±0.6	11.5±0.7	* 11.7±1.1	11.1±1.0
<i>ACSA_{max} (cm²)</i>	<i>SSP</i>	8.8±0.8	8.5±1.6	8.9±0.9	9.4±1.5
	<i>ISP</i>	20.3±2.1	# 20.7±1.8	19.2±2.2	18.7±3.0
	<i>SSC</i>	28.2±2.0	29.1±2.4	29.4±6.6	29.6±7.2
	<i>DEL</i>	106.6±8.3	106.4±10.3	* 105.9±12.1	100.9±13.4
<i>MV (cm³)</i>	<i>SSP</i>	50.4±3.9	51.2±5.1	49.3±5.9	49.9±7.1
	<i>ISP</i>	# 151.5±14.5	# 150.2±11.5	137.9±19.1	135.4±21.7
	<i>SSC</i>	# 182.7±17.1	## 179.9±15.4	163.9±26.0	157.4±22.9
	<i>DEL</i>	** 379.2±40.3	363.0±34.2	* 358.4±52.0	343.8±56.6
<i>MV/BW (cm³/kg)</i>	<i>SSP</i>	0.66±0.04	0.67±0.06	0.68±0.09	0.69±0.10
	<i>ISP</i>	1.99±0.12	1.98±0.07	1.89±0.23	1.86±0.26
	<i>SSC</i>	# 2.41±0.13	# 2.37±0.12	2.25±0.31	2.16±0.27
	<i>DEL</i>	** 5.00±0.43	4.78±0.28	* 4.90±0.50	4.70±0.54
<i>PCSA (cm²)</i>	<i>SSP</i>	10.7±0.8	10.9±1.1	10.5±1.3	10.6±1.5
	<i>ISP</i>	# 23.3±2.2	# 23.1±1.8	21.2±2.9	20.8±3.3
	<i>SSC</i>	# 36.5±3.4	## 36.0±3.1	32.8±5.2	31.5±4.6

Values are mean±SD.

PG: pitchers group, CG: control groups. DOM: dominant side, NDOM: nondominant side.

SSP: supraspinatus, ISP: infraspinatus, SSC: subscapularis.

ML: muscle length, ACSA: anatomical cross-sectional area, MV: muscle volume,

PCSA: physiological cross-sectional area, BW: body weight.

*: p < 0.05, **: p < 0.01 significantly difference from nondominant side.

#: p < 0.05, ##: p < 0.01 significantly difference from control groups.

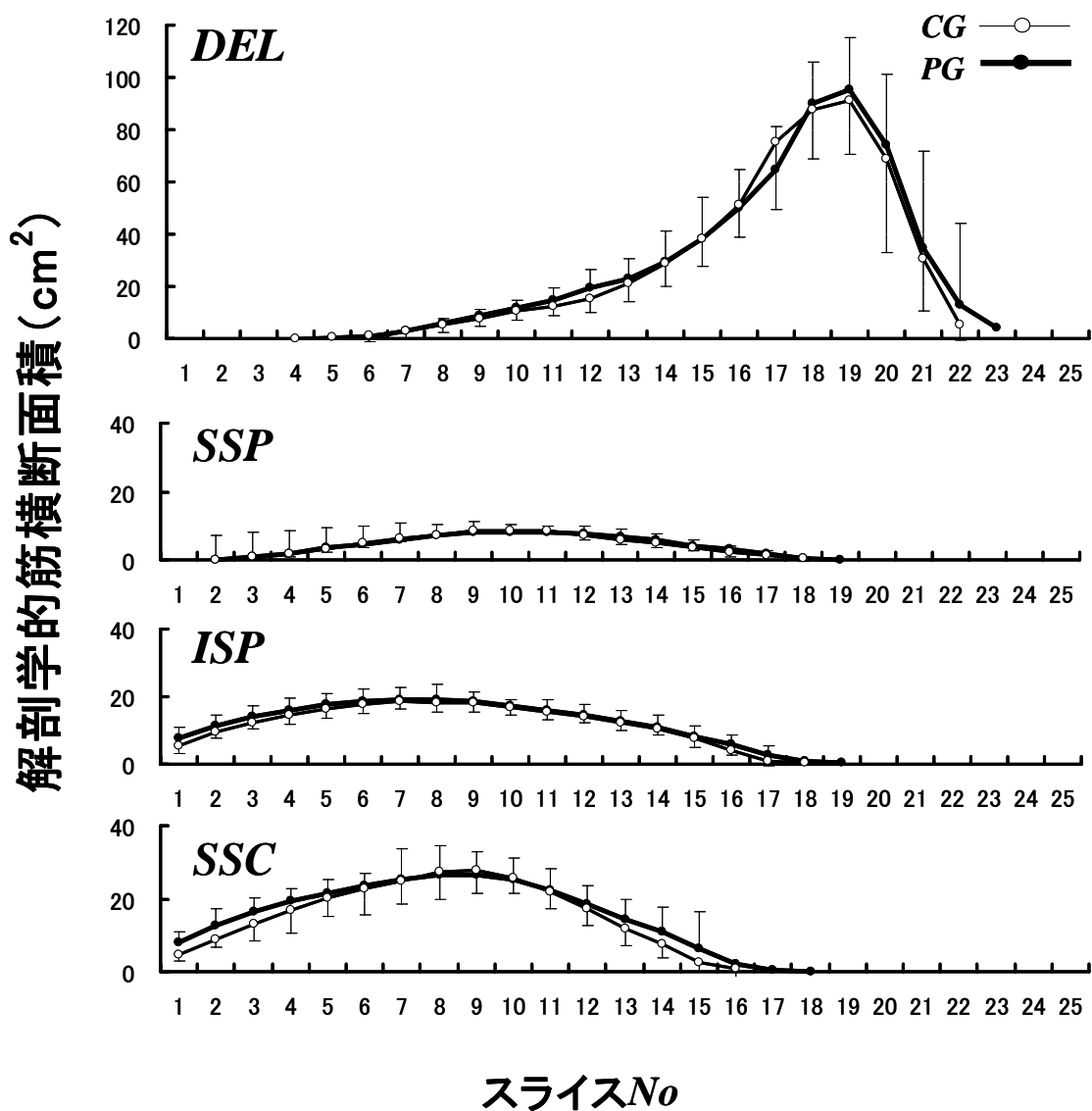


図4-4 三角筋、回旋腱板筋の解剖学的筋横断面積の分布
 平均値±SD, DEL: 三角筋、SSP: 棘上筋、ISP: 棘下筋、SSC: 肩甲下筋

4.3.2 筋力

4.3.2.1 等尺性筋力

ABD、ER、IRの各筋力テストの結果を表4-2に示した。両側間の比較ではPGではER-1において投球側が有意に高い値を示した ($p < 0.05$)。また、CGではIR-1が利き腕において有意に高い値を示し、ER/IR-1では利き腕が有意に低い値を示した ($p < 0.05$)。

両群間の比較においてPGの投球側ではER-1、非投球側ではER/IR-2がそれぞれCGに対して有意に高い値を示した ($p < 0.05-0.01$)。

表 4-2 等尺性筋力測定値

Torque	PG		CG		
	DOM	NDOM	DOM	NDOM	
ABD (Nm)	51.1±8.0	51.5±9.3	48.7±9.4	47.9±9.3	
ER-1 (Nm)	*# 29.1±1.9	27.9±2.6	26.1±5.3	26.3±5.7	
ER-2 (Nm)	34.9±5.0	36.3±5.4	34.3±8.2	35.3±10.2	
IR-1 (Nm)	39.3±9.3	38.3±9.2	*35.8±9.2	33.5±9.1	
IR-2 (Nm)	27.1±5.7	28.1±4.7	29.4±7.9	30.4±9.7	
ER/IR-1	—	0.77±0.15	0.75±0.12	** 0.75±0.14	0.82±0.20
ER/IR-2	—	1.32±0.25	# 1.30±0.18	1.18±0.14	1.17±0.13

Values are means±SD.

PG: pitchers group,CG: control groups,DOM: dominant side,NDOM: nondominant side.

ABD:abduction, ER-1: external rotation(abduction position),ER-2: external rotation(neutral position),IR-1: internal rotation(abduction position),IR-2: internal rotation(neutral position)

*:significantly different from nondominant side. #: significantly different from control groups.

4.3.2.2 等速性筋力

PG の投球側と非投球側に見られる外旋、内旋の等速性ピークトルクと平均パワー、外旋/内旋ピークトルク比と外旋/内旋パワー比の結果を表 4-3 に示した。

外旋ピークトルクは 60, 180, 300deg/sec の全てにおいて NDOM が高い値を示し、内旋ピークトルクは 180deg/sec において DOM が有意に高い値を示した (p<0.05-0.01)。また外旋/内旋ピークトルク比は 60, 180deg/sec において NDOM が有意に高い値を示した (p<0.05-0.01)。

また、外旋パワー、外旋/内旋パワー比では 60, 180, 300deg/sec の全てにおいて NDOM が高値を示し (p<0.05-0.01)、内旋パワーは 180deg/sec においてのみ DOM が有意に高い値を示した (p<0.05)。

表 4-3 野球投手の等速性筋力測定値

	Test speed (deg/sec)	Peak Torque (Nm)		Average Power (W)	
		DOM	NDOM	DOM	NDOM
ER	60	** 31.7±7.5	35.8±6.8	** 24.8± 5.2	27.3± 5.4
	180	** 29.8±5.8	33.0±5.9	* 61.8±12.7	65.2±12.9
	300	* 26.2±6.1	28.6±4.6	* 75.9±25.7	79.3±17.2
IR	60	47.2±12.1	43.1±12.4	38.7±10.5	36.2±10.3
	180	* 41.3± 9.7	37.3± 7.6	* 92.2±27.3	81.0±20.7
	300	34.1±11.0	31.1± 6.7	110.3±47.8	95.0±25.1
ER/IR	60	* 0.68±0.13	0.86±0.14	* 0.66±0.11	0.77±0.10
	180	** 0.74±0.12	0.89±0.09	** 0.69±0.12	0.82±0.08
	300	0.80±0.17	0.94±0.17	* 0.72±0.19	0.85±0.12

Values are means±SD. DOM: dominant side, NDOM: nondominant side.

ER: external rotation, IR: internal rotation

*: $p < 0.05$.significantly different from nondominant side.

4.3.3 固有筋力

回旋腱板筋における筋体積と関節トルクから求めた固有筋力指数（関節トルク／筋体積）を表 4-4 に示した。なお、ABD/SSP については外転筋力におよぼす三角筋の貢献度が高いことから、ABD には三角筋と棘上筋の筋体積比で外旋トルクを按分した値を用いた。

外旋トルク/筋体積では 3 種類の角速度（60, 180, 300deg/sec）の外旋トルクと棘下筋体積から得られた固有筋力指数において投球側が非投球側に対して有意に低い値を示した（ $p < 0.05-0.01$ ）。一方、外転トルク/棘上筋体積、内旋トルク/肩甲下筋体積においては投球側と非投球側の間に差は見られなかった。

表 4-4 回旋腱板筋の固有筋力指数

		PG		CG	
		DOM	NDOM	DOM	NDOM
<i>ABD/SSP</i>	(N/cm ²)	13.6±2.3	14.2±2.5	13.7±2.4	14.1±2.8
<i>ER-2/ISP</i>	(N/cm ²)	23.3±4.3	24.3±4.4	25.0±5.5	25.9±5.5
<i>ER60/ISP</i>	(N/cm ²)	** 14.9±3.2	17.2±3.1		
<i>ER180/ISP</i>	(N/cm ²)	** 14.0±2.3	15.9±2.7		
<i>ER300/ISP</i>	(N/cm ²)	* 12.3±2.8	13.8±2.0		
<i>IR-2/SSC</i>	(N/cm ²)	#15.0±3.6	#15.8±3.3	17.8±3.3	19.1±4.6
<i>IR60/SSC</i>	(N/cm ²)	18.5±3.6	17.3±4.1		
<i>IR180/SSC</i>	(N/cm ²)	16.2±2.8	15.0±2.2		
<i>IR300/SSC</i>	(N/cm ²)	13.3±3.4	12.5±2.2		

Values are means±SD.

PG:Pitchers group, CG:Control groups. DOM:Dominant side,NDOM: Nondominant side.

SSP:Supraspinatus, ISP:Infraspinatus, SSC:Subscapularis, ABD:Abduction, ER-2: External rotation(abduction position), IR-2:Internal rotation(abduction position).

*: p < 0.05, **: p < 0.01 Significantly different from nondominant side.

#: p < 0.05, **: p < 0.01 Significantly different from control groups.

4.4 考察

4.4.1 筋体積

回旋腱板筋群の筋体積に関する報告では屍体を用いたものがいくつか見られるが (Juil-Kristensen, 2000 ; Keating, 1993 ; Bassett, 1990 ; Aluisio, 2003)、生体を対象とした研究はまだ少ない。Juil-Kristensen (2000) はMRI を用いて生体における回旋腱板筋の筋長の 25%、50%、75% 部位のスライスとその前後のスライスから筋体積を求め、その妥当性が高いことを報告している。しかし、MRI による筋体積の算出においてスライス間隔が大きくなるほどその誤差は大きくなることが指摘されており (Tracy, 2003)、少ないスライス数から筋体積を算出することは簡便である反面、測定精度の問題を含むことになる。そこで本研究ではスライス間隔部分についても考慮して各筋の体積を求めた。

本研究における回旋腱板筋の筋体積は Juul-Kristensen (2000) のデータの約 1.2 倍であった。しかし、本研究の被験者の平均体重が女性を対象とした Juul-Kristensen (2000) の被験者の 1.16 倍に相当することや、筋体積と体重間の相関が高いことを考慮すれば (図 4-3)、この差は算出法のちがいによるものではなく、むしろ体重差の影響によるものと推測される。また、各筋の回旋腱板筋全体に対する構成比率 (%RC) についても、PG、CG において算出された同比率は、いずれもこれまでに屍体で報告されている範囲内に入るものであった (図 4-5)。

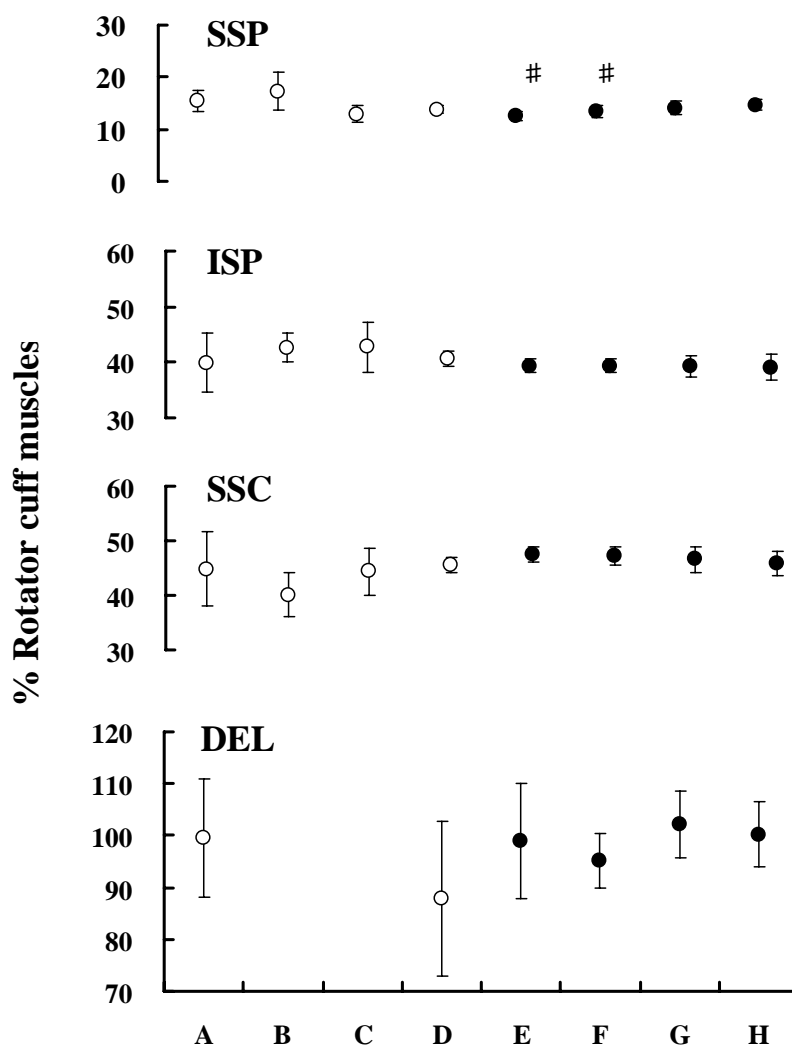


図 4-5 先行研究で示された回旋腱板筋と三角筋の比率

SSP : 棘上筋、ISP : 棘下筋、SSC : 肩甲下筋

A : Bassett(1990), B : Keating (1993) , C : Juul-Kristensen (2000) , D : Alusion(2003),
E~H: This study (E: PG-DOM, F: PG-NDOM, G: CG-DOM, H: CG-NDOM.)

#: $p < 0.05$, significantly different from control groups.

本研究において、PG の投球側における棘上筋の筋体積では、非投球側や CG との間に差は見られなかった。しかし、棘上筋の%RC においては両群間に差が見られ、PG が CG に対して両側ともに有意に低い値を示した (図 4-5)。投球動作中において棘上筋はコッキング相やフォロースルー相で高い筋活動を示すことから、テイクバックでの肩関節の外転やリリース後における上腕骨頭の関節窩への牽引の役割を担うと考えられている (Jobe, 1983 ; DiGiovine, 1992)。肩関節に障害を持たない野球選手の場合には、棘上筋の筋腹における筋厚はプロ野球投手では投球側 25.4mm、非投球側 26.6mm、大学生選手では投球側 26.4 mm、非投球側 25.9mm というように、いずれも両側間の差は見られないことが報告されている (Miniachi, 2002 ; 長谷川, 2002)。本研究では、筋厚より筋機能に関連の深い筋体積を指標とした場合にも同様の結果が見られたことから、一般に肩関節に障害を持たない選手の場合には、棘上筋量は非投球側と同水準にあることが示唆された。また、本研究 PG の棘上筋における%RC が CG のものよりも低かったのは、棘下筋と肩甲下筋の発達の影響によるものであり、棘上筋の萎縮傾向を示すものではないと考えられる。

棘下筋については、本研究では画像分析の困難性から、棘下筋と小円筋の両筋を合わせて棘下筋として分析した。本研究の PG では棘下筋の筋体積は CG に対して絶対値において両側ともに高い値が見られたが、非投球側との比較では絶対値、相対値、%RC のいずれにおいても差が見られなかった (表 4-1, 図 4-5)。この傾向は著者ら (2003) の超音波法による棘上筋と棘下筋の結果とも一致している。したがって、棘下筋と小円筋は投球動作中に高い筋活動を示す筋ではあるが、それによって非投球側に対して筋肥大傾向が生じることはなく、健全な状態においては両側の筋体積は同水準にあることが示唆された。

肩甲下筋についても、本研究 PG の投球側における筋体積は、非投球側との間に差は見られなかったが、CG に対して両側ともに有意に高い値を示した (表 4-1)。肩甲下筋は機能的に内旋作用を持つ筋であり、投球動作の後期コッキング相から加速相にかけて高い筋活動を示し、腕の加速に貢献するものと考えられる (Jobe, 1983 ; DiGiovine, 1992)。また、この筋は投球動作に見られるような肩関節 90 度外転位という姿勢では、筋体積において上回る大胸筋や広背筋よりも大きな内旋モーメントの発揮が可能であることも報告されている (Kuechle, 2000)。

肩甲下筋の形態に関しては、肩甲骨と胸郭の間にあるという位置関係によって体表からの観察や触診、超音波法による測定などが困難なことから、野球投手についてもこの筋に関する報告は少ない。Miniachi (2002) は MRI を用いてプロ野球投手の肩甲下筋の筋厚を分析しているが、

投球側が 21.2mm、非投球側が 19.6mm として、両側間には有意な差が見られなかったことを報告している。本研究においても両側間の筋体積には差が見られなかったことから、一般に機能的には投球動作の主働筋と考えられる肩甲下筋においても、他の回旋腱板筋と同様に投球による筋肥大は生じないものと考えられる。一方、PG の肩甲下筋体積は、両側ともに絶対値および相対値において CG を上回っていたが、この群間の差は両側に生じていることから、投球動作というこの競技特有の運動の効果ではなく、別の要因の影響によるものと考えられるが、この点に関しては今後の検討を要する。

また、本研究では棘上筋、棘下筋、肩甲下筋について PG と CG の DOM/NDOM 比率を求め両側間の差の程度についても比較を行ったが、いずれの筋においても群間の差は見られなかった。このことは、PG と CG における各筋の左右差の程度が同様であることを示すものであり、投球自体には回旋腱板筋に筋肥大を生じさせるようなトレーニング効果はほとんどないことを示唆している。

三角筋では本研究の PG は投球側において筋体積の絶対値、相対値ともに非投球側に対して高い値を示した（表 4-1）。三角筋は解剖学的には起始により前部線維（鎖骨部）、中部線維（肩峰部）、後部線維（肩甲棘部）の 3 つの部分に分けられ、屍体による分析では筋体積の比率はそれぞれ 24.7%、42.2%、33.2%との報告がある（森, 1972 ; Aluisio, 2003）。その機能は部位によって異なることから、筋肥大がどの部位に生じるかという点は投球動作に対する働きを考える上で重要である。筋電図学的な研究から、三角筋は投球動作の前期コッキング相、減速相では全ての部位に筋活動が見られ、減速相では特に中部、後部線維の筋活動が高いと報告されている（Jobe, 1983 ; DiGiovine, 1992）。また、後期コッキング相や加速相の筋活動は全体的には小さいとされているが、加速相においても三角筋後部だけは高い活動が見られ、この活動は肩関節の前方安定性に貢献している可能性が指摘されている（Dillman, 1993 ; Kido, 2003）。著者ら（2003）も超音波法を用いた研究において健常な野球選手では三角筋の後部筋厚は、投球側が非投球側を上回ることを確認している。これらのことから、投球動作における三角筋の役割は腕の挙上と肩関節の安定性に対する貢献度が大きく、回旋腱板筋の役割と類似したものと考えられる。しかし、本研究の MRI 画像上において三角筋の 3 部位を明確に区分することは困難であり、いずれの部位が両側間の三角筋全体の体積に差をもたらすのかという点については明らかにできなかった。また、本研究において CG でも三角筋の筋体積は DOM が NDOM に対して高い値を示し、PG と CG の DOM/NDOM 比率には差がみられないことから、PG に見られる投球側の筋肥大傾向は投球による影響ではなく、むしろ利き腕として頻繁に使用することが影響したものと

と考えられる。

三角筋全体と回旋腱板筋全筋との体積比率に関しては、屍体を用いて示された報告から算出すると Basett ら (1990) は $99.5 \pm 11.4\%$ 、Alusion ら (2003) は $87.9 \pm 15.0\%$ であった (図 4-5)。本研究における PG、CG の同比率はいずれもこれらの範囲内に入るものであったが、被験者間には大きな差が見られた。この点は回旋腱板筋の%RC がほぼ一定値を示すのとは対照的であり、三角筋の%RC には個体差が生じやすいことが示唆された。

4.4.2 筋力テスト

4.4.2.1 等尺性筋力

本研究の PG はいずれも肩関節障害の既往を持たない健常な投手であるが、外転筋力においては投球側と非投球側の間に差は示されなかった (表 4-2)。この結果は多くの先行研究と同様であり、肩関節障害を持たない野球投手では両側間の外転筋力に差はないという一般的な傾向を示すものと考えられる。

外旋筋力と内旋筋力については 2 つの肢位を用いて等尺性筋力の測定を行ったが、PG は ER-1 において DOM が高い値を示したものの、他の指標には差は見られなかった。また、CG の DOM では IR-1 が NDOM よりも高い値を示し、ER/IR 比率の低下をもたらすような内旋優位の傾向が示された。

ER-1、IR-1 はいずれも上肢を下垂した姿勢での外旋筋力、内旋筋力の発揮を行う測定法であり ER-2、IR-2 で使用した肩関節 90 度外転位と区別するため、下垂位あるいは第 1 肢位などとも呼ばれている。一般成人を対象とした研究ではこの姿勢が回旋筋力の測定法としては主流であり、多くの研究者により一般成人を対象とした標準値が示されている (Otis, 1990; Hughes, 1999)。肩甲下筋や棘下筋はいずれも筋線維が上部、中部、下部からなり、肩関節の外転角度が大きくなるほど中部、下部の貢献度が高まるとされている (皆川, 1996 ; Kuechle, 2000)。

一方、外転位 (あるいは第 2 肢位) における測定は、主にスポーツ競技者を対象に使用され、野球選手を対象とした報告も多数みられる (Magnusson, 1994 ; Donatelli, 2000 ; Yanagisawa, 2004)。

本研究の PG では下垂位における測定では投球側の外旋筋力が優位と考えられるが、外転位では同様の傾向は示されなかった。この理由としては棘下筋の筋線維長-筋張力関係、棘下筋の部位別のモーメントアーム、協働筋の関与の仕方の違いなどが影響していることが考えられる。野球選手の肩関節機能を見るうえでは、外転位という特異的な肢位における筋力発揮が重要で

ある。しかし、等尺性筋力の測定に用いられている測定肢位は肩関節の内旋筋や外旋筋の筋長は必ずしも筋張力の発揮に至適な長さではないことから、肢位を変え協働筋の貢献度を変化させた状態で評価することや、特定の関節角度だけではなく関節角度を変化させながら機能評価を行うことも重要と考えられる。

4.4.2.2 等速性筋力

12名のPGの中から9名を抽出して等速性筋力の測定を実施した。等速性筋力においては投球側の外旋筋力低下(60~300deg/sec)、内旋筋力増加(180deg/sec)、外旋/内旋筋力比の低下(60, 180deg/sec)が示された。また、測定可動域中における仕事量を所要時間で除することにより算出された平均パワーはピークトルクと同様の傾向が示された(表4-3)。

投球側の外旋筋力低下については大学・高校生(Alderink and Kuck, 1988)や、プロ野球選手(Wilk, 1993)の例が見られる。また、投球側の内旋筋力優位とそれに伴う外旋/内旋比の低下については多くの報告がなされている(Hinton, 1988; Ellenbecker, 1997)。これらはいずれも肩関節に障害のない選手を対象としたものであり、本研究と同様の傾向を示したものである。これらの報告においても測定する角速度のちがいににより両側間の筋力差の有無に違いが見られるが、本研究と同様に高い角速度や低い角速度に限定的に差異が示される傾向は見られない。

本研究において9名の等尺性筋力は内旋筋力(DOM=26.4±4.7Nm、NDOM=27.3±3.6Nm)、外旋筋力(DOM=34.9±4.7Nm、NDOM=35.0±5.0Nm)ともに両側間に差は見られなかったが、等速性筋力では有意差が示された。この原因としては角速度の影響よりもむしろ筋力測定に用いられる関節可動域や角度の影響が大きいと考えられる。特に等尺性筋力の測定では内旋筋力はより外旋位、外旋筋力はより内旋位において最大筋力が示されることから、筋が発揮し得る最大の筋力を測定できていない可能性があり、可動域全体にわたる総合的な評価を行う上で等速性ダイナモメーターの利用は有効と考えられる。

4.4.2.3 固有筋力

肩関節の機能評価において測定された関節トルクと関節トルクを決定する要因である筋体積の関係を関節トルク/筋体積比として固有筋力を求めた(表4-4)。投球側と非投球側の比較において棘上筋、肩甲下筋の固有筋力は筋力測定の角速度に関わらず両側間に差は見られなかった。一方、棘下筋については60, 180, 300deg/secにおけるピークトルクから求められた固有筋力において投球側が非投球側を下回る値を示した。これまでに野球選手を対象とした棘下筋の

固有筋力に関する報告は行われておらず、他の研究との比較を行うことができないが、この結果は第3章において示唆された棘下筋の筋厚と外旋トルクの関係からみた棘下筋の筋力発揮能力の低下と一致するものであった。本章では野球選手の中でも特に肩を酷使することの多い投手のみを対象としているが、肩関節に障害のない選手においても投球側の棘下筋の固有筋力低下が示されることから、同様の結果は多くの野球選手に見られるものと考えられる。このような現象が生じる理由については明らかではないが、前章および本章において肩関節障害を持たない選手を対象として同様の傾向が示されることから、投球動作を反復することにより外旋筋には機能的抑制が生じている可能性が示唆される。

4.5 まとめ

本研究では10年以上の競技歴を持つ野球投手群（PG）を対象に、MRIによって回旋腱板筋と三角筋の形態分析を行い、併せて Hand-held dynamometer、等速性ダイナモメーターを用いた肩関節の筋力測定を実施し、投球がこれらの筋に及ぼす影響について検討した。その結果、野球投手の投球側に見られる回旋腱板筋と三角筋の形態と機能について以下のような結論を得た。

- 1) 回旋腱板筋（棘上筋、棘下筋[棘下筋+小円筋]、肩甲下筋）の形態的指標において、野球投手群の投球側と非投球側の間に差が見られなかったが、三角筋では筋長、筋体積が投球側において有意に高い値を示した。また、棘下筋、肩甲下筋の筋体積、体重あたりの筋体積、生理学的筋断面積が対照群との比較において有意に高値を示した。
- 2) 等尺性筋力は野球投手群の下垂位での外旋筋力（ER-1）が投球側において高い値を示したが、外転位では両側間に差は見られなかった。
- 3) 等速性筋力測定では投球側が非投球側に対して、外旋時のピークトルクや平均パワーの低下（60, 180, 300deg/sec）、内旋時のピークトルクや平均パワーの増加（180deg/sec）とそれに伴う外旋/内旋比の低下（ピークトルクでは 60, 180deg/sec, 平均パワーでは 60～300deg/sec）を示した。
- 4) 等速性筋力の測定値を用いた固有筋力において、棘下筋の固有筋力は投球側が非投球側に対して有意に低い値を示した。

本研究では野球投手の投球側の特徴として、形態的指標では三角筋（アウトーマッスル）は投球側が非投球側に対して筋肥大傾向が見られる一方、回旋腱板筋（インナーマッスル）には両側間の差はないことが示された。また、機能的指標において外旋ピークトルクや平均パワーの低下、内旋ピークトルクや平均パワーの増加が示された。結果として、棘下筋の固有筋力は

非投球側よりも低値を示し、筋力発揮能力の低下が見られる可能性が示唆された。

第5章 総合討論

5.1 肩関節障害を持たない野球選手の回旋腱板筋の形態・機能における特性

本研究では投球動作自体に回旋腱板筋に対するトレーニング効果があるかという観点から、野球選手の回旋腱板筋の形態や機能に関する測定を諸種の方法で実施し、非投球側や一般成人の値と比較検討を行った。

第3章-1、第3章-2では競技歴が6年を越える肩関節に障害を持たない大学生野球選手を対象に超音波法による後部回旋腱板筋（棘上筋、棘下筋）の筋厚について検討した。その結果いずれの筋においても投球側における筋厚の低下は示されず、棘下筋については筋腹部では局所的には肥大傾向を示した。しかし、この傾向は投球競技を行っていない一般成人男性の場合と同様であり、利き腕として頻繁に使用することにより生じる優位性であると考えられる。

野球選手を対象とした回旋腱板筋の形態に関する研究はまだ少ないが、肩関節に障害を持たないプロ野球選手、アマチュア野球選手を対象としてMRIにより測定された棘上筋、肩甲下筋の筋厚についても両側間の差が見られないことがManiachi(2000)により報告されている。第4章ではMRIによる筋断面積、筋体積、生理学的筋断面積といった分析指標を用いて回旋腱板筋の筋形態に関する検討を行ったが、これまでの筋厚を指標とした報告と同様にいずれの筋にも投球側と非投球側間には差が見られなかった。

このことから投球動作には後部回旋腱板筋の筋肥大をもたらす効果は少ないが、肩関節に障害を持たない野球選手では投球側の筋体積や筋厚が非投球側を下回ることはなく、筋萎縮は肩関節障害を持つ選手に特徴的な現象であることが示唆された。

一方、肩関節回旋腱板筋の機能については第2~4章では等尺性筋力、第3章、第4章では等速性筋力の測定を行った。肩関節障害のない野球選手の場合、等尺性筋力の測定では外転筋力にはいずれも両側差は見られなかった。また、外転筋力の測定には下垂位と外転位の2肢位を用いたが、下垂位のみ投球側優位の傾向が見られたが、他のデータでは肢位に関わらず両側に差は見られないことが示された。このことから本研究に用いた測定肢位による筋力評価では、肩関節に障害を持たない野球選手では投球側の外転、外転筋力は非投球側に対して同等以上の水準を示すことが示唆された。しかし、第3章、第4章において実施した等速性筋力の測定では投球側は非投球側に対して外転筋力は低値を示し、内転筋力は高値を示した。これまでに野球選手の投球側の外転筋力低下を示した報告はいくつか見られるが（Alderink and Kuck, 1986;

Hinton, 1988; Wilk, 1993)、これらはいずれも等速性ダイナモメーターを用いてピークトルクを測定したものである点は本研究と共通しており、等尺性筋力の測定ではピークトルクの出現する関節角度が測定に含まれないことが、両側の差を検出できない大きな要因と考えられる。

また、第4章では投球側と非投球側における回旋腱板筋の筋体積と関節トルクから筋の単位断面積あたりの発揮筋力を比較するため固有筋力に関する検討を行った。

棘上筋や肩甲下筋の固有筋力は両側間において差が見られなかったが、棘下筋の固有筋力では投球側が非投球側に対して低い値を示した。また、第3章において両側の筋長や筋幅は同じであり、筋厚が筋体積の差を決定する要因であるという仮定に基づき算出した棘下筋の筋厚あたりの外旋トルクについても、筋体積を実測した場合と同様、投球側に低い値が示された。これらはいずれも野球選手の投球側における棘下筋の固有筋力低下、すなわち筋力発揮能力の低下を示唆するものと考えられる。

これまでに野球投手の外旋筋力の低下を報告した研究ではその原因を外旋筋の疲労 (Alderink and Kuck, 1986)、筋内の結合組織の断裂や、慢性的な炎症の繰返しによる筋力低下 (Hinton, 1988)、筋力測定様式と投球中の筋収縮様式の相違 (Wilk, 1993) と推測している。これらはいずれも外旋筋が投球動作中に高強度の遠心性収縮を強いられることにより、ダメージを受けるという考えに基づくものである。

遠心性運動は等尺性運動や求心性運動よりも筋損傷を引き起こしやすいことが知られているが (Asmussen, 1956)、同様の運動を繰り返した場合に最初の遠心性運動は、次に続く運動により生じる損傷から筋を保護する役割を果たすことも報告されている (Nosaka, 1991)。この現象の原因として、初回の運動時に損傷しやすい筋線維が損傷し、2回目の運動はより損傷しにくい線維によって行われることが挙げられている。遠心性運動後にみられる筋損傷は Type II 線維で最も多いが (Friden, 1983; Jones, 1986; Lieber, 1988)、それは求心性や等尺性運動時には動員されることの少ない Type II 線維が遠心性運動時に優先的に動員されるためと考えられている。棘下筋は筋線維タイプでは Type I 線維が 45.3% を占めるが、その割合は個々のばらつきが大きい (Johnson, 1973)。棘下筋をはじめとした外旋筋の遠心性収縮を伴う投球動作を反復することにより、トレーニングされるのは Type II 線維であることが予想されることから、野球投手が行う「投げ込み」は遠心性筋収縮を繰り返すことにより損傷しにくい Type II 線維を選別し、動員するトレーニング方法と考えることができるかもしれない。

遠心性トレーニングの効果が等尺性筋力や求心性筋力に及ぶかどうかという点についてはさまざまな結果が示されているが、等尺性や求心性運動時では閾値の高い Type II 線維が動員され

にくいため、投球動作により Type II 線維を選択的にトレーニングしている投球側の外旋筋では求心性収縮という筋力発揮様式では出力が低下した可能性も考えられる。このことから投球側の外旋筋における等速性筋力低下や固有筋力低下は投球動作に見られる遠心性収縮に特異的なトレーニング効果の結果生じた筋出力の低下であり、筋線維の動員閾値の変化を伴う神経的な適応である可能性も考えられる。

5.2 競技歴の長期化に伴う影響

野球の指導現場では野球投手の肩を「消耗品」とする考え方や、競技歴が長くなると肩の筋力低下や筋萎縮が生じる危険性があるという認識が広まっている。そこで第2章では機能的低下が示されやすい外旋筋力に関連した後部回旋腱板筋（棘上筋、棘下筋）について年齢別に投球側と非投球側の筋厚を指標とした形態的な比較を行った。

12歳から21歳（平均競技歴4~11年）までの選手を対象とした横断的分析において、棘上筋、棘下筋の筋厚はいずれの年齢においても両側間の差は見られなかった。一方、肩関節回旋筋力を検討すると、18歳以上の群では外旋筋力や外旋/内旋比が非投球側を下回っており、肩関節に障害のない選手に見られる投球側と非投球側の回旋筋力や筋力比は同水準にあるという特徴を示していなかった。この原因として18歳以上の群では肩を酷使することの多い投手の割合が高いことが影響している可能性が考えられる。また、同じ年齢群の筋厚には差がないことや、競技歴が10年以上の大学生野球選手でも肩関節に障害のない者では両側間の筋力に差が見られないことから、競技の継続に伴って棘上筋や棘下筋の筋萎縮や、外旋筋力の低下が進行するものではないことが示唆された。

5.3 野球選手を対象とした筋力測定法

これまでに野球選手の肩関節筋力については、多様な測定方法を用いた報告がなされているが、測定機器、測定肢位が統一されておらず、データ相互の比較を難しくしている。本研究では第4章において肩関節に障害のない選手を対象に、肩関節回旋筋力の評価によく使用される等尺性筋力、等速性筋力の測定を実施した。

Hand-held dynamometer を使用した等尺性筋力の測定は、メディカルチェック等で大勢の選手を対象とした測定を行う上では極めて簡便で有効な方法である。本研究において肩関節に障害を持たない選手では両側間に差が見られないことから、スポーツ現場においてスクリーニングテストとしては非投球側を基準とした筋力評価により十分機能するものと考えられる。

一方、本研究に用いた下垂位、外転位はさまざまな研究においてよく使用される肢位であるが、測定肢位の決定は容易であり再現性の高いデータが取れる反面、必ずしも最大筋力が出現する関節角度に設定されていないため、機能的な差異を検出しにくいという問題点がみられた。それぞれの肢位について見てみると下垂位は一般成人のデータが多く取られている肢位であり、比較を行うことのできる多くのデータが存在するが (Murray, 1983; Otis, 1990 ; Cahalan, 1991; Lannersten, 1993)、野球選手の特異的な筋力発揮を測定するうえでは外転位の方が好ましいとされている。90 度外転位は野球選手の等尺性筋力の測定においてよく報告されている肢位であり、Hinton (1988) は 90 度外転位では下垂位よりも外旋トルクが高く、内旋トルクは低い特徴があることを報告しているが、本研究の第 4 章における等尺性筋力も同様の傾向を示した。

90 度外転位を用いる場合、肩関節は回旋中間位がとられることが多い。本肢位は内旋筋の筋長が短く、筋力発揮に不利な姿勢である。さらに投球動作における肩関節の回旋可動域は外旋 160~40 度の範囲であることから (Pappas, 1985)、回旋中間位での測定は投球に特異的な関節角度とはいえない。回旋中間位以外のものとしては 90 度外旋位 (Yanagisawa, 2003)、45 度外旋位 (Otis, 1990) における内旋筋力、外旋筋力が報告されているが、これらは設定が容易であり、投球動作に特異的な肢位であることから、野球選手の筋力測定法として検討する価値があるものと考えられる。

等速性ダイナモメーターを用いた等速性筋力は測定に時間がかかるため、スクリーニングテストなどには使用しにくい。しかし、本研究に用いた肩関節に障害のない野球選手の場合、さまざまな肢位での等尺性筋力測定から、投球側と非投球側の間に顕著な差を見ることができなかったが、等速性筋力の測定ではそれらの差異が明らかにすることができたように個々の選手の肩関節機能をより詳細に検討するうえで極めて有効な手段と考えられる。

両測定法には筋収縮様式、測定可動域のちがいなどがあるが、特に野球選手の投球側と非投球側では内旋、外旋可動域が異なるという特徴が見られることから (Osbaahr, 2002; Reagan, 2002)、測定角度の影響は大きいものと考えられる。

等尺性筋力の測定においてどのような肢位を採用しても被験者の両側における可動域の差や、これに伴う筋長の差を修正することは難しい。また、肩関節の最大筋力が出現する関節角度は個人差が大きいため、特定の関節角度だけでは評価しにくいのが、可動域全体を測定できる等速性ダイナモメーターによるピークトルクの測定はこの問題を解決できる。

本研究ではピークトルクや平均パワーという指標のみの分析にとどまったが、等速性ダイナモメーターを用いた測定では筋力波形の分析を行い、より詳細な個々の特性を把握するために

使用することが望ましいと考えられる。

5.4 本研究の問題点と今後の課題

本研究では競技歴の影響に関して中学生から大学生選手までの横断的な研究を行い、筋厚や筋力の推移について検討した。研究に参加したチームの構成上、各年齢間の人数のばらつきやポジションの偏りなどが見られる点もあり、ポジション別、特に投手と野手を区別した検討も必要と思われる。また、被験者の多くは身長や体重が増加している段階の選手であったことから、より年齢が高くや競技歴の長い選手についても検討するとともに、同一被験者を数年間縦断的に追跡する研究などが必要と考えられる。

また、本研究では等尺性筋力を機能的指標として取り上げたが、第3章、第4章に示されるように等速性筋力を指標したとき両側間にはより大きな差が生じている可能性も考えられる。特に等速性筋力に見られる外旋筋力低下、内旋筋力増加という傾向が野球選手の肩の特徴だとすれば、その特徴がどの段階で生じるかという点は興味深い問題である。

次に本研究では野球選手の回旋腱板筋について筋体積などの形態分析を行った結果、投球の筋肥大が見られなかった。しかし棘下筋の固有筋力には低下傾向が見られるなど質的な変化があることが示唆された。これらの結果については先行研究が少なく、比較できるデータは筋厚を測定したものに限定されることから、さらになる検討が必要な分野である。

多くの被験者を対象とした研究においてはMRIを撮影する方法は時間やコストの面から困難であるため、超音波法を用いて筋断面積や筋体積を推定する方法を考案し、棘上筋や棘下筋の機能評価法をつくりあげることが重要と思われる。

また、より詳細に回旋腱板筋機能を検討するために、各筋の筋活動についても検討する必要がある。近年身体各部位において運動後のMRIによるT2緩和時間から筋の活動部位や活動水準を探る研究が見られる。本研究において筋力や固有筋力が低下することが示された棘下筋については等尺性、求心性、遠心性収縮時や投球動作における筋活動の可視化によってもその特性を探ることも検討したい。

さらに、回旋腱板筋については一般的な筋力トレーニングを行った際の効果についてもほとんど報告が見られないことから、今後の大きな課題として同筋を対象としたトレーニングを行った前後での変化や、異種競技、特に高重量の負荷を扱う投擲系種目の選手に見られる特長についても検討することにより、回旋腱板筋の筋肥大もたらずトレーニング法の検討を行っていくことも必要と思われる。

第6章 結論

本研究では超音波法、MRI を用いた野球選手の回旋腱板筋の形態測定（筋厚、筋断面積、筋体積、生理学的筋断面積等）、機能測定（等尺性筋力、等速性筋力、平均パワー）を実施し、投球側と非投球側および一般成人との比較を行い以下のような結論を得た。

- 1) 肩関節に障害をもたない野球選手の投球側では棘下筋の最大筋厚を除く、筋厚、生理学的筋断面積、筋体積において非投球側を上回る形態的指標は見られなかった。
- 2) 肩関節筋力では投球側において外旋ピークトルク、外旋パワーの低下と内旋ピークトルク、内旋パワーの増加、ピークトルク、平均パワーにおける外旋／内旋比の低下が見られた。
- 3) 筋体積と関節トルクから求めた固有筋力や、筋厚あたりの関節トルクにおいて、棘下筋では投球側が非投球側に対して低値を示す傾向が見られた。

これらのことから、投球動作は回旋腱板筋に形態変化をもたらすような効果は持たないものの、機能的な変化を生じさせる可能性が示唆された。また、筋厚と等尺性筋力を指標とした回旋腱板筋の形態・機能に関する横断的研究と 10 年を超える競技歴を持つ肩関節障害を持たない野球選手の特徴から、長年競技を続けることが必然的な投球側の回旋腱板筋の形態的・機能的低下をもたらすものではないが、競技歴の長い選手の中には筋力発揮に問題をかかえている選手が多く存在する可能性が示唆された。

以上のように現役野球選手の回旋腱板筋の形態や機能の評価から、野球選手の投球側における肩関節に関連する筋形態や筋力の一般的傾向を明らかにすることができた。

引用文献

1. Alderlink, G. J. , and Kuck, D. J. (1986) Isokinetic shoulder strength of high school and college-aged pitchers . J .Orthop. Sports Phys. Ther, 7, 163-172.
2. Aluisio, F. V. , Osbahr, D. C. , and Speer, K. P. (2003) Analysis of rotator cuff muscles in adult human cadaveric specimens. Am. J. Ortop, 32, 124-129
3. Asmussen, E. (1956) Observations on experimental muscular soreness. Acta Rheumatol Scand. 2, 2, 109-116.
4. Baltachi, G. Johnson, R. , and Kohl III, H. (2001) Shoukder range of motion characteristics in collegiate baseball players. J Sports Med Phys Fitness, 41, 236-242.
5. Basmajian, J. V. Muscle alive. (1994) The Williams&Wilkins company, Baltimore.
6. Bassett, R. W. , Browne, A. O. , Morrey, B. F. and An, K. N. (1990) Glenohumeral muscle force and moment mechanics in a position of shoulder instability. J. Biomech, 23, 405-415.
7. Bigliani LU, Codd TP, Connor PM, Levine WN, Littlefield MA, Hershon SJ. (1997) Shoulder motion and laxity in the professional baseball player. Am J Sports Med, 25, (5) :609-613.
8. Blackburn, T. A. , McLeod, W. D. , White, B. , and Wofford, L. (1990) EMG analysis of posterior cuff exercise. Athl. Train, 25, 40-45.
9. Brown, L. P. , Niehues, S. L. , Harrah, A. , Yavorsky, P. , and Hirshman, H. P. (1988) Upper extremity range of motion and isokinetic strength of the internal and external shoulder rotation in major league baseball players. Am. J. Sports Med, 16, 577-585.
10. Bryan, W. J. (1989) Isolated infraspinatus atrophy. A common cause of posterior shoulder pain and weakness in throwing athletes? Am J Sports Med, 17(1), 130-131.
11. Cahalan, T. D. , Johneson, M. E. , and Chao, E. Y. S. (1991) Shoulder strength analysis using the cybex II isokinetic dynamometer. Clin Orthop, 271, 249-57.
12. Castaing, J. , Santini, J. J. (井原英俊, 中山彰一, 井原和彦訳) (1996) 図解 関節・運動器の機能解剖 上肢・脊柱編, 肩関節複合体, 初版, 協同医書出版社, 東京, , 3-43.
13. Decker, m. , Tokish, JM. , Ellis, HB. , Torry, MR. , and Hawkins, RJ. Subscapularis muscle aactivity during selected rehabilitation on exercise. Am J Sports Med. (2003), 31, 126-135.
14. Chandler, T. J. , Kibler, W. B. , Stracener, E. C. (1992) Shoulder strength, power, and

- endurance in college tennis players. *Am. J. Sports Med*, 20, 455-458.
15. Cook, E. E., Gray, V. L., Savinar-nogue, E., and Medeiros, J. (1987) Shoulder antagonistic strength ratios: A comparison between college-level baseball pitchers and nonpitchers. *Am. J. Sports Med*, 8, 9, 451-461.
 16. Crockett, H. C., Gross, L. B., Wilk, K. E., Schwartz, M. L., Reed, J., O'Mara, J., Reilly, M. T., Dugas, J. R., Meister, K., Lyman, S., and Andrews, J. R. (2002) Osseous adaptation and range of motion at the glenohumeral joint in professional baseball pitchers. *Am. J. Sports Med*, 30, (1), 20-26.
 17. Cummins, C. A., Messer, T. M., and Schafer, M. F. (2004) Infraspinatus muscle atrophy in professional baseball players. *Am. J. Sports Med*, 32, 1, 116-120.
 18. DeLuca, C. J. and Forest, W. J. (1973) Force analysis of individual muscles action simultaneously on the shoulder joint during isometric abduction. *J Biomech*, 6, 385-393.
 19. DiGiovine, N. M., Jobe, F. W., Pink, M., and Perry, J. (1992) An electromyographic analysis of the upper extremity in pitching. *J. Shoulder Elbow Surg*, 1, 15-25.
 20. Dillman, C. J. (1993) Biomechanics of pitching with emphasis upon shoulder kinematics. *J. Orthop. Sports Phys. Ther*, 18, 402-408.
 21. Donatelli, R., Ellenbecker, T., Ekedahl, S. R., Wilkes, J. S., Kocher, K., and Adam, J. (2000) Assessment of shoulder strength in professional baseball pitchers. *J. Orthop. Sports Phys. Ther*, 30, 544-511.
 22. Ellenbecker, T. S., and Mattalino, A. J. (1997) Concentric isokinetic shoulder internal and external rotation strength in professional baseball pitchers. *J. Orthop. Sports Phys. Ther*, 25, 323-328.
 23. Ellenbecker, T. S., Roetert, E. P., Bailie, D. S., Davies, G. J., and Brown, S. W. (2002) Glenohumeral joint total rotation range of motion in elite tennis players and baseball pitchers. *Medicine Sci Sports Exerc*, 34(12), 2052-2056.
 24. Feltner, M., Dapena, J. (1986) Dynamics of shoulder and elbow joint of the throwing arm during the baseball pitch. *Int. J. Sports Biomech*, 2, 235-259.
 25. Fleisig GS, Andrews JR, Dillman CJ, Escamilla RF. (1995) Kinetics of baseball pitching with implications about injury mechanisms. *Am J Sports Med*, 23, (2), 233-239.

26. Friden, J., Sjostrome, M., Ekblom, B. (1983) Myofibrillar damage following intense eccentric exercise in man. *Int. J. Sports Med.* 4, 170-176.
27. Fukunaga, T., Roy, R. R., Shellock, F. G., Hodgson, J. A., and Edgerton, V. R. (1996) Specific tension of human plantar flexor and dorsiflexors. *J. Appl. Physiol.* 80, 1, 158-165.
28. 福西邦素、渡辺千聡、大塚尚、阿部宗昭. (2003) 超音波断層法を用いた棘上筋と棘下筋の断面積の測定. ー検者間、検者内での再現性ー. *肩関節*, 27, 2, 225-228.
29. 五味淵諒一、大井利夫、大山隆男. (1966) 野球選手に見られた棘下筋萎縮の 1 例. *災害医学*, 7, 467-471.
30. Glousman, R., Jobe, F., Tibone, J., Moynes, D., Antonelli, D., and Perry, J. (1988) Dynamic electromyographic analysis of the throwing shoulder with glenohumeral instability. *J. Bone Joint Surg*, 70A, 2, 220-226.
31. Gowan, I. D., Jobe, F. W., Tibone, J. E., Perry, J., and Moynes, D. R. (1987) A comparative electromyographic analysis of the shoulder during pitching. *Am. J. Sports Med*, 15, 6, 586-590.
32. 長谷川伸、館俊樹、佐々木宏、加藤清忠. (2002) 大学生野球選手の rotator cuff 筋群 (棘上筋、棘下筋) における形態および筋力特性. *ヒューマンサイエンス リサーチ*, 11, 111-123.
33. 長谷川伸、館俊樹、佐々木宏、鳥居俊、加藤清忠. (2003) 大学生野球選手の回旋腱板筋ならびに三角筋の形態および筋力特性. *体力科学*, 52, 4, 407-420.
34. 林田賢治、中川滋人、鳥塚之嘉、菅本一臣、越智隆弘. (2002) 投球時肩痛の発生に影響する因子. *臨床整形外科*, 37, 673-677.
35. 林原明郎. (1957) 野球投手の投球側棘下筋萎縮に関する研究, *大阪大学医学雑誌*, 10, 83-90.
36. Hinton, R. Y. (1988) Isokinetic evaluation of shoulder rotational strength in the high school baseball pitching. *Am. J. Sports Med*, 16, 274-279.
37. Ito, N., Eto, M., Maeda, K., Rabbi, M. E., Iwasaki, K. (1995) Ultrasonographic measurement of humeral torsion. *J. Shoulder Elbow Surg.*, 4, 157-161.
38. Jenp, Y., Malanga, G. A., Growney, E. S., and An, K. (1996) Activation of the rotator cuff in generating isometric shoulder rotation torque. *Am. J. Sports Med*, 24, 4, 477-485.
39. Jobe FW, Moynes DR. (1982) Delineation of diagnostic criteria and a rehabilitation

- program for rotator cuff injuries. *Am. J. Sports Med*, 10, 6, 336-9.
40. Jobe, F. W., Tibone, J. E., Perry, J., and Moynes, D. R. (1983) An EMG analysis of the shoulder in throwing and pitching: a preliminary report. *Am. J. Sports Med*, 11, 3-5.
 41. Jobe, F. W., Moynes, D. R., Tibone, J. E., and Perry, J. (1984) An EMG analysis in pitching. A second report. *Am. J. Sports Med*, 12, 3, 218-220.
 42. Jones, D. A., Newham, D. J., Round, J. M., and Tolfree, S. E. (1986) Experimental human muscle damage: morphological changes in relation to other indices of damage. *J. Physiol.* 375, 435-48.
 43. Johnson, G. R., Spalding, D., Nowitzke, A., and Bogduk, N. (1996) Modeling the muscle of the scapula morphometric and coordinate data and functional implications. *J. Biomechanics*, 29, 8, 1039-1051.
 44. Johnson, M. A., Polgar, J., Weightman, D. and Appleton, D. (1973) Data on the distribution of fibre types in thirty-six human muscles. An autopsy study. *J. Neurol Sci*, 18, 111-129.
 45. Juul-Kristensen, B., Bojsen-Møller, Finsen, L., Eriksson, J., Johansson, G., Stahlberg, Ekdahl, C. (2000) Muscle sizes and moment arms of rotator cuff muscles determined by magnetic resonance imaging. *Cells Tissues Organs*, 167, 214-222.
 46. 亀山順一, 桜井実, 半田康延, 星宮望. (1998) 投球動作における肩関節の動作筋電図解析. *臨床スポーツ医学*, 15, 1301-1305.
 47. Kanehisa, H., Kondo, M., Ishikawa, S., and Fukunaga, T. (1997) Characteristics of body composition and muscle strength in college wrestlers. *Int. J. Sports Med.* 18, 510-515.
 48. Kapandji, I. A. 荻島秀男監訳. (1986) *カバンディ関節の生理学 I 上肢*, 初版, 東京.
 49. Karlsson, D., and Peterson, B. (1992) Toward a model for force predictions in the human shoulder. *J. Biomechanics.*, 25, 2, 189-199.
 50. Katayose, M., Magee, D. J. (2001) The cross-sectional area of supraspinatus as measured by diagnostic ultrasound. *J. Bone Joint Surg*, 83B, 4, 565-568.
 51. Kato, K. (1989) Innervation of the scapular muscles and its morphological significance in man. *Anat Anz.* 168, 155-168.
 52. Kawakami, Y., Abe, T., Kuno, S., and Fukunaga, T. (1995) Training-induced changes in muscle architecture and specific tension. *Eur. J. Appl. Physiol.* 72, 37-43.

53. Keating, J. F., Waterworth, P., Shaw-Dunn, J., and Crossan, J. (1993) The relative strengths of rotator cuff muscles. *J Bone Joint Surg*, 75, 137-140.
54. Kelly, B. T., Kadrmaz, W. R., Speer, K. P. (1996) The manual muscle examination for rotator cuff strength, 24, 5, 581-587.
55. Kido, T., Itoi, E., Lee, S., Neale, P. G., and An, K. (2003) Dynamic stabilizing function of the deltoid muscle in shoulder with anterior instability. *Am J Sports Med*, 31, 399-403.
56. King, J. W., Brelsford, H. J. and Tullos. (1969) Analysis of the pitching arm of professional baseball pitcher. *Clin Orthop*, 67, 116-123.
57. 小久保勝弘(1972). スポーツ選手の利き腕側棘上・棘下筋萎縮に関する研究. 主としてその発生機序に関する考察. *体力科学*, 21, 16-27.
58. Kramer, J. F. (1996) Static and dynamic strength of the shoulder rotations in healthy, 45-to75-year old men and women. *J Orthop Sports Phys Ther*, 24, 11-18.
59. Kronberg, M., Brostrom, M. and Soderlund, V. (1990) Retroversion of the humeral head in the normal shoulder and its relationship to the normal range of motion. *Clin. Orthop*, 253, 113-117.
60. Kuechle, D. K., Newman, S. ER., Itoi, E., Niebur, G. L., Morrey, B. F., and An, K. N. (2000) The relevance of the moment arm of shoulder muscles with respect to axial rotation of the glenohumeral joint in for position. *Clin. Biomechanics*, 15, 322-329.
61. Kuhlman, J. R., Lannotti, J. P., Kelly, M. J., Ringler, F. X., Gevaert, M. L., and Ergin, T. M. (1992) Isokinetic and isometric measurement of strength of external rotation and abduction of the shoulder. *J. Bone Joint Surg*, 74a, 9, 1320-1333.
62. Lannersten, L., Harms-Ringdahl, K., Schuldt, K., Ekholm, J., and the Stockholm MUSIC 1 Study Group. (1993) Isometric strength in flexors, abductors, and external rotators of the shoulder. *Clin. Biomech*. 8, 235-242.
63. Leroux, J.L., Codine, P., Thomas, E., and Pocholle, M. (1994) Isokinetic Evaluation of rotational strength in normal shoulders and shoulders with impingement syndrome. *Clin Orthop and related research*, 304, 108-115.
64. Lieber, R. L., Friden, J. (1988) Selective damage fast glycolytic muscle fibers with eccentric contractions of the rabbit tibialis anterior. *Acta. Physiol Scand*. 133, 587-588.

65. Magnusson, S. P., Gleim, G. W., and Nicholas, J. A. (1990) Subject variability of shoulder abduction strength testing. *Am J Sports Med*, 18, 349-353.
66. Magnusson, S. P., Gleim, G. W., and Nicholas, J. A. (1994) Shoulder weakness in professional baseball pitchers. *Med. Sci. Sports exercise*, 22, 5-9.
67. Malanga, G. A., Jenp, Y., Growney, E. S., and An, K. (1996) EMG analysis of shoulder positioning in testing and strengthening the supraspinatus. *Med. Sci. Sports Exerc*, 28, 6, 661-664.
68. McCann, P. D., Cordasco, F. A., Ticker, J. B. (1994) An anatomic study of the subscapular nerves; A guide for electromyographic analysis of the subscapularis muscle. *J Shoulder Elbow Surg.* 3, 94-99.
69. McMaster WC, Long SC, Caiozzo VJ. (1991) Isokinetic torque imbalances in the rotator cuff of the elite water polo player. *Am. J. Sports Med*, 19, 1, 72-75.
70. Mikesky, A. E., Edwards, J. E., Wigglesworth, J. K., and Kunkel, S. (1995) Eccentric and concentric strength of the shoulder and arm musculature in collegiate baseball pitchers. *Am. J. Sports Med*, 23, 638-642.
71. Miniaci, A., Mascia, A. T., Salonen, D. C., and Becker, E. J. (2002) Magnetic resonance imaging of the shoulder in asymptomatic professional baseball pitcher. *Am. J. Sports Med*, 30, 66-73.
72. 皆川洋至、井桶栄二、佐藤毅、今井則和、本郷道生、佐藤光三. (1996) 腱板を構成する筋の筋内腱-筋外腱移行形態について. *肩関節*, 20, 1, 103-109.
73. 光金正官、能登真一、平田秀彦. (1999) ハンドヘルドダイナモメーターによる筋力検査-腱板構成筋評価の再現性の検討-. *総合リハ*, 27, 861-864.
74. 宮西智久、藤井範久、阿江通良、功力靖雄、岡田守彦. (1996) 野球の投球動作におけるボール速度に対する体幹および投球腕の貢献度に関する 3 次元的研究. *体育学研究*, 41, 23-37.
75. Moor, K. L. and Agur, A. M. R. 坂井建雄訳. (1999) ムーア 臨床解剖学. 上肢, 初版, メディカル・サイエンス・インターナショナル, 279-340.
76. 森 於菟, 小川鼎三, 大内弘, 森富. (1972) 分担解剖学, 初版, 金原出版, 東京.
77. 森沢佳三、平野真子、興津貴則、下村義文、益田郁子、山鹿真紀子、北川敏夫、鬼木泰博. (1987) 高校野球選手における肩関節障害 (特に棘下筋萎縮について). *整形外科スポーツ*

- 医学会誌, 6, 229-231.
78. Murray, M. P., Gore, D. R., Gardner, G. M., and Mollonger, L. A. (1983). Shoulder motion and muscle strength of normal men and women in two age groups. *Clin. Orthop.* 192, 268-273.
 79. Neer, G. S II. (1972) Anterior acromioplasty for the chronic impingement syndrome in the shoulder: a preliminary report. *J. Bone Joint Surg*, 54, A, 41-50.
 80. Newsham, K. R., Keith, C. S., Saunders, J. E., and Goffinett, A. S. (1998) Isokinetic profile of baseball pitchers' internal/external rotation 180, 300, 450° ·s⁻¹. *Med. Sci. Sports Exercise*, 30, 1489-1495.
 81. 新関真人. (2000) 臨床で毎日使える図解整形外科学検査法. 初版, 医道の道社, 東京.
 82. Noffal GJ. (2003) Isokinetic eccentric to concentric strength ratios of the shoulder rotator muscles in throwers and nonthrowers. *Am. J. Sports Med*, 31, 4, 537-541.
 83. Nosaka, K., Clarkson, P. M., McGuiggin, M. E., and Byrne, J. M. (1991) Time course of muscle adaptation after high force eccentric exercise. *Eur. J. Appl Physiol.* 63, 1, 70-76.
 84. Nuber, G. W., Jobe, F. W., Perry, J., Moynes, D. R., Antonelli, D. (1986) Fine wire electromyography analysis of muscles of the shoulder during swimming. *Am. J. Sports Med*, 14, 1, 7-11.
 85. Osbahr, D. C., Cannon, D. L., Speer, K. P. (2002) Retroversion of the humerus in the throwing shoulder of college baseball pitchers. *Am J Sports Med*, 3(3), 347-353.
 86. Otis, J. C., Warren, R. F., Backus, S. I., Santner, T. J., Mabrey, J. D. (1990) Torque production in the shoulder of the normal young adult male. The interaction of function, dominance, joint angle, and angular velocity. *Am. J. Sports Med*, 18, 2, 119-23.
 87. Otis, J. C., Jiang, C., Wickiewicz, T. L., Peterson, M. G. E., Warren, R. F., and Santner, T. J. (1994) Changes in the moment arm of the rotator cuff and deltoid muscles with abduction and rotation. *J. Bone Joint Surg*, 76A, 5, 667-676.
 88. Page, P. A., Lamberth, Abadie, B., Boling, R., Collins, R., Linton, R. (1993) Posterior rotator cuff strengthening using theraband in a functional diagonal pattern in collegiate baseball pitchers. *J. Athl Train.* 28, 4, 346-354.
 89. Pappas, A. M., Zawacki, R. M., and Sullivan, T. J. (1985) Biomechanics of baseball pitching. *Am. J. Sports Med.* 13, 4, 216-222.
 90. Pink, M., Jobe, F. W., Perry, J., Kerrigan, J., Browne, A., Scovazzo, M. L. (1993) The

- normal shoulder during the butterfly swim stroke. An electromyographic and cinematographic analysis of twelve muscles. *Clin Orthop*, 288, 48-59.
91. Pink, M. , Perry, J. , Browne, A. , Scovazzo, M.L. , Kerrigan, J. The normal shoulder during freestyle swimming. (1991) An electromyographic and cinematographic analysis of twelve muscles. *Am. J. Sports Med*, 19, 6, 569-76.
 92. Reagan, K. M. , Meister, K. , Horodyski, M. B. , Werner, D. W. , Carruthers, C. , and Wilk, K. (2002) Humeral retroversion and its relationship to glenohumeral rotation in the shoulder of college baseball players. *Am J Sports Med*, 30, (3), 354-360.
 93. Ringel, S. P. (1990) Suprascapular neuropathy in pitchers. *Am J Sports Med*, 18(1), 80-86.
 94. Rokito, A. S. , Jobe, F. W. , Pink, M. M. , Perry, J. , Brault, J. (1998) Electromyographic analysis of shoulder function during the volleyball serve and spike. *J Shoulder Elbow Surg*, 7, 3, 256-63.
 95. Ross, R. , Rissanen, J. , Pedwell, H. , Clifford, J. , and Shragge, P. (1996) Inference of diet and exercise on skeletal muscle and visceral adipose tissue in men. *J .Appl. Physiol*, 81, 2445-2455.
 96. Ryu, R. K. , McCormick, J. , Jobe, F. W. , Moynes, D. R. , Antonelli, D. J. (1988) An electromyographic analysis of shoulder function in tennis players. *Am J Sports Med*, 16, 5, 481-485.
 97. 佐志隆士, 井桶栄二, 皆川洋司. (2000) 肩関節のMRI, 初版, メディカルビュー社, 東京.
 98. Scovazzo, M. L. , Browne, A. , Pink, M. , Jobe, F. W. , Kerrigan, J. The painful shoulder during freestyle swimming. (1991) An electromyographic cinematographic analysis of twelve muscles. *Am J Sports Med*, 19, 6, 577-82.
 99. Sirota, S. C. , Malanga , G. A. , Eischen, J. J. , and Laskowski, E. R. (1997) An Eccentric-and concentric-strength profile of shoulder external and internal rotator muscles in professional baseball pitchers. *Am. J. Sports Med*, 25, 59-64.
 100. 杉山裕之、村上恒二、金子文成、三浦雅史、飯田朝美、大成淨志、川口浩太郎. (1998) 投球動作による肩関節内旋・外旋筋力の変化について. *臨床スポーツ医学*, 15, 1293-1296.
 101. Sullivan, S. J. , Chesley, A. Hebert, G. , McFaull, S. , and Scullion, D. (1988) The validity and reliability od hand held dynamometry in assessing isometric external rotation

- performance. *J Orthop Sports Phys Ther*, 10, (6), 213-217.
102. 鈴木克憲, 末永直樹, 三浪明男 (1997) 野球選手の肩関節内外旋筋力について. *日本整形外科学スポーツ医学会誌*, 14:34-40.
103. 竹村道雄. 肩関節腱板を構成する筋の内部構造. (1999)*Dokkyo Journal of Medical Sciences*, 26, 1, 123-131.
104. Timm, K. E. (1997) The isokinetic torque curve of shoulder instability in high school baseball pitchers. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 26, 150-154.
105. Tingart, M. J. , Apreleva, M. Lehtinen, J. T. , Capell, B. , Palmer, W. E. , and Warner, J. J. (2003) Magnetic resonance imaging in quantitative analysis of rotator cuff muscle volume. *Clin Orthop*, 415, 104-110.
106. 梶田幸徳, 小久保勝弘. (1972) 野球による棘上、棘下筋麻痺, *臨床整形外科*, 3, 249-253.
107. 鳥居俊. (2000) 簡易筋力測定器を用いた肩関節周囲筋力・腱板機能の定量的評価. *整形外科スポーツ医学会誌*, 21, 17-21.
108. 鳥塚之嘉, 中川滋人, 正富 隆, 林田賢治, 越智隆弘, 田中則子, 淵岡 聡, 玉木 彰, 小柳磨毅, 林 義孝. (1998) 甲子園大会出場投手の肩関節外転筋力, 握力, 上肢関節可動域の測定結果とその経時的变化. *臨床スポーツ医学*, 15, 233-240.
109. Townsend, H. , Jobe, F. W. , Pink, M. , and Perry, J. (1991) Electromyographic analysis of the glenohumeral muscles during a baseball rehabilitation program. *Am J. Sports Med*, 19, 3, 264-272.
110. Tracy, B. L. , Ivey, F. M. , Metter, E. J. , Fleg, J. L. , Siegle, E. L. , and Hurley, B. F. (2003) A more efficient magnetic resonance imaging-based strategy for measuring quadriceps muscle volume. *Med. Sci. Sports Exerc*, 35, 425-433.
111. 山田稔晃、長谷川益己、松本遵也、浦辺幸夫、原正文. (1996) 超音波検査による投球肩の棘下筋評価. *九州スポーツ医学会誌*, 8, 83-88.
112. 山本龍二, 赤松功也, 吉松俊一, 浜田良機. *肩のリハビリテーション*, 初版, 肩の投球障害, メディカル葵出版, 東京, (1993) , 151-178.
113. Veeger, H. E. J. , Van Der Helm, F. C. T. , VanDer Woude, L. H. V, Pronk, G. M. , and Rozendal, R. H. (1991) Inertial and muscle contraction parameters for musculoskeletal modeling of the shoulder mechanism. *J Biomechanics*, 24, 7, 615-629.
114. Werner, S. L. , Gill, T. J. , Murray, T. A. , Cook, T. D. , Hawkins, R. J. (2001) Relationship

- between throwing mechanics and shoulder distraction in professional baseball pitchers. *Am J. Sports Med*, 29, 3, 354-358.
115. Wilk, K. E. , Arrigo, C. A. , Andrews, J. R. Standardized isokinetic testing protocol for the throwing shoulder: the thrower's series. *Isokinetic and Exercise Science.* , (1991), 1, 63-71.
116. Wilk, K. E. , Andrews, J. R. , Arrigo, C. R. , and Keirns, M. A. , and Erber, D. J. (1993) The strength characteristics of internal and external rotator muscles in professional baseball pitchers. *Am. J. Sports Med*, 21, 61-66.
117. Wilk, K. E. , Andrews, J. R. , Arrigo, C. R. , and Keirns, M. A. (1995) The abductor and adductor strength characteristics of professional baseball players. *Am J Sports Med*, 23, 307-311.
118. Worrell, T. W. , Corey, B. J. , York, S. L. , and Santiestaban, J. An analysis of supraspinatus EMG activity and shoulder isometric force development. *Med. Sci. Sports Exerc.* (1992), 24, 7, 744-748.
119. 山田稔晃、長谷川益巳、松本遵也、浦辺幸夫、原正文. (1996) 超音波検査による投球肩の棘下筋評価. *九スポ学会誌*, 8, 83-88.
120. Yanagisawa, O. , Niitsu, M. , Takahashi, H. , and Itai, Y. (2003) Magnetic resonance imaging of the rotator cuff muscles after baseball pitching. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 43, 4, 493-499.
121. Yanagisawa, O. , Miyanaga, Y. , Shiraki, H. , Shimojo, H. , Mukai, N. , Niitsu, M. , and Itai, Y. (2003) The effect of various therapeutic measures on shoulder strength and muscle soreness after baseball pitching. *J. Sports Med Phys Fitness*, 43, 189-201.
122. Zanetti, M. , Gerber, C. , and Hodler, J. (1998) Quantitative assessment of the muscles of the rotator cuff with magnetic resonance imaging. *Invest Radiol*, 33, 3, 163-170.