# 2014年度修士学位論文

1ヶ月間の回旋腱板筋トレーニングが 肩関節内旋筋力にもたらす効果の検証 -異なる肩関節肢位による内旋筋力の計測から-

立命館大学大学院

スポーツ健康科学研究科

スポーツ健康科学専攻 博士課程前期課程2回生

6232130007-9

小嶋 高広

# 1ヶ月間の回旋腱板筋トレーニングが 肩関節内旋筋力にもたらす効果の検証

-異なる肩関節肢位による内旋筋力の計測から-

立命館大学大学院スポーツ健康科学研究科 博士課程前期課程2回生 小嶋高広

# 要旨

キーワード:回旋腱板筋、関節角度依存性、等尺性収縮、内旋筋力、トレーニング効果

# [研究目的]

回旋腱板筋トレーニングは肩関節周囲筋のトレーニングの一つとして有効であると考えられている。しかし、その効果については不明な点が多い。そこで本研究ではゴムチューブを用いた回旋腱板筋トレーニングによる効果を検討した。実験 I では肩関節における等尺性内旋筋力測定に及ぼす肩関節肢位の影響を明らかにし、トレーニング効果の判定に用いる測定肢位を検討した。実験 I ではゴムチューブを用いた回旋腱板筋トレーニングを単回で行う効果と、継続して行う効果を検討した。

# [実験 I]

肩関節に既往歴のない健常な一般成人男性 15名の利き手側の肩関節を対象とした.筋力測定装置 (Biodex system4, 酒井医療) を用いて 3 秒間の等尺性内旋筋力測定を行い,表面筋電図 (MQ Air, KISSEI COMTEC) を大胸筋鎖骨部,広背筋,三角筋前部から取得した.測定肢位は肘関節屈曲 90 度,前腕中間位,手関節中間位とし,肩関節外転90度での外旋90度,外旋60度,外旋30度,中間位,内旋30度,および下垂位での外旋30度,中間位,内旋30度の合計8肢位とした.

その結果、挙上角度および回旋角度が異なることで発揮される内旋筋力と各筋の筋活動が変化することが示された.したがって、肩関節における等尺性内旋筋力を測定する際は関節角度の依存性に従い、各筋の貢献度が変化することが示唆された.ゆえに、回旋腱板筋トレーニングによる効果は関節角度の依存性に従って変化する可能性があるため、実験 $\Pi$ では実験Iと同じS 肢位で筋力測定を行うことにした.

# [実験Ⅱ]

肩関節に既往歴がなく,主なトレーニング習慣のない健常な一般成人男性 26 名を対象とし、トレーニング群 13 名とコントロール群 13 名にランダムに振り分けた.回旋腱板筋トレーニングは 6 種類の運動(①ゼロポジションでの内旋運動,②ゼロポジションでの外旋運動,③下垂位での内旋運動,④下垂位での外旋運動,⑤肩甲骨引き運動,⑥肩甲骨パンチ運動)を採用した.全被験者に対して単回の回旋腱板筋トレーニング前後の等尺性内旋筋力と各筋の筋活動を測定した.その後、トレーニング群は 1 セット 20 回,週 3 回の回旋腱板筋トレーニングを 1 ヶ月間継続して行った.

その結果,単回の回旋腱板筋トレーニング後に等尺性内旋筋力は外転 90 度での外旋 90 度,外旋 60 度,外旋 30 度,中間位,および下垂位での外旋 30 度,内旋 30 度の関 節角度において有意な低下を示した.トレーニング群では 1 ヶ月後に全ての関節角度において等尺性内旋筋力が有意に向上した.つまり,単回の回旋腱板筋トレーニングは等尺性内旋筋力を低下させてしまうものの,継続した回旋腱板筋トレーニングは関節角度に関係なく,等尺性内旋筋力を向上させることが示された.

# [結論]

以上の結果から、回旋腱板筋トレーニングは継続して行うことにより、関節角度に関係なく、内旋筋力の向上が期待できるトレーニングとして有効であることが示された.

Effects of one-month rotator cuff muscle training on internal rotation torque in various shoulder joint angles

6232130007-9 Takahiro Kojima

#### Abstract

Keywords: rotator cuff muscle, specificity, isometric contraction, internal rotation torque, effect of training

# [Purpose]

Although rotator cuff muscle training has been believed to be beneficial on the shoulder joint, the effects are still unclear. Purpose of this study was to investigate effects of rotator cuff muscle training on internal rotation (IR) torque of the shoulder joint. This study consisted of two experiments.

# [Experiment I]

Fifteen healthy males with no previous shoulder injuries participated in the first experiment. We measured isometric IR torque by isokinetic dynamometer (Biodex system4, SAKAI Medical) and muscle activation by surface electromyography (MQ Air, KISSEI COMTEC) in the dominant shoulders. Isometric IR torque was measured in eight shoulder positions. At 90° of shoulder abduction, the torque was measured in five rotation angles; 90° external rotation (ER), 60° ER, 30° ER, 0° ER, and 30° IR. At 0° of shoulder abduction, the torque was measured in three rotation angles; 30° ER, 0° ER, and 30° IR. Muscle activation was assessed in the clavicular portion of the pectoralis major, latissimus dorsi, and anterior deltoid.

As a result, we observed isometric IR torque and muscle activation varied in different shoulder positions. Therefore, we performed the second research to examine whether the effects of rotator cuff muscle training were joint-angle specific.

# [Experiment II]

Twenty-six healthy males with no previous shoulder injuries participated in the second experiment. The participants were randomly assigned to two groups; training (n=13) and control (n=13) groups. Rotator cuff muscle training exercises performed were 1) IR exercise at zero position, 2) ER exercise at zero position, 3) IR exercise at 0° abduction, 4) ER exercise at 0° abduction, 5) rowing, and 6) scapular

punch. The training group completed those exercises three times per week for one month. Each measurement consisted of pre-exercise measurement, rotator cuff muscle training, and post-exercise measurement.

As a result, in post-exercise measurement, isometric IR torque significantly decreased at 90° of shoulder abduction with 90° ER, 60° ER, 30° ER, and 0° ER: at 0° of shoulder abduction with 30° ER and 30° IR. After one-month rotator cuff muscle training, the training group significantly increased IR torque at all shoulder positions. Hence, we suggest that periodic rotator cuff muscle training may increase isometric IR torque in various shoulder joint angles.

#### [Conclusion]

Periodic rotator cuff muscle training may strengthen IR torque in various shoulder joint angles.

# 目次

第1章	緒論	1
1.1 章	f景	1
1.1.	l 肩関節の構造と周囲筋の機能	1
1.1.2	2 回旋腱板筋の筋活動	4
1.1.5	3 回旋腱板筋トレーニングの効果	4
1.2	は研究の目的	8
1.3	<b>に論文の構成</b>	8
第2章	肩関節における等尺性内旋筋力測定に及ぼす肩関節肢位の影響	9
2.1	5法	
2.1.1	1 被験者	9
2.1.2	2 測定試技・手順	9
2.1.3	3 データ処理	11
2.1.4	1 統計処理	13
2.2 糸	吉果	13
2.2.	<ul><li>本測定における内旋トルク値の再現性</li></ul>	13
2.2.2	2 外転角度の違いによる内旋トルク値および筋放電量の比較	14
2.2.3	3 回旋角度の違いによる内旋トルク値および筋放電量の比較	19
2.3	5察	23
第3章	回旋腱板筋トレーニングが肩関節等尺性内旋筋力に与える影響	28
	5法	
3.1.1		
3.1.2		
3.1.3	3 回旋腱板筋トレーニング	30
3.1.4	4 測定試技・手順	33
3.1.5	5 データ処理	33
3.1.6	3 統計処理	34
3.2 斧	吉果	35
3.2.	1 単回の回旋腱板筋トレーニングによる効果	35
3.2.2	2 1ヶ月間の回旋腱板筋トレーニングによる効果	38
3.2.3	3 1ヶ月後の単回の回旋腱板筋トレーニングによる効果	42

3	3.3 考察	<del>亥</del> 	43
	3.3.1	単回の回旋腱板筋トレーニングによる効果に対する考察	43
	3.3.2	1ヶ月間の回旋腱板筋トレーニングによる効果に対する考察	43
第一	4 章	総合討論	45
第	5 章	結論	48
J	文献		49
作	寸録		54

# 第1章 緒論

# 1.1 背景

# 1.1.1 肩関節の構造と周囲筋の機能

肩関節は肩甲上腕関節、肩鎖関節、胸鎖関節の3つの解剖学的関節と肩甲胸郭関節、肩峰下関節(第2肩関節)などの機能的関節によって構成されている(山口,2009)(図1). その内、狭義の意味での肩関節は肩甲骨の関節窩と上腕骨頭で構成される肩甲上腕関節を指すが、この関節は骨頭という大きなballと関節窩という浅い socket で構成されている。同じball and socket 関節である股関節の臼蓋と比較し、肩関節の関節窩は非常に浅いため肩甲上腕関節の安定性は悪く、人間の関節の中で最も脱臼しやすい関節である。重力や腕の運動自体が関節面を引き離す方向に働くため、肩関節では骨頭を関節窩に引きつける必要性がある。これを司るのが主に靭帯と筋肉である。筋肉の中でも上腕骨頭を覆うように位置するのが rotator cuff muscle (以下、回旋腱板筋)と総称される棘上筋、棘下筋、小円筋、肩甲下筋である。回旋腱板筋は肩関節の深層に位置することから肩のインナーマッスルと呼ばれ、それに対して表層に位置する大胸筋や三角筋などの大きな筋群はアウターマッスルと呼ばれる。

肩関節は、力発揮を得意としてパフォーマンス的な役割を担うアウターマッスルと上腕骨頭を関節窩に引きつけるのを得意として関節の安定化を担うインナーマッスルがそれぞれ巧妙に協調して役割を遂行することで、大きな可動性に伴う広範囲での力発揮を獲得していると考えられており(山口、2009)、両者の適度なバランスを崩さないことが円滑な肩関節運動にとって重要とされている。例えば、肩関節外転運動の際はアウターマッスルである三角筋が収縮することで上腕骨頭を上方へ引き上げる力とインナーマッスルである棘上筋が収縮することで上腕骨頭を関節窩方向へ圧迫する力、棘下筋・小円筋・肩甲下筋が収縮することで上腕骨頭を下方へ引き下げる力が組合わさることで肩峰の下で上腕骨頭を安定させたまま運動を遂行することを可能にしている。これを肩のforce couple と呼ぶ(Neuman、2002)(図 2)。この時、インナーマッスルの機能低下によりインナーマッスルとアウターマッスルの筋力バランスが崩れると、三角筋が上腕骨頭を上方へ引き上げる力が強調されて働くことで関節が不安定となり(市橋、2009)(図 3)、上腕骨頭と烏口肩峰アーチの間に棘上筋や上腕二頭筋などが挟み込まれるインピンジメントによって肩関節の痛みが生じることが考えられている(佐志、2011)。

インナーマッスルの機能低下が生じる要因の一つとして, 肩関節周囲筋をトレーニングする際の負荷量が関与するということが挙げられている. 高負荷によるトレーニング

を繰り返し行うことでインナーマッスルと比較して筋体積の大きいアウターマッスルが 過剰に筋肥大し、インナーマッスルとアウターマッスルの相対的な筋力バランスが崩れ るという考えである。その際にアウターマッスルの働きを抑制し、インナーマッスルが 強調して働く動作でトレーニングを行うことが必要とされている。筒井ら(1992)、山 口ら(1993)は、インナーマッスルである回旋腱板筋のトレーニングを行う際は上腕骨 頭と肩甲骨関節窩の間に剪断力が働かないようにアウターマッスルの収縮を抑える必要 があり、トレーニング負荷量が増加するとアウターマッスルが活動してしまうため、逆 にインナーマッスルの相対的増強効果は少なくなると述べている。同様の指摘は Pappas ら(1985) や埜口ら(2000)も述べており、回旋腱板筋トレーニングは低負荷で行う ことが推奨されている。

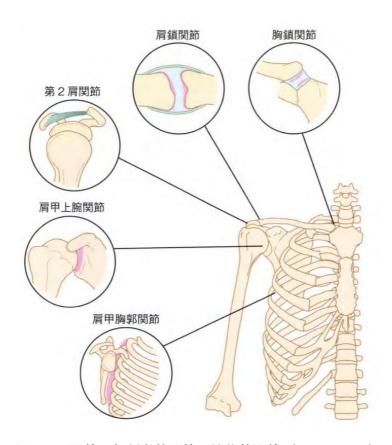


図1. 肩関節の解剖学的関節と機能的関節(山口, 2009)

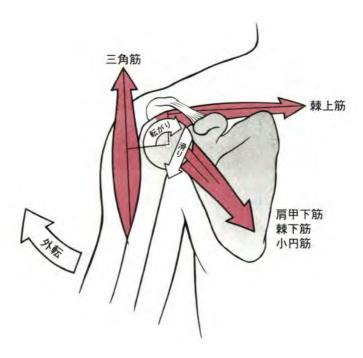


図 2. 肩関節外転運動時の force couple (Neuman, 2002)

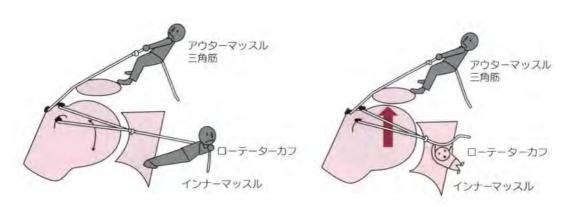


図3. インナーマッスルとアウターマッスルの筋力バランスの低下(市橋,2009) インナーマッスルの機能低下により上腕骨頭が上方へ移動することでインピンジメントが生じ、痛みが発生する.

# 1.1.2 回旋腱板筋の筋活動

下垂位から外転 180 度までの肩関節外転運動において、回旋腱板筋の各筋の筋活動が終止活動的であることが確認されているように(Saha et al., 1971)、回旋腱板筋はあらゆる肩関節運動に関与していることが考えられる。また、3~4Nm 以下の抵抗負荷に対する外旋運動ではアウターマッスルである三角筋後部と比較してインナーマッスルである棘上筋、棘下筋、小円筋の筋活動はいずれも高いことが確認されている(鈴木ら、2000)。また、陸上と水中の 2 条件における無負荷での内旋運動ではアウターマッスルである大胸筋鎖骨部と比較してインナーマッスルである肩甲下筋の筋活動はどちらの条件下においても高いことが確認されている(Fujisawa et al., 1998)。さらには、Myersら(2005)は、低負荷のゴムチューブを用いた内外旋運動トレーニングを下垂位や外転90度など、様々な肩関節角度で行った際に、回旋腱板筋の高い筋活動が確認できたことを報告している。以上のように、低負荷の内外旋運動でも回旋腱板筋には十分な負荷となることがわかっている。

# 1.1.3 回旋腱板筋トレーニングの効果

これまでに報告された回旋腱板筋トレーニングによる効果を検証した先行研究を表 1 にまとめた. Sugimoto ら(2006)は健常成人に対して、ゴムチューブを用いた下垂位 における内外旋運動を 2 ヶ月間行ったところ、下垂位での内旋 10 度において等尺性内 旋筋力が有意に向上したことを報告している. また, Treiber ら(1998) は大学生テニ ス選手に対して、ゴムチューブを用いた外転90度における内外旋運動と2ポンド(1kg 程度)の低負荷のダンベルを用いた外転運動を併用して1ヶ月間行ったところ,外転90 度における角速度 300deg/sec での等速性内旋筋力とサーブ速度が有意に向上したこと を報告している. Swanik ら(2002)は大学生水泳選手に対してゴムチューブを用いた 外転 90 度における内外旋運動と 2 ポンド (1kg 程度) の低負荷のダンベルを用いた肩甲 骨内転,下方回旋運動などを併用して 6 週間行ったところ,外転 90 度における角速度 180deg/sec と 300deg/sec での等速性内旋筋力が有意に向上したことを報告している. Escamilla ら(2010) は青年期野球選手に対して、ゴムチューブを用いた下垂位におけ る内外旋運動や屈曲 90 度における内外旋運動, 外転 90 度における内旋運動などを含め たトレーニングを遠投プログラムと併用して1ヶ月間行ったところ,投球速度が有意に 向上したことを報告している. Fernandez ら (2013) は中学生テニス選手に対して、ゴ ムチューブを用いた外転90度や屈曲90度における外旋運動,rowing(肩甲骨内転運動) などを含めたトレーニングを体幹トレーニングやメディシンボールトレーニングと併用 して6週間行ったところ、サーブ速度が有意に向上したことを報告している.

表 1. 回旋腱板筋トレーニング効果を検証した先行研究

著者	トレーニング 期間	回旋腱板筋トレーニング (使用道具)	併用したトレーニング	結果
	初间	(使用追兵)		
Sugimoto et al.	2ヶ月間	下垂位での内外旋運動		下垂位内旋 10 度での等尺性内旋筋力
(2006)	(3 回/週)	(ゴムチューブ)		向上【9.82 ± 5.5 → 13.14 ± 4.61
				(Nm):変化率 33.8%】
Treiber et al.	1ヶ月間	外転 90 度での内外旋運動		外転 90 度での角速度 300deg/sec の等
(1998)	(3 回/週)	(ゴムチューブ)		速性内旋筋力向上【10.1±4.8→12.5
		内旋位で下垂位から肩甲骨面外転		± 5.8(Nm/kg): 変化率 23.8%】
		45 度の範囲での外転運動		テニスサーブ速度向上【93.3 ± 14.7 →
		(2 ポンドのダンベル)		98.9 ± 17.8(mph): 変化率 6.0%】
Swanik et al.	6週間	外転 90 度での内外旋運動, 対角線	腹臥位で外転 120 度を保	外転 90 度での角速度 180deg/sec の等
(2002)	(3 回/週)	上での屈曲伸展運動	持する運動, 腹臥位で外転	速性内旋筋力向上【14.34 ± 8.43 →
		(ゴムチューブ)	90 度を保持する運動	19.2 ± 8.3(Nm/kg): 変化率 33.9%】
			(2 ポンドのダンベル)	外転 90 度での角速度 300deg/sec の等
				速性内旋筋力向上【15.22 ± 8.78 →
				17.47 ± 6.02 (Nm/kg) : 変化率 14.8%】

# 表1つづき. 回旋腱板筋トレーニング効果を検証した先行研究

著者	トレーニング	回旋腱板筋トレーニング	併用したトレーニング	結果
有日	期間	(使用道具)		和术
Escamilla et al.	1ヶ月間	下垂位での内外旋運動, 屈曲 90	遠投プログラム	投球速度向上【25.1 ± 2.8 → 26.1 ± 2.8
(2010)	(3 回/週)	度での内外旋運動, 外転 90 度での		(m・s <sup>-1</sup> ):変化率 4.0%】
		内旋運動など		
		(ゴムチューブ)		
Fernandez et al.	6週間	外転90度や屈曲90度での外旋運	体幹トレーニング、メディ	テニスサーブ速度向上【150.3 ± 12.3
(2013)	(3 回/週)	動,対角線上での屈曲伸展運動,	シンボールトレーニング	→ 157.9 ± 12.5 (km・h·¹) : 変化率
		前方へのパンチ運動, rowing など		4.7%]
		(ゴムチューブ)		

以上のように回旋腱板筋トレーニングの効果を検証した研究は少なく、特に回旋腱板筋トレーニングのみによる効果を示している先行研究は著者の調べた限り、Sugimotoら(2006)、Treiberら(1998)の二例しかない。その他の研究では、投球速度やサーブ速度といったパフォーマンス面の向上に回旋腱板筋トレーニング以外の要因(フォームの改善や運動連鎖の向上)が影響している可能性もあると思われる。

また、Sugimoto ら(2006)の報告によると下垂位での内旋 10 度において等尺性内旋筋力が有意に向上していたが、下垂位での外旋 65 度では等尺性内旋筋力に有意な差が認められなかった。ゆえに、回旋腱板筋トレーニングの効果は関節角度の依存性に従って変化する可能性がある。Kuechle ら(2000)の報告によると生理学的断面積(PCSA)と moment arm の積で算出される Potential moment の値が外転 90 度の時に大胸筋や広背筋、三角筋前部と比較して肩甲下筋では大きいため、肩甲下筋は下垂位よりも外転90 度において内旋作用の貢献度が高いことを示唆している。また、Suenaga ら(2003)は下垂位における等尺性内旋運動では肩甲下筋、大胸筋ともに筋活動が高かったものの、外転 90 度では肩甲下筋の筋活動が高いまま、大胸筋の筋活動は抑制されていたことを報告している。これらの報告を踏まえると、回旋腱板筋トレーニングの効果は、関節角度の依存性に従って変化が認められる可能性が高い。

さらに、Sugimoto ら(2006)は 2  $_{\mathcal{F}}$ 月間、Treiber ら(1998)は 1  $_{\mathcal{F}}$ 月間の継続したトレーニング効果を検証しているが、単回のトレーニングによる即時的な効果の検証は行われていない。

以上のように、回旋腱板筋トレーニングの効果は関節角度の依存性の影響を受けるのか、単回のトレーニングでも効果が認められるのかといった不明な点がある。それにも関わらず、例えば高校生野球選手の間では筋力の向上を目的として行われ(小嶋ら、2014 (付録))、野球におけるウォーミングアップの一部として有効と考えられている(Myers et al., 2005)のが現状である。

# 1.2 本研究の目的

本研究は回旋腱板筋トレーニングの効果を示すことを目的とする.本研究では、ウォーミングアップとして単回の回旋腱板筋トレーニングを行うことによる効果と、継続して回旋腱板筋トレーニングを行うことによる効果を分けて検討する.しかし、肩関節の構造は複雑であり、インナーマッスルとアウターマッスルの両方が関与するため、等尺性内旋筋力は関節角度の依存性に従い、発揮される筋力やそれに作用する筋肉の貢献度は変化することが考えられる.

そこで、本研究では回旋腱板筋トレーニング介入前後の評価方法として、等尺性内旋筋力の測定肢位(肩関節挙上角度、および肩関節回旋角度)をどの関節角度に設定すべきかを検討するために、肩関節における等尺性内旋筋力測定に及ぼす肩関節肢位の影響を検討した。その後に、一般成人を対象として回旋腱板筋トレーニングの介入実験を行い、回旋腱板筋トレーニングが肩関節内旋筋力にどのような効果を示すのかを検討した。

# 1.3 本論文の構成

本論文の構成は以下に記す通りである。第2章では、肩関節における等尺性内旋筋力測定に及ぼす肩関節肢位の影響を検討した。第3章では、低負荷のゴムチューブを用いた回旋腱板筋トレーニングが肩関節における等尺性内旋筋力に与える影響を検討した。第4章では、第 $2\cdot3$ 章から得られた知見を総合的に検討し、回旋腱板筋トレーニングの効果とその展望についてまとめた。

なお、巻末には高校野球の指導現場における回旋腱板筋トレーニングの普及率などを 把握するために行った『高校生野球部員における投球障害肩の有病率および回旋腱板筋 トレーニングの実施状況と理解度』を付録として付した.

# 第2章 肩関節における等尺性内旋筋力測定に及ぼす肩関節肢位の影響

# 2.1 方法

# 2.1.1 被験者

肩関節に既往歴のない健常な一般成人男性 15名(年齢:25.5±2.9歳,身長:174.1±5.9cm,体重:65.1±7.9kg)を対象とした.実験に先立ち,被験者に対して研究の目的,実験内容,データの取り扱いについて説明を行い,各被験者に協力の同意と署名を得た.なお,本研究は実験を行う前に,研究の目的・実験内容について『立命館大学における人を対象とする研究倫理審査委員会』により承認【IRB-2013-45】を得たものである.

# 2.1.2 測定試技・手順

等尺性内旋筋力測定にあたって筋力測定装置(Biodex system 4, 酒井医療, 東京)と表面筋電図計測システム(MQ Air, KISSEI COMTEC, 長野)を使用した. 対象は利き手側の肩関節とし、運動課題は3秒間の最大等尺性内旋運動とした.

表面筋電図を取得する被験筋は内旋作用を有する筋として、大胸筋鎖骨部、広背筋、三角筋前部を選択した.電極の貼付け位置は Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles (SENIAM) の推奨部位と先行研究を参考にし、各筋の筋線維走行と平行に電極を貼付けた(図4).大胸筋鎖骨部は前腋窩部の内側3.5cmの位置、広背筋は後腋窩部の4.5cm尾側の位置(Kelly et al., 2005),三角筋前部は肩峰から一横指尾側で一横指前側の位置(SENIAM)とした.表面電極にはセンサ部分1cm×1cmのディスポーザブル電極(Ag/AgCI)を使用した.測定前に十分な皮膚処理を行った後、電極間距離2.0cmで貼付けた.その後、徒手抵抗による最大筋カテスト(Manual Muscle Test: MMT)に基づき、各筋の分離運動を行うことで他の筋とクロストークが生じていないこと,また,安静肢位における筋電信号の中に筋力測定装置などからのノイズや心拍ノイズができる限り混入していないことを目視にて確認した.全ての確認を終えた段階で、各被験筋に対してMMTにて最大随意収縮(MVC)を2回ずつ測定し、筋放電量を取得した.各試技間は疲労の影響を考慮して、2分間の休息を挟んだ.

MMTにより全ての筋の最大筋放電量を確認した後,10分間の休息を挟んでから筋力 測定へと移行した.筋力測定の肢位は椅子座位にて肘関節屈曲90度,前腕中間位,手関 節中間位で手指は上肢測定用のアームグリップを握った状態で行った. 肩関節角度は外 転90度での外旋90度,外旋60度,外旋30度,中間位,内旋30度に固定した5つの 肢位(図 5 の①~⑤),および上肢下垂位での外旋 30 度,中間位,内旋 30 度に固定した 3 つの肢位(図 5 の⑥~⑧),合計 8 肢位とした.測定肢位の設定は表面筋電図を貼付ける前に行い,その際に筋力測定の練習を各肢位で 1 回ずつ行った.なお,筋力測定装置の構造上,下垂位は設定できないため,本研究では外転 30 度の肢位を下垂位と仮定した.測定手順は 8 肢位をランダマイズし,同肢位で 2 回ずつ測定を行った.各試技間は疲労の影響を考慮して,2 分間の休息を挟んだ.

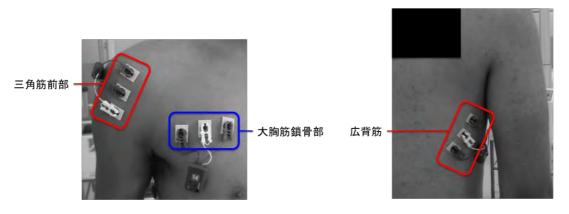


図 4. 表面電極の貼付け位置



図 5. 筋力測定肢位

# 2.1.3 データ処理

内旋トルクの測定は Biodex system4 から 1000Hz のサンプリング周波数で AD 変換システム (PowerLab16/30, AD Instruments, 愛知)を介し、専用のソフトウェア (LabChart7, AD Instruments, 愛知)を用いてパーソナルコンピューターに記録した. 筋活動の測定は MQ Air から 1000Hz のサンプリング周波数で専用のソフトウェア (VitalRecorder2, KISSEI COMTEC, 長野)を用いてパーソナルコンピューターに記録した. 内旋トルク値と筋電図信号の同期にはトリガー信号を用いた.

データの抽出は、各試技で3秒間の等尺性内旋運動中の内旋トルク値が最大となった時点の前後250ミリ秒間(=500ミリ秒間)の筋電図積分値(IEMG)と平均内旋トルク値(Nm)を算出した. IEMG の値はバンドパスフィルター(5Hz~500Hz)後、全波整流処理を行い、各被験筋のMMTにおける500ミリ秒間のIEMGの値を基準に正規化し、%IEMGを算出した. 平均内旋トルク値(Nm)は Biodex system4から安静時10秒間の平均内旋トルク値を上肢の質量として差し引き、重力補正を行った(図6).

各被験者のデータは各肢位で得られた 2 回分の平均内旋トルク値 (Nm) のうち,発揮トルクが大きかった試技を対象とした.

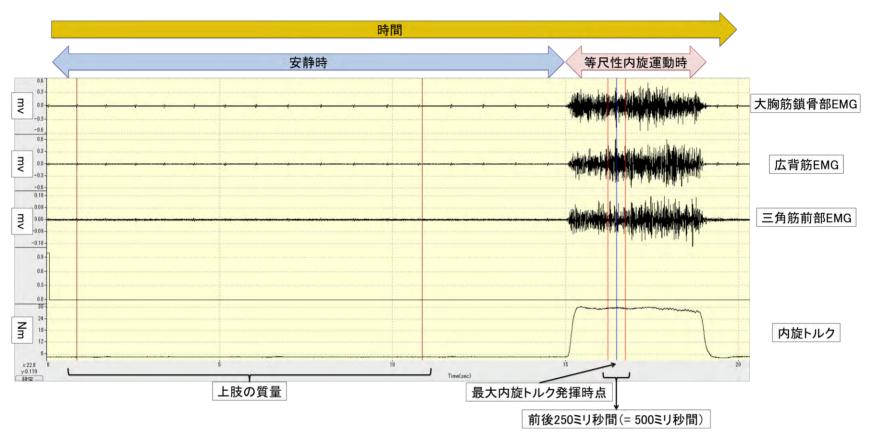


図 6. データの抽出方法

青線が最大内旋トルク発揮時点を表し、赤線がその250ミリ秒前後の時点を表す.

最大内旋トルク発揮時点から前後 250 ミリ秒間(=500 ミリ秒間)の IEMG と平均内旋トルク値(Nm)を算出. 安静時 10 秒間の平均内旋トルク値を上肢の質量として算出.

# 2.1.4 統計処理

各試技の内旋トルク値 (Nm) と筋電図積分値 (%IEMG) について, 平均値と標準偏差を算出した.

まず、各関節角度における等尺性内旋筋力の測定における再現性を検討するために、 15名の各関節角度で測定した2回分の内旋トルク値から各関節角度における級内相関係数(Intra-class Correlation Coefficients: ICC)を算出した.

次に、肩関節外転角度によって発揮される内旋トルク値および各筋の%IEMG が異なるのかを検討するため、外旋 30 度、中間位、内旋 30 度における外転 90 度と下垂位の平均値の差について、それぞれの回旋角度において対応のある t 検定を行った.

さらに、肩関節回旋角度によって発揮される内旋トルク値および各筋の%IEMG が異なるのかを検討するため、外転 90 度における外旋 90 度~内旋 30 度の 5 つの肢位と、下垂位における外旋 30 度~内旋 30 度の 3 つの肢位の平均値の差について一元配置の分散分析を行い、有意な差のある項目に対して Tukey 法による多重比較検定を行った.

統計処理には統計解析ソフトウェア(SPSS Statistics Ver19, IBM, 東京)を用い, いずれの検定も有意水準は5%未満とした.

# 2.2 結果

# 2.2.1 本測定における内旋トルク値の再現性

各関節角度における級内相関係数(ICC)を表 2 に示した.全ての関節角度において ICC は 0.8 以上の数値が得られた.

	ICC	
	外旋 90 度	0.861
	外旋 60 度	0.952
外転 90 度	外旋 30 度	0.953
	中間位	0.89
	内旋 30 度	0.811
	外旋 30 度	0.88
下垂位	中間位	0.842
	内旋 30 度	0.94

表 2. 級内相関係数 (ICC)

# 2.2.2 外転角度の違いによる内旋トルク値および筋放電量の比較

図 7~9 に外旋 30 度、中間位、内旋 30 度における外転 90 度と下垂位の内旋トルク値を示した. 外旋 30 度においては外転 90 度と下垂位での内旋トルク値に有意な差が認められなかった(p=0.362). 中間位および内旋 30 度での下垂位における内旋トルク値は外転 90 度と比較して有意に高値を示した(図 8, 9). 中間位において、外転 90 度から下垂位への内旋トルク値増加率は  $26.3 \pm 23.8$  %であった.

図  $10\sim12$  に外旋 30 度、中間位、内旋 30 度における外転 90 度と下垂位の大胸筋鎖骨部、広背筋、三角筋前部の%IEMG を示した。下垂位における大胸筋鎖骨部の%IEMG はいずれの回旋角度においても外転 90 度と比較して有意に高値を示した(図  $10\sim12$ ).

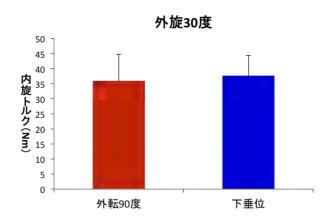


図7. 外旋30度での外転90度と下垂位の内旋トルク値

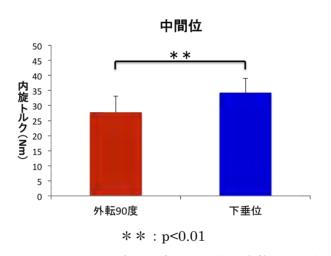


図 8. 中間位での外転 90 度と下垂位の内旋トルク値

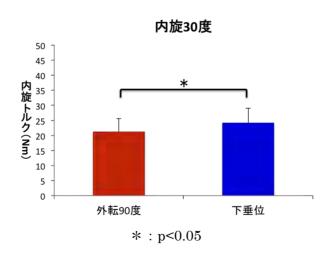
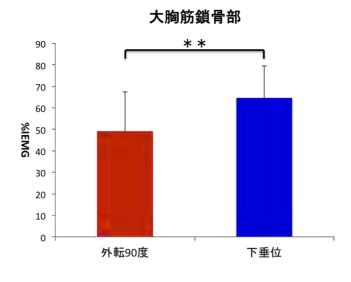
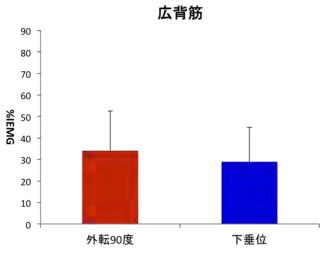


図 9. 内旋 30 度での外転 90 度と下垂位の内旋トルク値





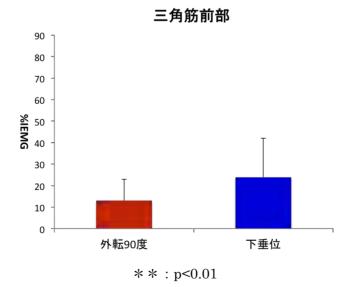
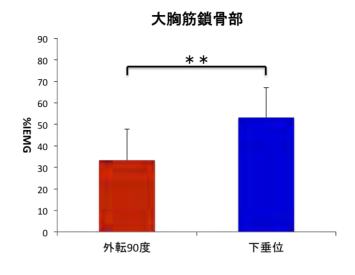
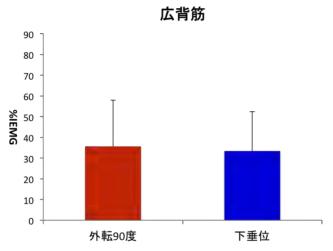


図 10. 外旋 30 度での外転 90 度と下垂位の各筋の%IEMG





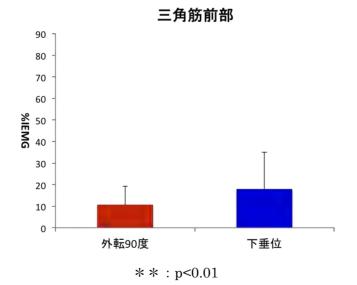
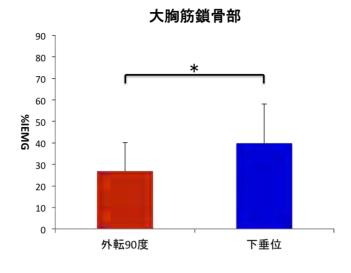
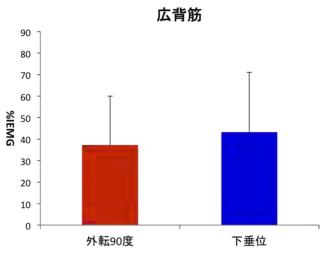


図 11. 中間位での外転 90 度と下垂位の各筋の%IEMG





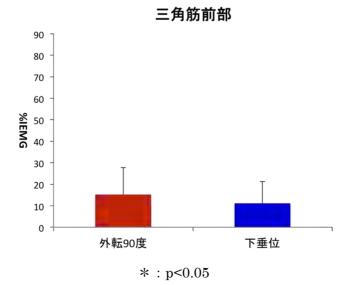


図 12. 内旋 30 度での外転 90 度と下垂位の各筋の%IEMG

# 2.2.3 回旋角度の違いによる内旋トルク値および筋放電量の比較

#### A). 外転 90 度における回旋角度の違い

図 13 に外転 90 度における各回旋角度での内旋トルク値を示した. 一元配置の分散分析の結果, 異なる 5 つの肢位間で内旋トルク値は有意な差が認められた (F=11.374, p<0.01). 多重比較の結果, 外旋 60 度および外旋 30 度はどちらも中間位と内旋 30 度よりも有意に高値を示した. また, 外旋 90 度は内旋 30 度よりも有意に高値を示した. 最小内旋トルク値を示した内旋 30 度から最大内旋トルク値を示した外旋 60 度への増加率は 77.0  $\pm$  54.7 %であった.

図 14 に外転 90 度における各回旋角度での大胸筋鎖骨部、広背筋、三角筋前部の% IEMG を示した.一元配置の分散分析の結果、異なる 5 つの肢位間で大胸筋鎖骨部の%IEMG は有意な差が認められた(F=11.173、p<0.01).外旋 90 度および外旋 60 度はどちらも中間位と内旋 30 度よりも有意に高値を示し、外旋 30 度は内旋 30 度よりも有意に高値を示した.広背筋の%IEMG は有意な差が認められなかった(F=1.998、p=0.104).三角筋前部の%IEMG は有意な差が認められ (F=3.83、p<0.01),外旋 90 度は外旋 30 度と中間位よりも有意に高値を示した.

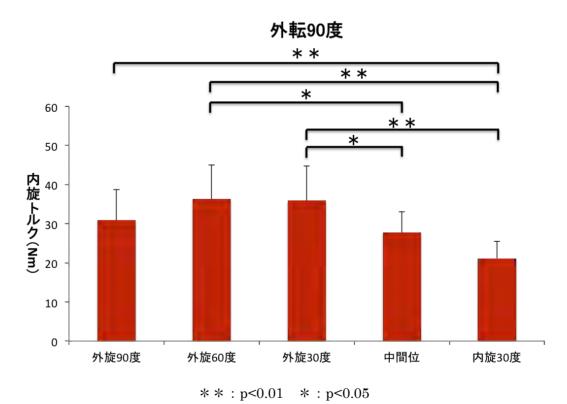
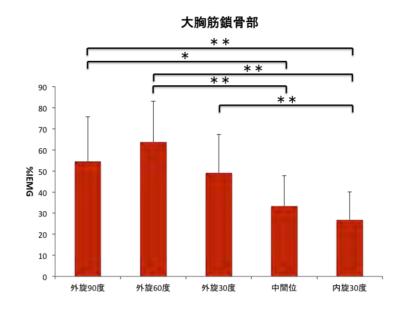
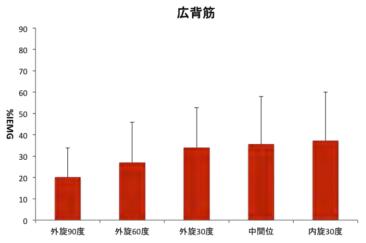


図 13. 外転 90 度における回旋角度の違いによる内旋トルク値





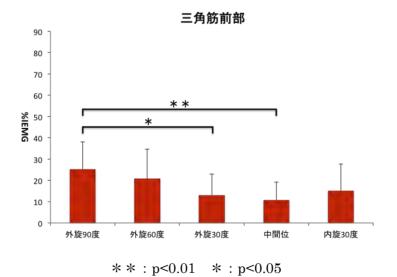


図 14. 外転 90 度における回旋角度の違いによる各筋の%IEMG

# B). 下垂位における回旋角度の違い

図 15 に下垂位における各回旋角度での内旋トルク値を示した. 一元配置の分散分析の結果, 異なる 3 つの肢位間で内旋トルク値は有意な差が認められた (F=22.192, p<0.01). 多重比較の結果, 外旋 30 度および中間位はどちらも内旋 30 度と比較して有意に高値を示した. 最小内旋トルク値を示した内旋 30 度から最大内旋トルク値を示した外旋 30 度 への増加率は  $57.7 \pm 34.2$  %であった.

図 16 に外転 90 度における各回旋角度での大胸筋鎖骨部, 広背筋, 三角筋前部の% IEMG を示した. 一元配置の分散分析の結果, 異なる 3 つの肢位間で大胸筋鎖骨部の%IEMG は有意な差が認められた (F=9.274, p<0.01). 外旋 30 度は内旋 30 度よりも有意に高値を示した. 広背筋の%IEMG は有意な差が認められなかった (F=1.741, p=0.188). 三角筋前部の%IEMG は有意な差が認められなかった (F=2.486, p=0.095).

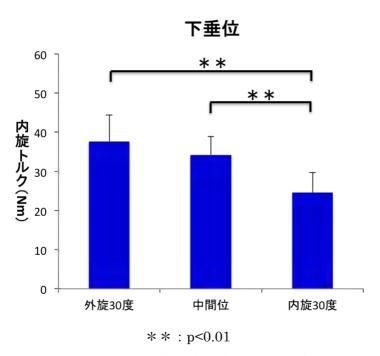
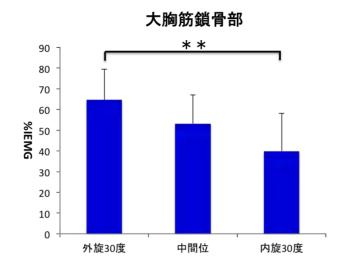
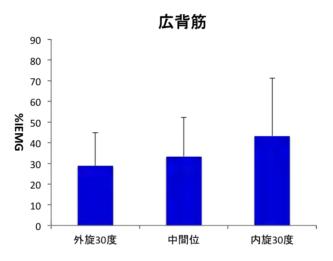


図 15. 下垂位における回旋角度の違いによる内旋トルク値





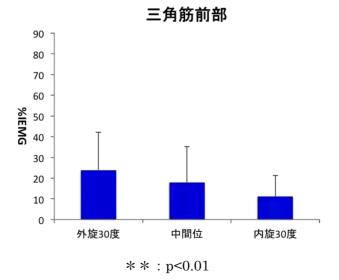


図 16. 下垂位における回旋角度の違いによる各筋の%IEMG

各関節角度で得られた 2 回分の内旋トルク値から ICC を算出した結果,全ての関節角度において ICC は 0.8 以上の数値が得られた (表 2). ICC の評価基準について桑原ら (1993) は, 0.6 以上で可能 (possible), 0.7 以上で普通 (OK), 0.8 以上で良好 (good), 0.9 以上で優秀 (great) であると報告している. また, Landis (1977) は ICC が 0.41  $\sim 0.60$  で moderate (中程度),  $0.61 \sim 0.80$  で substantial (十分),  $0.81 \sim 1.00$  で almost perfect (非常に高い) と定義している. ゆえに,本研究での肩関節における各関節角度での等尺性内旋筋力測定の同一被験者を対象とした測定値の再現性は良好であると判断できる.

本研究では、肩関節回旋角度が中間位および内旋30度の際に下垂位の方が外転90度と比較して内旋筋力が有意に高値を示した(図8,9). 先行研究では運動肢位、とりわけ外転角度により内旋筋力が変化することが報告されているが、一定の見解が得られていない(表3). 中山ら(2008) は等尺性内旋筋力では回旋角度が中間位および外旋45度の際は下垂位と外転60度の方が外転120度と比較して有意に高値を示し、回旋角度が内旋45度の際は外転60度の方が外転120度と比較して有意に高値を示したことを報告している. 一方で、収縮様式が等速性と等尺性で異なっているものの、前田ら(2001)は外旋5度から内旋30度の範囲での角速度60deg/secの等速性内旋筋力は下垂位と外転90度の間に有意な差が認められなかったことを報告している.

肩関節外転角度によって内旋筋力が異なる理由として関節角度に伴う moment arm の変化が考えられる. Kuechle ら(2000)は大胸筋の moment arm が外転 90 度と比較して下垂位の方が長いことを報告しており、下垂位の方が大胸筋は最大内旋筋力を発揮しやすい運動肢位となり得ることが考えられる. さらに、本研究において大胸筋鎖骨部の%IEMG は回旋角度に関係なく、外転 90 度と比較して下垂位の方が有意に高値を示していた(図  $10\sim12$ ). 以上により、大胸筋が最大内旋筋力を発揮しやすい下垂位において肩関節内旋筋力が高値を示したと考える.

肩関節内旋筋力の回旋角度依存性は、本研究によって初めて検討された。その結果として、外転90度においても下垂位においても中間位から外旋位において内旋筋力を発揮しやすいことが示された(図 13, 15).

肩関節回旋角度によって内旋筋力が異なる理由としても関節角度に伴う moment arm の変化が考えられる. 藤澤ら (1999) は肩関節回旋運動の際は筋線維走行が上腕骨の回 旋軸中心に対して接線方向にある方が有利となると述べている. 解剖学的な位置関係を 考慮すると, 外転 90 度においても下垂位においても, 外旋位は内旋位と比較すると大胸

筋の moment arm は長くなり、筋線維走行が上腕骨の回旋軸中心に対して接線方向に近くなる (図 17, 18). さらに、本研究において大胸筋鎖骨部の%IEMG は挙上角度に関係なく、内旋位と比較して外旋位の方が高値を示していた (図 14, 16). 以上により、大胸筋が最大内旋筋力を発揮しやすい外旋位において肩関節内旋筋力が高値を示したと考える.

本研究の結果では、肩関節における等尺性内旋筋力を測定する際は挙上角度、および 回旋角度が異なることで発揮される内旋筋力は変化し、アウターマッスルの各内旋筋の 筋活動も変化することが示された. ゆえに、インナーマッスルである肩甲下筋において も関節角度の依存性に従い、発揮される内旋筋力や筋活動が変化する可能性がある.

Kuechle ら(2000)の報告によると生理学的断面積(PCSA)と moment arm の積で 算出される Potential moment の値が外転 90 度の時に大胸筋や広背筋, 三角筋前部と比 較して肩甲下筋では大きいため, 肩甲下筋は下垂位よりも外転 90 度において内旋作用の 貢献度が高いことを示唆している. また, Suenaga ら(2003)によると, 下垂位におけ る等尺性内旋運動では肩甲下筋, 大胸筋ともに筋活動が高かったものの, 外転 90 度では 肩甲下筋の筋活動が高いまま, 大胸筋の筋活動は抑制されていた.

したがって、先行研究を踏まえると、回旋腱板筋トレーニングを行うことで肩甲下筋の筋活動が賦活された場合、下垂位よりも外転 90 度の方が等尺性内旋筋力を向上させるという結果が得られるかもしれない.

# 表 3. 肩関節内旋筋力測定に及ぼす測定肢位の影響を検証した研究

著者	測定肢位	筋収縮様式	結果
前田ら(2001)	下垂位 VS 外転 90 度	角速度 60deg/sec の等速性内旋筋力	有意差なし
		(範囲:外旋5度~内旋30度)	
中山ら(2008)	回旋角度(外旋 45 度,中間位,内旋	等尺性内旋筋力	下垂位, 外転 60 度 > 外転 120 度
	45 度)× 挙上角度(下垂位, 屈曲 60		(回旋角度:中間位,外旋 45 度)
	度, 屈曲 120 度, 肩甲骨面举上 60 度,		外転 60 度 > 外転 120 度
	肩甲骨面举上 120 度, 外転 60 度, 外		(回旋角度:内旋45度)
	転 120 度)		
	の組み合わせで合計 21 肢位		
Soderberg et al. (1987)	外転 90 度 VS 肩甲骨面举上 45 度	角速度 60, 180, 300deg/sec の等速	外転 90 度 > 肩甲骨面举上 45 度
		性内旋筋力	
		(範囲:?)	
Greenfield et al. (1990)	外転 90 度 VS 肩甲骨面举上 45 度	角速度 60deg/sec の等速性内旋筋力	有意差なし
		(範囲:?)	
本研究	外転 90 度での外旋 90 度, 外旋 60 度,	等尺性内旋筋力	下垂位 > 外転 90 度
	外旋 30 度,中間位,内旋 30 度		(回旋角度:中間位,内旋 30 度)
	下垂位での外旋 30 度,中間位,内旋		
	30 度		
	合計 8 肢位		

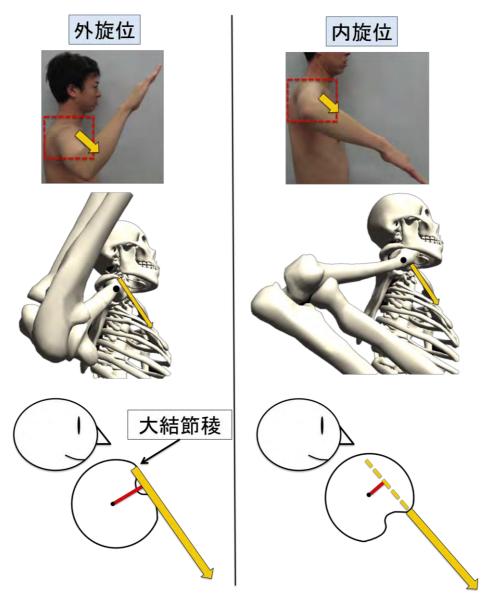


図 17. 外転 90 度における大胸筋の moment arm

黄色の矢印が大胸筋の筋線維走行を表し、赤線が moment arm の長さを表す. 解剖学的な位置関係を考慮し、矢状面での外転 90 度における大胸筋の停止部(大結節稜)から moment arm の長さを模式した.

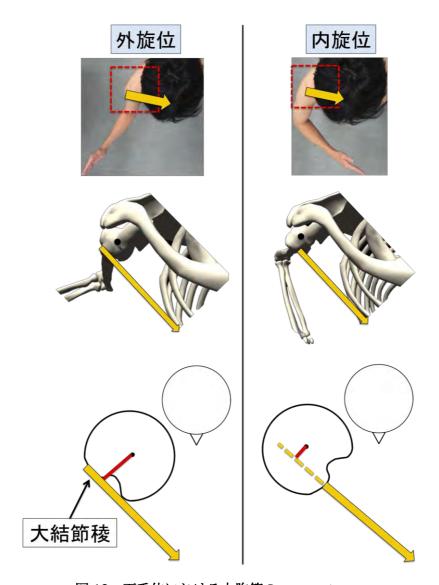


図 18. 下垂位における大胸筋の moment arm

黄色の矢印が大胸筋の筋線維走行を表し、赤線が moment arm の長さを表す. 解剖学的な位置関係を考慮し、水平面での下垂位における大胸筋の停止部(大結節稜) から moment arm の長さを模式した.

# 第3章 回旋腱板筋トレーニングが肩関節等尺性内旋筋力に与える影響

第2章では肩関節における等尺性内旋筋力を測定する際は挙上角度、および回旋角度が異なることで発揮される内旋筋力は変化し、各筋の筋活動も変化することがわかった。第3章では回旋腱板筋トレーニングの効果を検討するため、単回のトレーニングによる効果とトレーニングを1 ヶ月間継続することによる効果の検討を行った。その際、回旋腱板筋トレーニングによる効果が関節角度の依存性に従って認められるのか、あるいは全ての関節角度においてその効果が認められるのかを検討するために、第2章で測定した8肢位全てで筋力測定を行った。

# 3.1 方法

# 3.1.1 被験者

肩関節に既往歴がなく,現在は主なトレーニング習慣のない健常な一般成人男性 26 名を対象とした.実験に先立ち,被験者に対して研究の目的,実験内容,データの取り扱いについて説明を行い,各被験者に協力の同意と署名を得た.なお,本研究は実験を行う前に,研究の目的・実験内容について『立命館大学における人を対象とする研究倫理審査委員会』により承認【BKC-人-2014-018】を得たものである.

26 名の被験者を年齢、身長、体重の項目に対してそれぞれ統計学的に有意な差が認められないように留意し、トレーニング群 13 名とコントロール群 13 名にランダムに振り分けた (表 4). 被験者のスポーツ競技歴を表 5 に示した.

	全被験者	トレーニング群	コントロール群
	(n=26)	(n=13)	(n=13)
年齢 (歳)	$23.5 \pm 3.2$	$23.3 \pm 3.2$	$23.7 \pm 3.4$
身長(cm)	$171.5 \pm 5.2$	$172.2 \pm 5.1$	$170.8 \pm 5.4$
体重(kg)	$65.6 \pm 9.1$	$63.8 \pm 7.9$	$67.4 \pm 10.2$

表 4. 被験者の身体特性

表 5. 被験者のスポーツ競技歴

	トレーニング群(n=13)		コントロール群(n=13)
A	野球 10 年	a	バスケ3年、硬式テニス3年
В	サッカー15 年	b	野球 10 年
С	サッカー13年	c	野球 10 年
D	バスケ 15 年	d	バスケ6年
Е	サッカー11 年	e	サッカー3年
F	ソフトテニス8年	f	サッカー3年、ハンドボール3年
G	サッカー6年	g	柔道6年
Н	陸上3年	h	サッカー18年,水泳 4年
Ι	サッカー12 年	i	バスケ 10 年
J	野球9年、ソフトボール3年	j	サッカー12 年
K	野球 10 年	k	水泳 10 年
L	野球 12 年	1	水泳 10 年
M	サッカー9年	m	サッカー10年

# 3.1.2 実験の全体像

全被験者 26 名に対し、Baseline 測定として筋力測定を行った。その後、トレーニング群は週 3 回の回旋腱板筋トレーニングを 1 ヶ月間継続して行い、コントロール群は回旋腱板筋トレーニングを含め、その他の筋力トレーニングを 1 ヶ月間行わないように指示した。1 ヶ月後、両群ともに再度同じ筋力測定を行った(以下、1 Month later)(図 19)。

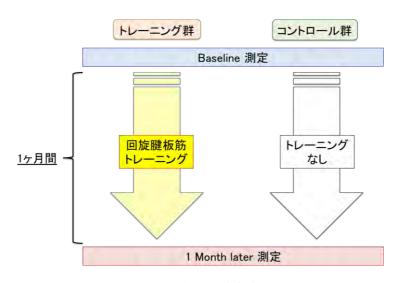


図19. 実験の全体像

### 3.1.3 回旋腱板筋トレーニング

実験を行う前にあらかじめ、全被験者に対して回旋腱板筋の解剖学的位置や機能的役割に関する知識提供を行い、トレーニング中に意識する部位などを含めてトレーニング指導を行った。トレーニング試技には、先行研究において回旋腱板筋の高い筋活動が認められたもの(Myers et al., 2005)、およびトレーニング教本において一般的に紹介されており(石橋、2014;立花、2007)、スポーツ現場でもよく行われているもの(小嶋、2014(付録))を考慮して以下の6種類を採用した(図20)

- ① ゼロポジションでの内旋運動:中間位から内旋30度の範囲で行った.
- ② ゼロポジションでの外旋運動:中間位から外旋30度の範囲で行った.
- ③ 下垂位での内旋運動:外旋30度から内旋60度の範囲で行った.
- ④ 下垂位での外旋運動:内旋60度から外旋30度の範囲で行った.
- ⑤ 肩甲骨引き運動: 肘関節伸展 0 度で肩関節屈曲 120 度の肢位から肘関節の屈曲を 伴いながら肩甲骨を内転,下方回旋するように行った.
- ⑥ 肩甲骨パンチ運動: 肘関節最大屈曲位で肩甲骨を内転, 下方回旋した肢位から肘関節の伸展を伴いながら肩甲骨を外転, 上方回旋するように行った.

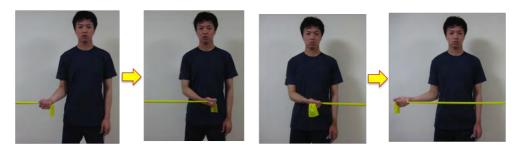
6種類のトレーニングは①から⑥の順序でそれぞれ1セットずつ行い,1セット20回,2秒に1回のペースで行うように指導した.ゴムチューブの負荷量は1セット20回を終えた後に主観的に"肩の深層にだるい感覚が得られる程度"とした.疲労の影響を考慮して,セット間には2分間の休息を挟んだ.①から⑥のトレーニングを終えるまでに,およそ15分程度を要した.

なお、実験を行う前にゴムチューブの負荷量について検討したところ、下垂位での内旋運動ではゴムチューブを0.3m程度引っ張った時の張力が15Nであり、およそ2.25Nm程度の負荷がかかるトレーニングであることが判明した(図 21). 第 2 章の結果として下垂位での内旋 30 度における平均内旋トルク値が24.5Nm であったことを踏まえると、およそ 1/10 程度の負荷量であり、その他のトレーニングにおいても負荷量は同程度の低負荷であったと考えられる.



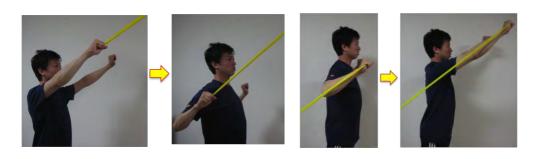
①ゼロポジションでの内旋運動

②ゼロポジションでの外旋運動



③下垂位での内旋運動

④下垂位での外旋運動

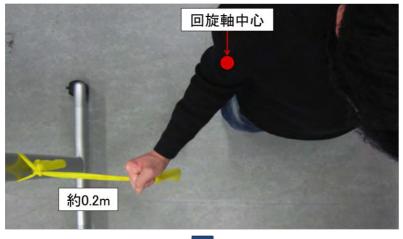


⑤肩甲骨引き運動

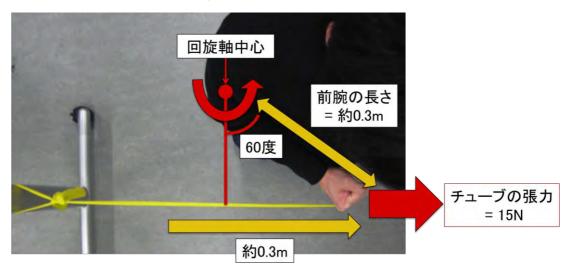
⑥肩甲骨パンチ運動

図 20. 回旋腱板筋トレーニングメニュー

- ① ゼロポジションでの内旋運動:中間位から内旋30度の範囲で行った.
- ② ゼロポジションでの外旋運動:中間位から外旋30度の範囲で行った.
- ③ 下垂位での内旋運動:外旋30度から内旋60度の範囲で行った.
- ④ 下垂位での外旋運動:内旋60度から外旋30度の範囲で行った.
- ⑤ 肩甲骨引き運動: 肘関節伸展 0 度で肩関節屈曲 120 度の肢位から肘関節の屈曲 を伴いながら肩甲骨を内転,下方回旋するように行った.
- ⑥ 肩甲骨パンチ運動: 肘関節最大屈曲位で肩甲骨を内転, 下方回旋した肢位から肘 関節の伸展を伴いながら肩甲骨を外転, 上方回旋するように行った.







チューブの張力 (F) = 15 N モーメントアームの長さ  $(R) = 0.3 \cos 60^\circ = 0.15 \text{ m}$  チューブを引っ張る際のトルク (T) = 15  $(F) \times 0.15$  (R) = 2.25 Nm

図 21. 下垂位での内旋運動の際に 0.3m 程度チューブを引っ張った場合の推定 モーメント

### 3.1.4 測定試技・手順

筋力測定までの手順は、第2章の2.1.2 測定試技・手順と同様の方法で行った. 以下に Baseline、および1 Month later での筋力測定手順について述べる.

まずは全被験者 26 名に対して 8 肢位をランダマイズし、各肢位で 1 回ずつ測定を行った (以下、Baseline – pre). 試技間は疲労の影響を考慮して、2 分間の休息を挟んだ. 8 肢位での測定を終えた後、10 分間の休息を挟んでから 3.1.3 回旋腱板筋トレーニングを行った. その後、再度 8 肢位での測定を 1 回ずつ行った (以下、Baseline – post).

両群ともに  $1 ext{ } e$ 



3.1.5 データ処理

データ処理の方法は、第2章の2.1.3データ処理と同様の方法で行った.

### 3.1.6 統計処理

各試技の内旋トルク値(Nm)と筋電図積分値(%IEMG)について、平均値と標準偏差を算出した.

単回の回旋腱板筋トレーニングによる効果に関する検討に関しては、全被験者 (n=26) の内旋トルク値に対して Baseline – pre と Baseline – post の各関節角度、および単回 のトレーニング前後の平均値の差について二元配置の分散分析を行い、交互作用が存在 するかを検討した. なお、Baseline – pre と Baseline – post の内旋トルク値変化率 (%) も算出した.

1ヶ月間の回旋腱板筋トレーニングによる効果に関する検討に関しては、トレーニング群 (n=13) とコントロール群 (n=13) に分類し、内旋トルク値に対して Baseline – pre と 1 Month later – pre の各関節角度、および 1ヶ月間のトレーニング前後の平均値の差について二元配置の分散分析を行い、交互作用が存在するかを検討した。なお、Baseline – pre と 1 Month later – pre の内旋トルク値変化率(%)も算出した。

また、1ヶ月間の回旋腱板筋トレーニングを行うことによって単回の回旋腱板筋トレーニングの効果に変化が認められるのかを検討するためにトレーニング群(n=13)の内旋トルク値に対して 1 Month later – pre と 1 Month later – post の各関節角度、およびトレーニング前後の平均値の差について二元配置の分散分析を行い、交互作用が存在するかを検討した。なお、1 Month later – pre と 1 Month later – post の内旋トルク値変化率(%)も算出した。

統計処理には統計解析ソフトウェア(SPSS Statistics Ver19, IBM, 東京)を用い, いずれの検定も有意水準は5%未満とした.

### 3.2 結果

## 3.2.1 単回の回旋腱板筋トレーニングによる効果

全被験者の Baseline における内旋トルク値に対する二元配置の分散分析(関節角度 × Baseline – pre・post)の結果,どちらにおいても主効果が認められ,関節角度間および Baseline – pre と Baseline – post の間において,それぞれ有意な差が認められた(p< 0.01). 交互作用は認められなかった (p=0.967). 事後検定として,各関節角度の Baseline – pre と Baseline – post の各項目の平均値の差について対応のある t 検定を行った.その結果,Baseline – post の内旋トルク値は外転 90 度での外旋 90 度,外旋 60 度,外旋 30 度,中間位,および下垂位での外旋 30 度,内旋 30 度の関節角度において Baseline – pre と比較して有意に低値を示した(表 6).

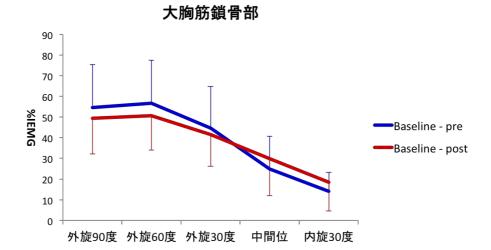
各関節角度における Baseline – post の各筋の%IEMG は Baseline – pre と比較して有意な差は認められなかった(図 23, 24).

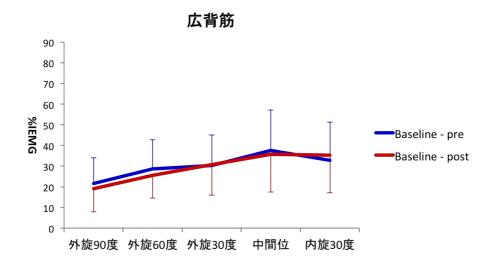
表 6. 全被験者 (n=26) Baseline の内旋トルク値

		Baseline – pre	Baseline – post	変化率
		(Nm)	(Nm)	(%)
	外旋 90 度	$34.7 \pm 8.4$	$31.9 \pm 8.2**$	$-7.6 \pm 13.4$
	外旋 60 度	$39.5 \pm 9.4$	$35.2 \pm 8.5$ **	$-10.4 \pm 8.8$
外転 90 度	外旋 30 度	$35.8 \pm 8.8$	$31.9 \pm 7.0**$	$-9.8 \pm 11.6$
	中間位	$28.4 \pm 6.3$	$26.0 \pm 5.7 *$	$-7.4 \pm 13.6$
	内旋 30 度	$20.2 \pm 5.0$	$18.7 \pm 4.9$	$-6.0 \pm 18.5$
	外旋 30 度	$40.4 \pm 8.5$	$38.0 \pm 8.8**$	$-6.1 \pm 6.8$
下垂位	中間位	$35.7 \pm 7.7$	$34.4 \pm 7.3$	$-3.1 \pm 9.7$
	内旋 30 度	$26.6 \pm 5.2$	24.1 ± 4.8**	$-8.9 \pm 11.5$

\*\* : p<0.01 vs. Baseline – pre

\*: p<0.05 vs. Baseline – pre





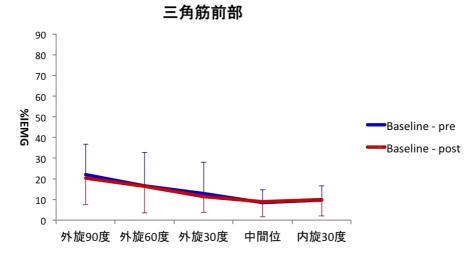
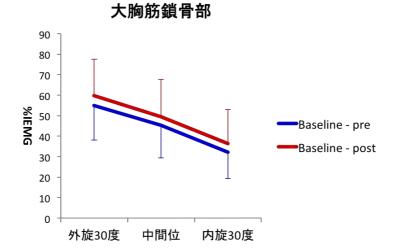
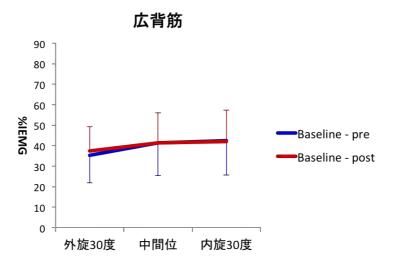


図 23. 全被験者 (n=26) Baseline の外転 90 度における各筋の%IEMG





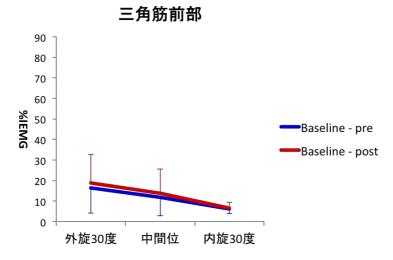


図 24. 全被験者 (n=26) Baseline の下垂位における各筋の%IEMG

## 3.2.2 1ヶ月間の回旋腱板筋トレーニングによる効果

両群の各関節角度における内旋トルク値の初期値の平均値の差について対応のない t 検定を行ったところ,外転 90 度での外旋 90 度ではコントロール群がトレーニング群と 比較して有意に高値を示した (表 7).

トレーニング群の Baseline – pre と 1 Month later – pre における内旋トルク値に対する二元配置の分散分析(関節角度 × Baseline – pre・1 Month later – pre)の結果, どちらにおいても主効果が認められ、関節角度間および Baseline – pre と 1 Month later – pre の間において、それぞれ有意な差が認められた(p<0.01). 交互作用は認められなかった (p=0.997). 事後検定として、各関節角度の Baseline – pre と 1 Month later – pre の各項目の平均値の差について対応のある t 検定を行った.その結果,1 Month later – pre における各関節角度の内旋トルク値は、全ての関節角度において Baseline – pre と比較して有意に高値を示した(表 7). 1 Month later – pre における大胸筋鎖骨部の%IEMG は下垂位での中間位と内旋 30 度において Baseline – pre と比較して有意に高値を示した(図 26). 1 Month later – pre における広背筋の%IEMG は外転 90 度での内旋 30 度と下垂位での外旋 30 度において Baseline – pre と比較して有意に高値を示した(図 25、26). 1 Month later – pre における三角筋前部の%IEMG は外転 90 度での中間位と内旋 30 度、および下垂位での外旋 30 度と内旋 30 度において Baseline – pre と比較して有意に高値を示した(図 25、26).

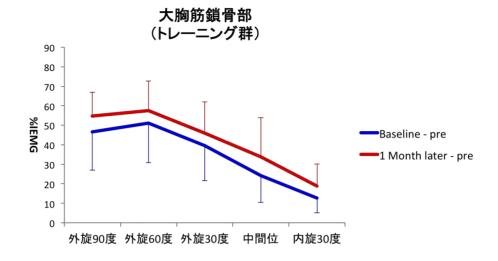
一方で、コントロール群の Baseline – pre と 1 Month later – pre における内旋トルク値に対する二元配置の分散分析 (関節角度 × Baseline – pre・1 Month later – pre) の結果、主効果が認められ、関節角度間においてのみ有意な差が認められた(p<0.01). 交互作用は認められなかった(p=0.999). 事後検定として、各関節角度の Baseline – pre と 1 Month later – pre の各項目の平均値の差について対応のある t 検定を行った.その結果、1 Month later – pre における各関節角度の内旋トルク値は、全ての関節角度において Baseline – pre と比較して有意な差は認められなかった(表 7). 1 Month later – pre における各筋の%IEMG においても、全ての関節角度において Baseline – pre と比較して有意な差は認められなかった.

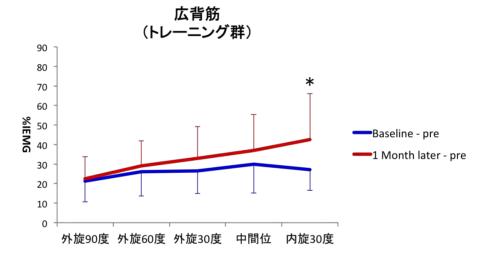
表 7. 両群の Baseline - pre, 1 Month later - pre の内旋トルク値

トレーニング群 (n=13)					コントロール群 (n=13)		
		Baseline – pre	1 Month later –	変化率	Baseline – pre	1 Month later –	変化率
		(Nm)	pre (Nm)	(%)	(Nm)	pre (Nm)	(%)
	外旋 90 度	$31.3 \pm 6.9$	$39.5 \pm 10.8**$	$25.4 \pm 14.1$	$38.0 \pm 8.7$ §	$37.2 \pm 7.8$	$-1.5 \pm 11.7$
	外旋 60 度	$36.9 \pm 8.9$	42.0 ± 13.4**	$13.3 \pm 16.9$	$42.1 \pm 9.6$	$41.1 \pm 7.7$	$-1.2 \pm 9.0$
外転 90 度	外旋 30 度	$33.6 \pm 8.2$	38.1 ± 11.4**	$12.6 \pm 9.7$	$38.0 \pm 9.1$	$36.0 \pm 8.1$	$-4.6 \pm 9.7$
	中間位	$27.0 \pm 6.7$	$32.4 \pm 10.3**$	$19.2 \pm 16.1$	$29.8 \pm 5.8$	$28.7 \pm 5.7$	$-3.4 \pm 6.9$
	内旋 30 度	$19.2 \pm 5.1$	$25.5 \pm 5.5**$	$36.7 \pm 25.9$	$21.2 \pm 4.9$	$20.9 \pm 5.2$	$-1.4 \pm 8.9$
	外旋 30 度	$38.6 \pm 8.8$	43.6 ± 13.4**	$11.8 \pm 11.8$	$42.1 \pm 8.2$	$41.7 \pm 9.4$	$-1.3 \pm 6.7$
下垂位	中間位	$33.9 \pm 6.8$	39.2 ± 12.1**	$15.0\pm17.0$	$37.4 \pm 8.4$	$37.2 \pm 8.5$	$-0.2 \pm 6.1$
	内旋 30 度	$25.2 \pm 5.0$	29.7 ± 5.9**	$19.0 \pm 14.8$	$27.9 \pm 5.3$	$28.7 \pm 6.3$	$2.8 \pm 13.1$

\*\*: p<0.01 vs. トレーニング群 Baseline – pre

§: p<0.05 vs. トレーニング群 Baseline – pre





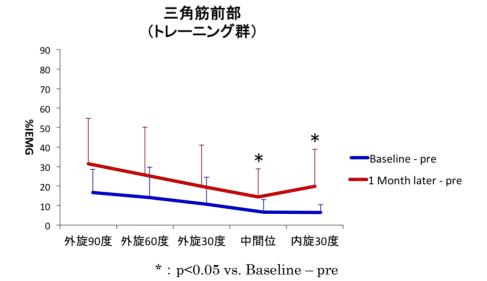
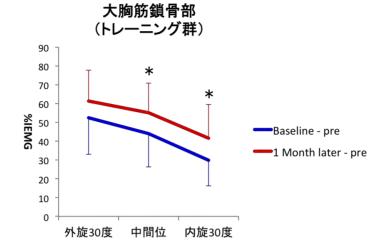
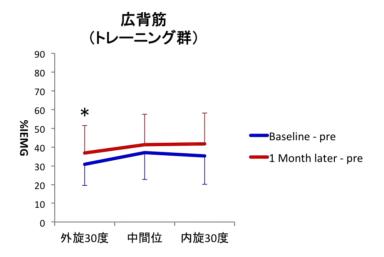
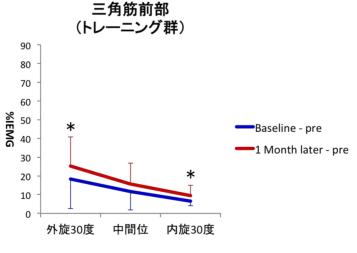


図 25. トレーニング群(n=13)Baseline – pre, 1 Month later – pre の外転 90 度における各筋の%IEMG







 $\boldsymbol{*}$ : p<0.05 vs. Baseline – pre

図 26. トレーニング群 (n=13) Baseline – pre, 1 Month later – pre の下垂 位における各筋の%IEMG

## 3.2.3 1ヶ月後の単回の回旋腱板筋トレーニングによる効果

トレーニング群の 1 Month later における内旋トルク値に対する二元配置の分散分析 (関節角度 × 1 Month later – pre・post) の結果,どちらにおいても主効果が認められ, 関節角度間および 1 Month later – pre と 1 Month later – post の間において,それぞれ 有意な差が認められた(p<0.01, p<0.05).交互作用は認められなかった(p=1.000). 事後検定として,各関節角度の 1 Month later – pre と 1 Month later – post の各項目の 平均値の差について対応のある t 検定を行った.その結果,1 Month later – post における各関節角度の内旋トルク値は,全ての関節角度において 1 Month later – pre と比較し て有意に低値を示した(表 8).

表 8. トレーニング群 (n=13) 1 Month later の内旋トルク値

		1 Month later – pre (Nm)	1 Month later – post (Nm)	変化率 (%)
	1	pre (mi)	post (MIII)	(70)
	外旋 90 度	$39.5 \pm 10.8$	$35.6 \pm 10.8$ *	$-9.5 \pm 12.0$
	外旋 60 度	$42.0\pm13.4$	$38.3 \pm 14.5**$	$-9.3 \pm 9.1$
外転 90 度	外旋 30 度	$38.1 \pm 11.4$	$34.8 \pm 12.3*$	$-8.9 \pm 9.9$
	中間位	$32.4 \pm 10.3$	$28.8 \pm 9.2**$	$-10.3 \pm 9.7$
	内旋 30 度	$25.5 \pm 5.5$	$21.7 \pm 6.2**$	$-14.9 \pm 14.1$
	外旋 30 度	$43.6 \pm 13.4$	41.1 ± 14.0**	$-6.3 \pm 5.2$
下垂位	中間位	$39.3 \pm 12.1$	$36.4 \pm 11.4**$	$-7.3 \pm 7.9$
	内旋 30 度	$29.7 \pm 5.9$	$25.1 \pm 6.1$ **	$-15.6 \pm 11.1$

\*\*: p<0.01 vs. 1 Month later – pre

\*: p<0.05 vs. 1 Month later – pre

#### 3.3.1 単回の回旋腱板筋トレーニングによる効果に対する考察

本研究の結果より,単回の回旋腱板筋トレーニング後に等尺性内旋筋力は外転 90 度での外旋 90 度,外旋 60 度,外旋 30 度,中間位,および下垂位での外旋 30 度,内旋 30 度の関節角度において有意な低下を示した(表 6).その一方で,内旋作用を有するアウターマッスルの大胸筋鎖骨部,広背筋,三角筋前部の筋電位は有意な差が認められなかった(図 23、24).

本研究では表面筋電図を用いたため、内旋作用を有するインナーマッスルの肩甲下筋の筋電位は測定できていない。ゆえに、肩甲下筋において筋活動がどのように変化していたのかは検討できない。しかし、アウターマッスルの大胸筋鎖骨部、広背筋、三角筋前部の筋活動に変化が認められなかったことを踏まえると、単回の回旋腱板筋トレーニングにより肩甲下筋が疲労したことで筋活動が減少し、等尺性内旋筋力が低下した可能性がある。

なお、トレーニング群の1ヶ月後においても、単回の回旋腱板筋トレーニング後に等 尺性内旋筋力は全ての関節角度において有意な低下を示した(表 8). したがって、継続 した回旋腱板筋トレーニングを行ったとしても単回の回旋腱板筋トレーニングによる等 尺性内旋筋力の低下は引き起こされてしまうことが示唆された.

### 3.3.2 1ヶ月間の回旋腱板筋トレーニングによる効果に対する考察

6種類の回旋腱板筋トレーニングを1セット20回,週3回で1ヶ月間継続して行うことによって,肩関節角度に関係なく,等尺性内旋筋力を向上させた(表 7).一般的に,筋力向上には神経性要因と筋の形態的要因が関与している.通常,筋肥大は運動後3~5週間以降に生じる(Moritani et al., 1979)ことから,本研究における等尺性内旋筋力の向上は神経性要因の方が深く関与していることが考えられる.神経性要因としては運動単位の発火頻度や同期化,拮抗筋における活動抑制などが挙げられる(後藤,2010).

本研究におけるゴムチューブを用いた回旋腱板筋トレーニングの負荷量は 3Nm 以下程度の低負荷であったにも関わらず,等尺性内旋筋力が向上した.その要因の一つとして,低負荷による回旋腱板筋トレーニングは弱い筋張力発揮を要求したことでサイズの原理に従い,深層に位置する回旋腱板筋の運動単位が主に動員され,それが繰り返し行われたことで回旋腱板筋の収縮力が増大したことが考えられる.

中でも肩甲下筋の影響が大きい可能性がある. Fujisawa ら (1998) は陸上と水中の 2 条件における無負荷での内旋運動の際に、どちらの条件においても活動性が高まるのは

肩甲下筋のみであったことを報告している. ゆえに,本研究における回旋腱板筋トレーニングに含まれていた『③下垂位での内旋運動』は,アウターマッスルに対して肩甲下筋の相対的増強効果を高める運動であったことが考えられる. また, Myers ら (2005)はゴムチューブを用いた外転 90 度での内旋運動や下垂位での内旋運動,肩甲骨引き運動および肩甲骨パンチ運動においても肩甲下筋の高い筋活動を確認している. ゆえに,本研究における回旋腱板筋トレーニングに含まれていた『①ゼロポジションでの内旋運動』,『③下垂位での内旋運動』,『⑤肩甲骨引き運動』,『⑥肩甲骨パンチ運動』は,肩甲下筋の相対的増強効果を高める運動であったことが考えられる. したがって,本研究に用いた 6 種類の回旋腱板筋トレーニングを継続したことで肩甲下筋の神経性要因が変化し,等尺性内旋筋力が向上した可能性がある.

回旋腱板筋の収縮力が向上したことで肩関節の force couple が改善し、上腕骨頭が肩甲骨関節窩に引きつけられて内旋運動時の動的安定性が高まった結果、等尺性内旋筋力が向上した可能性もある。山口(1992)は肩関節に不安定性のある症例において外転 90度の等尺性内旋筋力、および大胸筋と広背筋の筋活動が顕著に低下していたことを報告している。一方で、Swanik ら(2002)は大学生水泳選手を対象とし、低負荷のゴムチューブとダンベルを併用して 6週間のトレーニングを行ったことで水泳動作時の肩の痛みの発症率を軽減し、外転 90度での等速生内旋筋力が向上したことを報告している。

本研究のトレーニング群には肩関節における既往歴がない被験者を選出したが、学生時代に野球やソフトテニスなどのオーバーヘッド動作を伴うスポーツを長年経験している被験者が含まれていた。そのため、スポーツ動作として過去に肩関節の回旋運動を繰り返し行っていたことで肩関節に痛みはないが、関節の不安定性が生じている被験者が含まれていた可能性がある。肩関節の不安定性がある被験者では、回旋腱板筋トレーニングを行ったことで肩関節の force couple が改善し、内旋運動時の動的安定性が向上した結果、等尺性内旋筋力が向上した可能性がある。

### 第4章 総合討論

第2章の結果より、肩関節における等尺性内旋筋力を測定する際は肩関節の挙上角度、および回旋角度が異なることで発揮される内旋筋力は変化し、各筋の筋活動も変化することがわかった。そこで、回旋腱板筋トレーニングの効果を等尺性内旋筋力で評価するにあたって、関節角度の依存性に従って内旋筋力が変化することが考えられた。ゆえに、本研究では挙上角度と回旋角度が異なる8つの肢位で回旋腱板筋トレーニングによる効果を検討した。

結果として、単回の回旋腱板筋トレーニングは様々な肩関節角度で内旋筋力を低下させた(表 6). Myers ら(2005)は本研究における回旋腱板筋トレーニングに含まれていた『①ゼロポジションでの内旋運動』に近似する投球動作の加速期の内旋運動』、『②ゼロポジションでの外旋運動』に近似する外転 90 度での外旋運動、『⑤肩甲骨引き運動』、『⑥肩甲骨パンチ運動』を行うことで、回旋腱板筋を含めた肩関節周囲の全筋に対して20%MVC以上の筋活動が確認されたことから、野球におけるウォーミングアップの一部として有効であると述べている。ゴムチューブは手軽にどこにでも持ち運べるといった利点があり、実際にプロ野球選手においてもゴムチューブを用いたウォーミングアップを行っている場面を目にする。

しかし、本研究の結果からは、たとえ低負荷のゴムチューブを用いた回旋腱板筋トレーニングであっても 4 分程度の運動時間で内旋筋力が低下してしまう可能性が示唆された. 肩関節の等速性内旋筋力と投球速度の間には有意な相関があることが報告されている (Pawlowski et al., 1989). ゆえに、収縮様式は等尺性と等速性で異なるものの、単回の回旋腱板筋トレーニング後に肩関節の等尺性内旋筋力が即時的に低下したという今回の結果は、試合前のウォーミングアップとして行った場合、試合中の投球速度を低下させてしまう可能性があると考える.

また、トレーニング群の1ヶ月後においても、単回の回旋腱板筋トレーニングは全ての関節角度において等尺性内旋筋力を低下させた(表 8). ゆえに、回旋腱板筋トレーニングを日頃の練習に取り組んでいる選手であっても、トレーニング内容そのままを導入すると筋力低下を来すことになり、試合前のウォーミングアップとして不適切となる.

したがって、回旋腱板筋トレーニングをウォーミングアップとして用いる場合には、 運動方法の選択、トレーニング負荷量、回数などを慎重に検討すべきであると考える。 ただし、本研究では一般成人男性を対象としており、ゴムチューブを用いた回旋腱板筋 トレーニングに慣れている野球選手を対象とした場合は結果が異なる可能性もある。

一方で、回旋腱板筋トレーニングを1ヶ月間継続して行うことによって、肩関節角度

に関係なく,等尺性内旋筋力を向上させた(表 7). 本研究では単回の回旋腱板筋トレーニング後にアウターマッスルの大胸筋鎖骨部,広背筋,三角筋前部の筋活動に変化が認められなかったものの,等尺性内旋筋力は低下した(表 6,図 23, 24). これは回旋腱板筋に対してトレーニング刺激による負荷がかかっていたことを意味すると考える. その後,トレーニングの継続により回旋腱板筋の筋力が向上し,上腕骨頭を肩甲骨関節窩に引きつける作用が高まったことで,force couple を生み出すアウターマッスルがさらに働きやすくなったことが等尺性内旋筋力を向上させたと推察する.

第2章の結果では、肩関節における等尺性内旋筋力は関節角度の依存性に従って変化していた.しかし、継続した回旋腱板筋トレーニングは関節角度の依存性に関係なく、どの関節角度においても等尺性内旋筋力を向上させた.この結果は、回旋腱板筋があらゆる肢位において内旋筋力の生成に関与していることを示唆している.ゆえに、回旋腱板筋トレーニングは肩関節内旋運動を伴うスポーツ競技者にとって有益なトレーニングであると考える.

同じ内旋作用を有するアウターマッスルの中でも大胸筋は最も筋体積が大きく (Holzbaur et al., 2007), 筋線維長も長いため最大内旋筋力発揮に大きく関与している と考える. 実際に第 2 章の結果では,最大内旋筋力が確認された下垂位での外旋位は大胸筋鎖骨部の筋活動が最も高まる肢位であった.しかし,その筋線維走行を考慮すると 内旋運動の際に上腕骨頭を肩甲骨関節窩から引き離す方向への剪断力が働きやすいため,高負荷の内旋運動トレーニングを繰り返すことで肩関節の不安定性を引き起こす可能性 がある (図 27).

一方で,肩甲下筋は筋線維走行を考慮すると上腕骨頭を肩甲骨関節窩に圧迫する方向への力を働かせながら内旋運動を生成すると思われる。ゆえに,肩関節内旋筋力の向上を目的としたトレーニングを行う際は,肩関節障害予防の観点からも大胸筋を対象とした高負荷のトレーニングだけではなく,本研究で行ったような低負荷の回旋腱板筋トレーニングも併用すべきであると考える。

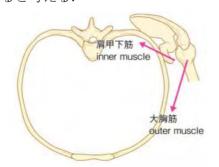


図 27. 大胸筋と肩甲下筋の筋線維走行

回旋腱板筋トレーニングに関する今後の研究課題としては、運動方法や負荷量を変えることでウォーミングアップとして有効であるのか、トレーニング期間を伸ばすことで内旋筋力の向上効果が高まるのか、MRIを用いてトレーニング前後の肩関節周囲筋の筋体積を撮像することで筋の形態的要因に変化が生じるのか、デトレーニングによって数カ月後に発揮される内旋筋力はどのように変化するのか、などが挙げられる。これらを検討することで回旋腱板筋トレーニングによる効果がさらに明確となり、現場の普及率向上に結びつくと考える。

回旋腱板筋トレーニングは低負荷で行うため大胸筋などのアウターマッスルが筋肥大することは考えづらい。また、回旋腱板筋は解剖学的位置関係から、アウターマッスルと比較して上腕骨頭と肩甲骨関節窩の間に生じる剪断力を極力働かさずに内旋筋力の向上が期待できる。したがって、骨成長などの発育阻害を招くことなく、肩関節障害予防の観点からも小学生や中学生の段階で行える簡便なトレーニングとして有効かもしれない。

### 第5章 結論

本研究では、第2章で肩関節における等尺性内旋筋力測定に及ぼす肩関節肢位の影響を検討した. さらに第3章では、ゴムチューブを用いた回旋腱板筋トレーニングが肩関節における等尺性内旋筋力に与える影響を検討した. 主な結果は以下の通りである.

- 1. 肩関節における等尺性内旋筋力を測定する際は関節角度の依存性に従い、挙上角度や回旋角度が異なることで発揮される内旋筋力や各筋の筋活動が変化する.
   (中間位条件:外転90度から下垂位への内旋トルク値増加率 = 26.3 ± 23.8 %, 外転90度条件: 内旋30度から外旋60度への内旋トルク値増加率 = 77.0 ± 54.7 %, 下垂位条件: 内旋30度から外旋30度への内旋トルク値増加率 = 57.7 ± 34.2 %)
- 2. 単回の回旋腱板筋トレーニング後に等尺性内旋筋力は外転 90 度での外旋 90 度,外 旋 60 度,外旋 30 度,中間位,および下垂位での外旋 30 度,内旋 30 度の関節角度 において有意な低下を示した.
- 3. 回旋腱板筋トレーニングを1ヶ月間継続することで、関節角度に関係なく、等尺性内旋筋力は有意な向上を示した.

以上の結果から,肩関節における等尺性内旋筋力を測定する際は関節角度の依存性が 認められることが判明した.また,回旋腱板筋トレーニングは継続して行うことにより, 関節角度に関係なく,内旋筋力の向上が期待できるトレーニングとして有効であること が示された.

### 猫文

Escamilla RF, Fleisig GS, Yamashiro K, Mikla T, Dunning R, Paulos L, Andrews JR: Effects of a 4-week youth baseball conditioning program on throwing velocity, J Strength Cond Res 24, 3247-3254, 2010

Fernandez-Fernandez J, Ellenbecker T, Sanz-Rivas D, Ulbricht A, Fernautia A: Effects of a 6-week junior tennis conditioning program on service velocity, J Sports Sci Med 12, 232-239, 2013

Fujisawa H, Suenaga N, Minami A: Electromyographic study during isometric exercise of the shoulder in head-out water immersion, J Shoulder Elbow Surg 7, 491-494, 1998

藤澤宏幸,末永直樹,三浪明男:肩関節内旋運動時の筋活動-運動肢位による選択性,別冊整形外科 36,7-12,1999

後藤一成: スポーツサイエンス入門, 田口貞善, 矢部京之助, 伊坂忠夫, 丸善株式会社, 東京, 66-76, 2010

Greenfield BH, Donatelli R, Wooden MJ, Wilkes J: Isokinetic evaluation of shoulder rotational strength between the plane of scapula and the frontal plane, Am J Sports Med 18, 124-128, 1990

Holzbaur KR, Murray WM, Gold GE, Delp SL: Upper limb muscle volumes in adult subjects, J Biomech 40, 742-749, 2007

市橋則明:理学療法プログラムデザイン -ケース別アプローチのポイントと実際-, 株式 会社文光堂, 東京, 182-184, 2009

石橋秀幸:マー君をめざす最新トレーニング,廣済堂出版,東京,116-117,2014

Kelly BT, Williams RJ, Cordasco FA, Backus SI, Otis JC, Weiland DE, Altchek DW, Craig EV, Wickiewicz TL, Warren RF: Differential patterns of muscle activation in patients with symptomatic and asymptomatic rotator cuff tears, J Shoulder Elbow Surg 14, 165-171, 2005

Kuechle DK, Newman SR, Itoi E, Niebur GL, Morrey BF, An KN: The relevance of the moment arm of shoulder muscles with respect to axial rotation of the glenohumeral joint in four positions, Clin Biomech 15, 322-329, 2000

桑原洋一: 検者内および検者間の Reliability (再現性, 信頼性)の検討, 呼吸と循環 41, 945-952, 1993

Landis JR, Koch GG: The measurement of observer agreement for categorical data, Biometrics 33, 159-174, 1977

前田貴司,岩佐聖彦,荻野美佐,志波直人,松尾重明,田川善彦:MRI を用いた肩関節内・外旋筋の筋収縮状態の観察,理学療法学 28,302-306,2001

Moritani T, deVries HA: Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain, Am J Phys Med 58, 115-130, 1979

Myers JB, Pasquale MR, Laudner KG, Sell TC, Bradley JP, Lephart SM: On-the-Field Resistance-Tubing Exercises for Throwers: An Electromyographic Analysis, J Athl Train 40, 15-22, 2005

中山裕子,大西秀明,中林美代子,大山峰生,石川知志:肩関節挙上角度と肩甲下筋の 筋活動の関係,理学療法学 35, 292-298, 2008

Neuman DA:筋骨格系のキネシオロジー,嶋田智明,平田総一郎,医歯薬出版株式会社,東京,99-185,2005

埜口博司,坂根正孝,宮永豊,落合直之:肩外旋運動時の肩周囲筋群の活動特性 -筋電図を用いた評価-,肩関節 24:441-445,2000

Pappas AM, Zawacki RM, McCarthy CF: Rehabilitation of the pitching shoulder, Am J Sports Med 13: 223-235, 1985

Pawlowski D, Perrin DH: Relationship Between Shoulder and Elbow isokinetic Peak Torque, Torque Acceleration Energy, Average Power, and Total Work and Throwing Velocity in Intercollegiate Pitchers, Athletic Training 24, 129-132, 1989

Saha AK: Dynamic stability of the glenohumeral joint, Acta Orthop Scand 42, 491-505, 1971

佐志隆士: 肩関節の MRI -読影ポイントのすべて-, 第 2 版, 株式会社メジカルビュー社, 東京, 90-109, 2011

Soderberg GL, Blaschak MJ: Shoulder Internal and External Rotation Peak Torque Production through a Velocity Spectrum in Differing, J Orthop Sports Phys Ther 8, 518-524, 1987

Suenaga N, Minami A, Fujisawa H: Electromyographic analysis of internal rotational motion of the shoulder in various arm positions, J Shoulder Elbow Surg 12, 501-505, 2003

Sugimoto D, Blanpied P: Flexible foil exercise and shoulder internal and external rotation strength, J Athl Train 41, 280-285, 2006

鈴木徳年,木塚朝博,埜口博司,田中忍,下條仁士,白木仁,向井直樹,宮永豊:肩外 旋運動時の負荷量の変化に伴う肩周囲筋群の活動特性,体力科学 49,481-494,2000

Swanik KA, Swanik CB, Lephart SM, Huxel K: The effect of functional training on the incidence of shoulder pain and strength in intercollegiate swimmers, J Sport Rehabil 11, 140-154, 2002

立花龍司:投手のための筋力トレーニング,日刊スポーツ出版社,東京,12,2007

Treiber F A, Lott J, Duncan J, Slavens G, Davis H: Effects of Theraband and lightweight dumbbell training on shoulder rotation torque and serve performance in college tennis players, Am J Sports Med 26, 510-515, 1998

筒井廣明: 肩関節不安定症に対する腱板機能訓練, 肩関節 16, 140-145, 1992

山口光國: 肩関節障害に対する理学療法 - 臨床からみた筋力-, 運動生理 7,39-46,1992

山口光國: 投球肩の発生理論とリハビリテーション -特に肩甲上腕関節機能について-, Sportsmedicine 12, 95-102, 1993

山口光國,福井勉,入谷誠:結果の出せる整形外科理学療法 -運動連鎖から全身をみる-, 株式会社メジカルビュー社,東京,2-73,2009

# 謝辞

本研究の遂行,および本論文の作成を進めるにあたり,多くのご指導をいただきました伊坂忠夫教授,栗原俊之助教授に心より感謝致します。また,本研究に対して多くの助言をいただきました山浦一保准教授,岡松秀房助手,本城豊之専門研究員,さらには日々の研究活動や事務処理などにおいて多くのお世話をしていただいた秘書の奥村悦子氏,ご多忙にも関わらず快く実験を引き受けてくださった被験者の皆様,ならびにスポーツ健康科学部の伊坂研究室の皆様に深く感謝致します。

本付録では、平成 26 年度滋賀県理学療法士会活動助成事業の助成を受けて行ったアンケート調査『高校生野球部員における投球障害肩の有病率および回旋腱板筋トレーニングの実施状況と理解度』(滋賀県理学療法士会学術誌「理学療法湖都」第 34 号, 2014, 印刷中, および日本トレーニング科学会誌「トレーニング科学」に投稿中)の中から本論文の作成にあたり、裏付けとなった知見について簡潔にまとめる.

## A). 対象者

S 県内の硬式野球部に所属している男子高校生を対象とし、投球障害肩の有無と回旋腱板筋トレーニングの実施状況に関する質問紙調査を行った。特定の高等学校による偏りを可能な限り排除するために、競技レベルを加味し、アンケート調査前に S 県で開催された 2013 年度秋季地区大会にてベスト 4 に進出した高等学校 2 校とベスト 4 に入ることができなかった高等学校 4 校を選別し、調査協力を依頼したところ、全ての高等学校から協力の承諾を得た(配布数 225、有効回収率 100%)。調査対象者の年齢、野球経験年数は表 1 に示した。調査対象者には文書および口頭で研究の目的、個人情報の保護を十分に説明し、同意を得た上で実施した。(アンケート調査期間: 2013 年 12 月~2014年 2 月)

	人数(名)	年齢 (歳)	経験年数(年)
全体	225	$16.3 \pm 1.2$	$8.0 \pm 1.8$
投手	49	$16.0 \pm 2.3$	$7.8 \pm 1.7$
捕手	19	$16.5 \pm 0.5$	$7.8 \pm 1.9$
内野手	84	$16.3 \pm 0.7$	$8.3 \pm 1.7$
外野手	73	$16.4 \pm 0.6$	$7.7 \pm 1.8$

表 1. 対象者のポジションと年齢および野球経験年数

#### B). 回旋腱板筋トレーニングの実施状況

回旋腱板筋トレーニングを行っているのは全体で 117名(52.0%),行っていないが聞いたことがあるのは 55名(24.4%),知らないのは 53名(23.6%)であった.投手,捕手,内野手,外野手の 4 つのポジションと回旋腱板筋トレーニングの実施状況の関係について,Pearson の  $\chi^2$  検定を行ったところ,4 つのポジション間で実施率に有意な差が認められ,投手では 83.7%,捕手では 47.4%,内野手では 40.5%,外野手では 45.2%が回

旋腱板筋トレーニングを行っており、投手は他のポジションよりも回旋腱板筋トレーニングを行っている割合が高かった(表 2).

表 2. 回旋腱板筋トレーニングの実施状況

	行っている	行っていないが 聞いたことがある	知らない	合計
投手	41	6	2	49
捕手	9	5	5	19
内野手	34	27	23	84
外野手	33	17	23	73
合計	117	55	53	225

Pearson O  $\chi^2=27.843$ , df = 6, p<0.01 (両側)

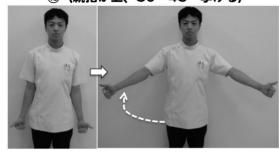
#### C). 実施している回旋腱板筋トレーニング

回旋腱板筋トレーニングを行っていると回答した 117名に対して実際に行っているトレーニング方法を図1を用いて複数回答可の形で尋ねた結果を表3にまとめた. 図1の①~⑥の中で1つでも行っていた場合は外旋トレーニングを行っている,図1の⑦~⑫の中で1つでも行っていた場合は内旋トレーニングを行っている,図1の⑬~⑯の中で1つでも行っていた場合は外転トレーニングを行っていると解釈した. その結果,外旋トレーニング(①~⑥)を行っている 99名のうち,①の姿勢が最も多く選択されていた. 内旋トレーニング (⑦~⑫)を行っている 77名のうち,⑦の姿勢が最も多く選択されていた. 外転トレーニング (⑬~⑯)を行っている 40名のうち,⑩の姿勢が最も多く選択されていた.

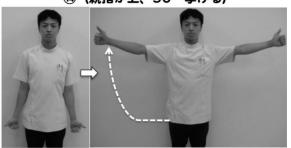
トレーニング時に使用する道具を外旋,内旋,外転のトレーニングに分類すると,外旋トレーニング時には柔らかいゴムチューブを選択する選手が61名と最も多く,内旋トレーニング時でも58名で最も多かった.外転トレーニング時はダンベル1~3kgを選択する選手が20名で最も多かった.ポジション別で比較しても最も使用される道具は同じであった(表4).



### ③ (親指が上、30~45° 挙げる)



(組) (親指が上、90°挙げる)



15 (親指が下、30~45°挙げる)



⑥ (親指が下、90°挙げる)

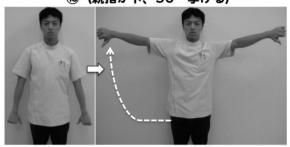


図 1. 「実際に行っている回旋腱板筋トレーニングはどれですか?」の回答に使用 した図

①下垂位での外旋トレーニング

(開始肢位: 内外旋中間位,終了肢位: 外旋60度,立位)

②外転90度での外旋トレーニング

(開始肢位:外旋90度,終了肢位:外旋120度,立位)

③ゼロポジションでの外旋トレーニング

(開始肢位: 内外旋中間位,終了肢位: 外旋30度,腹臥位)

④下垂位での外旋トレーニング

(開始肢位: 内外旋中間位,終了肢位: 外旋60度,背臥位)

⑤外転90度での外旋トレーニング

(開始肢位: 内外旋中間位,終了肢位: 外旋60度,背臥位)

⑥下垂位での外旋トレーニング

(開始肢位: 内旋 60 度,終了肢位: 外旋 60 度,側臥位)

⑦下垂位での内旋トレーニング

(開始肢位:内外旋中間位,終了肢位:内旋60度,立位)

⑧外転90度での内旋トレーニング

(開始肢位:外旋90度,終了肢位:内外旋中間位,立位)

⑨ゼロポジションでの内旋トレーニング

(開始肢位:内外旋中間位,終了肢位:内旋30度,腹臥位)

⑩下垂位での内旋トレーニング

(開始肢位:内外旋中間位,終了肢位:内旋60度,背臥位)

⑪外転90度での内旋トレーニング

(開始肢位:内外旋中間位,終了肢位:内旋60度,背臥位)

12下垂位での内旋トレーニング

(開始肢位:内外旋中間位,終了肢位:内旋60度,側臥位)

③Full can 肢位での外転 30~45 度挙上トレーニング

(開始肢位:下垂位,終了肢位:外転30~45度,立位)

⑭Full can 肢位での外転 90 度挙上トレーニング

(開始肢位:下垂位,終了肢位:外転90度,立位)

⑤Empty can 肢位での外転 30~45 度挙上トレーニング

(開始肢位:下垂位,終了肢位:外転30~45度,立位)

⑯Empty can 肢位での外転 90 度挙上トレーニング

(開始肢位:下垂位,終了肢位:外転90度,立位)

表 3. 実施している回旋腱板筋トレーニング(複数回答可)

外旋	1)	2	3	4	5	6	人数
全体	71	41	20	21	8	56	99
投手	28	16	2	6	2	23	39
捕手	4	5	4	1	1	3	6
内野手	21	11	11	11	2	16	29
外野手	18	9	3	3	3	14	25

内旋	7	8	9	10	(1)	12	人数
全体	68	41	8	14	5	20	77
投手	29	19	1	4	3	8	31
捕手	6	5	2	1	1	3	7
内野手	18	10	4	8	0	9	22
外野手	15	7	1	1	1	0	17

外転	13	14)	(15)	16	人数
全体	5	17	12	28	40
投手	1	4	5	13	16
捕手	0	2	0	1	2
内野手	3	6	6	9	13
外野手	1	5	1	5	9

	該当する図なし
全体	11
投手	1
捕手	1
内野手	3
外野手	6

表 4. 回旋腱板筋トレーニング時に使用する道具(複数回答可)

外旋	ダンベル	ダンベル	柔らかいゴム	固いゴム	その他
グトルと	1∼3kg	4~6kg	チューブ	チューブ	ての他
全体	42	6	61	11	3
投手	18	3	25	4	0
捕手	4	1	5	0	0
内野手	11	2	17	4	2
外野手	9	0	14	3	1

rk1 t/ <del>c</del>	ダンベル	ダンベル	柔らかいゴム	固いゴム	2. D/4
内旋	1∼3kg	4∼6kg	チューブ	チューブ	その他
全体	16	3	58	11	1
投手	7	1	23	5	0
捕手	3	1	6	0	0
内野手	5	1	16	3	1
外野手	1	0	13	3	0

서 #구	ダンベル	ダンベル	柔らかいゴム	固いゴム	7. 11h
外転	1∼3kg	4~6kg	チューブ	チューブ	その他
全体	20	3	9	2	6
投手	8	3	3	0	2
捕手	4	0	0	0	0
内野手	4	0	3	2	3
外野手	4	0	3	0	1

#### D). 回旋腱板筋トレーニングの目的

回旋腱板筋トレーニングを行っていると回答した117名に対して普段どのようなこと を意識して回旋腱板筋トレーニングを行っているかを『球速向上』、『柔軟性向上』、『ケ ガ予防』,『投球動作の改善』,『筋力向上』のそれぞれの項目について5段階尺度(1.全 く意識していない~5. とても意識している)で回答を得た. 全く意識していないを1点, とても意識しているを5点満点として数値化し、二元配置の分散分析(ポジション × 意識項目) を行った. その結果、主効果が認められ、意識項目間において有意な差が認められた (F=15.199, df=4, p<0.01). 各意識項目に対して Tukey 法を用いて多重比較検定を実 施した結果、『ケガ予防』は『球速向上』・『柔軟性向上』・『投球動作の改善』に関する得 点より有意に高く、『筋力向上』は『球速向上』・『投球動作の改善』に関する得点より有 意に高かった. 『柔軟性向上』は『投球動作の改善』に関する得点より有意に高かった. また, 交互作用が認められたため (F=2.389, df=4, p<0.01), 各意識項目に対して一元 配置の分散分析を行ったところ、『球速向上』および『筋力向上』においてポジション間 で有意な差が認められた(球速向上; F=3.596, df=3, p<0.05, 筋力向上; F=4.907, df=3, p<0.01). 各ポジションに対して Tukey 法を用いて多重比較検定を実施した結果, 『球速向上』に関する得点は投手が外野手より有意に高く、『筋力向上』に関する得点は 内野手が投手より有意に高かった.

表 5. 回旋腱板筋トレーニングを行う際に何を意識しているか

	球速向上	柔軟性向上	ケガ予防	投球動作の 改善	筋力向上
全体(115)	3.3±1.2	3.5±1.1 *	4.2±1.0 *§†	2.9±1.2	3.9±1.1 *§
投手(41)	3.6±1.2 #	3.4±1.2	4.1±1.2	2.9±1.2	3.5±1.2
捕手(9)	3.8±1.4	$3.8 \pm 1.2$	$4.0 \pm 1.2$	$3.1 \pm 1.3$	4.1±1.4
内野手(34)	3.2±1.0	$3.5 \pm 1.1$	$4.3 \pm 0.8$	$2.6 \pm 1.0$	$4.3\pm0.5^{\ddagger}$
外野手(31)	2.8±1.2	$3.6 \pm 1.2$	$4.2 \pm 0.8$	$3.3 \pm 1.2$	$3.7 \pm 1.1$

\*: p<0.01 vs. 投球動作の改善

§:p<0.01 vs. 球速向上

†:p<0.01 vs. 柔軟性向上

#: p<0.05 vs. 外野手

‡:p<0.01 vs. 投手

#### E). 本論文との関連

外旋トレーニングの中では『①下垂位での外旋トレーニング』の姿勢が最も多く、内旋トレーニングの中では『⑦下垂位での内旋トレーニング』の姿勢が最も多く選択されており、本論文における回旋腱板筋トレーニングとして①と⑦を採用した。また、回旋腱板筋トレーニング時に使用する道具は外旋トレーニング時も内旋トレーニング時も柔らかいゴムチューブを選択する選手が多かったことから、本論文において低負荷のゴムチューブを用いた回旋腱板筋トレーニングの効果に関する検討を行ったことは指導現場に対しても有意義な実験であったと考える。

回旋腱板筋トレーニングの目的として筋力向上を挙げている選手が多かったが、本論 文の結果から回旋腱板筋トレーニングを継続して行うことで内旋筋力の向上が期待でき ることを示した. したがって、球速向上のみではなく筋力向上にも役立つことから、投 手以外のポジションの選手においても回旋腱板筋トレーニングを筋力トレーニングの一 つとして採用するようになり、ひいては全体の 52.0%と半数程度であった回旋腱板筋ト レーニングの普及率を向上させることを期待する.