

博士（人間科学）学位論文

代表的な筋力トレーニング種目における主働筋の
筋電図学的分析

Electromyographic Analysis of the Agonist Muscles
During Commonly Prescribed Resistance Training
Exercises

2009年1月

早稲田大学大学院 人間科学研究科

半田 徹

Tohru, HANDA

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 筋電図学的分析による先行研究	-----	2
1.3 筋電図法の実験システム	-----	6
1.4 本研究の目的と論文の構成	-----	8

第2章 筋電図学的分析による筋力トレーニングのプレス系5種目における三角筋, 上腕三頭筋の活動の違い

2.1 はじめに	-----	10
2.2 方法	-----	11
2.3 結果	-----	14
2.4 考察	-----	20
2.5 まとめ	-----	22

第3章 筋力トレーニングのベンチプレス系3種目における大胸筋, 前鋸筋および三角筋の筋電図学的分析

3.1 はじめに	-----	23
3.2 方法	-----	24
3.3 結果	-----	29
3.4 考察	-----	34
3.5 まとめ	-----	37

第4章 筋力トレーニングのプル系5種目における上腕二頭筋, 広背筋および僧帽筋の筋電図学的分析

4.1 はじめに	-----	38
4.2 方法	-----	39
4.3 結果	-----	44
4.4 考察	-----	55
4.5 まとめ	-----	57

第5章 腹部トレーニング7種目における腹直筋上部, 腹直筋下部, 外腹斜筋および大腿直筋の筋電図学的分析

5.1 はじめに	-----	59
5.2 方法	-----	60

5.3 結果	-----	71
5.4 考察	-----	74
5.5 まとめ	-----	78
第6章 筋力トレーニングのスクワット系とデッドリフト系種目における固有背筋, 大殿筋, 大腿直筋 大腿二頭筋および内側広筋の筋電図学的分析		
6.1 はじめに	-----	79
6.2 方法	-----	81
6.3 結果	-----	85
6.4 考察	-----	93
6.5 まとめ	-----	95
第7章 カーフレイズ系筋力トレーニング種目における腓腹筋, ヒラメ筋の筋電図学的分析		
7.1 はじめに	-----	97
7.2 方法	-----	98
7.3 結果	-----	102
7.4 考察	-----	107
7.5 まとめ	-----	109
第8章 総合討論		
8.1 プレス系種目の三角筋, 上腕三頭筋, 大胸筋および前鋸筋の筋電図学的分析	---	111
8.2 プル系種目の上腕三頭筋, 広背筋および僧帽筋の筋電図学的分析	---	112
8.3 腹部トレーニング種目における腹直筋上部, 腹直筋下部, 外腹斜筋および大腿直筋の筋電 図学的分析	-----	114
8.4 スクワットとデッドリフト種目における固有背筋, 大殿筋, 大腿直筋, 大腿二頭筋および内 側広筋筋電図学的分析	-----	115
8.5 カーフレイズ系筋力トレーニング種目における腓腹筋, ヒラメ筋の筋電図学的分析	--	116
8.6 関節可動域の両局面における RMS 値の比較	-----	117
8.7 本研究の問題点と今後の課題	-----	118
第9章 結論	-----	120
引用文献	-----	122

第1章 序論

1.1 はじめに

古代ギリシャの競技者たちが漸進的に負荷を高める筋力養成法を試みていたのではないかとされているように、筋力トレーニング(Strength Training)の歴史は極めて古いと考えられる。しかし、歴史の大半は一部の愛好者によって行われたに過ぎなかったようである。したがって、筋力トレーニングが一般的に認められ普及するようになったのは比較的新しい。1960年代以降いろいろな種目が工夫され数も豊富になるとともに、従来の伝統的なボディビル(Bodybuilding)と重量挙げ(Weightlifting)中心から、ConditioningのためのWeight TrainingやResistance Trainingという名称も用いられるようになり、一般的な種目のスポーツ選手や一般人によっても行われるようになってきた。特に最近の20年間くらいは非常に普及して多くの人たちが筋力トレーニングを実践するようになった。その背景には指導書の普及とともに、筋力トレーニングに関する研究成果の蓄積が考えられる。しかし、その研究の最初はもっぱら筋肥大や筋力の発達効果に関連するものが多く、トレーニング種目の動作分析的研究が行われるようになったのは比較的新しいのである(Massey et al.,1970,Aaberg,2006)。

従来、筋力トレーニングの指導書は多数見られるが、最近の代表的な指導書の中でさえも、各トレーニング種目の動作やトレーニングプログラムに関する記載は多いのに対して、種目の効果筋に関する記載は単なる筋名の列挙にとどまり、詳細な情報は欠如している。代表的な筋力トレーニングの指導書としてはFrederick (1984) , Grymkowski et al (1984) , Pauletto (1991) , Fahey and Hutchinson (1992) , Yessis (1992) , Laura and Dutton (1993) , Norris(1993) , Bean(1997) および Aaberg(1998)等の著書を挙げることができる。これらのすべての記載は実験的データに基づいてはいない。経験に基づく知識や機能解剖学的な筋の作用の情報などからも、筋力トレーニングの実施にあたり各種目試行時の主働筋を推定することは可能である。しかし同一の動作の強化を狙う種目間の比較や関節可動域における各筋の活動の経時的変化にまで言及することは困難である。もし各種のエクササイズについて動作中の筋活動状況を分析した科学的データがあれば、トレーニング法のより効果的な実践に役立てることができる。

筋力トレーニング種目を対象としたバイオメカニクス的アプローチによる研究では、バーの軌跡や関節角度を解明した動作解析的研究が比較的多く見られる。ベンチプレスに関して

はMacLaughlin (1984) , Madsen and MacLaughlin (1984) , Wilson et al. (1989) , Wagner et al. (1992) から多くの報告が見られ, さらにスクワット種目に関してはWretenberg et al. (1996), 腹筋系トレーニング種目に関してはRicci et al. (1981)やStuart and McGill (1996)らの報告がある。

筋電図学的分析の研究の歴史は比較的古い, 本格的な成果が得られるようになったのは分析法が改良されてから後である。1950年代にWalters and Partridge(1956)は腹筋系種目試行時の筋活動様式を報告しているが, その分析は生波形に留まり定量化はなされていなかった。1960年代に入るとFlint (1965)の研究報告に見られるように, 動作試行時の関節可動域が記録され, 経時的な流れの中で筋放電が分析されるようになった。1970年代～1980年代にはGutin and Walters (1971)の報告のように, 生波形を処理して定量化し有意差の検定を行い客観的な分析方法がとられるようになってきた。1990年代には筋力トレーニングの試行様式に示唆を与えたであろうと考えられる特徴的な報告を挙げることができる。McCaw and Friday (1994)は同一種目に対して同一の負荷重量を課し, フリーとマシンの異なる様式での試行時の筋活動量を定量化した。2000年代に入ってから健康づくりブームを受けて, より効率的にターゲットとする筋を鍛えるための, マシンのように大掛かりにはならないコンパクトな器具の開発が盛んに行われるようになった。Sternlicht and Rugg(2003)は伝統的な徒手による腹筋エクササイズと腹部強化のために開発された器具使用による腹筋エクササイズ試行時の筋活動を定量化し比較検討した。このように, 最近では筋力トレーニング中の筋活動を定量化することによって科学的に解明しようとする研究は多く見られるようになってきた。

1.2 筋電図学的分析による先行研究

次に筋力トレーニング種目に関して筋電図学的分析法を用いて分析した, 比較的最近の重要な先行研究について運動様式別または部位別にまとめる。

プレス系種目の筋電図学的分析

McCaw and Friday (1994)は, フリーウェイトとマシンの用いベンチプレス中に筋電図の積分値を算出した。負荷は, 1RMの60%(低負荷)および80%(高負荷)を使用した。被験筋は, 上腕三頭筋, 三角筋(前部), 三角筋(中部), 大胸筋および上腕二頭筋であった。フリーウェイトの方がマシンより大きな筋活動を示す傾向があり, フリーウェイト使用とマシン使用でのベンチプレス試行時の筋活動の差異は80%1RMより60%1RMにおいてより大きいこと, 筋活動パターンの個人差は, フリーウェイトの方がマシンよりより大きかったと彼らは報告している。

Barnett et al.(1995)は、体幹の傾斜角度を変えたり手幅を変えたりした際の異なった条件下でのベンチプレスにおいて、肩関節に関わる 5 つの筋の筋電図活動を比較検討した。体幹の傾斜はフラット、インクライン、デクラインおよびバーティカルであった。手幅はナロー(肩幅の 100%)とワイド(肩幅の 200%)であり、負荷は各種目における 1RM の 80%を使用した。被験筋は上腕三頭筋、三角筋(前部)、三角筋(中部)、大胸筋、上腕二頭筋、大胸筋(鎖骨部と胸肋部)であった。その結果、大胸筋鎖骨部においてはフラット、インクライン、デクラインおよびバーティカル間に差は観察されなかった。また大胸筋胸肋部に関してはフラットはインクラインとデクラインよりも有意に大きい筋放電が認められた。

プル系種目の筋電図学的分析

Signorile et al.(2002)は、ラットプルダウン種目において、広背筋、大胸筋、上腕三頭筋長頭、大円筋および三角筋後部の筋電図活動を比較検討した。グリップはクローズ、回内位、ワイドでのフロントダウンおよびワイドでのバックダウンであった。負荷は、10RM の重量を使用した。最大の筋放電は concentric phase では広背筋がワイドでのフロントダウン、大胸筋はクローズグリップ、三角筋後部はクローズグリップ、回内位グリップ、ワイドでのフロントダウン、上腕三頭筋長頭はワイドでのフロントダウンによってもたらされた。一方、eccentric phase では広背筋がワイドでのフロントダウン、三角筋後部はクローズグリップ、上腕三頭筋長頭はワイドでのフロントダウンによってもたらされたことを報告している。

腹部トレーニング種目の筋電図学的分析

Guimaraes et al.(1991)は、12 種類の腹部エクササイズにおける腹直筋と大腿直筋の貢献度を解明するために、腹直筋、大腿直筋を被験筋として筋電図を記録した。12 種類の腹部エクササイズは、腹直筋上部、腹直筋下部および大腿直筋のいかなる筋に対しても有意差をもたらしなかった。

Sarti et al. (1996) は、2 種類の異なった腹筋系エクササイズが、腹直筋上部および腹直筋下部の筋活動に及ぼす程度を比較検討するために、腹直筋を被験筋として筋電図学的に分析した。腹直筋上部はトランクカール種目において Pelvic Tilt 種目よりもより大きな筋活動を示し、反対に腹直筋下部は Pelvic Tilt 種目においてトランクカール種目よりもより大きな筋活動を示したとしている。

Whiting et al.(1999)は、5 種類の腹部エクササイズ(器具使用 4 種類、器具不使用 1 種類)時の筋活動を評価した。被験筋は、腹直筋、外腹斜筋、大腿直筋であった。5 種類の腹部エクササイズ間に腹直筋、外腹斜筋および大腿直筋の筋活動に有意差は観察されなかった。

Sternlicht and Rugg (2003)は、4種類の腹部強化エクササイズ器具を使用したクランチと器具を使用しないクランチが、腹直筋の上部と下部および外腹斜筋の筋活動に及ぼす影響を解明した。被験筋は、腹直筋、外腹斜筋であった。腹直筋上部と下部および外腹斜筋の筋活動に有意差が見られた。器具を使用しないクランチと比較して腹直筋上部、下部および外腹斜筋は、Perfect Abs において有意に大きい筋活動が観察された。さらに外腹斜筋は、Torso Track においても有意に大きい筋活動が観察された。

Clark et al.(2003)は、6種類の腹部エクササイズが、腹直筋の上部と下部の筋活動に及ぼす影響を解明することを目的として、筋電図を導出した。被験筋は、腹直筋、外腹斜筋であった。6種類の腹部エクササイズのコンセントリック局面の筋活動は、腹直筋上部と下部共に有意差は見い出されなかった。

脚部・下背部トレーニング種目の筋電図学的分析

Signorile et al.(1994)は、レッグエクステンション試行時とパラレルスクワット試行時の内側広筋と外側広筋の筋活動の差異を比較検討した。10RM での試行記録から、内側広筋と外側広筋共にパラレルスクワット試行時により大きい筋活動が見られた。

Wretenberg et al.(1996)は、筋電図を使用することにより、ハイバースクワットとローバースクワット時に股関節および膝関節にかかる負荷を定量化し、さらに、大腿の筋活動を分析した。ウェイトリフターは、ハイバースクワットをパワーリフターは、ローバースクワットを試行した。パラレルスクワットとフルスクワット試行時に外側広筋、大腿直筋および大腿二頭筋の筋電図活動が記録された。その結果、パラレルスクワットとフルスクワット時の筋活動のピーク値は、すべての筋においてウェイトリフターでより大きな値が得られた。ウェイトリフターは、負荷を股関節と膝関節に均等にかけるが、パワーリフターは相対的に股関節により大きな負荷をかけることが明らかになった。

Wright et al.(1999)は、筋電図学的手法により、スティッフレッグデッドリフト(SLDL)、レッグカール(LC)およびバックスクワット(BS)試行中のハムストリングスの活動を分析した。本研究の主要な知見は、LC と SLDL は、BS よりもより効率的にハムストリングスを働かせるということである。これら2つのエクササイズ(LC と SLDL)は、動作をもたらすために、異なった関節でハムストリングスを参画させるにもかかわらず、ハムストリングスからの筋放電量は、LC と SLDL 間に差はほとんど観察されなかった。

Bauer et al.(1999)は、経験豊かなウェイトリフターにおいて、ベルトありとベルトなしでの最大下挙上時に、胸部と腰部脊柱起立筋群の筋活動において、有意差が生じるかどうか検証し

た。ベルトありとベルトなしでの筋活動は、脊柱起立筋群の腰部においてのみ有意差が見られた。ベルトは、一般的に期待される体幹の安定と支持における生体力学の利益をもたらすはしない。

McCaw and Melrose (1999)は、筋電図を使用することにより、パラレルスクワット試行時のスタンスと挙上重量が筋活動に及ぼす影響を報告した。被験筋は大腿直筋、内側広筋、外側広筋、長内転筋、大殿筋および大腿二頭筋であった。スタンスは肩幅、肩幅の75%および肩幅の140%であり、負荷重量は65%1RMと70%1RMを用いた。大腿直筋、内側広筋および外側広筋は負荷の違いのみに筋活動の有意差が観察された。長内転筋と大殿筋はスタンスの違いによる差異も認められた。

Boyden et al. (2000) は、足の回旋の角度の違いが、パラレルスクワット試行時の大腿四頭筋の筋活動に及ぼす影響を明らかにした。パラレルスクワット試行時に外側広筋、中間広筋および大腿直筋の筋電図活動が記録された。足の回旋の角度は、20°と10°の外旋(つま先外側)、ニュートラル(つま先前方)および10°の内旋(つま先内側)であった。4つの足の位置間で大腿四頭筋の筋活動に有意差は見い出されなかった。

Escamilla et al. (2002)は、筋電図を記録することにより、スモウデッドリフトとコンベンショナルデッドリフト試行中の16の筋の筋活動を分析した。本研究の主要な知見は、スモウデッドリフト試行中はコンベンショナルデッドリフト試行中よりも内側広筋、外側広筋および前脛骨筋に有意に大きい筋活動が観察され、また逆に腓腹筋内側頭はスモウデッドリフト試行中よりもコンベンショナルデッドリフト試行中に有意に大きな筋活動が観察された。

以上のような筋電図学的分析を用いた先行研究から、プレス系トレーニング種目では、ベンチプレスが主要な研究対象種目となっている。今後さらに明らかにされなければならない問題点として、フラットベンチ上でのベンチプレス時の筋活動比較、特に大胸筋鎖骨部の筋活動状況の把握、マシンとフリーウェイトによる筋活動の比較検討などを挙げることができる。プル系トレーニング種目では、マシンによるエクササイズが分析対象になっているが、さらにフリーウェイトによる筋活動の詳細が分析されなければならない。腹部トレーニング種目では、徒手による種目を対象とした研究が多く、しかもその歴史は比較的古い。最近ではトレーニング器具を用いる種目での筋活動分析が行われている。しかし、腹直筋の上部と下部の比較や腹直筋と腹斜筋の比較などには必ずしも統一した結論は得られていない。

このように、大胸筋や腹直筋のような大筋群でも筋活動状況が明確になっていないなど、研究報告によって差が見られたり情報が不十分であったりする。種目のバリエーションや用

いる器具の違いによって同一の筋でも筋活動は微妙な差が生じることを考えれば、大筋群を鍛える主要な種目を中心に、運動中の筋活動に関してさらに詳細な分析を行う必要がある。

1.3 筋電図法の実験システム

生体から発生する電気信号として表面筋電図を捉えると、それは電圧数 $10\ \mu\text{V}$ ～数 $100\ \mu\text{V}$ 、周波数成分 $20\sim 500\text{Hz}$ から構成される信号である。生体信号増幅器の使用により、この信号を記録することが可能である。電極は挿入電極と表面電極の2通りがある。電氣的、化学的に安定な金属で、滅菌または消毒可能な素材でなければならない。表面電極は銀塩化銀円盤が広く用いられている。挿入電極は、深層の筋の活動記録や、比較的限局した部位からの筋電図導出に用いられる。一方、表面電極は、1つの筋全体の活動状態を解明したい場合に多く用いられる。電極の装着が容易で被験者に苦痛を与えないという点で優れており、こちらの方が体育学研究の分野で広く用いられている。皮膚表面電極は、カラー付きの電極が便利である。皿状電極にドーナツ状のプラスチックカラーが付いていて電極と被験筋の皮膚とを密着させることができるよう設計されている。双極導出するための2つの表面電極は、被験筋の筋線維の走行に沿って貼付することが必要で、解剖書での筋の同定と動作に伴う筋腹からのずれの防止を念頭におくことが必要である。電極間距離は、従来、電極サイズが 10mm の頃は $30\sim 20\text{mm}$ が一般的であったが電極サイズが 5mm へ縮小したことによって、 20mm が目安となった。

筋電図には、大別すると、振幅を扱う解析方法と、周波数を扱う解析方法がある。振幅の解析方法としては、一定時間における平均値の算出、また一定時間積分し数値化する手法さらにある時間における平均値を算出する Root Mean Square :RMS 値が広く用いられている。

筋電図解析を幅広い視点から詳細に行う場合には、記録すべき筋電図に影響を及ぼすと考えられる情報を同時に記録することが求められる。スポーツのダイナミックな動作や姿勢変化は関節の角度変化によるもので、その際に筋収縮も同時に起こっていることになる。筋電図の解析にあたって関節の角度変化は重要な指標となる。運動中の関節の角度変化を連続的に記録する方法は、ポテンションメーターを利用したエレクトロ・ゴニオメータ electro-goniometer が Karpovich にらよって開発されたことに起源をもつ。それ以来、同芯型ゴニオメータを用いた蝶番関節動作の記録を典型として、同芯型を組み合わせることによって多関節動作を記録するためのゴニオメータが考案されている。

筋電図のセットアップは今日、以下のシステムが一般的に研究の現場で用いられている。

被験者に装着された Recording electrode と Goniometer からの電気信号は, Transmitter に入力され Receiver へと伝達される. 古くは Transmitter と Receiver の連結は有線であったが今日では, 無線が主流となっている. 電気信号は Receiver での増幅を経て Data recorder へと送られる. Data recorder から Personal computer へと流れ, 最終的には Data analyzer で様々な解析がなされる. 本論文での各種の実験においても同様のシステムによって行われた.

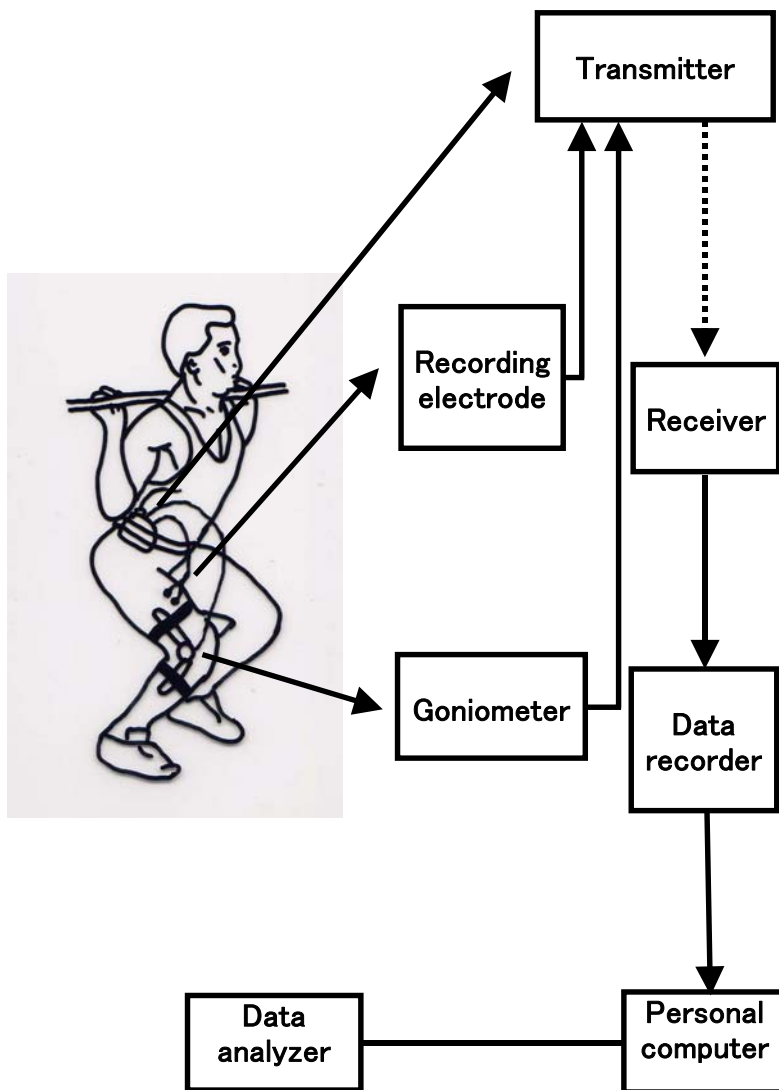


図1-1 筋電図セットアップ

1.4 本研究の目的と論文の構成

今日、筋力トレーニングは、競技パフォーマンスの向上、体力づくり、健康の維持・増進、ダイエット、ボディメイク、リハビリテーションといった幅広い目的で盛んに実施されている。共通するのはパフォーマンス効果とエステティック効果であるが、いかなる目的であれ、筋力トレーニングを効率的に進めるためには、強化しようとする筋に対して十分な刺激が与えられる種目を選択し実施するのが基本でなくてはならない。筋力トレーニングをテーマとした指導書やそれを扱った雑誌なども多数見られ、情報量としては豊富である。

しかし、最近の代表的な指導書の中にも、基本となるべくトレーニング種目の効果筋に関しては比較的簡単な記載にとどまり、詳細な情報は欠如している場合が多い。トレーニング経験や機能解剖学的な情報からも、トレーニング種目に関連する筋を列挙することは可能であるが、トレーニングの最も重要なテーマの一つである、種目の特異性(Specificity)を明確に示すことはできない。そのためには、類似した動作でもバリエーションを有する種目間や関節の可動域内における筋活動の変化に関する情報が重要である。ところが、最近の筋力トレーニング中の筋活動に関する報告では、研究者によって同一種目間での筋活動に差が見られるとか、大筋群の筋活動に関しても必ずしも統一した結論が得られているとは言えない。

Wright et al.(1999)が指摘しているように、各種の筋をトレーニングするための種目選択は運動中の筋活動状況に基づいて行われるべきである。現在一般的に広く実施されている筋力トレーニング種目は多数存在するが、主要な運動に関わる比較的大きな筋の強化を図るための基本的な種目という視点で捉えると、その範囲は自ずから絞り込まれる。そこで本研究は、特に重要な種目の中から上半身を中心としたプレス系種目やプル系種目、体幹のスタビライゼーションを強化する腹筋系種目、下半身や背部の強化種目であるスクワット種目やデッドリフト種目およびカーフレイズ種目を対象とし、筋電図学的分析法によってその種目に関連する主働筋を中心に種目間や種目内での筋活動を比較検討し、効果的な筋力トレーニング実践の一助にすることを目的とした。

本論文は第1～9章と文献で構成されている。

第1章では、筋力トレーニング種目のトレーニング法やターゲットとされている筋に関して、指導書に見られる記載や先行研究における筋電図学的研究の背景を考察し、また本研究で用いた方法と関連する筋電図法の分析・処理法に関して述べた。

第2章では、筋電図学的分析による筋力トレーニングの仰臥位や座位によるプレス系5種

目における三角筋・上腕三頭筋の活動の違いについて検討した。

第3章では、筋力トレーニングの姿勢の異なるベンチプレス系3種目における大胸筋、前鋸筋および三角筋の筋活動を比較検討した。

第4章では、フリーウェイトとマシンを用いるプル系5種目において上腕二頭筋、広背筋および僧帽筋を筋電図学的に分析した。

第5章では、徒手による腹部トレーニング7種目における腹直筋上部、腹直筋下部、外腹斜筋および大腿直筋の筋活動を比較検討した。

第6章では、脚部や背部に負荷をかけるスクワットとデッドリフト種目における固有背筋、大殿筋、大腿直筋、大腿二頭筋および内側広筋の筋活動を比較検討した。

第7章では、下腿三頭筋をターゲットとしたカーフレイズ系筋力トレーニング種目における腓腹筋、ヒラメ筋を筋電図学的に分析した。

第8章では、第1～7章までの研究を総合して筋電図学的に筋力トレーニング種目に関する総括を行なった。また本研究の問題点と今後の課題についても考察した。

第9章では、本研究の結論をまとめた。

第2章 筋電図学的分析による筋力トレーニングのプレス系5種目における三角筋、上腕三頭筋の活動の違い

2.1 はじめに

三角筋と上腕三頭筋の2筋は肩と肘の関節運動に関連して、上肢のパワー発揮に非常に重要な役割を果たす筋である。そこで、筋力トレーニングの実践においても、常にこれらの筋の強化が主要なテーマとなる。従来この2筋を同時に鍛えるトレーニング種目としてしばしば採用されているのが、手に保持した負荷を押し上げる動作を繰り返すプレス系の種目である。フリーウェイトを用いるその種目としては、トレーニング姿勢の異なる、フラットベンチ上で仰臥して行うベンチプレス、斜めのベンチで行うインクライン・ベンチプレス、垂直姿勢で行うシーテッドプレス、ビハインドネックプレスなどの種目が挙げられる。最近の代表的な指導書の中でも、これらのトレーニング種目に共通する効果筋としては三角筋と上腕三頭筋の2筋が示されている(表 2-1)。しかし、どの指導書においても単なる筋名の列挙にとどまり、各筋に対する刺激強度や効果の種目間差異の詳細については非常に少ない。

筋力トレーニング種目に関する研究では、従来バイオメカニクス的アプローチを施した研究が多く、中でもベンチプレス種目を対象にしたバーの軌跡や関節角度を解明した動作解析的研究が多数報告されている。筋電図学的分析による効果筋の研究では、最近アメリカで筋力トレーニングを主要なテーマにしている NSCA(National Strength and Conditioning Association)発行の研究誌の中にいくつかの論文が見られる。Wright et al.(1999)や Pick et al.(2000), Boyden et al.(2000)はスクワット種目やデッドリフト種目に関連して大腿の筋を分析し、Whiting et al.(1999)はシットアップ種目に関連して腹筋を対象に分析している。プレス種目に関しては、Barnett et al.(1995)のベンチプレス種目を対象にした報告がある。しかし、多数のプレス種目においてそれらの効果筋について比較検討した報告は見当たらない。

このように、従来の指導書や研究報告において、各プレス種目の特異性や主働筋である三角筋と上腕三頭筋の貢献度の種目間差異が十分に認識されておらず、それらに関する情報が不足している。そこで、本研究では手幅や姿勢を変えてしばしば行われるプレス系の5種目を選択して、各種目における三角筋と上腕三頭筋の筋活動を分析し、種目間の差異について比較検討した。

表2-1 フリーウェイトのプレス系種目の効果筋

文 献	ベンチプレス	インクラインプレス	シーティドプレス	ビハインドネックプレス
Gold's Gym (1984)	三角筋 (前部), 上腕三頭筋 大胸筋 (外部), 大胸筋 (内部) 二次的: 三角筋(中部), 広背筋	三角筋 (前部), 上腕三頭筋 大胸筋 (上部) 二次的: 大胸筋 (下部), 三角筋 (中部)	三角筋 (前部), 上腕三頭筋 二次的: 大胸筋 (上部)	三角筋 (前部), 上腕三頭筋 二次的: 後部三角筋, 僧帽筋
Pauletto (1991)	三角筋, 上腕三頭筋, 大胸筋	三角筋, 上腕三頭筋, 大胸筋 僧帽筋		三角筋, 上腕三頭筋, 僧帽筋
Fahey & Hutchinson (1992)	三角筋, 上腕三頭筋, 大胸筋	三角筋, 上腕三頭筋 大胸筋 (上部)	三角筋 (前部), 三角筋 (後部) 僧帽筋	三角筋, 上腕三頭筋, 僧帽筋
Laura and Dutton (1993)	三角筋 (前部), 大胸筋 前鋸筋, 烏口筋, 小胸筋	ベンチプレスと同じだが 上腕三頭筋, 大胸筋 (上部) により負荷がかかる。	ビハインドネックプレス より手幅を狭くすると 大胸筋 (上部), 三角筋(前部)	三角筋 (前部), 上腕三頭筋 僧帽筋, 前鋸筋
NSCA (1994)	三角筋, 上腕三頭筋 (上部) 大胸筋	三角筋, 上腕三頭筋 大胸筋 (上部)	三角筋, 上腕三頭筋	三角筋, 上腕三頭筋

2.2 方法

2.2.1 被験者

筋力トレーニングに熟練した成人男子7名, 女子3名合計10名を被験者とした。被験者の平均年齢は 25.0 ± 3.3 歳, 平均身長は 168.2 ± 5.3 cm および平均体重は 67.1 ± 8.7 kg であった(表 2-2)。実験に先立ち, 被験者に実験の目的, 方法, 実験の安全性等について, 文書ならびに口頭で説明を行い, 実験の内容を十分に理解してもらったうえで同意書を得た。

表2-2 被験者の身体特性および各種目の1RM

項 目	平均値±標準偏差 (N=10)
年齢 (歳)	25.0 ± 3.3
身長 (cm)	168.2 ± 5.3
体質量 (kg)	67.1 ± 8.7
1RM (kg)	
ワイド・ベンチプレス (WB)	79.5 ± 32.3
ナロー・ベンチプレス (NB)	65.0 ± 24.6
インクライン・ベンチプレス (IB)	50.8 ± 22.2
フロントプレス (シーティド, FP)	45.5 ± 14.6
バックプレス (シーティド, BP)	44.8 ± 15.1

2.2.2 トレーニング種目の試技方法

実験の対象としたトレーニング種目は, フリーウェイトのプレス系種目であるワイド・ベンチプレス(WB), ナロー・ベンチプレス(NB), インクライン・ベンチプレス (IB), フロントプレス(シーティド,FP)およびバックプレス(シーティド,BP)の5種目であった。被験者間でのシャフトの

握り幅による差の影響を避けるため、実験に先立ち肩峰間距離を計測し、その値に基づいて、各種目における手の握り幅を規定した。

実験にはオリンピックバーベルを用いたが、各種目ともに実験に先立ち1RMの測定を行った。実験に用いたバーベルの重量は1RMの80%とした。すべての試技は全種目ともに、バーベル下降(eccentric)局面からバーベル上昇(concentric)局面へと、2秒に1回のテンポで3回行った。繰り返しのテンポは、験者がストップウォッチを見ながら、被験者に口頭で合図を送ることにより規定された。各種目における手幅や姿勢は以下の通りである。

ワイド・ベンチプレス(WB)

手幅は上肢を90°外転して肘を直角に曲げた時の両肘間の長さとした。仰臥姿勢で両足を床上に置くと共に、試技中に臀部をベンチ台から浮かして体幹を過伸展させ胸を持ち上げる姿勢を禁止した(図2-1-1)。

ナロー・ベンチプレス(NB)

手幅は両肩幅間とし、肘を内側に向けて両脇をしめ、挙上時に両上腕が平行になるようにして挙上させた。その他はワイド・ベンチプレスと同様に行った(図2-1-2)。

インクライン・ベンチプレス (IB)

手幅は肩幅より両手それぞれこぶし1つ分外側の幅として、試技にあたってはバーを鎖骨上に降ろした後に再び鉛直上方に挙上させた。なお、ベンチの角度は60°とした(図2-1-3)。

フロントプレス(シーテイド,FP)

手幅は肩幅として、高さ約50cmのフラットベンチ上に座し体幹を垂直に保ったままで、両肘を平行に保つように行わせた(図2-1-4)。

バックプレス(シーテイド,BP)

手幅は肩幅より両手それぞれこぶし1つ分外側の幅として、高さ約50cmのフラットベンチ上に座し体幹を垂直に保ったままで、両肘を外側に開くように行わせた(図2-1-5)。

なお、すべての種目はオーバーハンドグリップによって実施した。

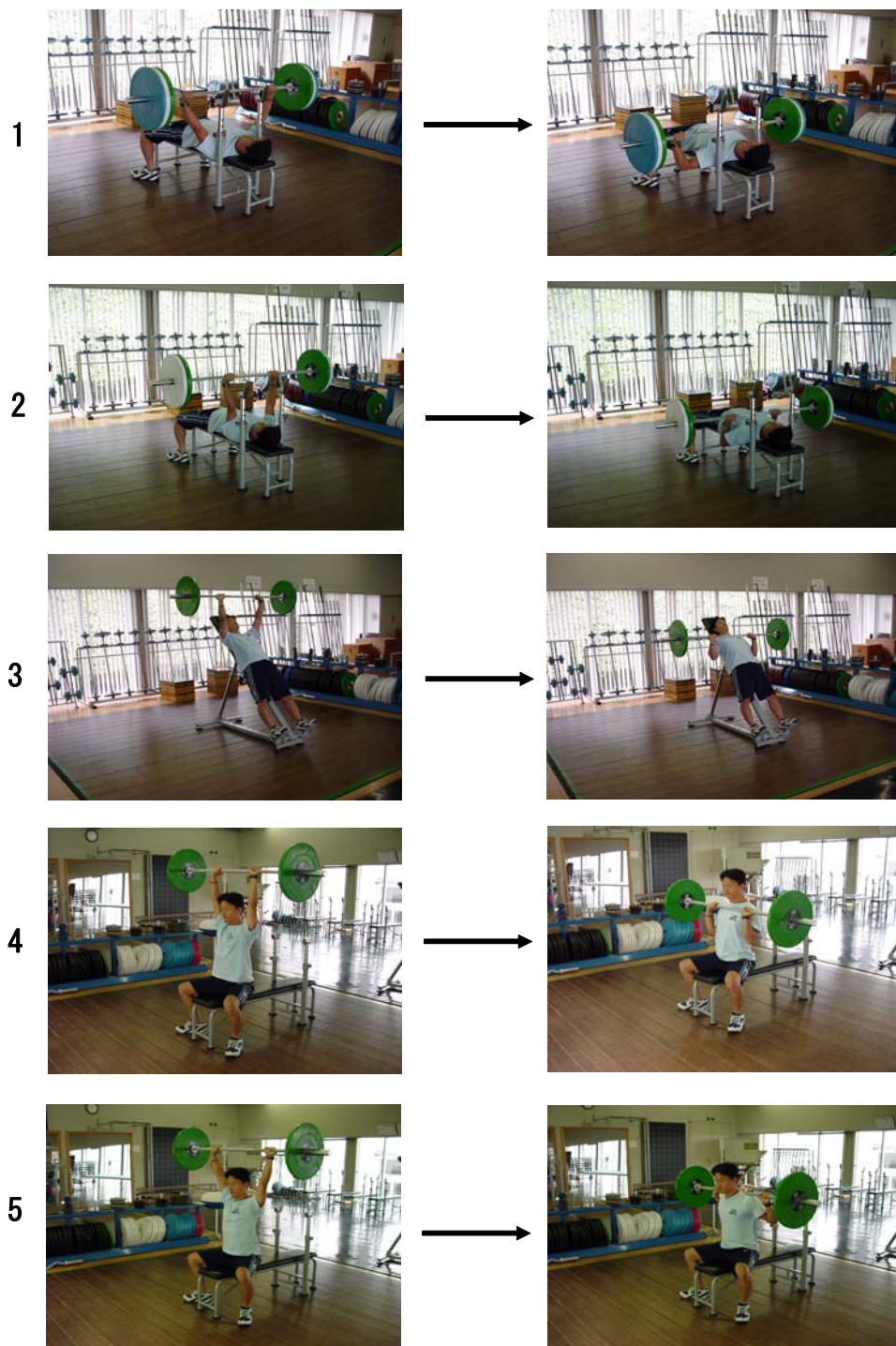


図2-1 各種筋力トレーニング種目の動作

1:ワイド・ベンチプレス(WB) 2:ナロー・ベンチプレス(NB)

3:インクライン・ベンチプレス(IB) 4:フロントプレス(シーテッド,FP) 5:バックプレス(シーテッド,BP)

左:動作開始および終了姿勢 右:中間姿勢

2.2.3筋電図の導出

被験筋は、すべて右側の三角筋(前部, 中部, 後部)および上腕三頭筋(長頭)とした。な

お、以下の三角筋の名称は便宜上それぞれ前部三角筋、中部三角筋、後部三角筋とする。電極の貼付箇所の同定にあたっては、栢森(1997)の方法を参照した。筋電図導出のための電極および不関電極には、直径8mmの銀円盤の皮膚表面電極(小型生体電極、日本光電社製)を用いた。電極の装着にあたっては、筋電図導出部位をアルコール綿と皮膚処理剤(スキンプューアー、日本光電社製)で十分に拭き、各筋腹の中央に2cmの間隔をとり、粘着テープで固定した。得られた電気信号は、マルチテレメータシステム(WEB-5000、日本光電社製)から、MacLab(MacLab,ADInstruments社製)に送られ、PC(Powerbook530,Apple社製)にサンプリングされた。なお、HICUT(高域遮断周波数)を100(Hz)、LOCUT(時定数)を0.03(秒)およびSENS(感度)を1mV/Vに設定した。

2.2.4肘関節角度の測定

ゴニオメータ(KINETO-ANGLLE TRANSDUCER TM-511G、日本光電社製)を肘関節の軸と一致するように装着し角度変位を記録した。ゴニオメータのアームは、肘関節をまたいで前腕と上腕に固定用のバンドを用いて取り付けられた。得られた電気信号は、筋電図と同様の経路でサンプリングされた。なお、HICUT(高域遮断周波数)を30(Hz)、LOCUT(時定数)をDCおよびSENS(感度)を50deg/Vに設定した。

2.2.5測定値の処理と統計分析

筋電図信号は、ゴニオメータとの同期により、各種目においてバーベル下降局面とバーベル上昇局面の各局面におけるRMS値、さらにバーベル下降局面の3分割とバーベル上昇局面の3分割の合計6分割におけるRMS値として処理された。バーベル下降局面とバーベル上昇局面の各局面における比較には、Whitingら(1999)やWrightら(1999)の方法に従って、種目間でのRMS値の最大値を基準値として他の種目のRMS値を基準値で除すことによる相対値を用いた。しかし、全可動域の6分割における経時的比較には、その絶対値を用いた。

各種目から得られた同一の筋における電位のRMS値の平均値と同一種目における経時的変化の検定には、一元配置の分散分析を用いた。そして、有意差が認められた場合には、FisherのPLSDの多重比較によって検定した。なお、有意水準は危険率5%未満とした。

2.3 結果

2.3.1トレーニング種目別の比較

同一筋における基準値には、バーベル下降局面とバーベル上昇局面の両局面間に交互作用が認められなかったため、統計処理では両局面をまとめて有意差検定を行った。得られた筋電図のRMS値を基準化して比較し、以下のような結果を得た。

前部三角筋では、FP($p < 0.01$)とBP($p < 0.05$)はWBに対して有意に高い値であった。同様に、IB($p < 0.01$)とFP($p < 0.001$)、BP($p < 0.001$)はNBに対して高い値を示した。(図2-2)。中部三角筋では、FPはWBとIBに対して有意に高い値であった($p < 0.05$)。さらに、BPはWBに対して、FPおよびBPはNBに対して、BPはIBに対して、いずれも0.1%水準で高い値を示した。(図2-3)。

後部三角筋および上腕三頭筋に関しては、種目間に有意差は認められなかった。(図2-4・図2-5)。

バーベル上昇局面とバーベル下降局面の比較のために、バーベル上昇に対するバーベル下降の比率を計算した。最も低かったのは、ナロー・ベンチプレスの前部三角筋(0.52)と上腕三頭筋(0.51)であった。最も値が高かったのは、ワイド・ベンチプレスの後部三角筋(0.99)とフロントプレスの後部三角筋(0.98)であった。全体的傾向では、ナロー・ベンチプレスとバックプレスとにおいてバーベル下降に対してバーベル上昇の比率がより高い傾向を示した。

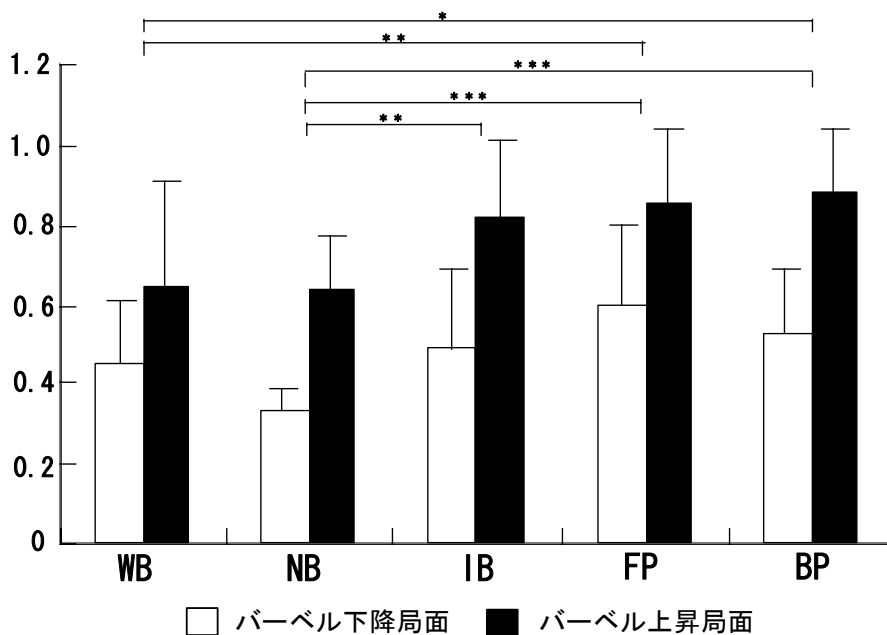


図2-2 前部三角筋における種目別RMS値の比較

* $p < 0.05$ ** $p < 0.01$ *** $p < 0.001$

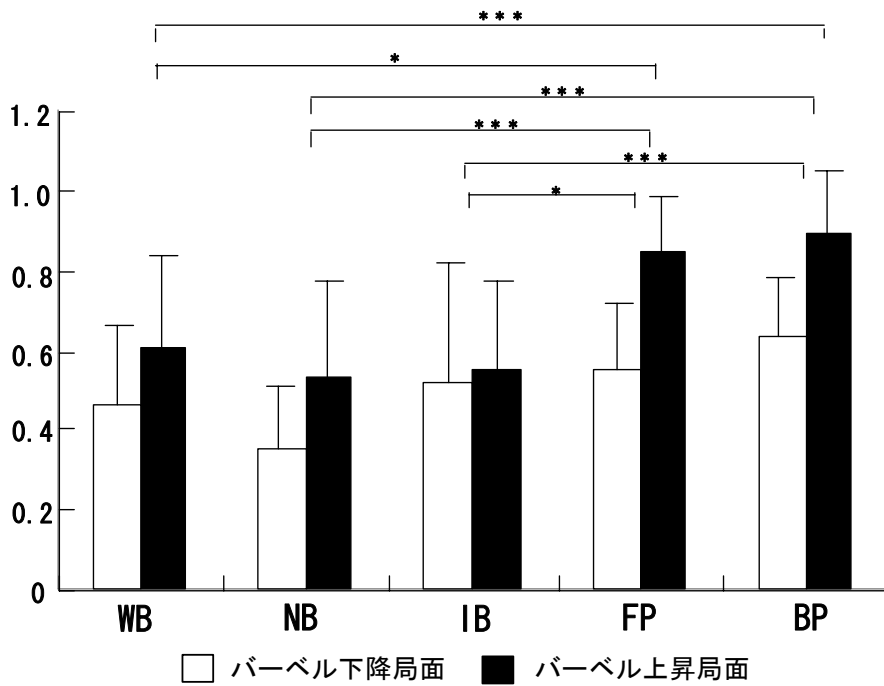


図2-3 中部三角筋における種目別RMS値の比較

* p<0.05 ** p<0.01 *** p<0.001

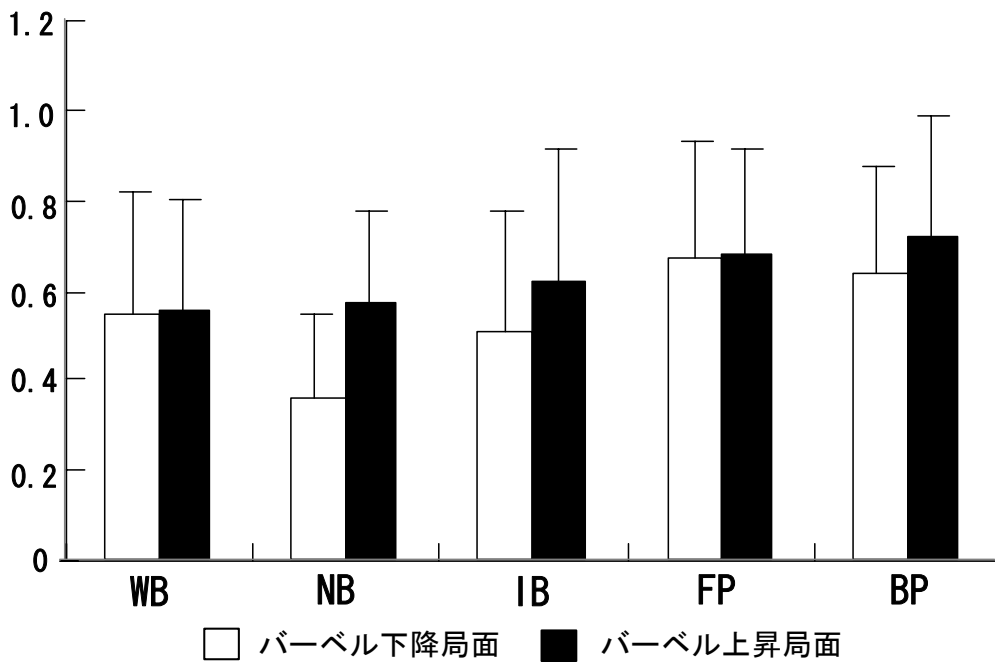


図2-4 後部三角筋における種目別RMS値の比較

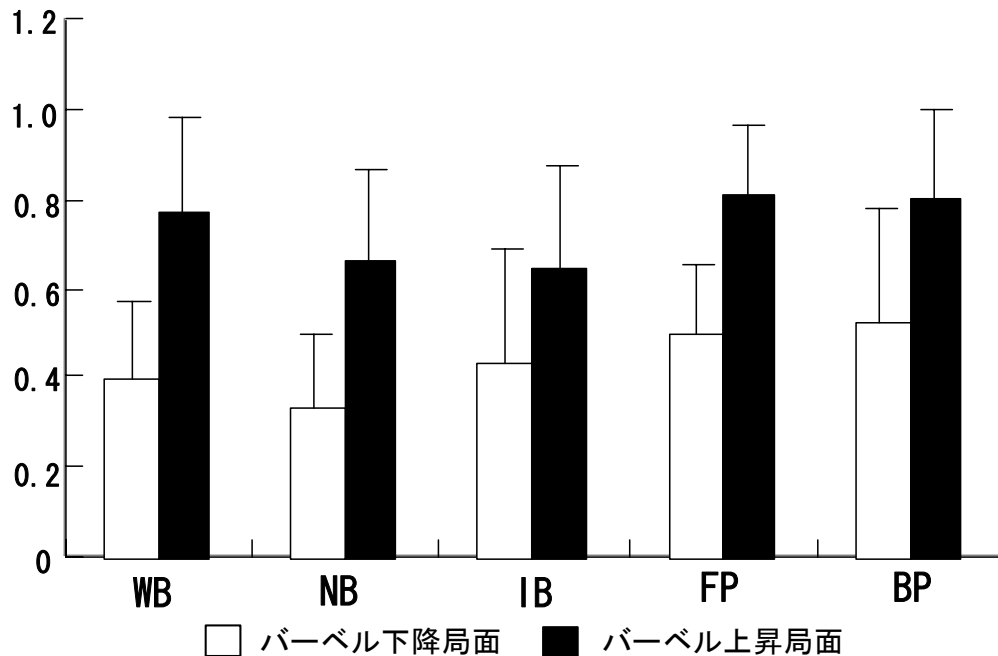


図2-5 上腕三頭筋における種目別RMS値の比較

2.3.2 可動域における RMS 値変化

各種目ごとの全可動域における、肘関節角度の1/3ごとのRMS値の推移を図2-6.7.8.9.10に示した。

前部三角筋のRMS値は、すべての種目において、バーベル下降局面からバーベル上昇局面の初期にかけて急激に高くなるが、その後最終段階においては再び低下するという傾向が見られた。その程度はFPとIBの両種目において大きかった($p < 0.01$)。

上腕三頭筋のRMS値は、いずれの種目においても、バーベル上昇局面の2/3から3/3へと高くなる傾向が見られ、特にIBとFP種目においてその傾向が強かった($p < 0.05$, $p < 0.01$)。中部三角筋はNBとFP種目において、上腕三頭筋と同様に、バーベル上昇局面の2/3と3/3にかけて高くなる傾向を示した($p < 0.01$, $p < 0.001$)。また、後部三角筋では、WB種目のバーベル下降局面においては3/3の値が1/3($p < 0.01$)と2/3($p < 0.05$)に対して有意に高かった。しかし、中部三角筋と後部三角筋の傾向は全体的には全可動域においてそれほど大きな変化傾向ではなかった。

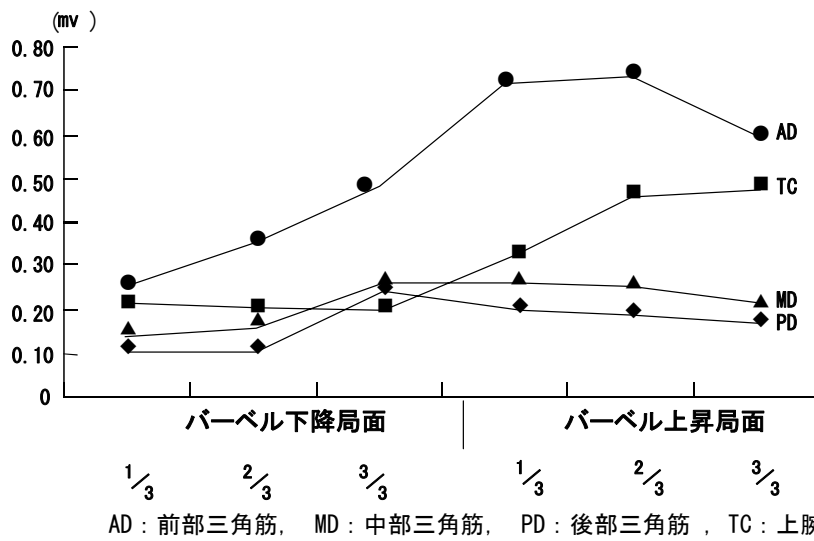


図2-6 ワイド・ベンチプレス (WB)におけるRMS値可動域の変化

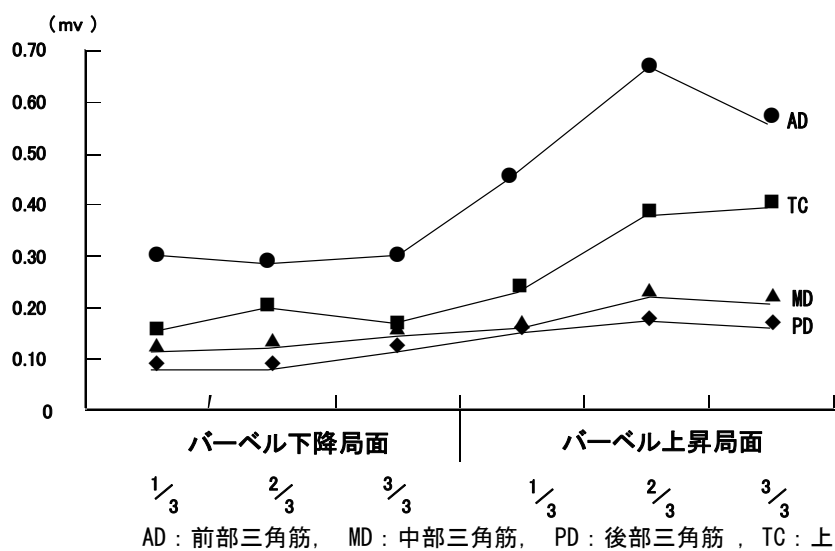


図2-7 ナロー・ベンチプレス (NB)におけるRMS値可動域の変化

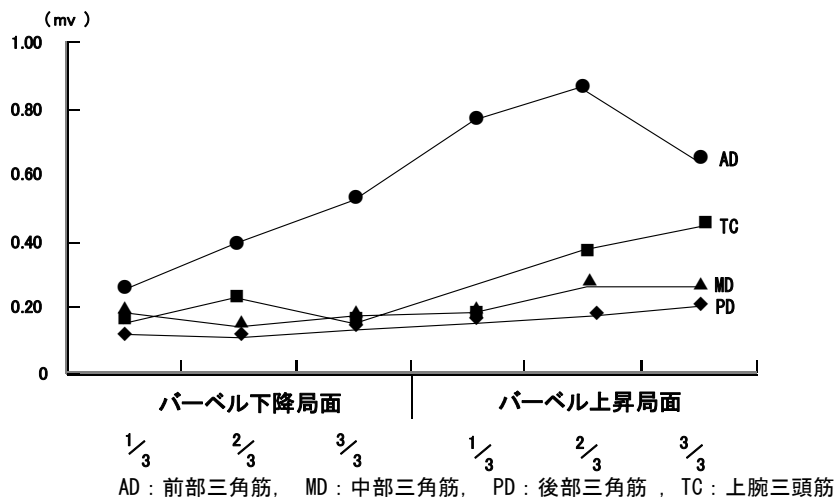


図2-8 インクライン・ベンチプレス (IB)におけるRMS値可動域の変化

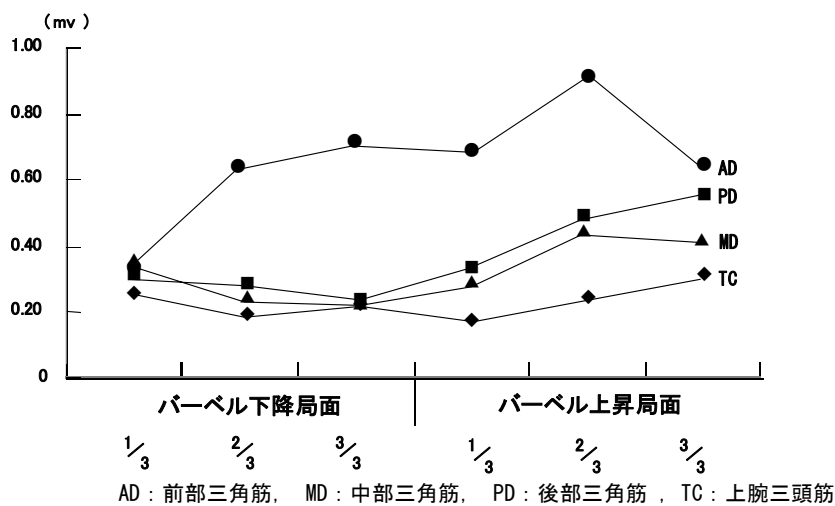


図2-9 フロントプレス (シーテッド, FP)におけるRMS値可動域の変化

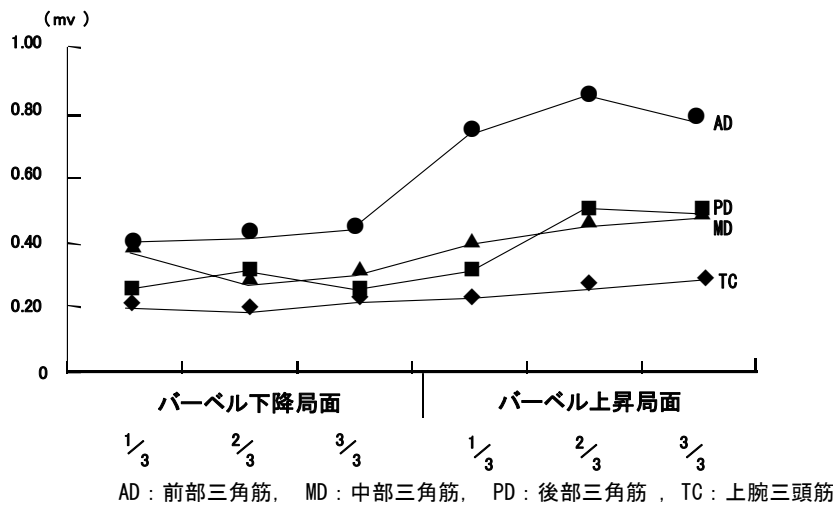


図2-10 バックプレス（シーテッド, BP）におけるRMS値可動域の変化

2.4 考察

三角筋は、肩関節を取巻く筋で、前面の鎖骨から起こる前部（鎖骨部）側面の肩峰から起こる中部（肩峰部）、後面の肩甲棘から起こる後部（肩甲棘部）の3部から構成され、肩の運動に主要な役割を果たしている。機能解剖学的には、上腕の運動において前部が屈曲（前方挙上）、中部が外転（側方挙上）、後部が伸展（後方挙上）での重要な作用筋とされている。一方、上腕三頭筋は、内側頭・外側頭・長頭の3部から構成されているが、機能的には肘関節（腕尺関節）伸展の主働筋の役割を担っている。（森ら,1950,加藤,1993）しかし、肩関節と肘関節運動を伴う実際の身体運動においては、これらの筋や筋の部位に加わる負荷と刺激の度合いは微妙に変化するものと思われる。筋力トレーニングでは、その重要性から、2筋を鍛えるプレス系種目の実施が必須となっている。

筋力トレーニングの指導書では、プレス系の4種目の効果筋として常に三角筋と上腕三頭筋が挙げられており、それらの種目が2筋を鍛える主要な種目であることがわかる（表2）。しかし、上腕三頭筋については細かな記載がないのに対して、三角筋については部位別の記載が若干見られる。Gold's Gym(1984)やLaura & Dutton (1993)は、シーテッドプレスやビハインドネックプレスでは前部三角筋が鍛えられるとしている。また、Gold's Gym(1984)はベンチプレスとインクライン・ベンチプレスにおいては、中部三角筋は二次的に鍛えられるに過ぎないとしている。手幅の違いに関しては、Pauletto(1991)とFahey & Hutchinson(1992)はベンチプレスにおいて狭い手幅の方が三角筋や上腕三頭筋により強い負荷が加わるとしている。本研究では、得られた筋電図の積分値を基準化して比較した結果、前部三角筋では、BP⇨

FP>IB>NB≒WB という筋放電量に関する関係が導き出された。この結果は、前部三角筋はバックプレスやフロントプレスにおいて、すなわち体幹に傾斜をつけない方が刺激を受けることを示唆している。中部三角筋では、BP≒FP>IB≒NB≒WB の関係が得られた。したがって、中部三角筋に関しても、前部三角筋の場合と同様に、体幹に傾斜をつけない種目の方が刺激を受けることになる。このことは、Gold's Gym(1984)や Laura & Dutton (1993)の記載と一致している。Barnett ら(1995)はベンチプレス種目でベンチの角度を変えた実験を行い、前部三角筋では角度が垂直になるに従ってその IEMG 値が高くなるという、本研究と同様の傾向を報告している。

後部三角筋および上腕三頭筋に関しては、種目間に有意差は認められなかった。上腕三頭筋の筋放電に関する仮説は、NB>WB の関係式が成立するであろうというものであった。しかし、本研究ではそのような結果は、得られなかった。前記指導書やベンチプレスにおける筋電図の定性的分析による手幅の違いを分析した中川ら(1973,1975)の報告とは異なる。本研究においては、WB における手幅は両腕を 90° に外転させた際の肘頭間距離を適用したのに対して、NB では肩幅を適用したが、この基準が中川らの適用した手幅とは同一ではなかったためであることが一因とも考えられる。

マッスル・アンド・フィットネス・ジャパン(2000)は、プレス系種目試行時の体幹の傾斜について、インクライン・ベンチの角度をきつくする程、三角筋が動作に関与するようになるとし、40°以上のきつい角度にして行くと、ウェイトを押し上げる力のほとんどは前部三角筋と中部三角筋とによって発揮されるとしている。シーテッド・ショルダー・プレス時の筋電図記録から、肩関節の外転が 90～120°の間で行われている時(ウェイトを頭上にプレスする時の動作)に中部三角筋の働きが最も活発になり、そこからさらに 180°(真っ直ぐ頭上までウェイトを押し上げた状態)まで肩関節が外転する時には、その筋の働きは中程度まで落ちるという結果を導き出している。

本研究においては特にインクライン・ベンチプレスとフロントプレスにおいて、前部三角筋の RMS 値はバーベル上昇局面で高くなるが、その最終段階では低下したのに対して、上腕三頭筋は逆にバーベル上昇局面の最終段階にかけて高くなる傾向を示した。中部三角筋は、ナロー・ベンチプレスとフロントプレスにおいては、上腕三頭筋と同様の傾向であった。

前部三角筋に関しては、マッスル・アンド・フィットネス・ジャパン(2000)の見解と一致したものの、中部三角筋においては、一致しなかった。この差異は、完全挙上における肘の伸展の程度が影響を及ぼしているように考えられる。マッスル・アンド・フィットネス・ジャパンは、シー

テイドプレスの正しいフォームとして、完全伸展位で肘を固定しないことを述べているが、本研究では、あくまでも全関節可動域での試行を意識したために、完全伸展位での肘の固定が起こっていたのかも知れない。しかし、実際のトレーニングでは、シーテイドプレスのような上体を垂直に保って行う種目においてはバーベルを最終段階までしっかりと押し上げ、三角筋の中部や上腕三頭筋への刺激を強めることも必要であろう。

本研究で行ったトレーニング種目において、各筋に対する刺激の度合から見て、後部三角筋と上腕三頭筋のトレーニングには 5 種目すべてにおいて効果上の差はほとんどないのに対して、前部三角筋と中部三角筋のトレーニングにはフロントプレスやバックプレスがより効果的であると言える。言い換えれば、上腕三頭筋の強化にはいずれの種目も適合するが、三頭筋の強化にはより垂直姿勢で実施する種目の方が適すると結論づけることができる。

2.5 まとめ

手幅や姿勢の異なるフリーウェイト 5 種目、ワイド・ベンチプレス(WB)、ナロー・ベンチプレス(NB)、インクライン・ベンチプレス (IB)、フロントプレス(シーテイド)(FP)およびバックプレス(シーテイド)(BP)において、三角筋と上腕三頭筋の筋活動を分析して比較検討し、以下のような結論を得た。

1. RMS 値の基準化による比較から、前部三角筋では $BP \approx FP > IB > NB \approx WB$ という関係を得た。
2. 中部三角筋では $BP \approx FP > IB \approx NB \approx WB$ が得られ、前部三角筋と同様に BP や FP 種目、すなわち垂直姿勢で行うプレス種目がより効果的であることが示唆された。
3. 後部三角筋や上腕三頭筋に関しては、特に種目間での差異は認められなかった。
4. 各筋ともにバーベル下降局面に比べてバーベル上昇局面において高い RMS 値を示す傾向が見られたが、特に前部三角筋においてその傾向が強かった。
5. 前部三角筋はバーベル上昇局面の最終段階において RMS 値の低下が見られたが、上腕三頭筋や中部三角筋にはこれと逆の傾向が認められた。

第3章 筋力トレーニングのベンチプレス系3種目における大胸筋、前鋸筋および三角筋の筋電図学的分析

3.1 はじめに

従来、大胸筋、前鋸筋および三角筋は上肢によるプレス動作の機能発揮のために重要な役割を果たす筋として、筋力トレーニングの実践にあたって、これらの筋の強化が主要なテーマの一つとなっている。しかし、これらの3筋は、比較的大きな筋で複雑な形態をしており、それぞれの筋の部位によって機能的な差異を有していることが知られている。機能解剖学的には、大胸筋は上腕骨を内転し、内旋するが、さらに鎖骨部においては上腕骨を前方に上げ、腹部は肩を下げる時にも働く。前鋸筋は全体としては肩甲骨を前方に引くが、とくに下2/3の筋束は下角を前方に引きながら肩甲骨を回し、上腕の屈曲と外転を助けると共に、最上部の筋束は肩甲骨をやや引き上げる作用をもつ。三角筋は上腕を外転し、その前部は上腕を前方に上げ内旋し、後部は後方に上げ外旋する作用をもつとされている(森ら, 1982)。

筋力トレーニングにおいては、これらの筋を鍛える種目の一つとしてしばしば採用されるのがベンチプレス系の種目である。このベンチプレス系種目としては、フラットベンチプレスを中心として、デクラインベンチプレスやインクラインベンチプレスなどの種目が実施される。最近の代表的な指導書の中では、これらのトレーニング種目に共通する効果筋としては大胸筋、前鋸筋、三角筋および上腕三頭筋の4筋が示されている。しかし、どの指導書においても単なる筋名の列挙にとどまり、詳細な情報は不足している(Grymkowski et al., 1984, Pauletto, 1991, Yessis, 1992, Laura and Dutton, 1993, Norris, 1993, Fahey, 1994,)。

筋力トレーニング種目に関する筋電図学的分析による筋活動の研究は、幅広く行われている。Bauer et al. (1999), Wright et al. (1999), Pick et al. (2000)および Boyden et al. (2000)らはスクワット系種目やデッドリフト系種目に関連して、Guimaraes et al. (1991), Whiting et al. (1999)および Clark et al. (2003)はシットアップ系種目に関連して、さらに Signorile et al. (2002)や半田ら(2005)はプル系種目に関連した種目を対象に筋活動を分析している。プレス系種目に関しては、McCaw and Friday (1994), Barnett et al. (1995)および半田ら(2002)の報告が見られる。McCaw and Friday (1994)は、大胸筋、三角筋前部、三角筋中部、上腕三頭筋および上腕二頭筋を被験筋として1RMの60%および80%を使用して、フリーウェイトとマシンを用いてのベンチプレス中の伸張性局面および短縮性局面時の筋電図を分析し、トレ

ーニング様式と負荷重量は筋放電に影響を及ぼすことを明らかにした。Barnett et al. (1995) は、上体の傾斜角度をフラット、インクライン、デクラインおよびバーティカルの 4 つの条件で設定し、被験筋を大胸筋胸筋部、大胸筋鎖骨部、三角筋前部、上腕三頭筋および広背筋として筋電図活動を比較検討し、プレス動作試行時の上体の傾斜角度と筋放電との関係性に関して報告した。半田ら(2005)は、三角筋前部、三角筋中部、三角筋後部および上腕三頭筋を被験筋として、ワイド・ベンチプレス、ナロー・ベンチプレス、インクライン・ベンチプレス、フロントプレスおよびバックプレス試行時の筋活動を分析し、上腕三頭筋の筋活動は上体の傾斜角度による差が見れないことを明らかにしている。

しかし、これらの報告には、大胸筋の筋活動部位と上体の傾斜角度との関係性に関しては、トレーニングの実践現場での一般的奨励と食い違った報告も見られる。さらにプレス動作で重要な働きをする前鋸筋の筋活動分析が欠如している。そこで、本研究ではフリーウェイト(Barbell)を用いて行う上体の傾斜角度が異なるベンチプレス系のトレーニング種目を選択して、各種目における大胸筋、前鋸筋と共に三角筋の筋活動を分析し、種目間の差異について比較検討した。

3.2 方法

3.2.1 被験者

筋力トレーニングに熟練した成人男子 8 名を被験者とした。被験者の平均年齢は 23.0±2.7 歳、平均身長は 174.8±5.1cm および平均体重は 78.1±11.6 kg であった(表 3-1)。実験に先立ち、被験者に実験の目的、方法、実験の安全性等について、文書ならびに口頭で説明を行い、実験の内容を十分に理解してもらったうえで同意書を得た。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受けた。

表 3-1 3 つのプレス運動における
1RM 挙上重量

Variables	Mean ± SD
FBP1RM (kg)	88.4 ± 23.3
DBP1RM (kg)	92.5 ± 27.8
IBP1RM (kg)	68.1 ± 16.6

FBP: Flat Bench Press ,
DBP: Decline Bench Press ,
IBP: Incline Bench Press
1RM: One Repetition Maximum.

3.2.2 トレーニング種目の試技方法

実験の対象としたトレーニング種目は、フラットベンチプレス、デクラインベンチプレスおよびインクラインベンチプレスの3種目であった。実験に先立ちそれぞれの種目において各被験者の1回反復最大重量(One Repetition Maximum: 1RM)を測定した。測定は同一日にFBP, DBP, IBPをランダムに各種目とも被験者からの自己申告による1RMの50%の重量で10回のウォーミングアップ後、3分間の休息を入れながら10kg, 5kg, 2.5kgのいずれかの増量によって挙上不可能となる重量まで試技を行った。種目間には10分間の休息時間を設けた。

EMG測定時にはすべて1RMの70%の負荷を用いた。ただし、すべての種目において用意できるプレートの重量との関係で、必ずしも正確な70%設定とすることは不可能であり、2.5kgを最小の重量設定幅とした。測定は同一日にFBP, DBP, IBPをランダムに各種目とも10分間の休息時間を設けて行われた。すべての試技は肘関節屈曲局面(Elbow Flexion Phase, 以下EFPとする)から肘関節伸展局面(Elbow Extension Phase, 以下EEPとする)へと、各局面2秒間合計4秒間のテンポで3回繰返された。繰返しのテンポは、験者がストップウォッチを見ながら、被験者に口頭で合図を送ることにより規定された。各種目の方法は以下の通りである(図3-1)。

フラットベンチプレス(Flat Bench Press, FBP)

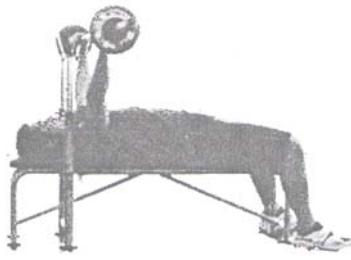
手幅は上肢を90°外転して肘を直角に曲げた時の両肘間の長さとした。仰臥姿勢で両足を床上に置くと共に、試技中に臀部をベンチ台から浮かして体幹を過伸展させ胸を持ち上げる姿勢を禁止した。なお、負荷システムにはスミスマシンを使用した(図3-1-1)。

デクラインベンチプレス(Decline Bench Press, DBP)

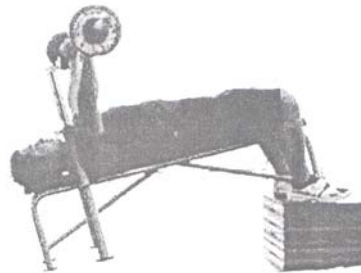
手幅は上肢を90°外転して肘を直角に曲げた時の両肘間の長さとした。仰臥姿勢で両足をボックス台上に置くと共に、試技中に臀部をベンチ台から浮かして体幹を過伸展させ胸を持ち上げる姿勢を禁止した。ベンチの角度は-30°とした。なお、負荷システムにはスミスマシンを使用した(図3-1-2)。

インクラインベンチプレス(Incline Bench Press, IBP)

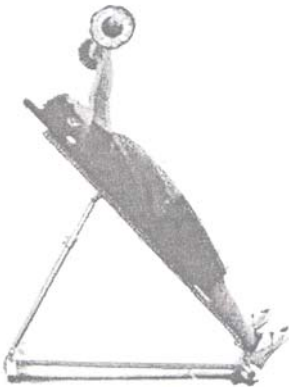
手幅は肩幅より両手それぞれこぶし1つ分外側の幅として、試技にあたってはバーを鎖骨上に降ろした後に再び鉛直上方に挙上させた。ベンチの角度は60°とした。なお、負荷システムにはスミスマシンを使用した(図3-1-3)。



1



2



3

図3-1 3種類のベンチプレス種目

1: Flat Bench Press

2: Decline Bench Press

3: Incline Bench Press

3.2.3筋電図の導出

被験筋は大胸筋鎖骨部, 大胸筋胸肋部, 前鋸筋下部および三角筋前部の3筋4箇所とし, すべて右側について表面筋電図により導出した. 電極の貼付箇所の同定にあたっては, 栢森(1997)の方法を参照した. 筋電図導出のための電極および不関電極には, 直径8mmの銀円盤の皮膚表面電極(小型生体電極, 日本光電社製)を用いた. 電極の装着にあたっては, 筋電図導出部位をアルコール綿と皮膚処理剤(スキンピュアー, 日本光電社製)で十分に拭き, 各筋腹の中央に2cmの間隔をとり, 粘着カラーで固定した. 得られた電気信号は, マルチテレメータシステム(WEB-5000, 日本光電社製)から, MacLab(MacLab, ADInstruments社

製)に送られ、サンプリング周波数1000Hzでデジタル変換されPC(VAIO PCG-9A2N,SONY社製)に記録された。

3.2.4肘関節角度の測定

ゴニオメータ(KINETO-ANGLE TRANSDUCER TM-511G,日本光電社製)を肘関節の軸と一致するように装着し角度変位を記録した。ゴニオメータのアームは、肘関節をまたいで前腕と上腕に固定用のバンドを用いて取り付けられた。得られた電気信号は、筋電図と同様の経路で記録された。

3.2.5測定値の処理と統計分析

筋電図信号は、ゴニオメータとの同期により、各種目において肘関節屈曲局面(EFP)と肘関節伸展局面(EEP)の各局面におけるRMS値を算出し(図3-2)、さらにEFPの3分割とEEPの3分割の合計6分割におけるRMS値として処理された。そしてWhitingら(1999)、Wrightら(1999)の方法にしたがい、各種目におけるHFPとHEPの各局面におけるRMS値は、それが最大となる種目の値を基準値とする相対値で表した。その値に基づき、筋活動水準における種目間の比較を行った。しかし、全可動域の6分割における経時的比較には、その絶対値を用いた。

各種目から得られた同一の筋における電位のRMS値の平均値と同一種目における経時的変化の検定には、二元配置の分散分析を用いた。そして、有意差が認められた場合には、Tukeyの多重比較によって検定した。全可動域の6分割における経時的比較には、各筋についてそれぞれ最初のEFP1/3の値に対して有意差検定を行った。なお、有意水準は危険率5%未満とした。

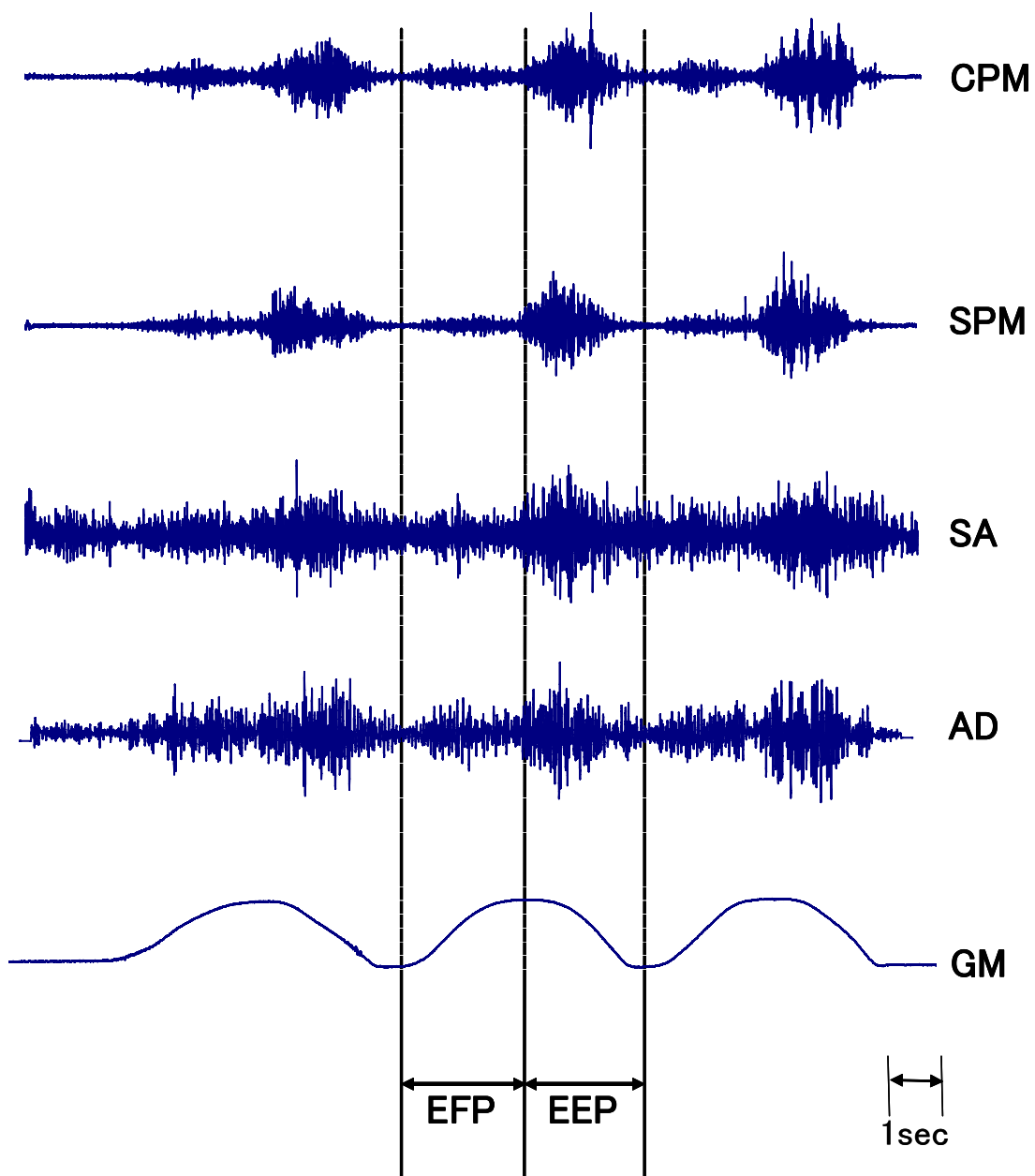


図3-2 デクラインプレス中に得られた筋電図と
ゴニオメータ記録の一例

EFP:Elbow Flexion Phase , EEP:Elbow Extension Phase
 CPM:(clavicular pectoralis major) , SPM:(sternocostal pectoralis major) ,
 SA:(serratus anterior) , AD:(anterior deltoid)
 GM: (goniometer)

3.3 結果

3.3.1 トレーニング種目別の比較

同一筋における基準値には、統計的に肘関節屈曲局面(EFP)と肘関節伸展局面(EEP)の両局面間に交互作用が認められなかったため、両局面をまとめて有意差検定を行った。得られた筋電図のRMS値を基準化して比較した(表3-2, 図3-3.4.5.6)。

大胸筋鎖骨部では、FPとDPはIPに対して有意に大きい筋放電が得られた($p < 0.01$) (図3-3)。大胸筋胸肋部においても同様の結果が得られた。有意水準はFPとIP間で $p < 0.01$, DPとIP間で $p < 0.001$ であった(図3-4)。前鋸筋ではFPとIPはDPに対して有意に高い値であった($p < 0.001 \sim 0.01$) (図3-5)。三角筋においては、前鋸筋と類似した傾向が観察されFPとIPはDPに対して有意に高い値であり($p < 0.001 \sim 0.01$) また、IPはDFに対して有意に高い値であった($p < 0.001$) (図3-6)。

EFPとEEPの比較のために、各筋について種目ごとにEFP局面に対するEEP局面の比率を計算した(Table2)。大胸筋鎖骨部では0.54~0.61, 大胸筋胸肋部では0.47~0.59, 前鋸筋では0.52~0.62, 三角筋では0.58~0.65という値であった。特に低い値を示したのは、FPにおける大胸筋胸肋部(0.47)であった。一方、高い値を示したのはIPの三角筋(0.65)であった。

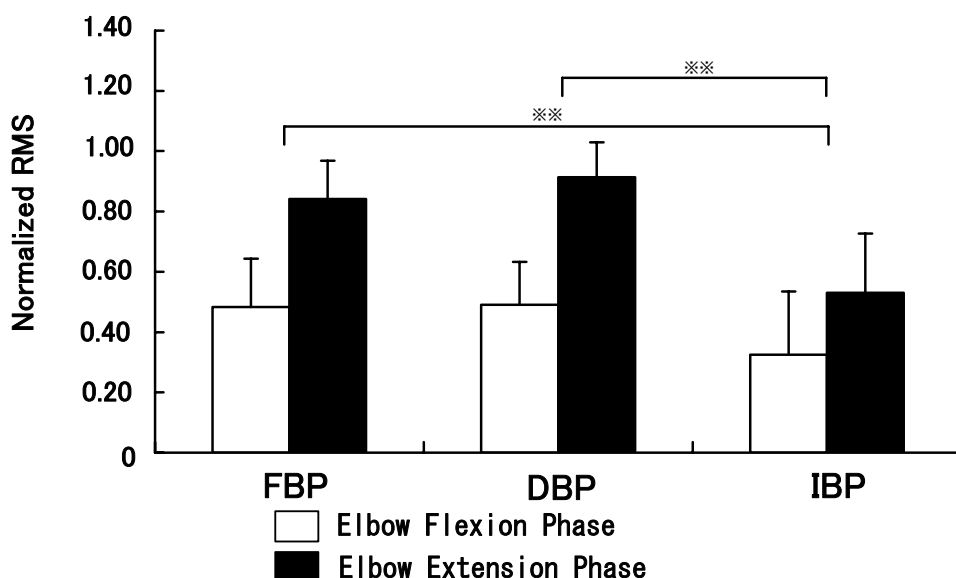


図3-3 大胸筋鎖骨部におけるRMS値
FBP:Flat Bench Press, DBP:Decline Bench Press, IBP:Incline Bench Press
※ $p < 0.05$, ※※ $p < 0.01$, ※※※ $p < 0.001$

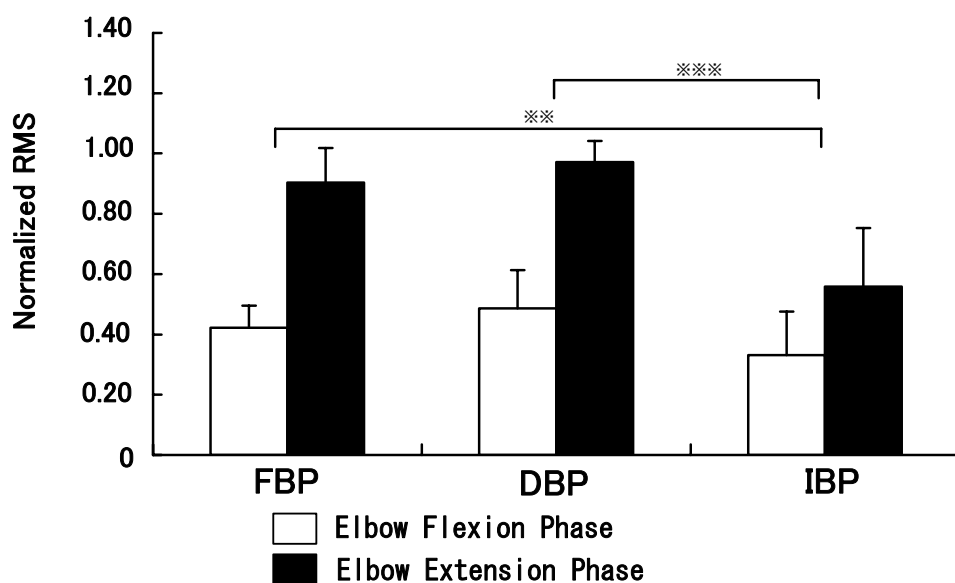


図3-4 大胸筋胸肋部におけるRMS値
 FBP:Flat Bench Press , DBP:Decline Bench Press ,
 IBP:Incline Bench Press
 ※ $p < 0.05$, ※※ $p < 0.01$, ※※※ $p < 0.001$

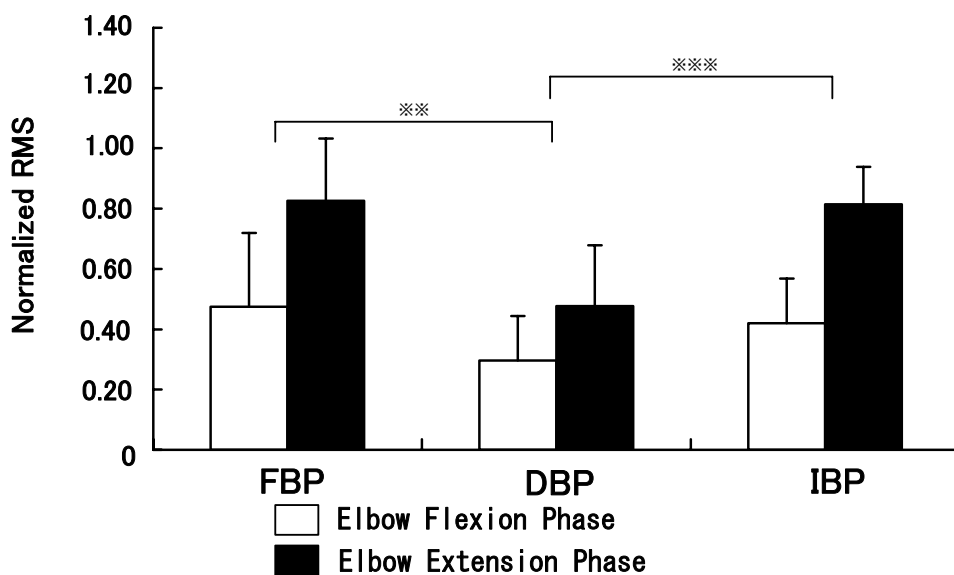


図3-5 前鋸筋におけるRMS値
 FBP:Flat Bench Press , DBP:Decline Bench Press ,
 IBP:Incline Bench Press
 ※ $p < 0.05$, ※※ $p < 0.01$, ※※※ $p < 0.001$

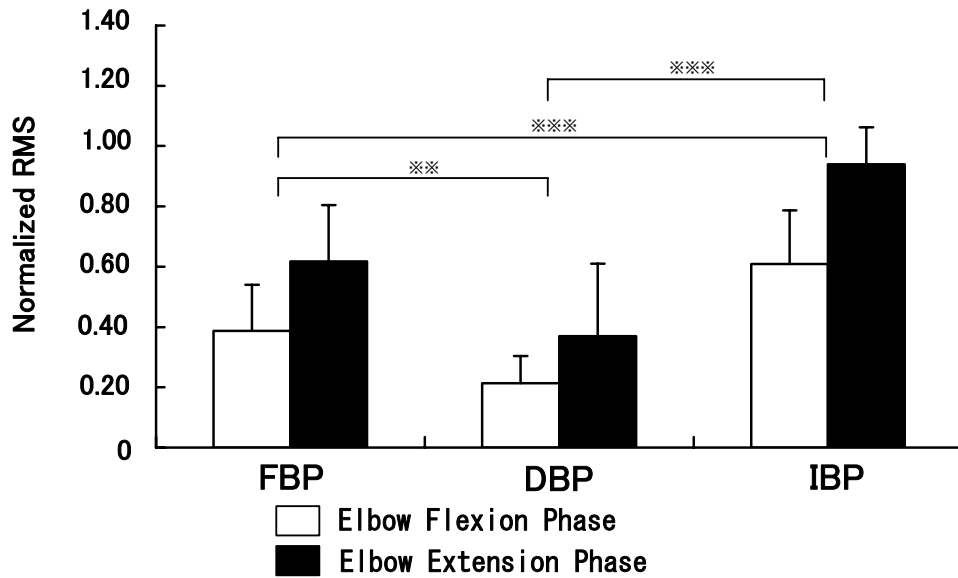


図3-6 三角筋前部におけるRMS値
 FBP:Flat Bench Press , DBP:Decline Bench Press ,
 IBP: Incline Bench Press
 ※ $p < 0.05$, ※※ $p < 0.01$, ※※※ $p < 0.001$

3.3.2 可動域における RMS 値変化

図3-7.8.9は、各種目において肘関節角度1/3ごとに、全可動域における各筋のRMS値変化を示す。

FBP種目では、大胸筋鎖骨部、大胸筋胸肋部、前鋸筋および三角筋すべての筋において角度変位に伴う有意差が観察された(図3-7)。大胸筋鎖骨部、大胸筋胸肋部ともにEEP1/3、2/3はEFP1/3より有意に大きな値を示した($p < 0.01 \sim 0.05$)。前鋸筋においてEEP2/3はEFP1/3よりも $p < 0.05$ で有意に大きな値を示し、EEP1/3も $p < 0.05$ で有意に大きな値を示した。三角筋に関しては前鋸筋と類似傾向が見られ、EEP3/3も $p < 0.05$ で有意に大きな値を示したことのみが差異であった。

DBP種目では、大胸筋鎖骨部、大胸筋胸肋部および三角筋において有意差が観察された(図3-8)。大胸筋鎖骨部においてEEP1/3、2/3はEFP1/3より有意に大きな値を示した($p < 0.01$)。大胸筋胸肋部ではEEP1/3、2/3、3/3ともにEFP1/3より有意に大きな値を示した($p < 0.01 \sim 0.05$)。三角筋においてはEEP2/3はEFP1/3より有意に大きな筋放電であった($p < 0.05$)。

IBP種目で角度変位に伴う有意差が見られた筋は大胸筋鎖骨部と三角筋であった(図3-9)。大胸筋鎖骨部においてEEP2/3はEFP1/3より有意に大きな値を示した($p < 0.05$)。三角筋で

はEEP1/3, 2/3の筋放電はEEP1/3よりも有意に大きかった(p<0.001).

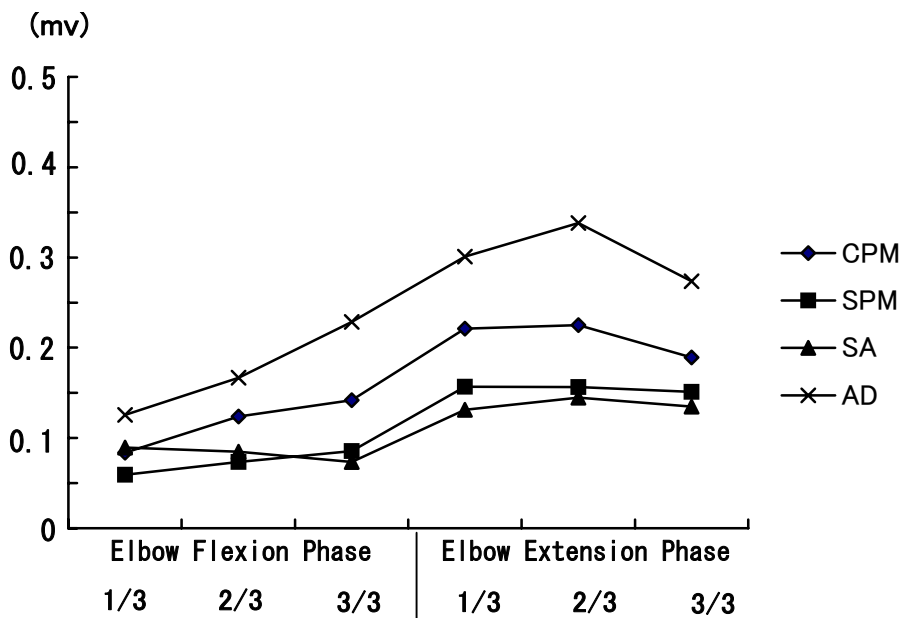


図3-7 フラットベンチプレス試行時の肘屈曲局面と肘伸展局面におけるRMS値の経時的変化 of flat bench press.
 CPM:clavicular pectoralis major
 SPM:sternocostal pectoralis major
 SA:serratus anterior, AD:anterior deltoid
 CPM:p<0.01 (EEP1/3, 2/3)
 SPM:p<0.05 (EEP1/3, 2/3)
 SA:p<0.01 (EEP2/3) p<0.05 (EEP1/3)
 AD:p<0.01 (EEP2/3) p<0.05 (EEP1/3, 3/3)
 Significant difference from elbow flexion phase 1/3.

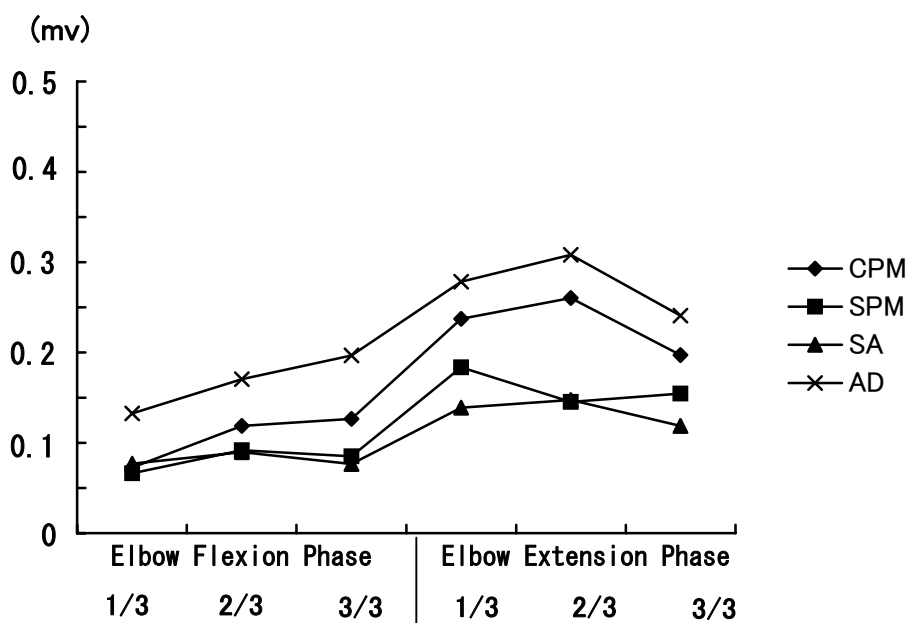


図3-8 デクラインベンチプレス試行時の肘屈曲局面と肘伸展局面におけるRMS値の経時的変化
 CPM:clavicular pectoralis major
 SPM:sternocostal pectoralis major
 SA:serratus anterior, AD:anterior deltoid
 CPM: $p < 0.01$ (EEP1/3, 2/3)
 SPM: $p < 0.01$ (EEP1/3) $p < 0.05$ (EEP2/3, 3/3)
 AD: $p < 0.05$ (EEP2/3)
 Significant difference from elbow flexion phase 1/3.

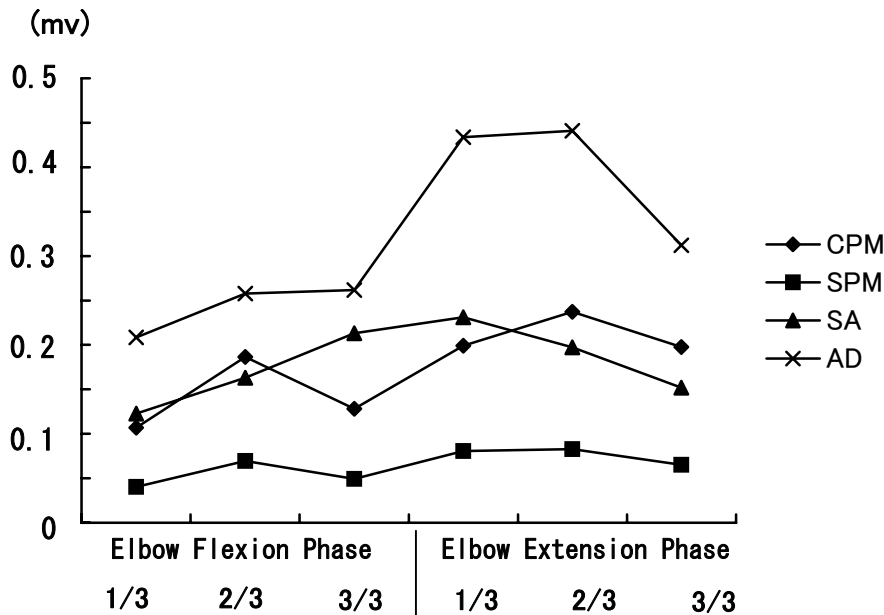


図3-9 インクラインベンチプレス試行時の肘屈曲局面と肘伸展局面におけるRMS値の経時的変化
 CPM:clavicular pectoralis major
 SPM:sternocostal pectoralis major
 SA:serratus anterior, AD:anterior deltoid
 CPM:p<0.05 (EEP2/3)
 AD:p<0.001 (EEP1/3, 2/3)
 Significant difference from elbow flexion phase 1/3.

3.4 考察

大胸筋鎖骨部の筋放電に関しては、Barnett et al.(1995)は、フラットベンチプレス、インクラインベンチプレス、デクラインベンチプレス間には差が見られなかったことを報告している。一方、Gold's Gym(1984)の記載は、大胸筋鎖骨部もインクラインベンチプレスにおける効果筋の一つであるとしている。しかし、本研究の結果では、これらとは異なりフラットベンチプレスとデクラインベンチプレスにおいてインクラインベンチプレスよりも大胸筋鎖骨部に有意に大きい筋放電が見られた(図3-3)。Barnett et al.(1995)は、大胸筋鎖骨部の強化のために特にインクラインベンチプレスを用いることは、あまり意味のないことであると報告している。本研究からも同様の結果が得られたが、大胸筋鎖骨部においてデクラインベンチプレスがインクラインベンチプレスの筋放電を上回ったことは注目すべきポイントである。両プレス間における相対重量は統一したものの絶対重量には差異があり、この結果を招いた原因の一つとして考えられる。トレーニングの現場では、大胸筋鎖骨部の強化にインクラインベンチプレスの実施が奨励されるが、フラットベンチプレスにおいて大胸筋鎖骨部は十分な筋活動が得られると

考えられる。

大胸筋胸肋部に関しては, Barnett et al.(1995)は,フラットベンチプレスはインクラインベンチプレスとデクラインベンチプレスよりも有意に大きい筋放電が得られるとしている。また, Gold's Gym(1984)の記載は,大胸筋胸肋部はフラットベンチプレスとデクラインベンチプレスにおける効果筋であるとしている。本研究の結果は, Barnett et al.(1995)の報告とは異なり,大胸筋鎖骨部と同様にフラットベンチプレスとデクラインベンチプレスはインクラインベンチプレスよりも有意に大きい筋放電をもたらした(図 3-4)。この結果は,フラット,デクラインの両種目において, Barnett et al.(1995)の報告とは異なるが,フラットベンチプレスがより効果的でありインクラインベンチプレスは大胸筋胸肋部の筋活動を高めるための種目としては適さないという点では一致している。本研究から得られたデクラインベンチプレスにおける大胸筋胸肋部からのフラットベンチプレスと同等の筋放電は新たな知見である。本研究と Barnett et al.(1995)の報告には差異が見られるが,大胸筋の鎖骨部と胸肋部のいずれにおいてもフラットベンチプレスが最も効果的にそれらの筋活動を高めるという点は共通した見解である。実践現場において,従来言われているように,大胸筋鎖骨部に対してはインクラインベンチプレス,大胸筋胸肋部に対してはデクラインベンチプレスがより有効であるとの考え方には,疑問符がつくということが示唆される。

前鋸筋に関しては,筋電図学的研究の報告は非常に少ない。Micheal et al.(1999)は,徒手によるリハビリテーション運動において,前鋸筋の活動を報告しているが,フリーウェイトによるベンチプレス運動中の筋活動に関する報告は見られない。本研究では,フラットベンチプレスとインクラインベンチプレスはデクラインベンチプレスよりも有意に大きい筋放電をもたらした(図 3-5)。トレーニング指導書においては, Laura and Dutton(1995)がベンチプレスにおいて大胸筋,三角筋と共に主働筋の一つとして前鋸筋を挙げている。Micheal et al.(1999)は, Push-up plus や Dynamic hug などの種目において前鋸筋の活動がより大きいことを報告している。Push-up plus は,姿勢上ではフラットベンチプレスと類似していると考えられ,これは本研究とも類似した傾向であると言える。しかし,前鋸筋は全体としては肩甲骨を前方に引く作用を担い通常のプレス動作における関節可動域内ではその作用は十分に機能しないと考えられる。したがって,本研究の結果から,水平位から上体をより上方へ起こした姿勢でのベンチプレスが前鋸筋の筋活動を高めるにはより有効であるということにはなるものの,より効率的に負荷をかけるためには,通常の挙上後のさらなる押し出しが必要になるであろう。

三角筋に関しては, Laura and Dutton(1995)や Gold's Gym(1984)は,三角筋前部はプレス動

作の主働筋として報告している。しかし上体の傾斜角度の異なる種目間差異についての記載は見られない。三角筋前部に関しては、本研究ではインクラインベンチプレスはフラットベンチプレスとデクラインベンチプレスよりも有意に大きい筋放電をもたらした。またフラットベンチプレスはデクラインベンチプレスよりも有意に大きい筋放電をもたらした(図 3-6)。半田ら(2002)はプレス動作の上体の傾斜角度の違いが三角筋前部・中部・後部と上腕三頭筋の筋放電に及ぼす影響を明らかにした。水平位でのベンチプレス、ベンチ角度 60°でのインクラインプレス、座位による頭上へのプレスを比較して、上腕三頭筋の筋放電は上体の傾斜角度により影響を受けないが、三角筋前部・中部では水平姿勢よりも垂直姿勢においてより大きい筋活動を示す傾向が見られた。この結果はインクラインベンチプレスが三角筋前部により大きい筋放電をもたらした本研究結果と同様の傾向であった。三角筋前部において水平位でのベンチプレスがデクラインベンチプレスの筋放電より有意に大きかったことは、本研究からの新たな知見である。三角筋前部における筋放電の種目間差異は上体の傾斜角度とともに、インクラインプレスの手幅の狭さも一要因として考えられる。

本研究において、肘関節の屈曲局面と伸展局面との比率では、FBP 種目の大胸筋胸肋部のような 0.5 を下回る低い値を示した一部例外はあるが、他はおよそ 0.5~0.7 の範囲の中に入って伸展局面の RMS 値の方が高い値を示し、いずれも伸展局面の筋刺激を中心とした種目と考えられる(Table2)。この結果は、Wright et al. (1999)のレッグ・カール、スティフレッグド・デッドリフトおよびスクワット種目や、McCaw and Friday(1994)のベンチプレス種目の筋活動における Concentric Phase と Eccentric Phase の比率でもほぼ同様の傾向が報告されている。本研究では、このような両局面における比率の傾向は可動域における RMS 値変化とも関連しており、その全体的な傾向は EFP から EEP へと右上がりの変化を示している。したがって、本研究において実施したバーベルを用いるベンチプレス系のトレーニング種目は、EFP よりも EEP の効果を重視すべきトレーニング種目であると考えられる。

以上のように、本研究で実施したベンチプレス系のトレーニング種目において、大胸筋、前鋸筋および三角筋に対する筋活動の度合には明らかな差異が観察された。その結果、大胸筋では鎖骨部と胸肋部ともにフラットベンチプレスとデクラインベンチプレス種目の両種目において、前鋸筋ではフラットベンチプレスとインクラインベンチプレスの両種目において効果的な筋活動が得られることが示唆された。三角筋は上体の傾斜角度がより高い種目において筋活動が促進されることが明らかになった。更に、可動域内の EEP と EFP との比較では、それぞれの種目において各筋ともに前者の局面における筋活動水準が高く、このような方

式のトレーニング種目はすべて肘関節伸展局面の負荷刺激を中心とした運動であると示唆された。

3.5 まとめ

上体の傾斜角度の異なるベンチプレス系3種目、フラットベンチプレス(FP) , デクラインベンチプレスおよびインクラインベンチプレス(IP)において、大胸筋, 前鋸筋および三角筋の筋活動を分析して比較検討し、以下のような結論を得た。

1. RMS値の基準化による比較から、大胸筋では鎖骨部と胸肋部ともに筋活動水準は $DBP \approx FBP > IBP$ であった。
2. 前鋸筋は $FBP \approx IBP > DBP$ であり、DBP種目が最小の筋活動を示した。
3. 三角筋は $IBP > FBP > DBP$ の順となり、すなわち上体の傾斜角度が大きいプレス種目においてより筋活動が大きいことが示唆された。
4. すべての種目において、各筋ともに肘屈曲局面に比べて肘伸展局面において高いRMS値を示す傾向が見られ、本研究において実施したトレーニング種目は肘伸展局面の効果を中心とする運動であることが示唆された。

したがって、このような筋活動水準の結果から本研究で実施したバーベルによるベンチプレス系 3 種目において、大胸筋では鎖骨部と胸肋部ともにフラットベンチプレスとデクラインベンチプレス種目が有効であり、前鋸筋ではフラットベンチプレスとインクラインベンチプレス種目が、三角筋ではインクラインベンチプレスが有効な種目であると思われる。以上のことから、フラットベンチプレスは同時にこれら 3 筋に高い筋活動を引き起こすトレーニング種目であると考えられる。

第4章 筋力トレーニングのプル系5種目における上腕三頭筋、 広背筋および僧帽筋の筋電図学的分析

4.1 はじめに

上腕二頭筋, 広背筋および僧帽筋の3筋は, 上肢による牽引時のパワー発揮に非常に重要な役割を果たす筋である。そこで, 筋力トレーニングの実践にあたって, これらの筋の強化が主要なテーマの一つとなる。これらの3筋を同時に鍛えるトレーニング種目としてしばしば採用されるのが, 手に保持したバーやハンドルを体幹に引きつける動作を繰り返すプル系の種目である。フリーウェイトを用いる種目としては, アップライト・ローイング(Upright Rowing), ベントオーバー・ローイング(Bent-over Rowing)が, トレーニング・マシーン(Training Machine)を用いる種目としては, シーテッド・ローイング(Seated Rowing)やラット・プルダウン(Lat Pull-down, Front および Back)などの種目が挙げられる。最近の代表的な指導書の中でも, これらのトレーニング種目に共通する効果筋としては上腕二頭筋, 広背筋および僧帽筋の3筋が示されている。しかし, どの指導書においても単なる筋名の列挙にとどまり, ほとんど他の情報は欠如している。

筋力トレーニング種目に関する研究では, 従来からバイオメカニクスのアプローチから分析した研究が多く, 中でもベンチプレス種目に関してはバーの軌跡や関節角度を解明した動作解析的研究が多数報告されている。しかし, 筋力トレーニング種目においては, 各種目でトレーニングされる効果筋に関する情報が重要となるが, 最近トレーニング種目に関する筋電図学的研究がいくつか見られる。Wright et al. (1999), Pick and Becogue. (2000)やBoyden et al. (2000)はスクワット種目やデッドリフト種目に関連して大腿部の筋を分析し, Whiting et al.はシットアップ種目に関連して腹筋を対象に分析している。また, プレス種目に関してはBarnett et al. (1995)や半田ら(2005,2007)の報告がある。

筋力トレーニングにおいて, プレス種目と共に重要な種目であるプル種目に関してはSignorile et al. (2002)のラット・プルダウン種目におけるグリップの差異についての筋電図を用いた研究があるのみである。一般に従来の指導書や研究報告においては, 各種目の特異性や主働筋である上腕二頭筋, 広背筋および僧帽筋の貢献度の種目間差異が十分に認識されておらず, それらに関する情報が不足している。そこで, 本研究ではフリーウェイト(Barbell)とマシーン(Universal Machine)を用いて行う姿勢の異なるプル系トレーニング種目の

5 種目を選択して、各種目における上腕二頭筋, 広背筋および僧帽筋の筋活動を分析し, 種目間の差異について比較検討した.

4.2 方法

4.2.1 被験者

被験者は筋力トレーニングに熟練した成人男子 8 名である. 被験者の年齢は 20.4 ± 0.5 歳, 身長は 170.9 ± 7.8 cm および体重は 69.1 ± 7.5 kg であった(表 4-1). 実験に先立ち, 被験者に実験の目的, 方法, 実験の安全性等について, 文書ならびに口頭で説明を行い, 実験の内容を十分に理解してもらったうえで同意書を得た. 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受けた.

表4-1 被験者の身体特性と1RM重量

Variables	Mean \pm SD
Age (year)	20.4 \pm 0.5
Height (cm)	170.9 \pm 7.8
Body Mass (kg)	69.1 \pm 7.5
UR1RM (kg)	44.1 \pm 6.4
BR1RM (kg)	60.6 \pm 6.2
SR1RM (kg)	65.5 \pm 14.6
LPf1RM (kg)	71.4 \pm 13.1
LPb1RM (kg)	60.8 \pm 11.3

UR:Upright Rowing , BR:Bent-over Rowing , SR:Seated Rowing
 LPf:Lat Pull-down(front) , LPb:Lat Pull-down(back)
 1RM:One Repetition Maximum.

4.2.2 トレーニング種目の試技方法

本研究において対象としたプル系のトレーニング種目は, バーベル(Olympic Barbell)を用いたアップライト・ローイング(Upright Rowing:UR)とベントオーバー・ローイング(Bent-over Rowing:BR), マシン(Universal Machine)を用いたシーテッド・ローイング(Seated Rowing:SR), ラット・プルダウンのフロント(Lat Pull-down, Front:LPf)およびラット・プルダウンのバック(Lat Pull-down,Back:LPb)の5種目であった.

実験に先立ちそれぞれの種目において各被験者の1RMを測定し, 実験にはすべて1RMの70%の負荷を用いた(表4-1). すべての試技は肘屈曲局面(elbow flexion phase, 以下EFPとする)から肘伸展局面 (elbow extension phase, 以下EEPとする)へと, 各局面2秒間合計4秒間のテンポで3回繰返された. 繰返しのテンポは, 験者がストップウォッチを見ながら, 被験者に声で合図を送ることにより規定された. 試技はすべてオーバーハンドグリップの両手で行

ない、手幅や運動姿勢は一般的な方法を採用したが、各種目の方法は以下の通りである(図4-1).

アップライト・ローイング(UR)

一握り間隔空けて両手でバーを握り直立姿勢をとり、肘を外上方に引き上げながら上胸部まで引き上げる(図4-1-1).

ベントオーバー・ローイング(BR)

グリップ幅は左右とも肩幅から一握り広くしてバーを握り、膝を若干曲げて上体を水平からやや起こしたスタート姿勢をとる。上体を動かさないよう注意して、両脇を締めるようにしながらバーを上腹部まで引き上げる(図4-1-2).

シーテッド・ローイング(SR)

グリップ幅は左右とも肩幅から一握り狭くしてハンドルを握り、膝を伸ばした長座姿勢をとる。上体を垂直に保ち両脇を締めるようにしながら、前方のハンドルをみぞおちの辺りまで引く(図4-1-3).

ラット・プルダウン(フロント, LPf)

ベンチに腰を下ろして、上方のハンドルを肩幅間隔で握り、上体を垂直に保ちながら顎の下まで引き下ろす(図4-1-4).

ラット・プルダウン(バック, LPb)

ベンチに腰を下ろして、上方のハンドルを両腕を水平に伸ばした時の両肘間の間隔で握り、上体を垂直に保ちながら肩の上まで引き下ろす(図4-1-5).

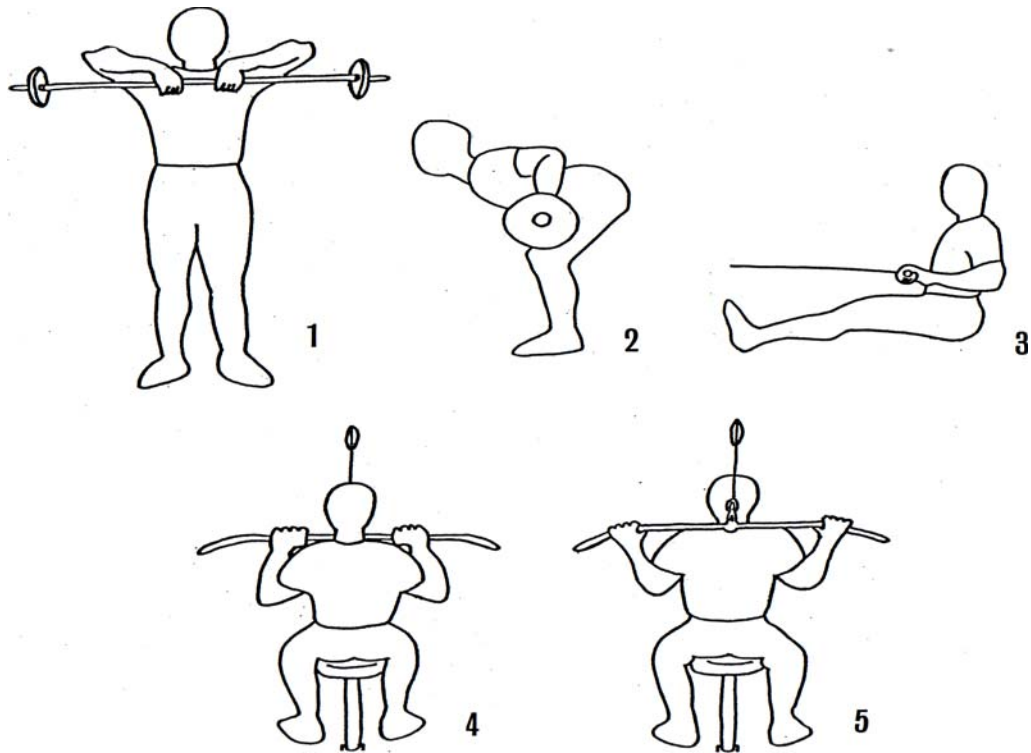


図4-1 5つのプル運動

1 : Upright Rowing 2 : Bent-over Rowing 3 : Seated Rowing
4 : Lat Pull-down (front) 5 : Lat Pull-down (back)

4.2.3筋電図の導出

被験筋は、すべて右側の上腕二頭筋(BB)、広背筋(LD)、僧帽筋(上部、中部、下部)の3筋、5部位とした。なお、以下の僧帽筋の名称はそれぞれ僧帽筋上部(UTR)、僧帽筋中部(MTR)、僧帽筋下部(LTR)とする。電極の貼付箇所の同定にあたっては、栢森²⁰⁾の方法を参照した。筋電図導出のための電極および不関電極には、直径8mmの銀円盤の皮膚表面電極(小型生体電極、日本光電社製)を用いた。電極の装着にあたっては、筋電図導出部位をアルコール綿と皮膚処理剤(スキンピュアー、日本光電社製)で十分に拭き、各筋腹の中央に2cmの間隔をとり、粘着カラーで固定した。得られた電気信号は、マルチテレメータシステム(WEB-5000、日本光電社製)から、MacLab(MacLab, ADInstruments社製)に送られ、PC(Powerbook530、Apple社製)にサンプリングされた。なお、HICUT(高域遮断周波数)を100(Hz)、LOCUT(時定数)を0.03(秒)およびSENS(感度)を1mV/Vに設定した。

4.2.4肘関節角度の測定

ゴニオメータ(KINETO-ANGLE TRANSDUCER TM-511G , 日本光電社製)を肘関節の軸と一致するように装着し角度変位を記録した. ゴニオメータのアームは, 肘関節をまたいで前腕と上腕に固定用のバンドを用いて取り付けられた. 得られた電気信号は, 筋電図と同様の経路でサンプリングされた. なお, HICUT(高域遮断周波数)を30(Hz), LOCUT(時定数)をDCおよびSENS(感度)を50deg/Vに設定した.

4.2.5測定値の処理と統計分析

筋電図信号は, 標準的な1回の波形からゴニオメータとの同期により, 各種目においてバーやハンドルを上胸部に引きつけるEFP局面と肘を伸ばしてスタート位置まで戻すEEP局面の各局面におけるRMS値を算出し(図4-2), さらにEFP局面の3分割とEEP局面の3分割の合計6分割におけるRMS値を算出した. 各局面における比較には, Whiting et al. (1999)やWright et al. (1999)の方法に従って, 種目間でのRMS値の最大値を基準値として他の種目のRMS値を基準値で除すことによる相対値を用いた. しかし, 全可動域の6分割における経時的比較には, その絶対値を用いた.

各種目から得られた同一筋におけるRMS値と同一種目における各筋のRMS値の経時的変化の検定には, 一元配置の分散分析を用いた. そして, 有意差が認められた場合には, FisherのPLSDの多重比較によって検定した. なお, 有意水準は危険率5%未満とした.

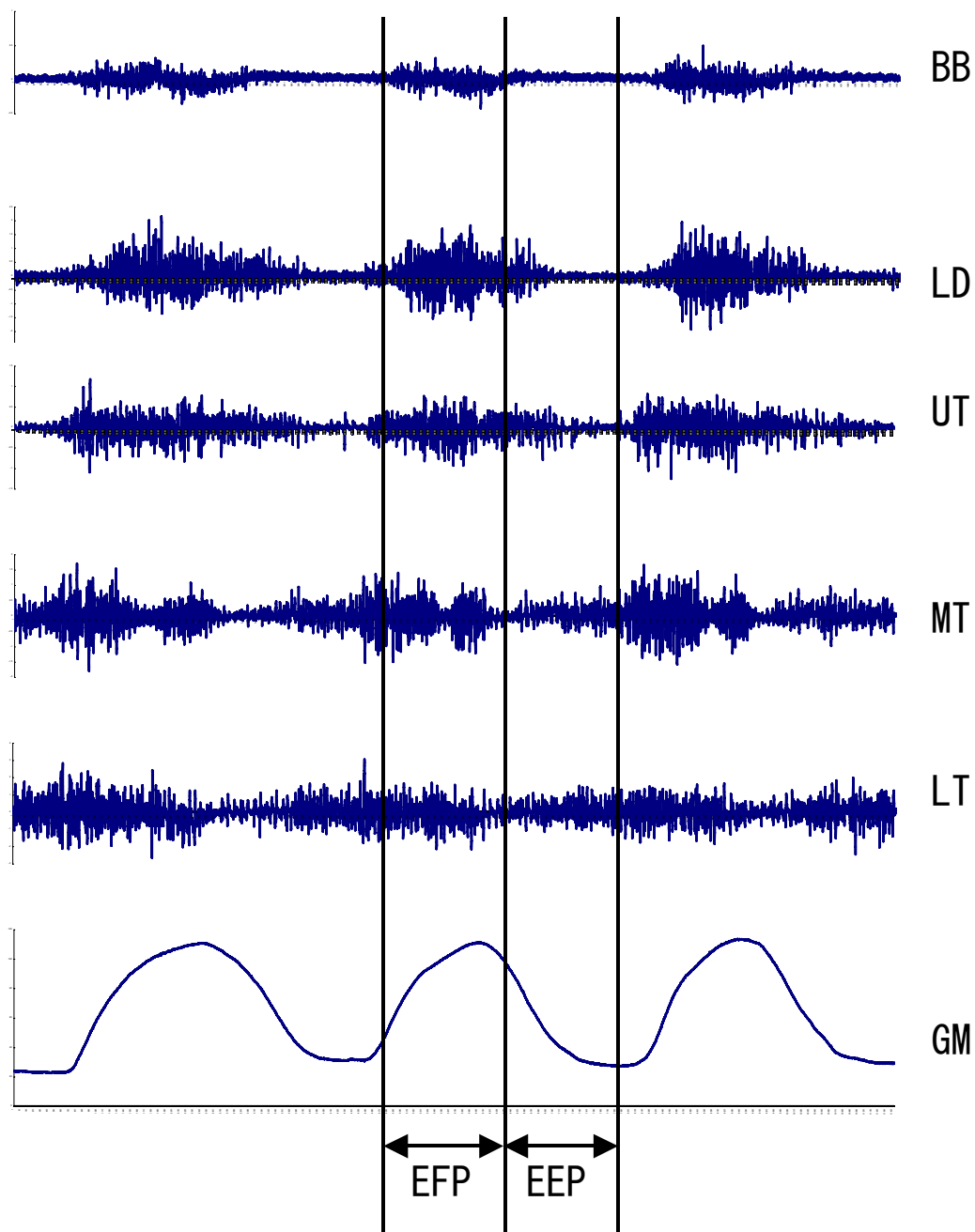


図4-2 ベントオーバー・ローイング中に得られた筋電図とゴニオメータ記録の一例

EFP:elbow flexion phase , EEP:elbow extension phase

BB:(biceps brachii) , LD:(latissimus dorsi) , UT:(upper trapezius)

MT:(middle trapezius) , LT:(lower trapezius) , GM:(goniometer)

4.3 結果

4.3.1トレーニング種目別の比較

同一筋における基準値には、統計的に肘屈曲局面(EFP)と肘伸展局面(EEP)の両局面間に交互作用が認められなかったため、両局面をまとめて有意差検定を行った。得られた筋電

図のRMS値を基準化して比較した(表4-2, 図4-3.4.5.6.7).

上腕二頭筋では, URはBRとSR($p < 0.001$)およびLPb($p < 0.05$)に対して, LPfはBR($p < 0.05$)に対して有意に高い値であった(図4-3). 広背筋では, BR, SR, LPfおよびLPbの4種目ともにURに対して有意に高い値を示した($p < 0.001$). さらにLPbとSR($p < 0.001$)およびLPf($p < 0.05$)の3種目はBRに対して有意に高い値であった(図4-4). 僧帽筋上部では, URはSR, LPfおよびLPb($p < 0.001$)に対して, BRはSR($p < 0.01$)およびLPfとLPb($p < 0.001$)に対して有意に高い値を示した(図4-5). 僧帽筋中部では, BRはLPfとLPb($p < 0.001$)およびUR($p < 0.05$)に対して, さらにSRはLPf, BRはUR($p < 0.05$)に対して有意に高い値であった(図4-6). 僧帽筋下部では, BRはLPf($p < 0.001$)とUR, SRおよびLPb($p < 0.01$)に対して有意に高い値であった(図4-7).

以上のような筋放電量の違いの結果からトレーニング種目の関係を示すと, 上腕二頭筋では $UR \approx LPf > BR \approx SR \approx LPb$, 広背筋では $SR \approx LPf \approx LPb > BR > UR$, 僧帽筋上部では $UR \approx BR > SR \approx LPf \approx LPb$, 僧帽筋中部では $BR \approx SR > UR \approx LPf \approx LPb$, 僧帽筋下部では $BR > UR \approx SR \approx LPf \approx LPb$ となる.

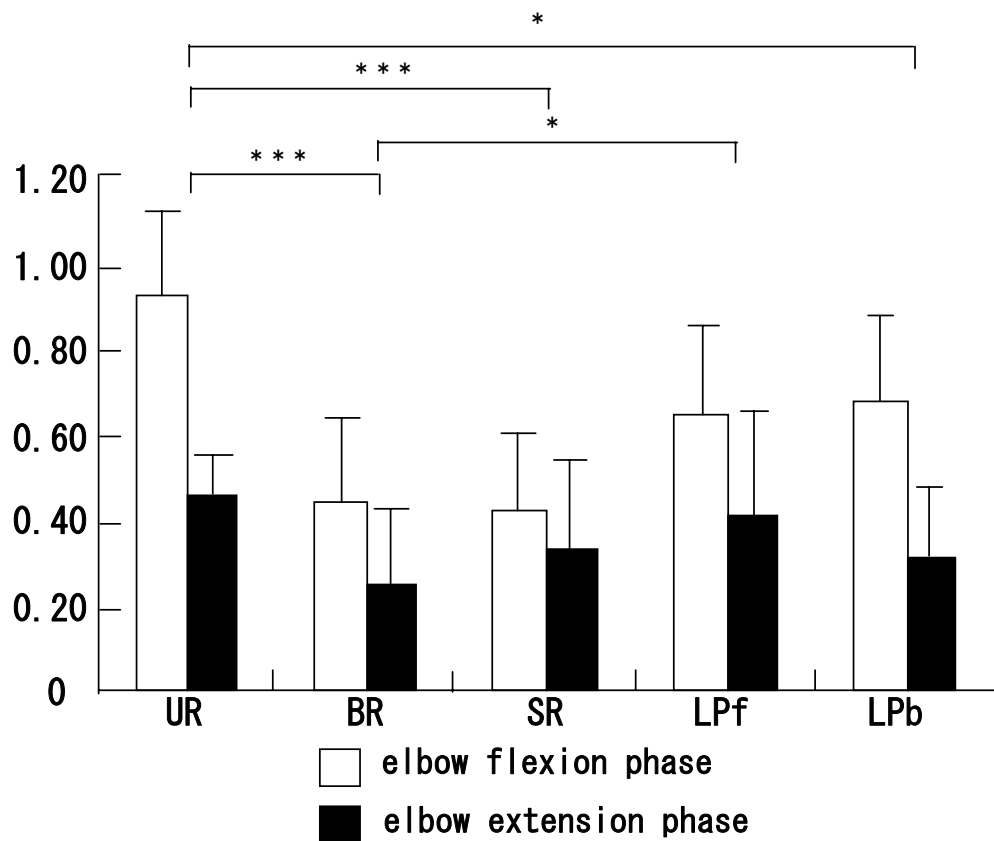


図4-3 上腕二頭筋におけるRMS値

UR:Upright Rowing , BR:Bent-over Rowing , SR:Seated Rowing
 LPf:Lat Pull-down(front) , LPb:Lat Pull-down(back)

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

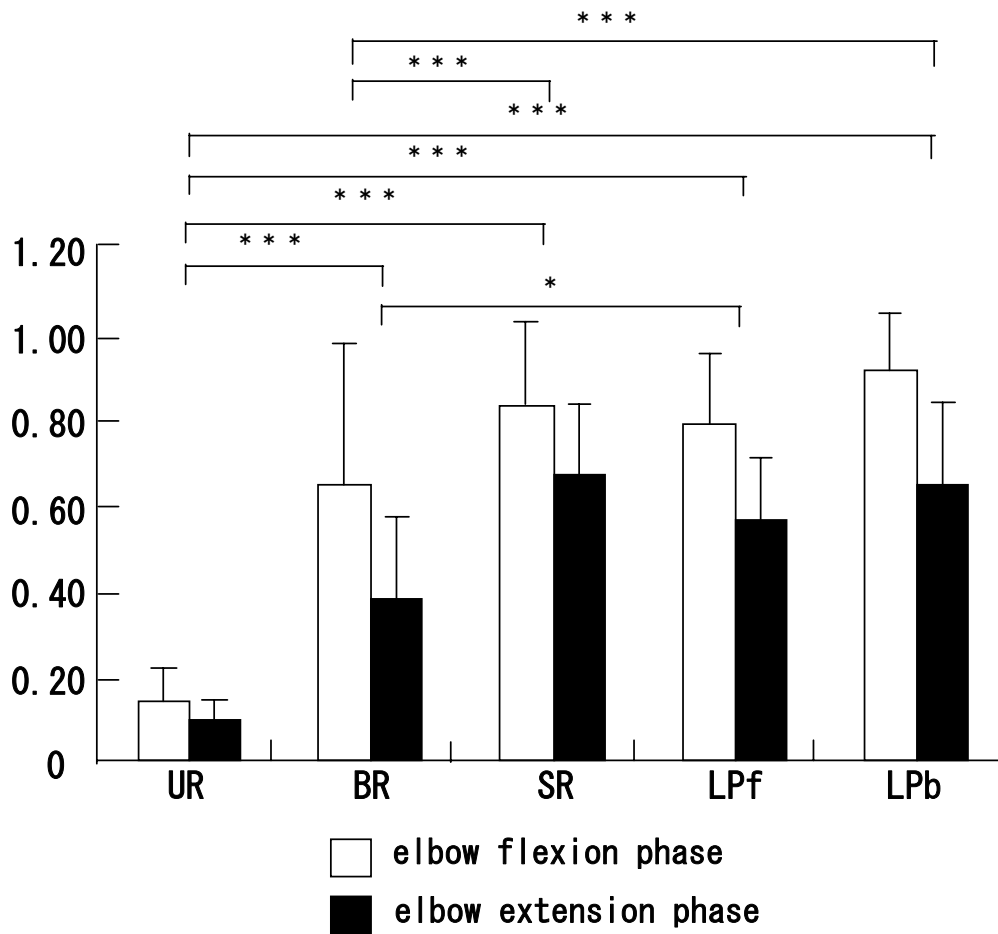


図4-4 広背筋におけるRMS値

UR:Upright Rowing , BR:Bent-over Rowing , SR:Seated Rowing
 LPf:Lat Pull-down(front) , LPb:Lat Pull-down(back)

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

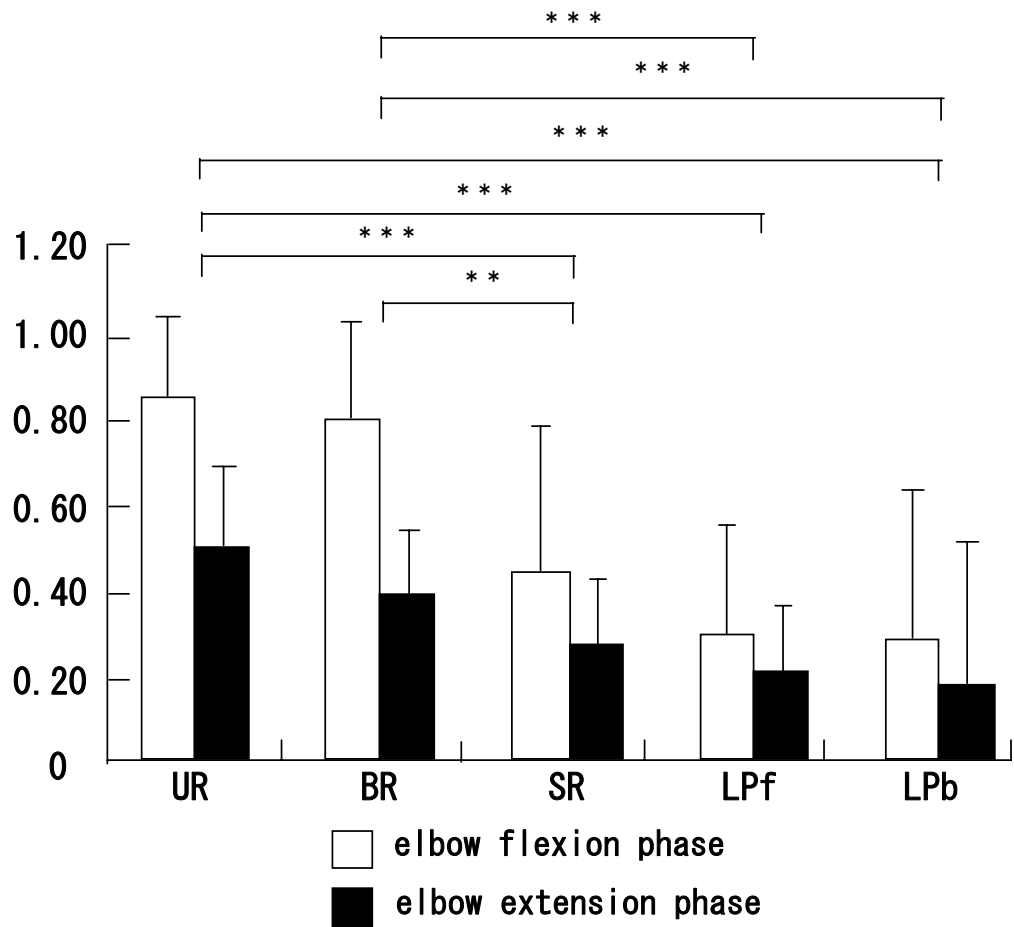


図4-5 僧帽筋上部におけるRMS値

UR:Upright Rowing , BR:Bent-over Rowing , SR:Seated Rowing
 LPf:Lat Pull-down(front) , LPb:Lat Pull-down(back)

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

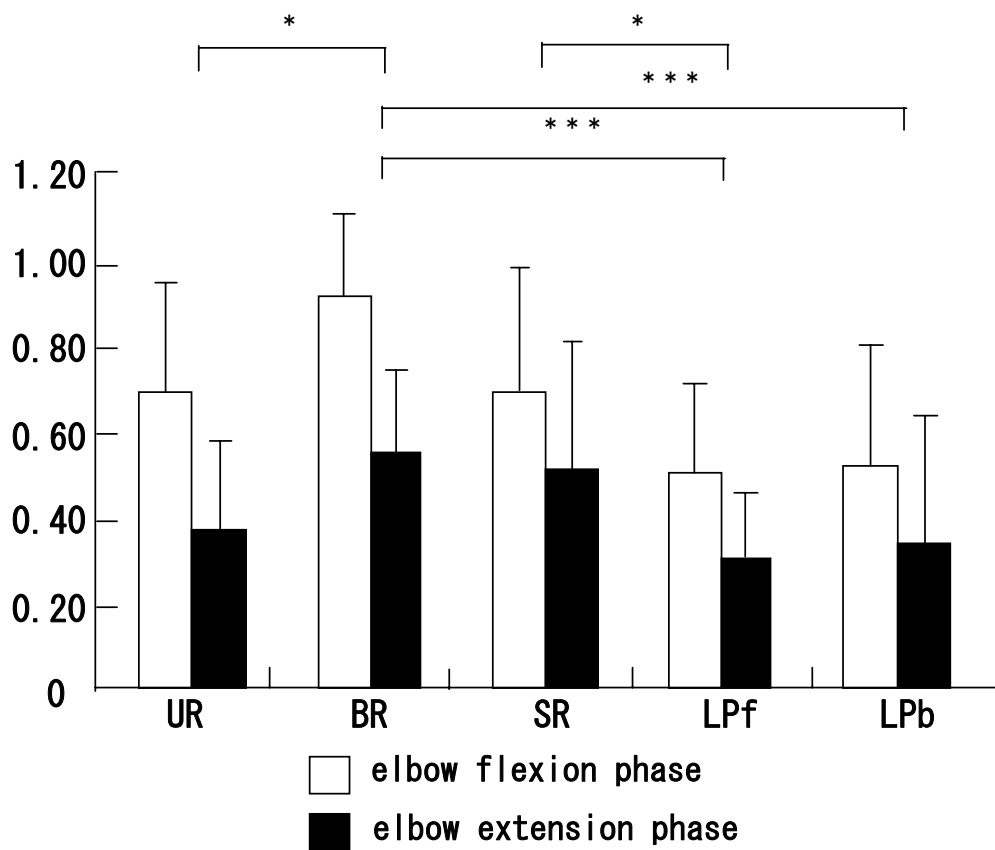


図4-6 僧帽筋中部におけるRMS値

UR:Upright Rowing , BR:Bent-over Rowing , SR:Seated Rowing
 LPf:Lat Pull-down(front) , LPb:Lat Pull-down(back)

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

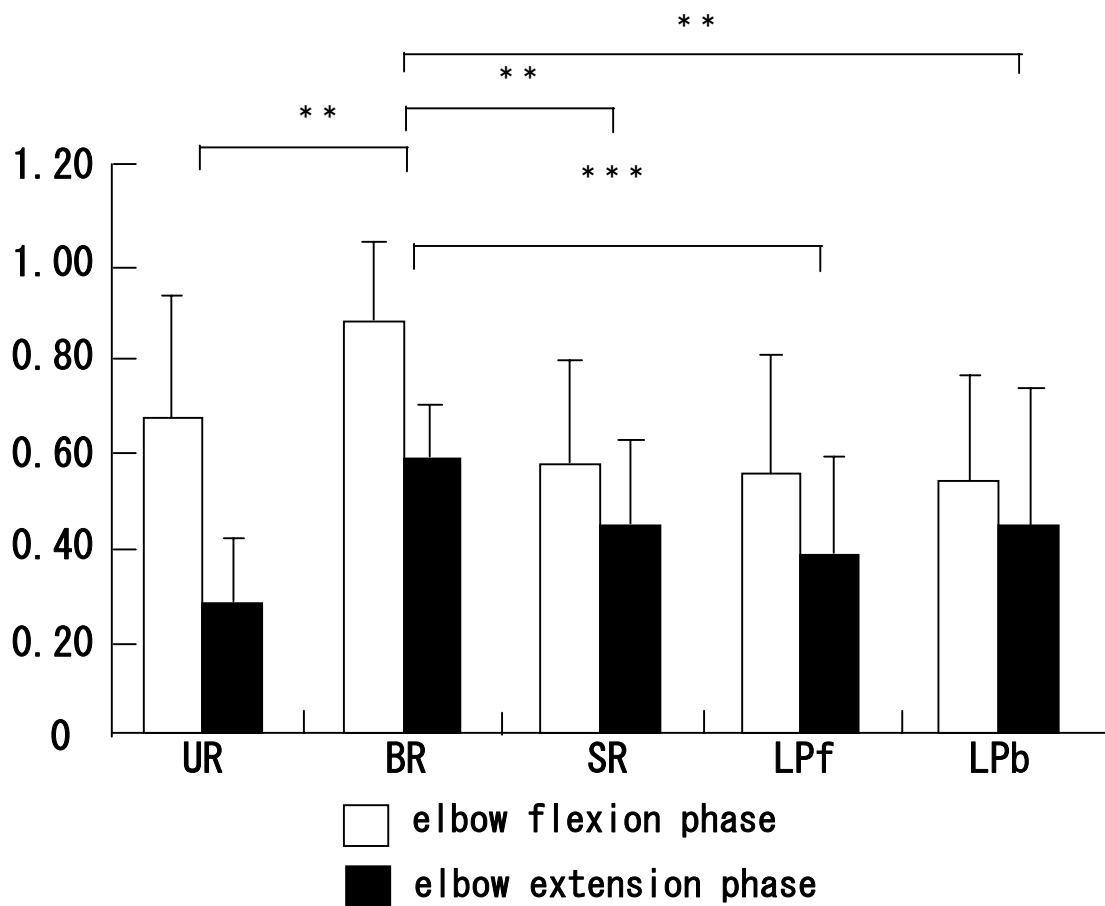


図4-7 僧帽筋下部におけるRMS値

UR:Upright Rowing , BR:Bent-over Rowing , SR:Seated Rowing
 LPf:Lat Pull-down(front) , LPb:Lat Pull-down(back)

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

EFP局面とEEP局面の比較のために、各筋について種目ごとにEFP局面に対するEEP局面の比率を計算した(表4-2)。

上腕二頭筋では0.46~0.78, 広背筋では0.60~0.94, 僧帽筋上部では0.49~0.71, 僧帽筋中部では0.54~0.75, 僧帽筋下部では0.41~0.83という値であった。特に低い値を示したのは, URにおける僧帽筋下部(0.41), LPbの上腕二頭筋(0.46), BRにおける僧帽筋上部(0.49)などであった。一方, 高い値を示したのはLPbの広背筋(0.94)と僧帽筋下部(0.83)およびSRの広背筋(0.80)であった。

表4-2 5つのプル運動におけるRMSの肘伸展／肘屈曲比

Muscle	Upright Rowing	Bent-over Rowing	Seated Rowing	Lat Pull-down(front)	Lat Pull-down(back)
Biceps Brachii					
elbow flexion	0.925±0.213	0.444±0.324	0.420±0.246	0.650±0.296	0.680±0.196
elbow extension	0.460±0.097	0.248±0.179	0.327±0.216	0.413±0.259	0.310±0.170
EE/EF ratio	0.50	0.56	0.78	0.64	0.46
Latissimus Dorsi					
elbow flexion	0.136±0.072	0.641±0.317	0.826±0.188	0.781±0.907	0.162±0.134
elbow extension	0.093±0.032	0.381±0.190	0.663±0.151	0.558±0.642	0.152±0.200
EE/EF ratio	0.69	0.60	0.80	0.72	0.94
Upper Trapezius					
elbow flexion	0.829±0.188	0.775±0.211	0.435±0.324	0.285±0.241	0.279±0.335
elbow extension	0.484±0.189	0.378±0.144	0.269±0.153	0.202±0.144	0.177±0.316
EE/EF ratio	0.58	0.49	0.62	0.71	0.64
Middle Trapezius					
elbow flexion	0.665±0.247	0.892±0.178	0.664±0.288	0.485±0.200	0.500±0.269
elbow extension	0.358±0.206	0.527±0.190	0.497±0.293	0.296±0.147	0.331±0.281
EE/EF ratio	0.54	0.59	0.75	0.61	0.66
Lower Trapezius					
elbow flexion	0.669±0.253	0.869±0.175	0.566±0.211	0.554±0.255	0.527±0.225
elbow extension	0.275±0.137	0.579±0.111	0.440±0.182	0.378±0.233	0.437±0.284
EE/EF ratio	0.41	0.67	0.78	0.68	0.83

EE/EF ratio :elbow extension/elbow flexion ratio

4.3.2可動域におけるRMS値変化

図4-8.9.10.11.12は、各種目において肘関節角度1/3ごとに、全可動域における各筋のRMS値変化を示す。有意差検定は各筋についてそれぞれ最初の肘屈曲局面(EFP) 1/3の値に対して行った。

UR種目では、すべての筋においてEFP局面2/3で最大の値を示し、その後上腕二頭筋を除くすべての筋において減少傾向を示した。上腕二頭筋はEFP局面3/3で有意に(p<0.01)減少し、広背筋と僧帽筋下部はいずれもEFP局面2/3で有意に(p<0.05)増加した(図4-8)。BR種目も、EFP局面からEEP局面へと順次減少するというURと同様の变化傾向を示したが、僧帽筋下部のRMS値のみはEEP局面の最終段階で再び増加した(図4-9)。SR種目におけるRMS値の変化は、全体的にBR種目と類似した傾向を示し、僧帽筋下部のEEP局面3/3における増加傾向も顕著に見られた。上腕二頭筋と広背筋はEFP局面3/3において有意に(p<0.05)高い値を示した(図4-10)。LPf種目では、広背筋と僧帽筋中部はEFP局面のそれぞれ3/3と2/3において有意に(p<0.05)高い値を示したのに対して、僧帽筋下部はEFP局面3/3、EEP局面1/3と2/3において有意に(p<0.05)低い値を示した(図4-11)。LPb種目では、上腕二頭筋はEFP局面3/3(p<0.01)、EEP局面1/3~3/3(p<0.001)において有意に低い値を示したのに対して、広背筋はEFP局面3/3において有意に(p<0.05)高い値を示した(図4-12)。

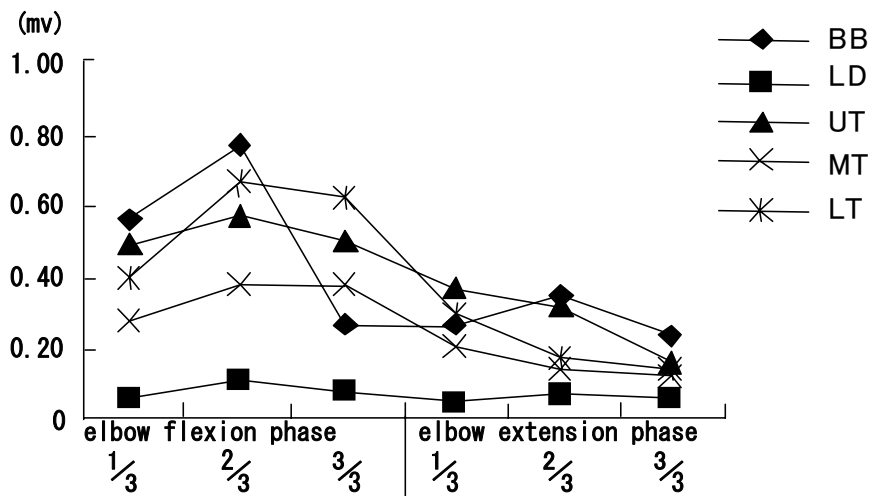


図4-8 アップライトローイング試行時の肘屈曲局面と肘伸展局面におけるRMS値の経時的変化

BB: Biceps Brachii , LD: Latissimus Dorsi , UT: Upper Trapezius

MT: Middle Trapezius , LT: Lower Trapezius

BB:p<0.01(EFP3/3,EEP1/3,EEP3/3) p<0.05(EEP2/3)

LD:p<0.05(EFP2/3) UT:p<0.01(EEP3/3)

MT:p<0.05(EEP3/3) LT:p<0.05(EFP2/3) p<0.05(EEP3/3)

Significant difference from elbow flexion phase 1/3 .

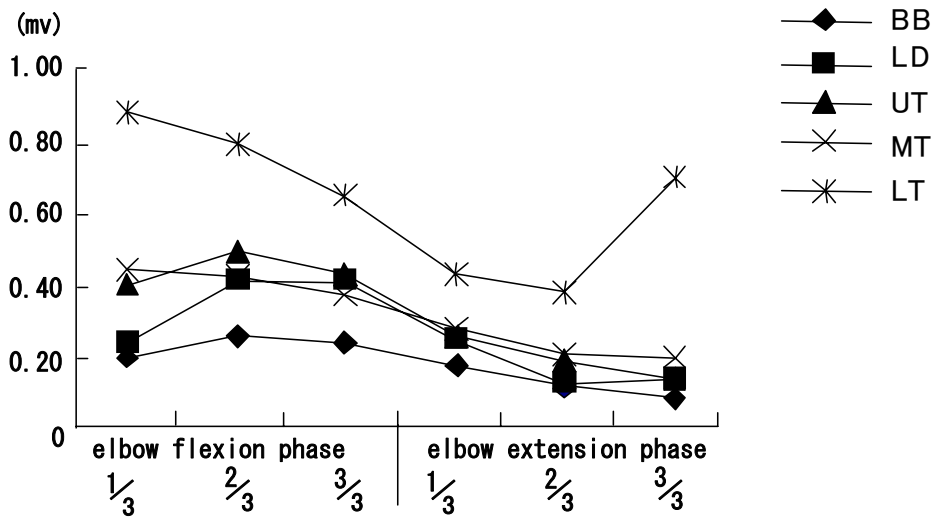


図4-9 ベントオーバーローイング試行時の肘屈曲局面と肘伸展局面におけるRMS値の経時的変化

BB: Biceps Brachii , LD: Latissimus Dorsi , UT: Upper Trapezius

MT: Middle Trapezius , LT: Lower Trapezius

UT:p<0.01 (EEP2/3, EEP3/3) MT:p<0.001 (EEP2/3, EEP3/3)

p<0.01 (EEP1/3) LT:p<0.05 (EEP1/3, EEP2/3)

Significant difference from elbow flexion phase 1/3 .

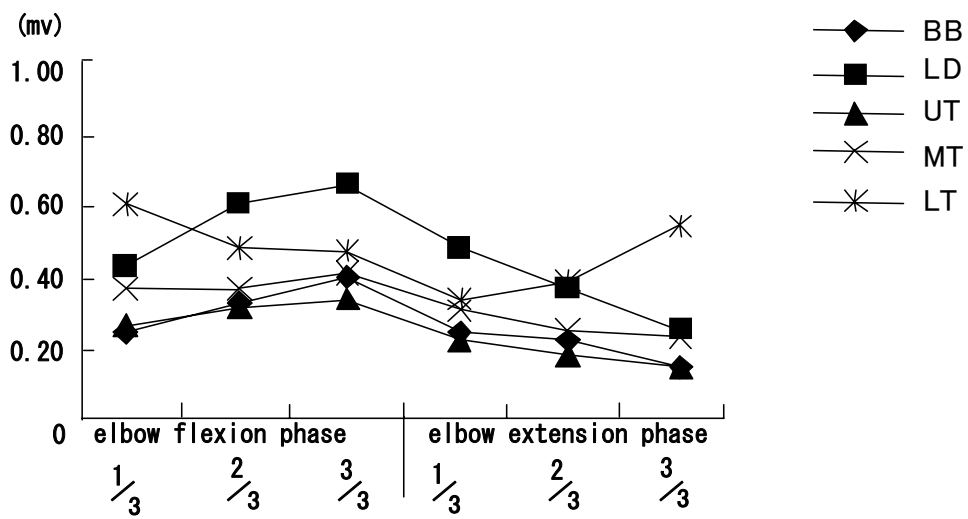


図4-10 シーティドロローイング試行時の肘屈曲局面と肘伸展局面におけるRMS値の経時的変化

BB: Biceps Brachii , LD: Latissimus Dorsi , UT: Upper Trapezius
 MT: Middle Trapezius , LT: Lower Trapezius

BB:p<0.05 (EFP3/3) LD:p<0.05 (EFP3/3) LT:p<0.05 (EEP1/3, EEP2/3)
 Significant difference from elbow flexion phase 1/3 .

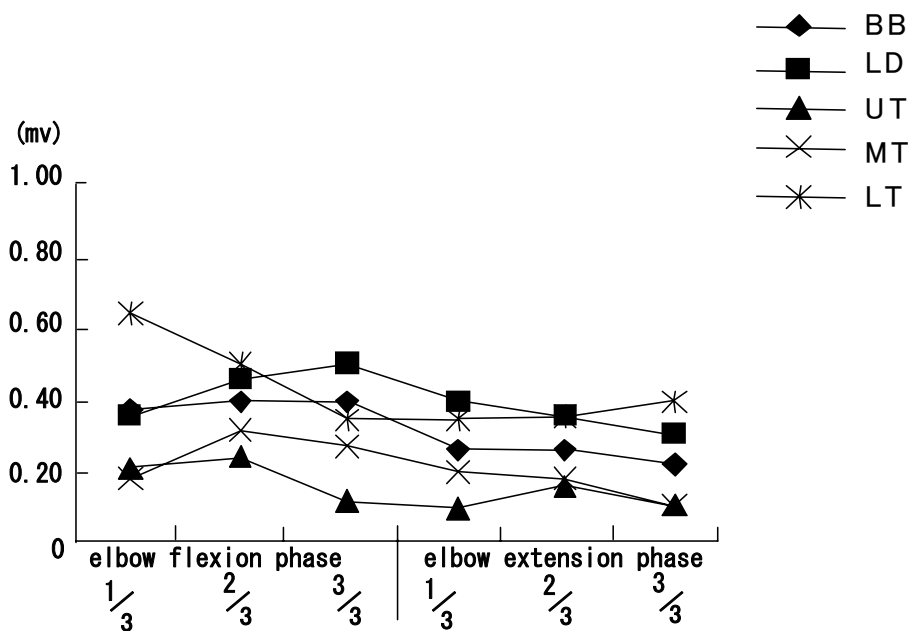


図4-11 ラットプルダウン（フロント）試行時の肘屈曲局面と肘伸展局面におけるRMS値の経時的変化

BB: Biceps Brachii , LD: Latissimus Dorsi , UT: Upper Trapezius

MT: Middle Trapezius , LT: Lower Trapezius

LD: $p < 0.05$ (EFP3/3) MT: $p < 0.05$ (EFP2/3) LT: $p < 0.05$ (EFP3/3, EEP1/3, EEP2/3)

Significant difference from elbow flexion phase 1/3 .

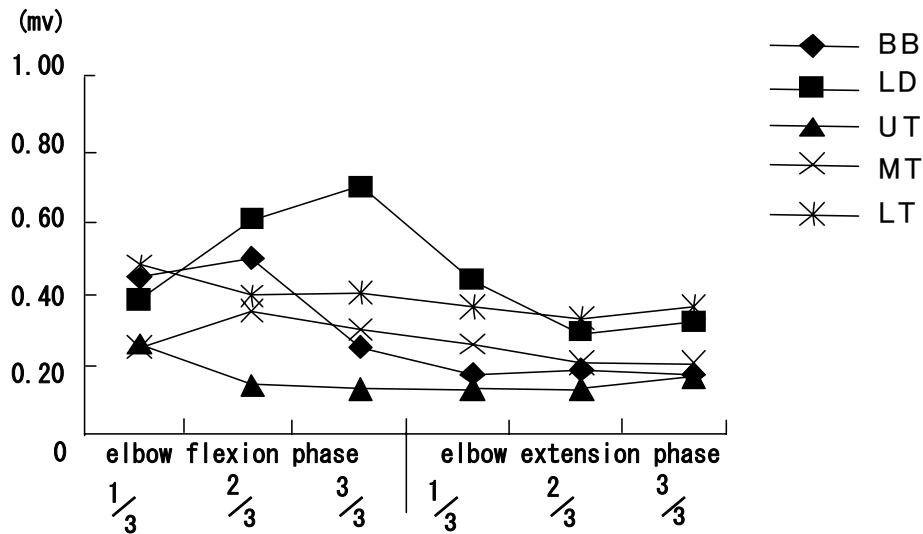


図4-12 ラットプルダウン（バック）試行時の肘屈曲局面と肘伸展局面におけるRMS値の経時的変化

BB: Biceps Brachii , LD: Latissimus Dorsi , UT: Upper Trapezius
 MT: Middle Trapezius , LT: Lower Trapezius
 BB: $p < 0.001$ (EEP1/3, EEP2/3, EEP3/3) $p < 0.01$ (EFP3/3) LD: $p < 0.05$ (EFP3/3)
 Significant difference from elbow flexion phase 1/3 .

4.4 考察

本研究において対象とした、バーベルを引き上げるとか滑車を通して重りを引き上げるといふプル系種目の動作は、肘と肩の両関節運動とともに上肢帯の動きが加わる多関節運動である。肘の屈曲と肩の外転あるいは伸展（上腕の側方挙上あるいは後方挙上）と同時に、上肢帯の挙上や肩甲骨の上方回旋など微妙な動きも加わる。これらの運動に関連する大きな作用筋としては、一般的に肘関節の屈曲には上腕筋と上腕二頭筋、肩関節や上肢帯の運動には大胸筋や三角筋の他、広背筋および僧帽筋などを挙げることができる。したがって、本研究におけるプル系 5 種目の実施においては一般的には被験筋である上腕二頭筋、広背筋および僧帽筋の 3 筋すべてが効果筋としてトレーニングされると考えられる。

上腕二頭筋は、筋力トレーニング種目に関する指導書では、BR や LP 種目においては主働筋とされているのに対して、UP や SR 種目では補助筋とされている。しかし、本研究では、上腕二頭筋の RMS 値が UR と LPf の 2 種目において他の 3 種目より有意に高かった(図 4-3)。したがって、アップライト・ローイングとラット・プルダウン（フロント）は、上腕二頭筋のトレーニング種目としてより多数の運動単位の刺激が可能であると考えられる。上腕二頭筋は橈骨に停止していることから、機能解剖学的には肘の屈曲とともに前腕の回外にも加わるとされてお

り、これら 2 種目では手幅を比較的狭くしていることから回外の方向に緊張しながら肘を屈曲していることが考えられる。

広背筋に関しては、トレーニングの指導書では UR を除く他のすべての種目において効果筋とされている。しかし、Pauletto(1991)は UR 種目においても広背筋を効果筋として挙げている。本研究では、SR, LPf および LPb の 3 種目において他の 2 種目より広背筋の RMS 値が有意に高く、また UR 種目は他のすべての種目に対して有意に低かった(図 4-4)。この結果はアップライト・ローイングでは広背筋をあまり刺激できないことを示している。したがって、Pauletto の記載とは異なり、アップライト・ローイング種目は広背筋のトレーニング種目として適当ではないことを示唆している。

Signorile et al. (2002)は LP 種目においてハンドルの握りの違いによる効果について筋電図法により分析し、広背筋のトレーニングには LPb より LPf 種目の方がより効果的であると報告している。しかし、本研究結果では両種目間に差はなく、ラット・プルダウン(フロント、バック)とシーティッド・ローイングの 3 種目が同様に広背筋のトレーニング種目としてより有効であることが示唆された。

僧帽筋のトレーニングに関しては、テキストではほとんどの著者が UR, BR および SR の 3 種目において効果筋として挙げているが、BR や SR 種目では僧帽筋の中部(Middle)や下部(Low)に効果部位を限定している著者も見られる。これに対して、LP 種目では Aaberg(2006)のみが僧帽筋を効果筋としているにすぎない。

本研究では、僧帽筋の上部では UR と BR の 2 種目、中部では BR と SR の 2 種目、下部では BR 種目のみがそれぞれ有意に高い RMS 値を示した(図 4-5.6.7)。また中部に関しては SR と UR の間には有意差が見られなかった。この結果は、Aaberg(2006)を除く他の著者の記載とはほぼ一致している。したがって、僧帽筋上部にはアップライト・ローイングとベントオーバー・ローイング、中部にはベントオーバー・ローイング、シーティッド・ローイングおよびアップライト・ローイング、下部にはベントオーバー・ローイングがそれぞれより有効なトレーニング種目であることを示唆している。

このように、本研究において取上げたプル系種目の中では、ベントオーバー・ローイング種目が僧帽筋のトレーニングには最も有効なトレーニング種目であることが示唆された。しかし、この種目では上体の前傾姿勢の保持が腰に対する負担を増すことから、実際のトレーニングにあたってはワンアーム・ローイングのようなそれを軽減して行う方法を取るとか、特に初心者では姿勢に十分に注意して行う必要があると思われる。マッスル・アンド・フィットネス・ジ

ヤパン(2000)のテキストでは、ベントオーバー・ローイング種目が、デッドリフトのようなパワー種目とチンニングやラット・プルダウンなどのような種目の両要素を備えているとして、背中のエクササイズとして最も有効な種目の一つと位置づけられている。しかし、この種目において強い負荷をかけてトレーニングするには、前述のように、姿勢に対する十分な注意とともに経験を積んで安定性を獲得することが重要であると思われる。

Wright et al. (1999)は75%1RMでレッグ・カール、スティッフレッグド・デッドリフトおよびスクワット種目実施時の半腱様筋と大腿二頭筋の筋電波形を分析して、concentric phase と eccentric phase 両局面の比率が前2種目では61~71%、後の種目では74~86%と報告している。本研究では、URにおける僧帽筋のように一部低い値も見られるが、全体的には前記報告と同程度の比率であると言える(表4-2)。McCaw and Fridayの60%と80%1RMを用いた研究では、ベンチプレス種目における上腕二頭筋の比率が100%を超えているが、本研究ではそのような高い値を示す筋は見られなかった。

本研究では、このような両局面における比率の傾向は可動域におけるRMS値変化とも関連しており、その全体的な傾向はEFP局面からEEP局面へと右下がりの変化を示している(図4-8.9.10.11.12)。したがって、EEP局面2/3において高い値を示すBRやSR種目の僧帽筋下部のような例外はあるが(図4-9.10)、本研究において実施したバーベルやウェイトスタック型のマシンを用いる伝統的なプル系トレーニング種目は、EEP局面よりもEFP局面の効果を重視すべきトレーニング種目であると考えられる。

以上のように、本研究で実施したプル系トレーニング種目において、上腕二頭筋、広背筋、僧帽筋上部、僧帽筋中部および僧帽筋下部に対する筋刺激の度合には明らかな差異が観察された。その結果、上腕二頭筋ではURとLPf、広背筋ではLPb、LPfおよびSR、僧帽筋上部においてはURとBR、僧帽筋中部にはBRとSR、また僧帽筋下部にはBRが有効な種目であることが示唆された。更に、可動域内のEFP局面とEEP局面との比較では、それぞれの種目において各筋ともに前者の局面において受ける刺激度合いが強く、このような方式の種目はすべて肘屈曲局面の筋刺激を中心とした運動であると示唆された。したがって、肘伸展局面の効果を重視する場合には、より高い負荷を用いるとか、そのために適するマシンを用いるとかの異なった方法を採用する必要があると考えられる。

4.5 まとめ

フリーウェイト(Barbell)によるアップライト・ローイング(UR)とベントオーバー・ローイング(BR),

マシン(Universal Machine)によるシーテッド・ローイング(SR), ラット・プルダウン(フロント)(LPf)およびラット・プルダウン(バック)(LPb)のプル系の筋力トレーニング5種目において, 上腕二頭筋, 広背筋および僧帽筋を筋電図学的に分析し, 以下のような結果を得た.

1. RMS 値の基準化による比較から, 上腕二頭筋では $UR \cong LPf > BR \cong SR \cong LPb$ という関係が得られ, 本研究で実施した5種目の中では, UR と LPf の両種目がより高い筋活動を示した. 広背筋では $SR \cong LPf \cong LPb > BR > UR$ という関係が得られ, SR, LPf および LPb の3種目がより高い筋活動を示した.
2. 僧帽筋上部では $UR \cong BR > SR \cong LPf \cong LPb$ の順となり, UR と BR の2種目がより高い筋活動を示した. 僧帽筋中部では $BR \cong SR > UR \cong LPf \cong LPb$ の順位関係が得られ, BR と SR の2種目がより高い筋活動を示した. 僧帽筋下部においては, $BR > UR \cong SR \cong LPf \cong LPb$ という関係が見られ, BR は他の4種目と比較して有意に大きな値を示した.
3. すべての種目において, 各筋ともに肘伸展局面に比べて肘屈曲局面において高い RMS 値を示す傾向が見られ, 本研究において実施した種目は肘屈曲局面の効果を中心とする運動であることが示唆された.

したがって, このような筋活性の結果から本研究で実施したバーベルとウェイトスタック型マシンによるプル系5種目において, アップライト・ローイング種目は上腕二頭筋と僧帽筋上部, ベントオーバー・ローイング種目は僧帽筋(上部・中部・下部), シーテッド・ローイング種目は広背筋と僧帽筋中部, ラット・プルダウン(フロント)種目は上腕二頭筋と広背筋, ラット・プルダウン(バック)種目は広背筋のトレーニングにそれぞれより有効な種目であると思われる.

第5章 腹部トレーニング7種目における腹直筋上部,腹直筋下部,外腹斜筋および大腿直筋の筋電図学的分析

5.1 はじめに

体幹の機能発揮には、体幹背側の固有背筋群とともに、体幹腹側の腹筋群が重要な役割を果たす。そこで体幹の筋力トレーニングにおいてもこれらの筋の強化が主要なテーマとなる。特に腹筋群を強化するトレーニングに関しては、脚部を固定して上体を持ち上げるシットアップ(Sit-up)種目と、反対に上体を固定して脚部を持ち上げるレッグレイズ(Leg Raise)種目とが従来から代表的な動的種目として行われているが、実際のトレーニングの実施にあたってはそれぞれの種目において姿勢に少し変化をもたせたり、ベンチや器具などを用いたりさまざまな形で実施されている。

シットアップとレッグレイズの両運動は、体幹と股関節の屈曲運動であるから、これらの運動には腹筋群の他に骨盤と大腿骨を結ぶ腸腰筋や大腿直筋などの腰部や大腿部の筋も関与することになる(森ら, 1982)。したがって、解剖学的にはこれらの運動は、いずれも股関節の屈曲運動を伴うことになるので、たとえ腹筋群を強化する目的で実施する場合でも、特にその屈曲運動の関与の程度によっては腹筋群以外の筋活動が大きくなることになる。このことは、Anderson et al(1997)により明らかにされている。リハビリテーション学、スポーツ医学の分野においては障害予防や安全性の問題から、腹筋強化種目試行時の腰椎へのストレスや大腰筋の関与を筋電図学的に分析した報告が見られる(Ricci et al., 1981; Axler and McGill, 1997; Juker et al., 1998)。Ricci et al.(1981)は股関節に生じる筋のモーメントを可動性をもつセグメントと可動性をもたないセグメントに分けてモデル化し、sit-up エクササイズを生体力学的に解明した。Axler and McGill(1997)は、腹部強化のためのエクササイズを筋活動を定量化することによって腰椎へのストレスを考慮してその安全性を検討した。Juker et al. (1998)は、腹部強化に効率的とされるエクササイズにおける大腰筋や腹部筋群の筋活動を明らかにした。Piering et al.(1993) , Sarti et al.(1996)は、数種シットアップ運動中における腹直筋の上部と下部の筋活動を比較し、Whiting et al.(1999) , Sternlicht and Rugg(2003) , Clark et al. (2003) , Escamilla et al. (2006)は、徒手とトレーニング器具を用いた腹部トレーニング運動における関連筋の筋活動分析を試みている。今日、腹部強化のためのトレーニング器具の開発は、盛んに行われ優れた器具も多々登場してきてはいるものの、やはり自体重を負荷とし

で行われるコンベンショナルな種目は、トレーニング現場で一般的に実施されている。しかし、ローマンベンチ・シットアップ種目については、筋活動がほとんど検討されておらず、腹筋群トレーニング種目における股関節屈曲局面と股関節伸展局面における筋活動の比較には、Konrad et al(2001)の研究以外見られない。

そこで、本研究では筋電図学的方法を用いて、腹筋群強化の代表的な種目として従来から実施されているシットアップ系とレッグレイズ系のローマンベンチシットアップを含む7種目における腹直筋と外腹斜筋および大腿直筋の筋活動の種目間差異および股関節屈曲局面と股関節伸展局面に注目した検討、さらに各種目における関節可動域の変化に伴う筋活動の経時的変化を分析することを目的とした。

5.2 方法

5.2.1 被験者

被験者は、腰背部に障害のない筋力トレーニングに熟練した11名の成人男性(年齢 22.0 ± 3.1 歳, 身長 169.9 ± 6.8cm, 体重 68.1 ± 7.0kg)(Mean ± SD)であった。実験に先立ち、被験者に実験の目的、方法、安全性等について、文書ならびに口頭で説明を行い、実験の内容を十分に理解してもらったうえで同意書を得た。本研究は、「人間を対象とした研究」として早稲田大学スポーツ科学学術院研究倫理委員会の承認を受けた。

5.2.2. トレーニング種目の試技方法

実験の対象としたトレーニング種目は、ロングライイング・シットアップ(long lying sit-up: LSU), ベントニー・シットアップ(bent-knee sit-up: BSU), ツイステイング・シットアップ(twisting sit-up: TSU), トランクカール(trunk curl: TC), ローマンベンチ・シットアップ(roman bench sit-up: RSU), レッグレイズ(leg raise: LR)およびサポート・レッグレイズ(support leg raise: SLR)の7種目であった。なお、すべての試技は、股関節屈曲局面(Hip Flexion Phase, 以下HFPとする)から股関節伸展局面(Hip Extension Phase, 以下HEPとする)へと、各局面2秒間合計4秒間のテンポで3回繰返された。繰返しのテンポは、験者がストップウォッチを見ながら、被験者に口頭で合図を送ることにより規定された。各種目の方法は以下の通りである。

ロングライイング・シットアップ(LSU)

フラットベンチ上で両手を後頭部で組み合わせ、膝関節を 180° に伸展した仰臥姿勢をとり、足首をベルトで固定する。このスタート姿勢から、上体をフラットベンチと垂直になるまで

起こす(図 5-1-1).

ベントニー・シットアップ(BSU)

フラットベンチ上で両手を後頭部で組み合わせ、膝関節を 90° に屈曲した仰臥姿勢をとり、足首をベルトで固定する。このスタート姿勢から、上体をフラットベンチと垂直になるまで起こす(図 5-1-1-2).

ツイステイング・シットアップ(TSU)

フラットベンチ上で両手を後頭部で組み合わせ、膝関節を 90° に屈曲した仰臥姿勢をとり、足首をベルトで固定する。このスタート姿勢から、対角線状の膝と肘が接触するまで上体を斜めに起こす(図 5-1-1-3).

トランクカール(TC)

フラットベンチ上で両手を後頭部で組み合わせ、膝関節を 90° に屈曲した仰臥姿勢になり、足首をベルトで固定する。このスタート姿勢から、頸部を屈曲し、頭部を持ち上げながら肩甲骨がベンチから離れるまで上体を起こす(図 5-1-4).

ローマンベンチ・シットアップ(RSU)

ローマンベンチ上で両手を後頭部で組み合わせ、足首を固定し、水平から 45° 上体を下げた低い姿勢をスタート姿勢とする。この姿勢から、膝を覗き込みながら、上体を水平より 20° 上方まで起こす(図 5-1-5).

レッグレイズ(LR)

フラットベンチ上でベンチの把手を両手で握り、膝関節を 180° に伸展した仰臥姿勢になり、股関節屈曲が 90° になるまで持ち上げる(図 5-1-6).

サポート・レッグレイズ(SLR)

レッグレイズマシーン上で前腕を支持台に載せて両手でハンドルを握って、上体を床と直角に支持し、膝関節を 180° に伸展したまま水平になるまで持ち上げる(図 5-1-7).

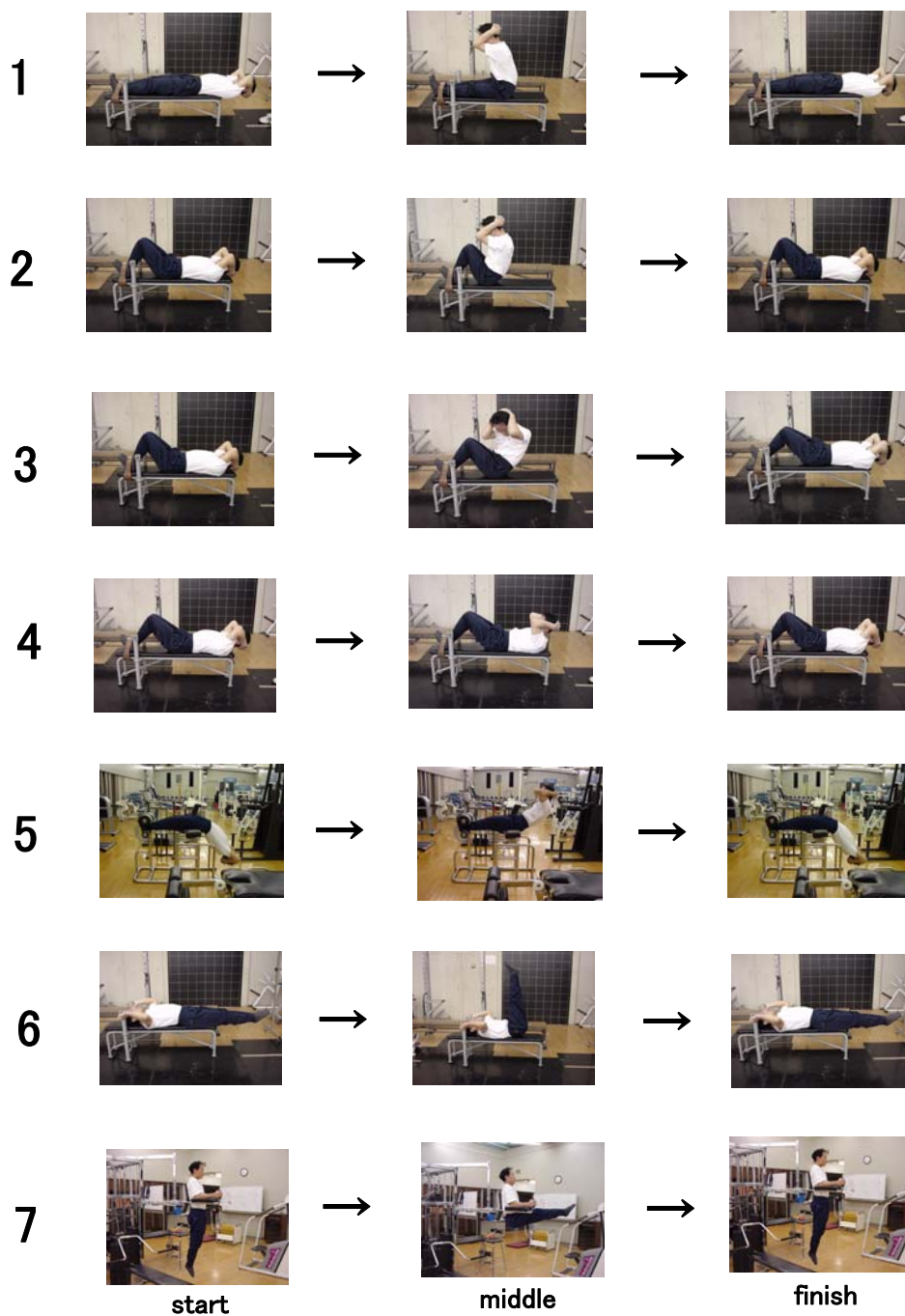


図5-1 腹部トレーニング7種目

1: Long Lying Sit-up, 2: Bent-knee Sit-up, 3: Twisting Sit-up,
 4: Trunk Curl, 5: Roman Bench Sit-up, 6: Leg Raise,
 7: Support Leg Raise

5.2.3.筋電図の導出

被験筋は、腹筋群である腹直筋(上部, 下部) , 外腹斜筋および大腿直筋の3筋4箇所とし、

すべて右側について表面筋電図法により導出した。電極の貼付箇所の同定にあたっては、栢森(1997)の方法を参照した。筋電図導出のための電極および不関電極には、直径 8mm の銀塩化銀の皮膚表面電極(小型生体電極, 日本光電社製)を用いた。電極の装着にあたっては、筋電図導出部位をアルコール綿と皮膚処理剤(スキンピュアー, 日本光電社製)で十分に拭き、各筋腹の中央に2cmの間隔をとり、粘着カラーで固定した。腹直筋の上部と下部は、Clark et al(2003)に従って、臍面を避け正中線から右側 2cm, 臍の高さから上方 3cm, 下方 3cm を基準とした。得られた電気信号は、マルチテレメータシステム(WEB-5000, 日本光電社製)から、MacLab(MacLab, AD Instruments 社製)に送り、サンプリング周波数1000Hz でデジタル変換し PC (VAIO PCG-9A2N, SONY 社製)に記録した。

5.2.4.股関節角度の測定

ゴニオメータ(KINETO-ANGLE TRANSDUCER TM-511G, 日本光電社製)の支点を大転子と一致するように装着し、アームは、股関節をまたいでウエストと大腿に固定用のバンドを用いて取り付けられた。得られた電気信号は、筋電図と同様の経路で記録した。

5.2.5.測定値の処理と統計分析

図5-2に実記録例を示した。筋電図信号は、3回反復の中の2回目の波形からゴニオメータとの同期により、股関節の屈曲と伸展の各局面(HFP, HEP)におけるRMS値を算出した。各局面における比較には、Whiting et al. (1999)やWright et al. (1999)の方法に従って、全種目におけるRMS値の最大値を基準値として他の種目のRMS値を基準値で除すことによる相対値を用いた。差の検定には、一元配置の分散分析を用いた。そして、有意差が認められた場合には、FisherのPLSDの多重比較によって検定した。なお、有意水準は、危険率5%未満とした。同一筋における相対値間の比較は、統計的にHFPとHEPの両局面間に交互作用が認められなかったため、両局面をまとめて有意差検定を行った。

また図 5-3.4.5.6.7.8.9.に各種目における関節可動域の変化に伴う筋活動の経時的変化を示した。各種目において股関節角度1/3ごとに、関節可動域における各筋のRMS値変化を示す。

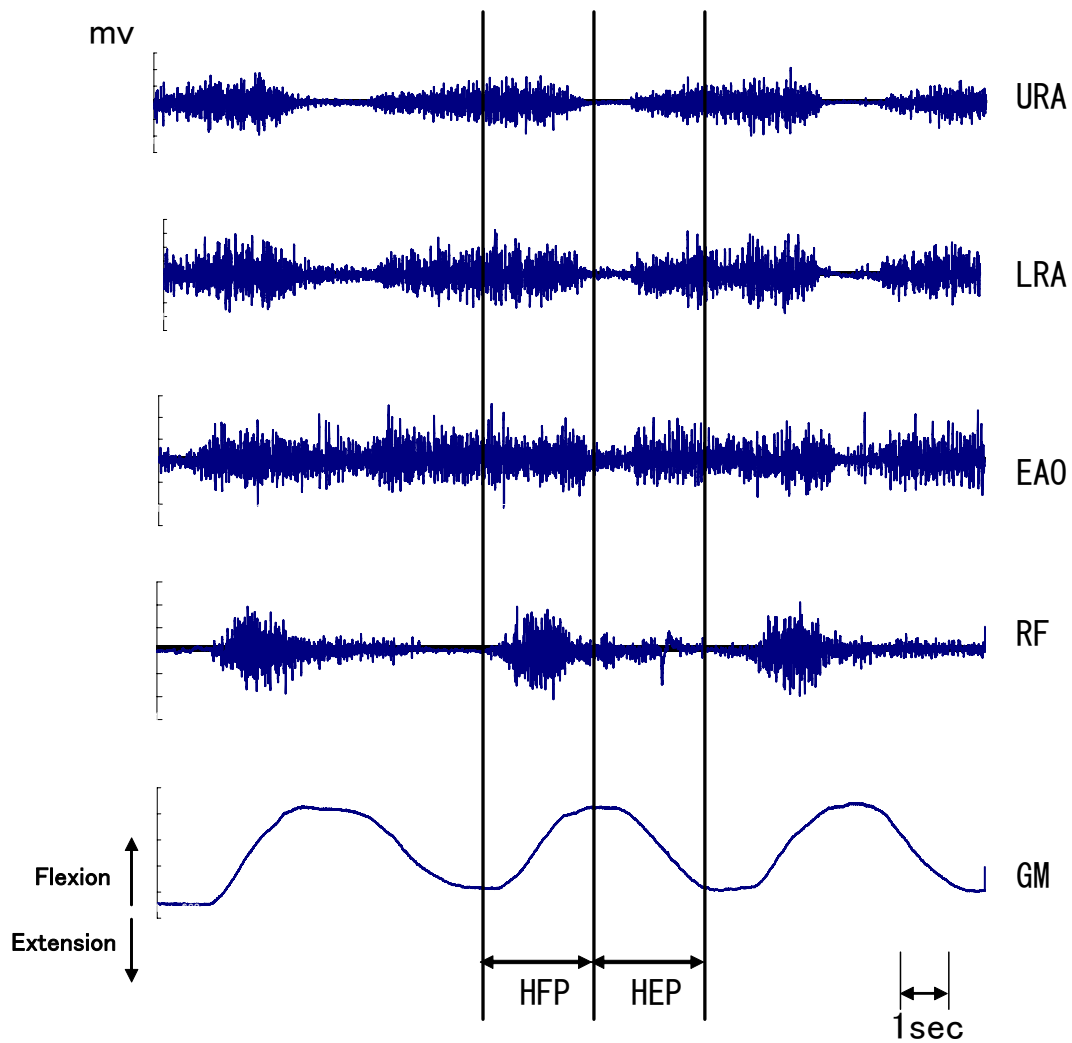


図5-2 ローマンベンチシットアップ中に得られた筋電図とゴニオメータ記録の一例

HFP:Hip flexion phase , HEP:Hip extension phase
 URA:(Upper Rectus Abdominis) ,LRA:(Lower Rectus Abdominis)
 EAO:(External Abdominal Oblique) , RF: (Rectus Femoris)
 GM: (goniometer)

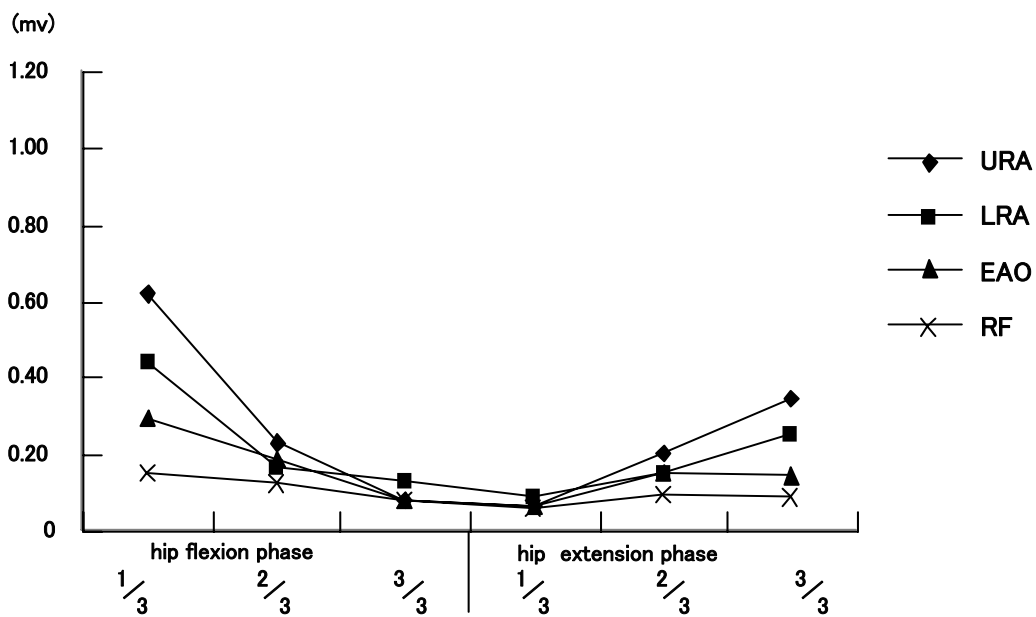


図5-3 股関節屈曲局面と股関節伸展局面におけるRMS値の経時的変化
(Long Lying Sit-up)

URA : Upper Rectus Abdominis , LRA : Lower Rectus Abdominis,
 EAO : External Abdominal Oblique , RF : Rectus Femoris
 URA: $p < 0.001$ (HFP2/3, HFP3/3, HEP1/3, HEP2/3, HEP3/3) ,
 LRA: $p < 0.05$ (HEP3/3) $p < 0.01$ (HFP2/3) $p < 0.001$ (HFP3/3, HEP1/3, HEP2/3) ,
 EAO: $p < 0.05$ (HEP2/3) $p < 0.01$ (HFP3/3) $p < 0.001$ (HEP1/3) ,
 RF: $p < 0.05$ (HFP3/3, HEP1/3)
 Significant difference from knee flexion phase 1/3 .

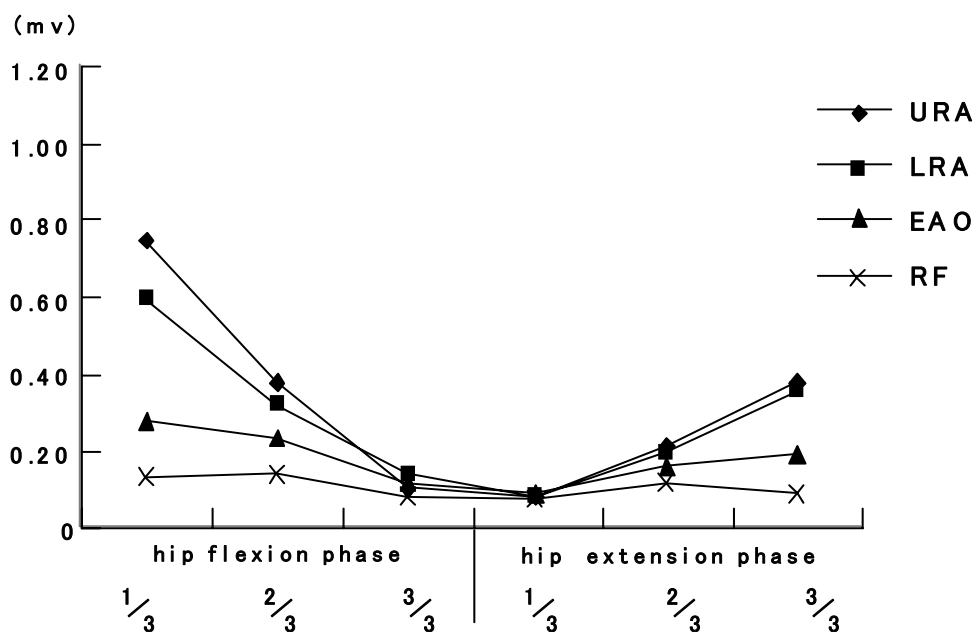


図5-4 股関節屈曲局面と股関節伸展局面におけるRMS値の経時的変化 (Bent-knee Sit-up)

URA : Upper Rectus Abdominis , LRA : Lower Rectus Abdominis,
EAO : External Abdominal Oblique , RF : Rectus Femoris

URA: $p < 0.001$ (HFP2/3, HFP3/3, HEP1/3, HEP2/3, HEP3/3)

LRA: $p < 0.05$ (HEP3/3) $p < 0.001$ (HFP2/3, HFP3/3, HEP1/3, HEP2/3),

EAO: $p < 0.05$ (HFP2/3) $p < 0.01$ (HEP2/3, HEP3/3) $p < 0.001$ (HFP3/3, HEP1/3),

RF: $p < 0.05$ (HEP1/3)

Significant difference from knee flexion phase 1/3 .

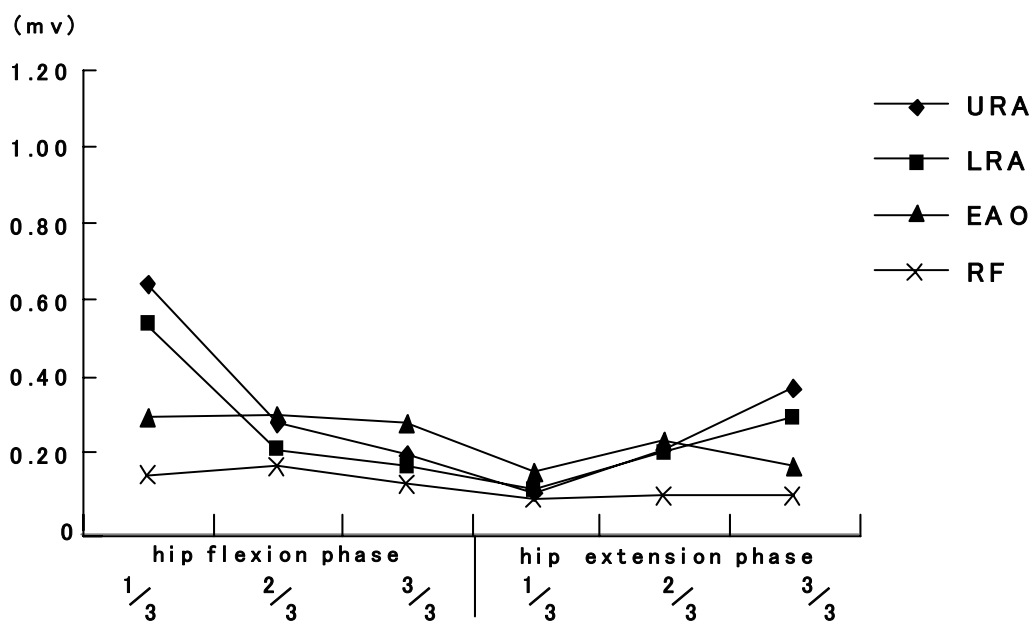


図5-5 股関節屈曲局面と股関節伸展局面におけるRMS値の経時的変化 (Twisting Sit-up)

URA : Upper Rectus Abdominis , LRA : Lower Rectus Abdominis,

EAO : External Abdominal Oblique , RF : Rectus Femoris

URA: $p < 0.001$ (HFP2/3, HFP3/3, HEP1/3, HEP2/3, HEP3/3),

LRA: $p < 0.01$ (HEP3/3) $p < 0.001$ (HFP2/3, HFP3/3, HEP1/3, HEP2/3),

EAO: $p < 0.05$ (HEP1/3, HEP3/3)

Significant difference from knee flexion phase 1/3 .

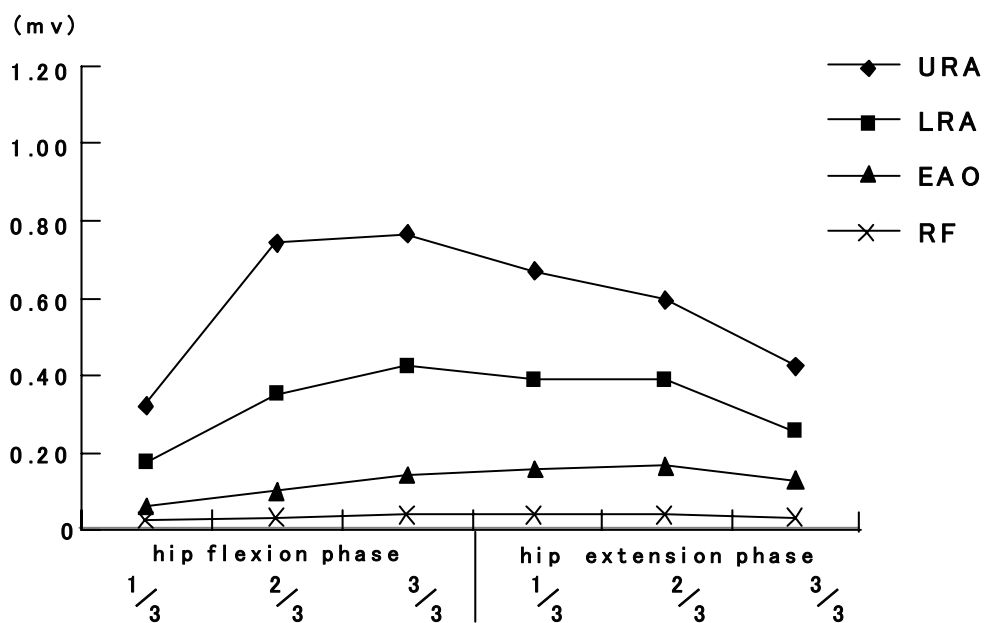


図5-6 股関節屈曲局面と股関節伸展局面におけるRMS値の経時的変化 (Trunk Curl)

URA : Upper Rectus Abdominis , LRA : Lower Rectus Abdominis,

EAO : External Abdominal Oblique , RF : Rectus Femoris

URA: $p < 0.05$ (HEP1/3) $p < 0.01$ (HFP2/3, HFP3/3),

LRA: $p < 0.05$ (HFP2/3, HEP1/3, HEP2/3) $p < 0.01$ (HFP3/3),

EAO: $p < 0.05$ (HEP2/3)

Significant difference from knee flexion phase 1/3 .

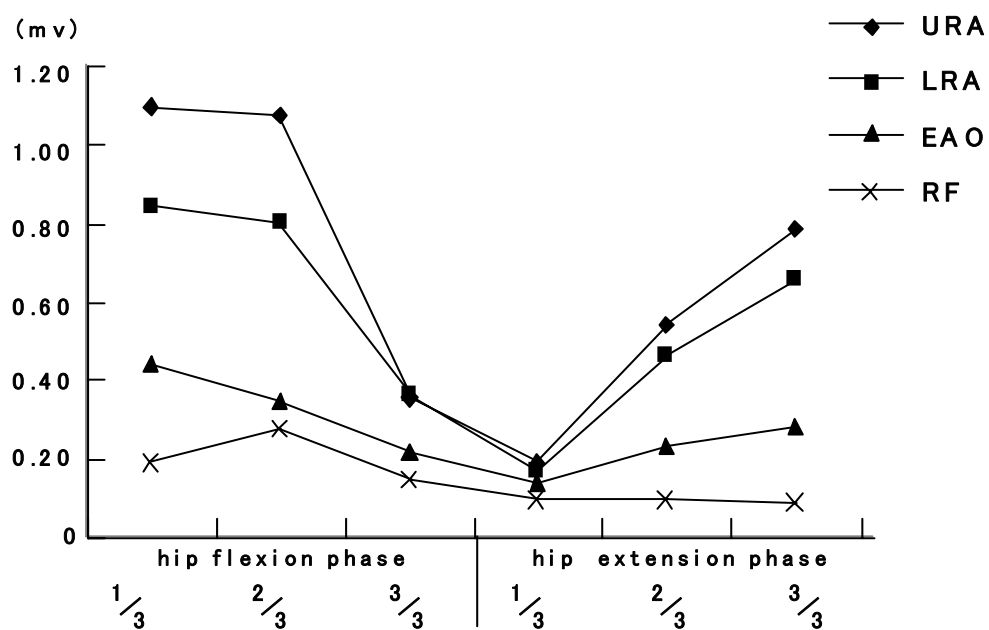


図5-7 股関節屈曲局面と股関節伸展局面におけるRMS値の経時的変化
(Roman Bench Sit-up)

URA : Upper Rectus Abdominis , LRA : Lower Rectus Abdominis,

EAO : External Abdominal Oblique , RF : Rectus Femoris

URA: $p < 0.05$ (HEP3/3) $p < 0.001$ (HFP3/3, HEP1/3, HEP2/3),

LRA: $p < 0.05$ (HEP2/3) $p < 0.01$ (HFP3/3) $p < 0.001$ (HEP1/3),

EAO: $p < 0.05$ (HFP3/3, HEP2/3) $p < 0.01$ (HEP1/3),

RF: $p < 0.05$ (HFP2/3) $p < 0.01$ (HEP1/3, HEP2/3, HEP3/3)

Significant difference from knee flexion phase 1/3 .

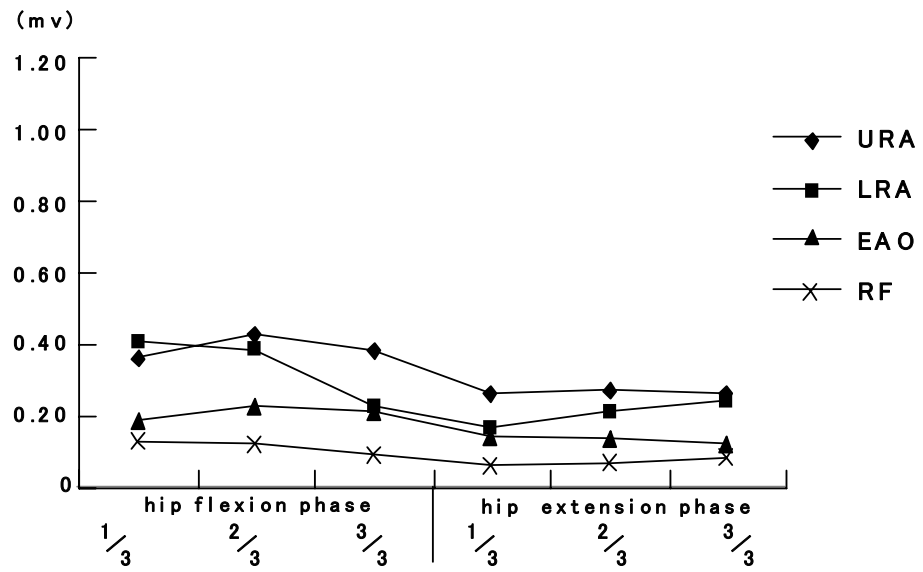


図5-8 股関節屈曲局面と股関節伸展局面におけるRMS値の経時的変化 (Leg Raise)

URA : Upper Rectus Abdominis , LRA : Lower Rectus Abdominis,
 EAO : External Abdominal Oblique , RF : Rectus Femoris
 LRA: $p < 0.05$ (HEP1/3, HEP2/3),
 RF: $p < 0.05$ (HEP3/3) $p < 0.01$ (HEP3/3), $p < 0.001$ (HEP1/3),
 Significant difference from knee flexion phase 1/3 .

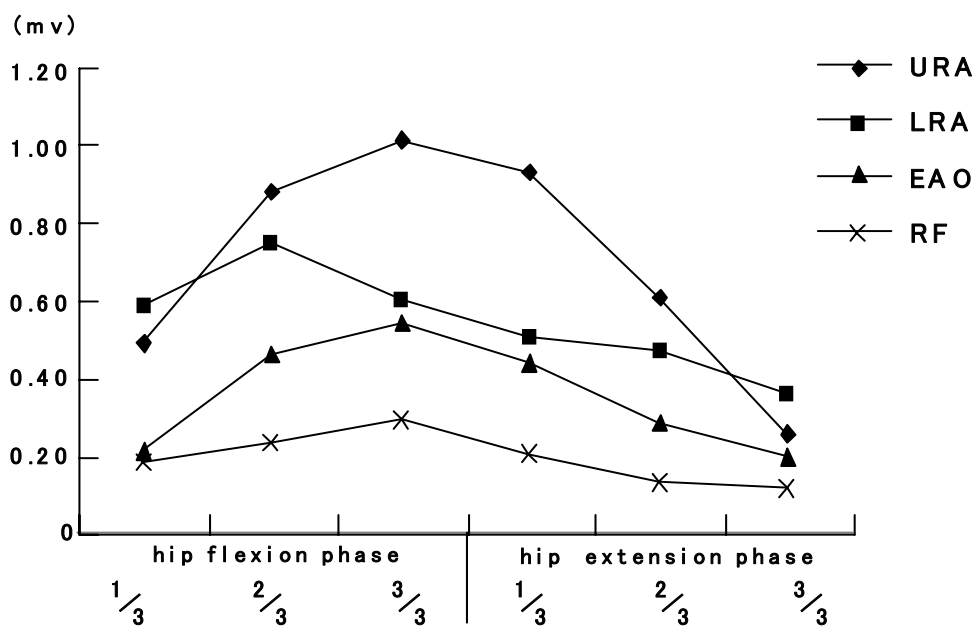


図5-9 股関節屈曲局面と股関節伸展局面におけるRMS値の経時的変化 (Support Leg Raise)

URA : Upper Rectus Abdominis , LRA : Lower Rectus Abdominis,
 EAO : External Abdominal Oblique , RF : Rectus Femoris
 URA: $p < 0.05$ (HFP2/3, HEP1/3,) $p < 0.01$ (HFP3/3),
 EAO: $p < 0.01$ (HEP2/3) $p < 0.001$ (HFP3/3)
 Significant difference from knee flexion phase 1/3 .

5.3 結果

5.3.1.筋活動の種目間比較

本研究の目的は、腹部トレーニング試行時の種目間における筋活動の比較検討である。もし等尺性最大収縮時の筋放電量との相対値で示すことができれば同一種目内での筋間の比較も可能となる。しかし、等尺性最大収縮時の筋電図を記録したが個人差が大きかったため、同一種目内での筋間の比較は行わなかった。各種目試行時の筋活動を基準化して得られたRMS値の平均値、標準偏差およびHEPとHFP比率であるHEP/HFP ratioを表5-1に示した。また表5-2には、筋ごとの種目間比較の結果を示した。

腹直筋上部における筋放電は、RSU(0.896, 0.609)とSLR(0.808, 0.657)で最大となり、残りのすべての種目に対して有意に高い値であった($p < 0.001$)。一方、TC(0.644, 0.458)は、LSU, BSU, TSUおよびLRに対して有意に高い筋活動を示した($p < 0.001$)。この結果、全体として $RSU \approx SLR > TC > LSU \approx BSU \approx TSU \approx LR$ の関係が得られた。

腹直筋下部では、腹直筋上部と同様に、RSU(0.908, 0.666)とSLR(0.787, 0.600)は残りのす

すべての種目に対して有意に高い値であった ($p < 0.001$)。また、RSUは、SLRに対して有意に高い値を示した ($p < 0.05$)。TC(0.492, 0.392)は、BSU ($p < 0.01$)とLR ($p < 0.05$)に対して有意に高い値を示した。さらにLSU(0.514, 0.321)は、BSUよりも有意に高い筋活動を示した ($p < 0.05$)。

外腹斜筋では、SLR(0.974, 0.763)は、すべての種目に対して有意に高い筋活動を示した ($p < 0.01 \sim 0.001$)。RSU(0.807, 0.578)はSLRを除く他の種目に対して有意に高い値を示した ($p < 0.001$)。TSU(0.743, 0.492)は、LSU ($p < 0.01$)、BSU、TCおよびLR ($p < 0.001$)に対して有意に高い値を示し、腹直筋上部および下部とは異なる結果であった。LSU(0.543, 0.370)は、LRとTC ($p < 0.01$)に対して、またLR(0.514, 0.323)は、TC ($p < 0.05$)に対して有意に高い値であった。

大腿直筋では、腹直筋上部同様に、SLR(0.871, 0.608)とRSU(0.856, 0.400)は残りのすべての種目に対して有意に高い値を示した ($p < 0.05 \sim 0.001$)。TCと比較してLSU(0.558, 0.401)、BSU(0.468, 0.335)、TSU(0.605, 0.392)およびLR(0.506, 0.328)における筋活動はともに有意に高かった ($p < 0.001$)。この結果、全体として $RSU \div SLR > LSU \div BSU \div TSU \div LR > TC$ の関係が得られた。

表5-1 腹部トレーニング7種目におけるRMSの股関節伸展/股関節屈曲比

Muscle	LSU	BSU	TSU	TC	RSU	LR	SLR
(AV±SD)							
Upper Rectus Abdominis							
HFP	0.499±0.120	0.422±0.121	0.477±0.103	0.644±0.254	0.896±0.118	0.382±0.141	0.808±0.243
HEP	0.279±0.072	0.239±0.068	0.261±0.060	0.458±0.204	0.609±0.135	0.265±0.134	0.657±0.249
HEP/HFP ratio	0.56	0.57	0.55	0.71	0.68	0.69	0.81
Lower Rectus Abdominis							
HFP	0.514±0.130	0.402±0.121	0.508±0.141	0.492±0.194	0.908±0.147	0.432±0.104	0.787±0.215
HEP	0.321±0.098	0.238±0.068	0.292±0.055	0.392±0.232	0.666±0.181	0.248±0.055	0.600±0.139
HEP/HFP ratio	0.62	0.59	0.57	0.80	0.73	0.57	0.76
External Abdominal Oblique							
HFP	0.543±0.178	0.488±0.154	0.743±0.160	0.298±0.234	0.807±0.205	0.514±0.179	0.974±0.056
HEP	0.370±0.122	0.320±0.133	0.492±0.251	0.322±0.268	0.578±0.123	0.323±0.125	0.763±0.122
HEP/HFP ratio	0.68	0.66	0.66	1.08	0.72	0.63	0.78
Rectus Femoris							
HFP	0.558±0.270	0.468±0.232	0.605±0.254	0.128±0.107	0.856±0.230	0.506±0.233	0.871±0.157
HEP	0.401±0.185	0.335±0.156	0.392±0.131	0.119±0.087	0.400±0.167	0.328±0.177	0.608±0.170
HEP/HFP ratio	0.72	0.72	0.65	0.93	0.47	0.65	0.70

HEP/HFP ratio :Hip extension phase/Hip flexion phase ratio

LSU:Long lying Sit-up, BSU:Bent Knee Sit-up, TSU:Twisting Sit-up, TC:Trunk Curl, RSU:Roman Bench Sit-up, LR :Leg Raise, SLR:Support Leg Raise

表5-2 腹部トレーニング7種目におけるRMSの比較

		upper rectus abdominis						
		LSU	BSU	TSU	TC	RSU	LR	SLR
LSU								
BSU								
TSU								
TC		***	***	***				
RSU		***	***	***	***			
LR					†††	†††		
SLR		***	***	***	***		***	
		lower rectus abdominis						
LSU								
BSU		†						
TSU								
TC			**					
RSU		***	***	***	***			
LR					†	†††		
SLR		***	***	***	***	†	***	
		external abdominal oblique						
LSU								
BSU								
TSU		**	***					
TC		††		†††				
RSU		***	***	***	***			
LR		††		†††	*	†††		
SLR		***	***	***	***	**	***	
		rectus femoris						
LSU								
BSU								
TSU								
TC		†††	†††	†††				
RSU		*	***	*	***			
LR					***	†††		
SLR		***	***	***	***		***	

larger * p<0.05 , ** p<0.01, *** p<0.001

smaller † p<0.05 , †† p<0.01, ††† p<0.001

LSU:Long lying Sit-up,BSU:Bent Knee Sit-up,

TSU:Twisting Sit-up,TC:Trunk Curl,RSU:Roman Bench Sit-up,

LR :Leg Raise, SLR:Support Leg Raise

5.3.2. HEP/HFP比

股関節の屈曲と伸展の各局面(HFP, HEP)の筋活動の比較のために、各筋について種目ごとにHFPに対するHEPの比率を求めた(表5-1)。

腹直筋上部では 0.55~0.81, 腹直筋下部では 0.57~0.80, 外腹斜筋では 0.63~1.08, 大腿直筋では 0.47~0.93 という値であった。特に低い値を示したのは、RSU における大腿直筋(0.47)や TSU における腹直筋上部(0.55)であった。一方、高い値を示したのは TC の外腹斜筋(1.08)や大腿直筋(0.93)であった。

5.3.3.可動域における RMS 値変化

図3は、各種目において股関節角度 1/3 ごとに、関節可動域における各筋の RMS 値変化を示す。角度変位の 1/3 ごとの RMS 値の推移では、LSU, BSU, TSU および RSU は、各筋の傾向として HFP の最初と HEP の最後に大きな値を示し、HFP から HEP への移行局面において小さな値を示した。一方、TC と SLR は、HFP の最初と HEP の最後に小さな値を示し、移行局面において大きな値を示した。LR は、各筋において凹凸の乏しい、局面を通してなだらかな筋放電であった。

5.4 考察

5.4.1.筋活動の種目間比較

本研究で対象としたシットアップ系とレッグレイズ系のトレーニング種目に関しては、代表的な指導書はいずれも腹直筋(Rectus Abdominis)と腹斜筋(Obliques)を共通の効果筋として挙げているが、腹直筋については上部(Upper)と下部(Lower)を区別した記載も見られる。Grymkowski et al.(1984)と Laura and Dutton(1993)によれば、腹直筋上部は TC 種目で、腹直筋下部は LR 種目と SLR 種目で効率的に刺激できるとしている。さらに前者は、腹直筋上部のトレーニング種目として TSU と RSU の 2 種目も挙げているが、本研究においては RSU とともに SLR の高い活動も注目された。また、Sarti et al.(1996)は、腹直筋上部は Curl up 種目(TC と同じ)で、腹直筋下部は Pelvic Tilt 種目で大きな筋活動が得られるとの見解を示している。しかし、Clark et al.(2003)は、Curl up を含む6種目の腹部エクササイズにおいて腹直筋の上部と下部の筋活動を比較し両部位間に差は見られなかったと報告している。

本研究では、腹直筋上部、下部ともに RSU と SLR の両種目において RMS 値が他の種目より有意に高い値を示した(表 5-1)。腹直筋上部ではこれらの両種目の次に高い値を示したの

は TC 種目であった。したがって、腹直筋上部、下部ともに RSU 種目と SLR 種目の両種目において効果的な刺激といえ、これらの種目に次いで TC 種目の有効性が示唆される。本研究では TC 種目は、腹直筋下部の筋刺激においても BSU や LR 種目より高い筋活動が見られ、ある程度有効に作用することが示唆された。一方、LR 種目は、腹直筋下部のトレーニング種目とされながら、本研究においては、他の種目と比べて必ずしも高い活動を示さなかった。

外腹斜筋は、機能解剖学的には体幹の屈曲や回旋、側屈の運動に関与するとされている(森ら, 1982)。外腹斜筋において TSU 種目よりも SLR と RSU の両種目の RMS 値が高かったことは注目される。Pauletto(1991)や Fahey and Hutchinson(1992)は、外腹斜筋への TSU 種目の有効性について述べているが、ツイスティング・シットアップ(TSU)は回旋を伴った体幹の屈曲運動であることから、この回旋機能発揮に関与するとされている外腹斜筋や内腹斜筋をより効果的に刺激できる種目の一つであると考えられる。反対に、外腹斜筋の筋活動が TC 種目において最も少なかったことは、胸郭をわずかに曲げるという TC 種目の可動域の小ささに原因があるのではないかと推察される。

大腿直筋に関しては、Fahey and Hutchinson(1992)が、指導書の中で LR 種目と SLR 種目における効果筋の一つとしている。これはトレーニング現場における一般的な認識である。Guimaraes et al.(1991)は、12 種目の腹部エクササイズ筋電図学的分析から、Inclined Sit-up 種目や SLR 種目においてこの筋の活動が大きいことを報告している。本研究では、Guimaraes et al.(1991)と同様に、RSU 種目と SLR 種目の RMS 値がともに最も高い値を示した。しかし、同じレッグレイズ種目であるにもかかわらず、LR と SLR の RMS 値に有意な差が見られ、LR の方が低かった。これは、LR では水平位から垂直位へ、SLR では垂直位から水平位へというような、両種目間の下肢運動姿勢の違いが影響しているのではないかと推察されるが、今後さらに検討を要する問題である。

大腿直筋に関しては、RSU 種目と SLR 種目は RMS 値が高いことから効果的な筋力トレーニングとなるという反面、腰椎への過度な負担も懸念される。大腿直筋は、下肢と腸骨との間に付着して股関節屈曲作用を有するが、その機能は大腿骨と腸骨および腰椎の間に付着している腸腰筋(Iliopsoas)の方がむしろ強力であると考えられる(森ほか, 1982)。Axler (1997)は、腹筋強化種目試行時の腰椎ストレスを考慮してその安全性を検討し、本研究での SLR 種目と類似する Hanging Leg Raise において、腹直筋、外腹斜筋の大きな活動を認めているが、同時に腸腰筋の活動レベルも高くなることから、この種目の試行には懸念を示している。また Juker et al. (1997)は、徒手による筋力トレーニング種目を対象とした研究において、腰筋

(Psoas)の筋活動は Sit-up 種目より TC 種目においてその活動レベルが非常に低いことを報告している。さらに Andersson et al. (1997)は、腹筋強化種目試行時の大腿直筋の筋活動を分析し、Sit-up 種目より TC 種目において活動レベルが低いことを報告している。したがって、TC 種目とは対照的に RSU や SLR の種目では運動中股関節の屈曲運動に相当の負荷がかかり、大腿直筋とともに大腰筋(Psoas Major)の活動を誘発し腰椎への負担が増すことが考えられる。しかしながら、格闘技をはじめとする体幹の固定や、股関節の屈曲を伴うさまざまなスポーツ場面において、腹筋群は大腰筋や大腿直筋などの下肢筋群と協応して働くことが多いことや、大腰筋がスプリントでの高いパフォーマンス発揮に注目されていることを踏まえて考えると、実施の安全性を十分留意した積極的取り入れが望まれる。

5.4.2. HEP/HFP 比

本研究において、股関節の屈曲局面と伸展局面との比率では、TC 種目の外腹斜筋(1.08)や大腿直筋(0.93)のような高い値を示した一部例外はあるが、他はおよそ 0.5~0.8 の範囲の中に入って屈曲局面の RMS 値の方が高い値を示した(表 5-1)。同様な傾向は、他の筋力トレーニング種目を対象とした報告にも見られる(McCaw and Friday,1994;Kellis and Balthazopoulos,1998;Selseth et al.,2000;Ebben and Jensen,2002)。

Konrad et al (2001)は、本研究で対象とした 4 つの腹部強化のための筋力トレーニング種目において HEP/HFP 比を示している。腹直筋、外腹斜筋、大腿直筋を被験筋としており、BSU, TSU, LR においては本研究と類似した傾向の報告が見られるが、TC 種目の外腹斜筋や大腿直筋においては HEP/HFP 比は本研究と比較するとかなり小さい。

このように徒手運動による本研究結果も、器具を用いたトレーニング種目と局面間の比率において同様の傾向を示すことが明らかになった。しかし本研究の TC 種目における外腹斜筋、大腿直筋に見られた大きな屈曲伸展比は、両局面間での筋放電に差が少ないことを示唆するものであり、両局面でこれらの筋は等尺性収縮に近い筋収縮様式であったと考えられる。RSU 種目における大腿直筋に観察された小さな屈曲伸展比は、この筋における HEP で重力からの解放の影響が大きく作用したことが原因として考えられる。

このように本研究で実施した徒手による運動種目の多くは股関節屈曲局面の筋刺激を中心とした種目であると考えられるが、TC 種目のように両局面においてほとんど差がない種目もあり、運動姿勢や運動テンポを工夫することによって、両局面ともに同様な筋放電を得られる可能性が考えられる。

5.4.3. 可動域におけるRMS値変化

図 5-3 から RSU と SLR の振幅が他の種目に比べて大きいことが読み取れる。しかし、これら2種目の放電パターンはそれぞれ特徴的である。すなわち、SLRでは、重量負荷の開放と荷重の勾配がゆるやかなのに対し、RSUでは急勾配なうえ、股関節が最大に伸展した時点で高い筋緊張を強いられる特徴が見られる。RSUとSLRは両腹筋が最も強く刺激されるが、腰部にも強い負担がかかることも懸念される。TSUでは両腹筋が刺激されるが、腰部への負担は前の2種目ほどではない。TCでは腰部への負担がほとんどなく腹直筋が刺激されると考えられる。

5.4.4. 実践への応用

本研究で取り上げた腹筋強化を目的とした7つのトレーニング種目の中では、RSUとSLRの両種目はすべての筋の筋活動において高い値を示した。他の5種目は仰臥姿勢をとっているのに対して、これらの2種目では上半身と下半身が常に重力に抗して挙上運動を行っているため、自重の負荷がより強く作用しているものと推測される。しかし、前述したように、股関節屈曲に関する筋活動において、大腿直筋とともに大腰筋の活動も大きくなることが報告されており、大腿直筋の活動の大きさは腰椎への負担増と直結することが推察される (Andersson et al.,1997;Axler,1997;Juker et al.,1997)。したがって、これらの2種目は腹筋に強い刺激を与えることが可能な種目であるので熟練者による腹筋強化種目としては望ましいが、筋発達が十分でない初心者にはあまり奨励できない種目と言える。さらに熟練者であっても腰痛に対する予防の観点から、継続的な実施にあたっては負荷の強さやトレーニング量などに十分に配慮することが望まれる。また、脊柱起立筋の筋活動を記録していなかったことは、本研究における課題となる。

TC種目では腹直筋上部、TSU種目では外腹斜筋に大きな筋活動が見られたが、これらの両筋はTC種目とTSU種目における効果筋として位置づけられることを示している。TC種目とTSU種目は大腿直筋の活動レベルが低いことから、腹筋強化のベーシックプログラムとして特に初心者には奨励される種目であると考えられる。Ricci (1981) は、股関節角度がおおよそ 130-170° の範囲で腹部の筋は最大の筋活動をもたらす、この角度を超えると大腿直筋、縫工筋の筋活動が活発になると報告している。したがって、これらの腹筋強化運動の実践にあたっては、より適切な股関節角度や股関節屈曲局面と股関節伸展局面における運動

テンポの変化による両局面比の工夫などを今後さらに研究していく必要性がある。

5.5 まとめ

本研究は、腹筋強化のトレーニングとして従来から一般的に実施されている徒手の動的種目における筋活動を分析し、その種目間差異を比較検討することを目的とした。被験者は、筋力トレーニングに熟練した成人男子 11 名であった。ロングライイング・シットアップ(LSU) , ベントニー・シットアップ(BSU) , ツイステイング・シットアップ(TSU) , トランクカール(TC) , ローマンベンチ・シットアップ(RSU) , レッグレイズ(LR)およびサポート・レッグレイズ(SLR)の7種目において、腹直筋上部, 腹直筋下部, 外腹斜筋および大腿直筋を筋電図学的に分析し、RMS 値の比較から以下のような結果を得た。

1. 腹直筋上部においては、全体として $RSU \cong SLR > TC > LSU \cong BSU \cong TSU \cong LR$ の種目間関係が得られた。腹直筋下部においても、RSU と SLR の両種目は残りのすべての種目に対して有意に高い値であった。
2. 外腹斜筋では、SLR は他のすべての種目に対して有意に大きな筋活動をもたらした。大腿直筋では、全体として $RSU \cong SLR > LSU \cong BSU \cong TSU \cong LR > TC$ の種目間関係が得られた。
3. 股関節の伸展局面(HEP)と屈曲局面(HFP)の比率では、全体的には HEP 局面に比べて HFP 局面において高い RMS 値を示す傾向が見られ、ほとんどの筋においてその値が 0.5 ~ 0.8 の範囲にあった。しかし、TC 種目における外腹斜筋や大腿直筋ではその範囲を上回った。
4. RSU 種目と SLR 種目は、大腿直筋の筋放電が大きく腰椎への過度なストレスも懸念されるが、腹直筋上部, 腹直筋下部, 外腹斜筋の筋放電も大きく効果的な種目であり、実施の安全性に十分留意しながら積極的に取り入れることが望まれる。

以上のように、本研究で対象とした7種目において、ローマンベンチ・シットアップとサポート・レッグレイズの両種目では伸展局面、屈曲局面とも他の 5 種目に対して高い値を示した。さらに、これらの 2 種目に次いでトランクカール種目は腹直筋上部, ツイステイング・シットアップは外腹斜筋に大きな筋活動が見られた。

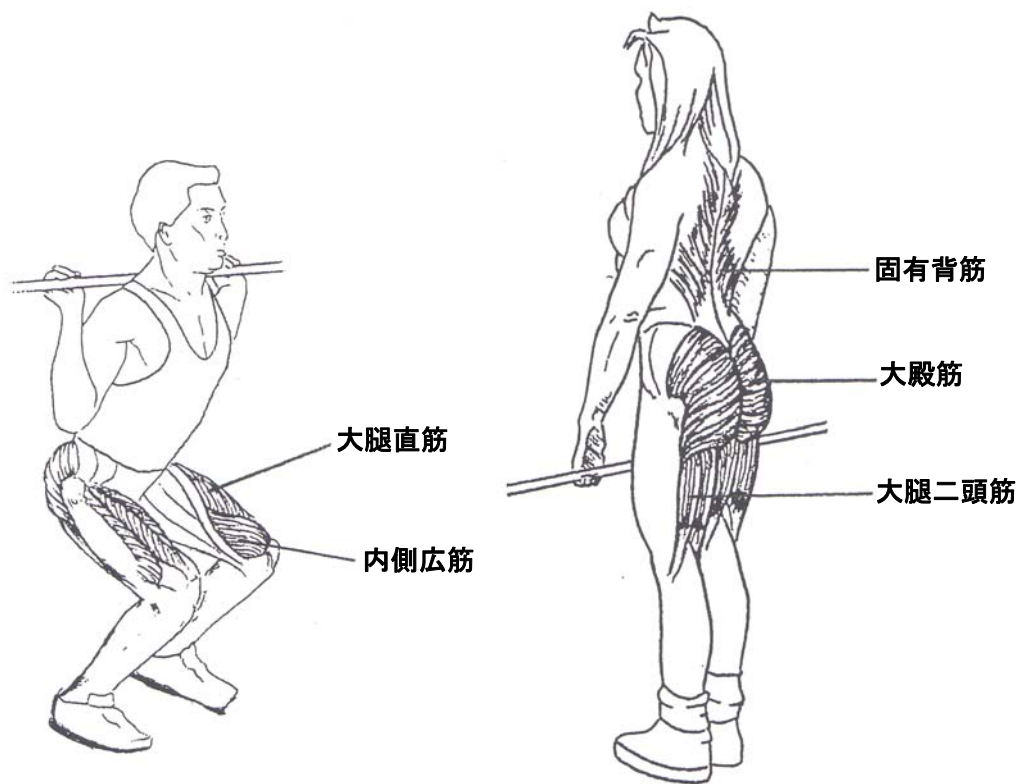
第6章 筋力トレーニングのスクワット系とデッドリフト系種目における固有背筋、大殿筋、大腿直筋、大腿二頭筋および内側広筋の筋電図学的分析

6.1 はじめに

固有背筋, 大殿筋, 大腿直筋, 大腿二頭筋および内側広筋は大腿部, 下背部の機能発揮のために重要な役割を果たす筋として, 筋力トレーニングの実践にあたって, これらの筋の強化が主要なテーマの一つとなる. 機能解剖学的には, 固有背筋は脊柱を反らせ(直立させる)かつ体側を側方に曲げること, 大殿筋は大腿を後ろに引き(伸展)かつ外旋すること, 大腿直筋は膝関節を伸ばしかつ股関節を屈すること, 大腿二頭筋は大腿を後に引き(伸展), 下腿を屈し, かつ外旋すること, 内側広筋は膝関節を伸ばすことがその作用である(図 6-1). これらの5筋を同時に鍛えるトレーニング種目としてしばしば採用されるのが, スクワット系やデッドリフト系の種目である. フリーウェイトを用いる種目としては, パラレル・スクワット(Parallel Squat), ベントオーバー・スクワット(Bent-over Squat), コンベンショナル・デッドリフト(Conventional Dead Lift)およびスティフレッグド・デッドリフト(Stiff-legged Dead Lift)などの種目が挙げられる. 最近の代表的な指導書の中でも, これらのトレーニング種目に共通する効果筋としては大殿筋, 大腿直筋, 大腿二頭筋, 内側広筋および固有背筋の5筋が示されている. しかし, どの指導書においても単なる筋名の列挙にとどまり, ほとんど他の情報は欠如している.

筋力トレーニング種目に関する研究では, 従来からバイオメカニクスのアプローチから分析した研究が多く, 中でもベンチプレス種目に関してはバーの軌跡や関節角度を解明した動作解析的な研究が多い. しかし, 筋力トレーニング種目においては, 各種目でトレーニングされる効果筋に関する情報が重要となるが, 最近トレーニング種目に関する筋電図学的研究がいくつか見られる. Wright et al., Pick and Becogue, Boyden et al., Bauer et al. や Wretenberg et al. はスクワット種目やデッドリフト種目に関連した筋を分析し, Whiting et al. はシットアップ種目に関連した筋を対象に分析している. また, プレス種目に関しては Barnett et al. や半田ら, プル種目に関しては Signorile et al. や半田らの筋電図を用いた研究があるのみである. 一般に従来の指導書や研究報告においては, 各種目の特異性や主働筋の貢献度の種目間差異が十分に認識されておらず, それらに関する情報が不足している. そこで,

本研究ではフリーウェイト(Barbell)を用いて行う姿勢の異なるスクワット系とデッドリフト系のトレーニング種目の4種目を選択して、各種目における大殿筋, 大腿直筋, 大腿二頭筋, 内側広筋および固有背筋の筋活動を分析し、種目間の差異について比較検討した。



**図6-1 スクワット系とデッドリフト系
種目の効果筋** (Yessis, M. 1992, による)

6.2 方法

6.2.1 被験者

筋力トレーニングに熟練した成人男子 11 名を被験者とした。被験者の平均年齢は 22.0 ± 3.1 歳、平均身長は 169.9 ± 6.8 cm および平均体重は 68.1 ± 7.0 kg であった(表 6-1)。実験に先立ち、被験者に実験の目的、方法、実験の安全性等について、文書ならびに口頭で説明を行い、実験の内容を十分に理解してもらったうえで同意書を得た。

表6-1 被験者の身体特性および各種目の1RM

項目	平均値±標準偏差 (N=10)
年齢 (year)	25.7 ± 3.8
身長 (cm)	170.5 ± 7.0
体質量 (kg)	69.5 ± 10.6
PSQ1RM (kg)	108.0 ± 16.7
BSQ1RM (kg)	77.5 ± 10.1
CDL1RM (kg)	123.0 ± 21.1
SDL1RM (kg)	116.0 ± 7.4

PSQ: パラレル・スクワット, BSQ: ベントオーバー・スクワット,
CDL: コンベンショナル・デッドリフト, SDL: スティフレッグド・
デッドリフト

1RM: 1回反復最大重量

6.2.2 トレーニング種目の試技方法

実験の対象としたトレーニング種目は、パラレル・スクワット(Parallel Squat)、ベントオーバー・スクワット(Bent-over Squat)、コンベンショナル・デッドリフト(Conventional Dead Lift)およびスティフレッグド・デッドリフト(Stiffed-leg Dead Lift)の4種目であった。なお、パラレル・スクワットとベントオーバー・スクワットは股関節屈曲局面(Hip Flexion Phase, 以下 HFP とする)から股関節伸展局面(Hip Extension Phase, 以下 HEP とする)へと、コンベンショナル・デッドリフトとスティフレッグド・デッドリフトは股関節伸展局面から股関節屈曲局面へと、各局面 2 秒間合計 4 秒間のテンポで 3 回繰返された。繰返しのテンポは、験者がストップウォッチを見ながら、被験者に口頭で合図を送ることにより規定された。各種目の方法は以下の通りである(図 6-2)。

パラレル・スクワット(Parallel Squat)

両踵間隔は、肩幅よりも足幅ひとつ分広いスタンスとし、つま先を 45 度外側に向けバーは肩の上に置き、視線を前上方に向け背筋を伸ばし大腿部が床と平行になるまでしゃがみその後立ち上がる(図 6-2-1)。

ベントオーバー・スクワット(Bent-over Squat)

腰幅のスタンスで立ち両足は平行にして視線を前上方に向け背筋を伸ばしたまま、膝を 30 度に曲げ上体を床と 30 度の角度になるまで倒しその後上体を起こす(Fig.1-2).

コンベンショナル・デッドリフト(Conventional Dead Lift)

肩幅くらいのスタンスで立ち膝を十分に曲げ、肩幅より一握り広い手幅でバーベルを握り、そのとき肩がバーよりも前に出るようにする。大腿部の前面からバーが離れないようにすることおよび背中が丸まらないようにすることに気を付けて、バーを引き上げ、真っすぐに立ち上がり直立姿勢に達したら、背中中の反りを保ったままで、肩を前に突き出す感じで、バーを下ろして、元の姿勢に戻る(図 6-2-3).

ステイフレグド・デッドリフト(Stiffed-leg Dead Lift)

肩幅よりも足ひとつ分狭いスタンスで背中を反らせて立ち膝を十分に伸ばし、肩幅くらいの手幅でバーベルを握り、そのとき肩がバーよりも前に出るようにする。大腿部の前面からバーが離れないようにすることおよび背中が丸まらないようにすることに気を付けて、バーを引き上げ、真っすぐに立ち上がり直立姿勢に達したら、背中中の反りを保ったままで、肩を前に突き出す感じで、バーを下ろして、元の姿勢に戻る(図 6-2-4).



1



2



3



4

図6-2 トレーニング4種目

1:パラレル・スクワット (PSQ)

2:ベントオーバー・スクワット (BSQ)

3:コンベンショナル・デッドリフト (CDL)

4:スティフレッグド・デッドリフト (SDL)

6.2.3 筋電図の導出

被験筋は大殿筋, 大腿直筋, 大腿二頭筋, 内側広筋および固有背筋の5筋とし, すべて右側について表面筋電図により導出した. 電極の貼付箇所と同定にあたっては, 栢森(1997)の方法を参照した. 筋電図導出のための電極および不関電極には, 直径 8mm の銀円盤の皮膚表面電極(小型生体電極, 日本光電社製)を用いた. 電極の装着にあたっては, 筋電図導出部位をアルコール綿と皮膚処理剤(スキンピュアー, 日本光電社製)で十分に拭き, 各筋

腹の中央に 2cm の間隔をとり, 粘着カラーで固定した. 得られた電気信号は, マルチテレメータシステム (WEB-5000, 日本光電社製) から, MacLab (MacLab, ADInstruments 社製) に送られ, PC (VAIO PCG-9A2N, SONY 社製) に記録された. なお, HICUT (高域遮断周波数) を 100(Hz), LOCUT (時定数) を 0.03 (秒) および SENS (感度) を 1mV/V に設定した.

6.2.4 股関節角度の測定

ゴニオメータ (KINETO-ANGLE TRANSDUCER TM-511G, 日本光電社製) を股関節の軸と一致するように装着し角度変位を記録した. ゴニオメータのアームは, 股関節をまたいでウエストと大腿に固定用のバンドを用いて取り付けられた. 得られた電気信号は, 筋電図と同様の経路で記録された. なお, HICUT (高域遮断周波数) を 30(Hz), LOCUT (時定数) を DC および SENS (感度) を 50deg/V に設定した.

6.2.5 測定値の処理と統計分析

筋電図信号は, ゴニオメータとの同期により, 各種目において股関節伸展局面 (HEP) と股関節屈曲局面 (HFP) の各局面における RMS 値を算出し (Fig.2), さらに HEP の 3 分割と HFP の 3 分割の合計 6 分割における RMS 値として処理された. PSQ と BSQ は HFP から HEP へと, CDL と SDL は HEP から HFP へと, 各局面 2 秒間合計 4 秒間のテンポで 3 回繰返されたが分析に当たっては, すべての種目で HEP から HFP の順序に統一した.

HEP と HFP の各局面における比較には, Whiting ら (1999) や Wright ら (1999) の方法に従って, 種目間での RMS 値の最大値を基準値として他の種目の RMS 値を基準値で除すことによる相対値を用いた. しかし, 全可動域の 6 分割における経時的比較には, その絶対値を用いた.

各種目から得られた同一の筋における電位の RMS 値の 平均値と同一種目における経時的変化の検定には, 一元配置の分散分析を用いた. そして, 有意差が認められた場合には, Fisher の PLSD の多重比較によって検定した. なお, 有意水準は危険率 5% 未満とした.

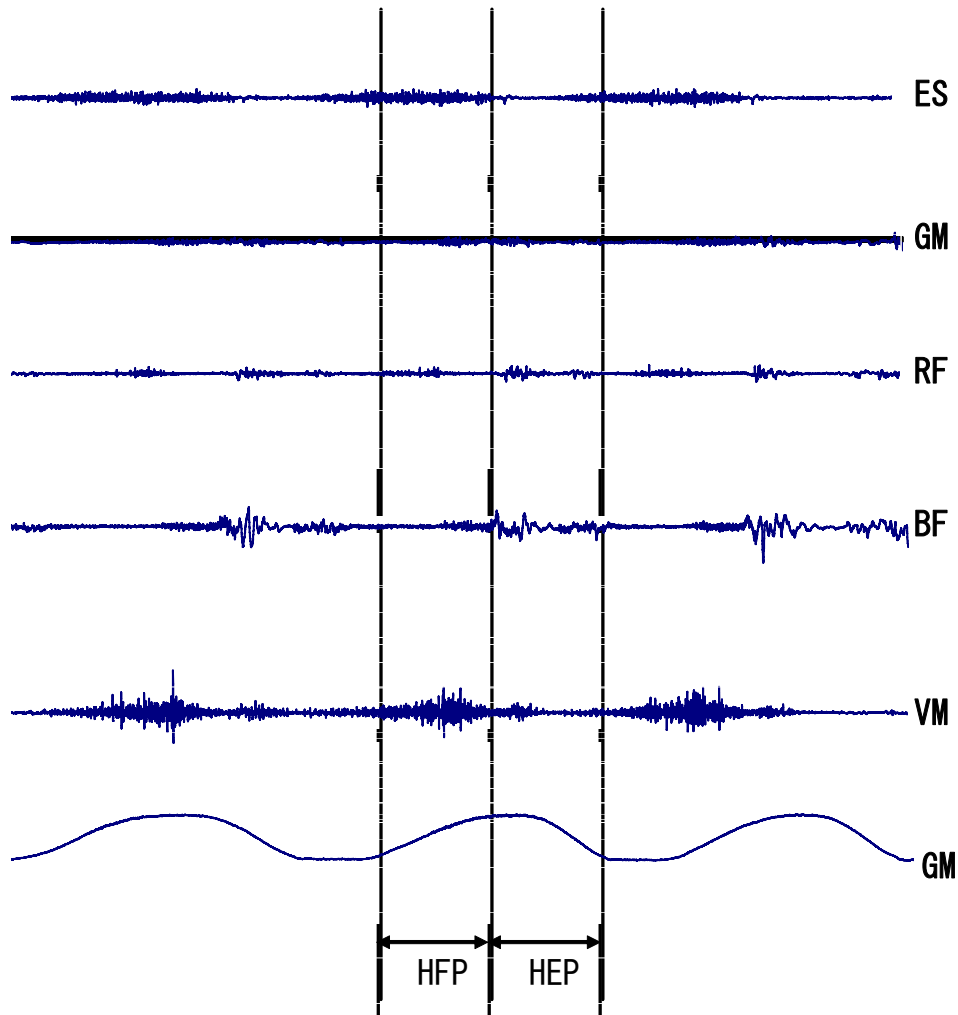


図6-3 ベントオーバー・スクワット (BSQ) 試行時の筋電図とゴニオメータ波形の一例

HEP: 股関節伸展局面 HFP: 股関節屈曲局面
 ES: 固有背筋, GM: 大殿筋, RF: 大腿直筋
 BF: 大腿二頭筋, VM: 内側広筋
 GM: ゴニオメータ

6.3 結果

6.3.1 トレーニング種目別の比較

同一筋における基準値には、統計的に股関節屈曲局面(HFP)と股関節伸展局面(HEP)の両局面間に交互作用が認められなかったため、両局面をまとめて有意差検定を行った。得られた筋電図のRMS値を基準化して比較した(表6-2, 図6-4.5.6.7.8)。

固有背筋では、種目間に有意差は見られなかった。また同様に、大殿筋においても種目間に有意差は観察されなかった。大腿直筋ではPSQは他のすべての種目に対して有意に高い値であった。有意水準はBSQとSDLは $p < 0.001$ 、CDLは $p < 0.01$ であった。さらにCDLはSDL ($p < 0.01$)に対して有意に高い値であった。大腿二頭筋では、SDLはBSQ ($p < 0.05$)に対して有意に高い値であった。内側広筋ではPSQは他のすべての種目に対して $p < 0.001$ の有意水準で有意に高い値であった。さらにBSQはSDL ($p < 0.01$)に対して、CDLはSDL ($p < 0.001$)に対して有意に高い値であった。

HFP局面とHEP局面の比較のために、各筋について種目ごとにHFP局面に対するHEP局面の比率を計算した(表6-2)。

固有背筋では0.70~0.90、大殿筋では0.34~0.74、大腿直筋では0.75~1.30、大腿二頭筋では0.31~0.77、内側広筋では0.70~0.83という値であった。特に低い値を示したのは、SDLにおける大腿二頭筋(0.31)やCDLにおける大殿筋(0.34)であった。一方、高い値を示したのはCDLの大腿直筋(1.30)やCDLの大腿直筋(0.91)やBSQの固有背筋(0.90)であった。

表6-2 PSQ, BSQ, CDLおよびSDL試行時の固有背筋, 大殿筋, 大腿直筋, 大腿二頭筋および内側広筋の股関節伸展局面と股関節屈曲局面における筋活動の比率

筋名	PSQ	BSQ	CDL	SDL
固有背筋				
股関節屈曲局面	0.420±0.219	0.400±0.175	0.399±0.222	0.328±0.127
股関節伸展局面	0.487±0.249	0.444±0.202	0.559±0.265	0.471±0.194
HFP/HEP ratio	0.86	0.90	0.71	0.70
大殿筋				
股関節屈曲局面	0.354±0.208	0.325±0.190	0.333±0.197	0.260±0.105
股関節伸展局面	0.476±0.228	0.945±1.811	0.815±0.937	0.458±0.238
HFP/HEP ratio	0.74	0.34	0.41	0.57
大腿直筋				
股関節屈曲局面	0.624±0.209	0.219±0.139	0.804±0.861	0.170±0.089
股関節伸展局面	0.837±0.524	0.265±0.136	0.614±1.080	0.187±0.072
HFP/HEP ratio	0.75	0.83	1.30	0.91
大腿二頭筋				
股関節屈曲局面	0.375±0.532	0.164±0.137	0.318±0.323	0.196±0.168
股関節伸展局面	0.487±0.554	0.296±0.260	0.421±0.424	0.633±0.713
HFP/HEP ratio	0.77	0.55	0.76	0.31
内側広筋				
股関節屈曲局面	0.720±0.298	0.222±0.192	0.407±0.303	0.121±0.067
股関節伸展局面	0.866±0.346	0.273±0.217	0.568±0.440	0.174±0.084
HFP/HEP ratio	0.83	0.81	0.72	0.70

HFP/HEP ratio : 股関節屈曲局面/股関節伸展局面の比率

PSQ:パラレル・スクワット, BSQ:ベントオーバー・スクワット,

CDL:コンベンショナル・デッドリフト, SDL:スティフレッグド・デッドリフト

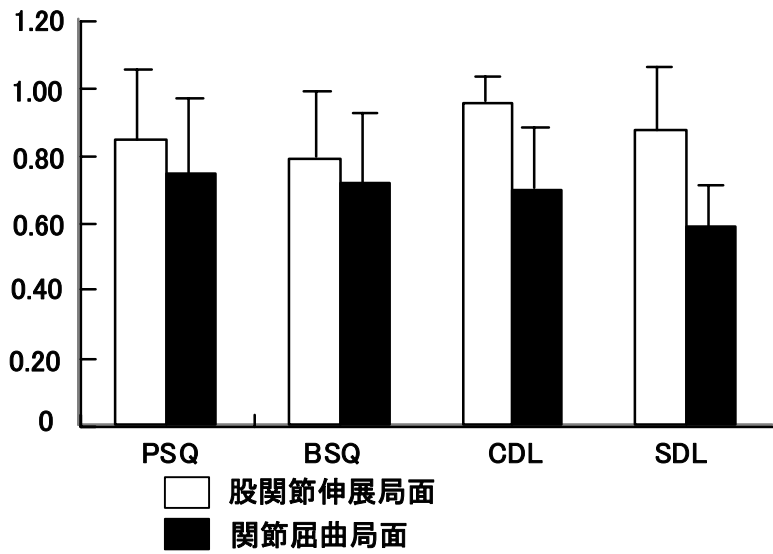


図6-4 固有背筋における種目別RMS値の比較
 PSQ:パラレル・スクワット, BSQ:ベントオーバー・スクワット,
 CDL:コンベンショナル・デッドリフト, SDL:スティフレッグド・
 デッドリフト

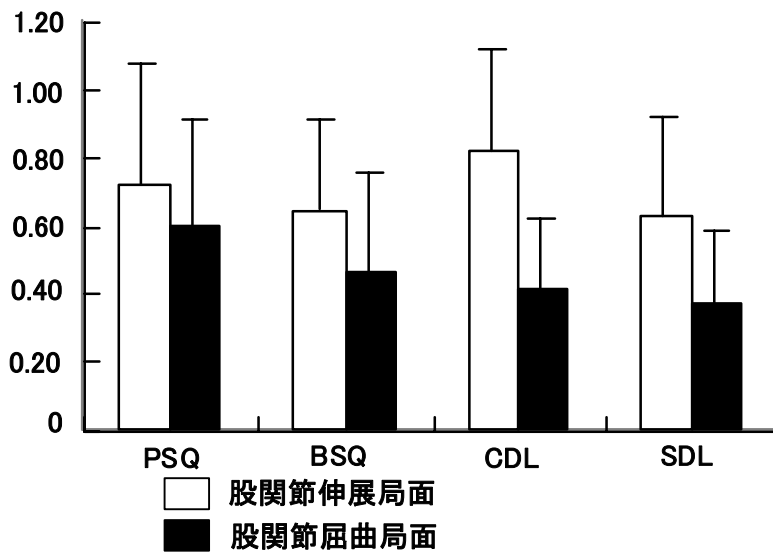


図6-5. 大殿筋における種目別RMS値の比較
 PSQ:パラレル・スクワット, BSQ:ベントオーバー・スクワット,
 CDL:コンベンショナル・デッドリフト, SDL:スティフレッグド・
 デッドリフト

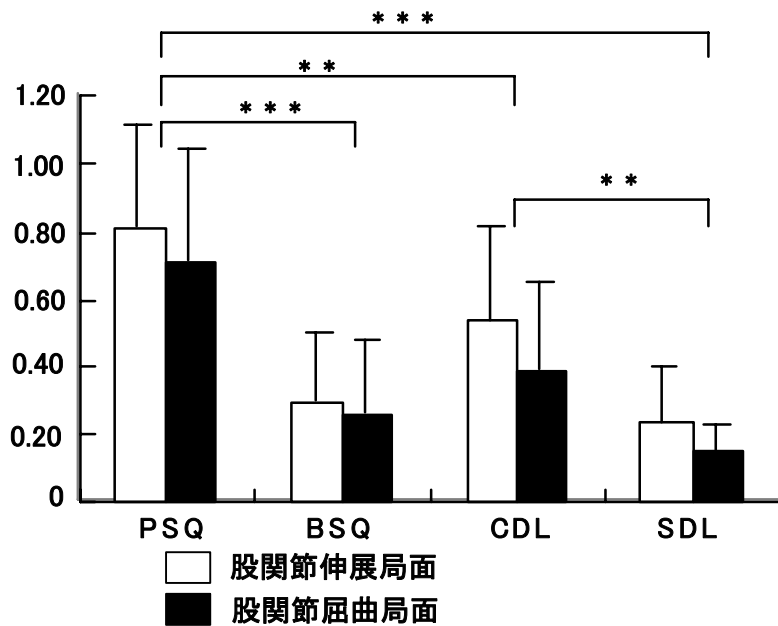


図6-6 大腿直筋における種目別RMS値の比較

PSQ:パラレル・スクワット, BSQ:ベントオーバー・スクワット, CDL:コンベンショナル・デッドリフト, SDL:スティフレッグド・デッドリフト

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

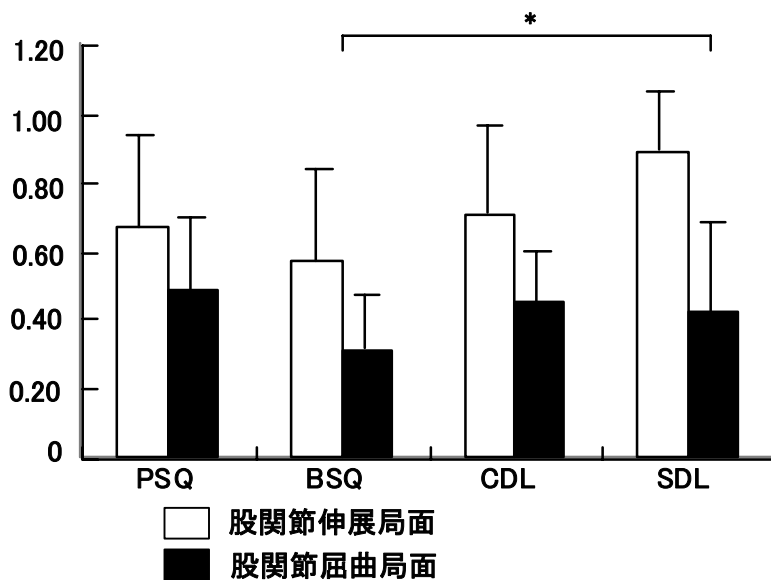


図6-7 大腿二頭筋における種目別RMS値の比較

PSQ:パラレル・スクワット, BSQ:ベントオーバー・スクワット, CDL:コンベンショナル・デッドリフト, SDL:スティフレッグド・デッドリフト

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

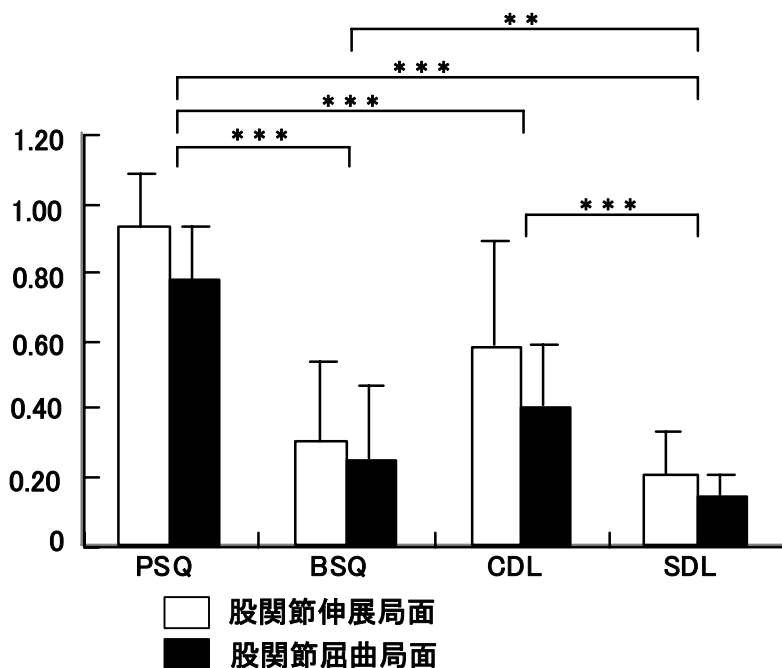


図6-8 内側広筋における種目別RMS値の比較

PSQ:パラレル・スクワット, BSQ:ペントオーバー・スクワット, CDL:コンベンショナル・デッドリフト, SDL:スティフレッグド・デッドリフト

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

6.3.2 可動域におけるRMS値変化

図6-9.10.11.12は、各種目において股関節角度1/3ごとに、全可動域における各筋のRMS値変化を示す。有意差検定は各筋についてそれぞれ最初のEEP局面1/3の値に対して行った。

PSQ種目では、内側広筋を除く筋において角度変位に伴う有意差は見られなかった。内側広筋においてHEP局面1/3はHEP局面3/3よりも $p < 0.001$ で、またHFP局面1/3, 2/3よりも $p < 0.01$ で有意に大きな値を示した。

BSQ種目では、大殿筋と大腿直筋において有意差が観察された。大殿筋においてHEP局面1/3はHEP局面3/3よりも $p < 0.001$ で有意に小さな値を示した。大腿直筋ではHEP局面1/3はHEP局面3/3よりも有意に小さな値を示した($p < 0.05$)。

CDL種目では、大腿二頭筋を除く筋において角度変位に伴う有意差が見られた。固有背筋においてHEP局面1/3はHFP局面2/3よりも $p < 0.01$ で、HEP局面2/3, 3/3よりも $p < 0.05$ で有意に小さな値を示した。大殿筋においてHEP局面1/3はHFP局面2/3, 3/3よりも有意に小

な値を示した。有意水準はHFP局面2/3とは $p < 0.01$, HFP局面3/3とは $p < 0.05$ であった。大腿直筋においてHEP局面1/3はHFP局面1/3よりも $p < 0.001$ で, HEP局面3/3,HFP2/3よりも $p < 0.05$ で有意に大きな値を示した。内側広筋においてHEP局面1/3はHFP局面1/3,2/3および HEP3/3よりも有意に小さな値を示した。有意水準はHFP局面1/3とは $p < 0.001$, HFP局面2/3とは $p < 0.01$, HEP局面3/3とは $p < 0.05$ であった。

SDL種目では, 内側広筋を除く筋において角度変位に伴う有意差が見られた。固有背筋においてHEP局面1/3はHFP局面2/3より有意に小さな値を示した($p < 0.01$)。大殿筋においてHEP局面1/3はHFP局面2/3より $p < 0.01$ で有意に小さな値を示した。大腿直筋においてHEP局面1/3はHFP局面3/3より有意に大きな値を示した($p < 0.01$)。大腿二頭筋においてHEP局面1/3はHFP局面1/3, 2/3よりも有意に小さな値を示した。有意水準はHFP局面1/3, 2/3とはともに $p < 0.01$ であった。

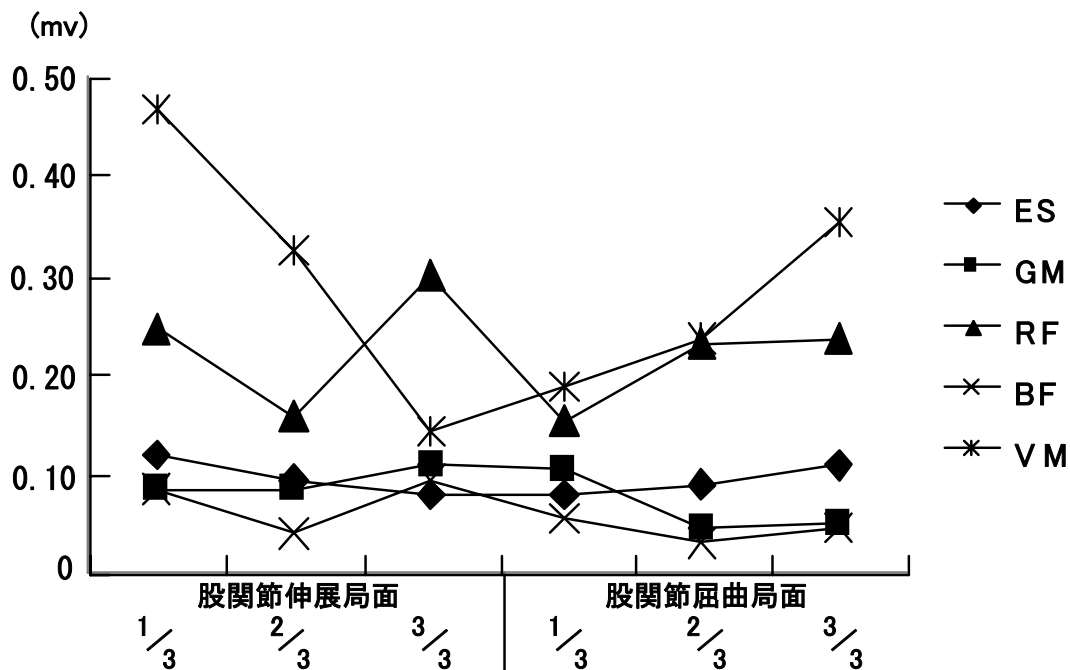


図6-9 パラレル・スクワット (PSQ) におけるRMS値可動域の変化

ES: 固有背筋, GM: 大殿筋, RF: 大腿直筋

BF: 大腿二頭筋, VM: 内側広筋

VM: $p < 0.001$ (HEP3/3) $p < 0.01$ (HFP 1/3, HFP2/3)

HEP: 股関節伸展局面 HFP: 股関節屈曲局面

股関節伸展局面1/3との比較時の有意差

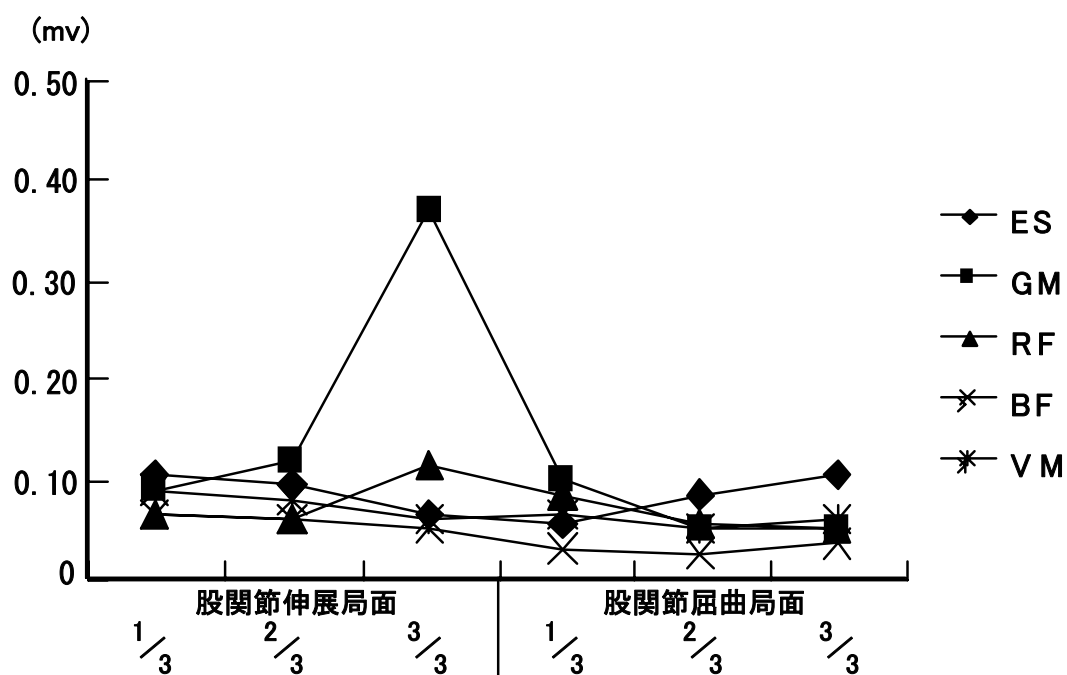


図6-10 ベントオーバー・スクワット (BSQ) におけるRMS値可動域の変化

ES: 固有背筋, GM: 大殿筋, RF: 大腿直筋

BF: 大腿二頭筋, VM: 内側広筋

GM: $p < 0.001$ (HEP3/3)

RF: $p < 0.05$ (HEP3/3)

HEP: 股関節伸展局面 HFP: 股関節屈曲局面

股関節伸展局面1/3との比較時の有意差

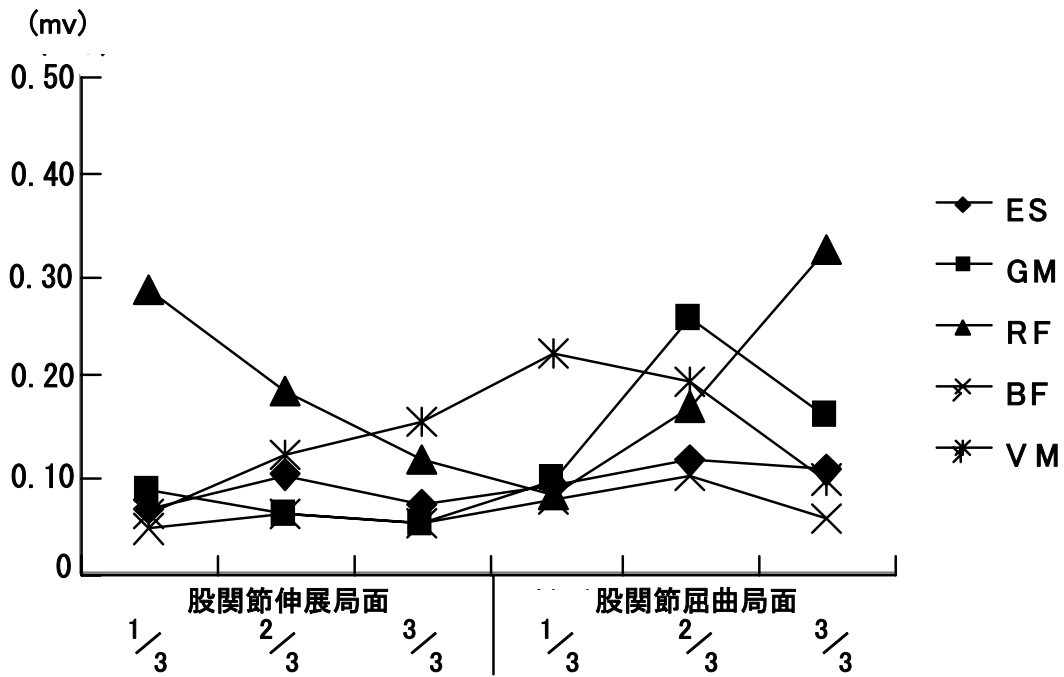


図6-11 コンベンショナル・デッドリフト (CDL) におけるRMS値可動域の変化

ES: 固有背筋, GM: 大殿筋, RF: 大腿直筋

BF: 大腿二頭筋, VM: 内側広筋

ES: $p < 0.01$ (HFP2/3) $p < 0.05$ (HEP2/3, HFP3/3)

GM: $p < 0.01$ (HFP2/3) $p < 0.05$ (HFP3/3)

RF: $p < 0.001$ (HFP1/3) $p < 0.05$ (HEP3/3, HFP2/3)

VM: $p < 0.001$ (HFP2/3) $p < 0.01$ (HFP2/3) $p < 0.05$ (HEP3/3)

HEP: 股関節伸展局面 HFP: 股関節屈曲局面

股関節伸展局面1/3との比較時の有意差

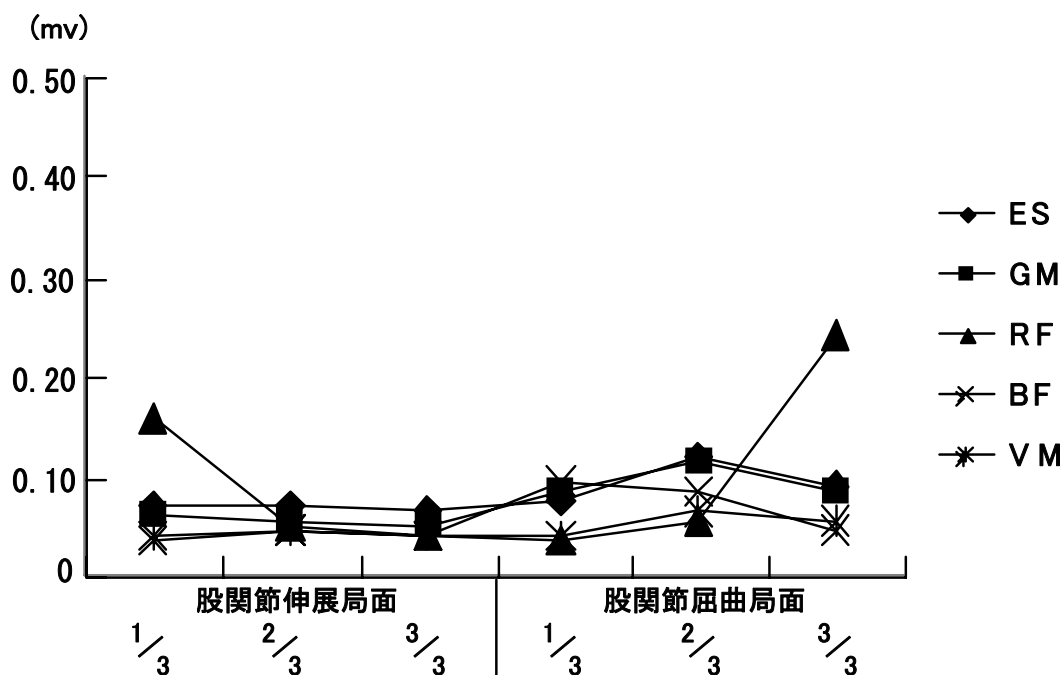


図6-12 スティフレッグド・デッドリフト (SDL) におけるRMS値可動域の変化

ES: 固有背筋, GM: 大殿筋, RF: 大腿直筋

BF: 大腿二頭筋, VM: 内側広筋

ES: $p < 0.01$ (HFP2/3)

GM: $p < 0.05$ (HFP2/3)

RF: $p < 0.05$ (HFP3/3)

BF: $p < 0.01$ (HFP1/3, HFP2/3)

HFP: 股関節伸展局面 HFP股関節屈曲局面

股関節伸展局面1/3との比較時の有意差

6.4 考察

本研究において対象とした、バーベルを担いで立ち上がる時、バーベルを把持して立ち上がる動作は、膝関節と股関節の両関節を用いる多関節運動である。この多関節運動は膝の伸展と股関節の伸展で行われるが、これらの運動に関連する大きな作用筋としては、一般的に膝関節の伸展には大腿直筋、内側広筋、外側広筋および中間広筋、膝関節の伸展には固有背筋、大殿筋および大腿二頭筋などを挙げることができる。したがって、本研究におけるスクワット系やデッドリフト系種目の実施において、一般的には被験筋である固有背筋、大殿筋、大腿直筋、大腿二頭筋および内側広筋の5筋すべてが効果筋として活動すると考えられる。

筋力トレーニング種目に関する指導書によれば、固有背筋は、PSQ, BSQ, CDL およびSDL すべての種目の主働筋とされている。本研究では、以上の4種目間に有意差は見られ

なかった。PSQ, BSQ, CDL および SDL すべての種目において主働筋とされている。本研究では、以上の4種目間に有意差は見られなかった。このことから、4種目間に股関節の可動域の差異はあるにせよ、固有背筋は同程度に活動していると言える。本研究で用いた分析方法は種目間の順位制の解明には適しているがその筋がどの程度の活動をしているのかに関しては言及できないため MVC との比較を行うことが今後の課題と考えられる。

大殿筋に関しては、トレーニングの指導書では BSQ を除く他のすべての種目において効果筋とされている。しかし、BSQ の効果筋に関する報告は Grymkowski によるのみ行われているだけであり、先行の報告が乏しいことは否めないことである。本研究では、PSQ, BSQ, CDL および SDL の4種目間に有意差は見られなかった。このことから、4種目間で大殿筋は同程度に活動していると言える。

大腿直筋に関しては、トレーニングの指導書では PSQ と CDL 種目において効果筋とされている。しかし、いずれの報告においても quadriceps という表現にとどまり、大腿直筋、中間広筋、外側広筋および内側広筋としてのセパレートした形での報告には至っていない。本研究では、PSQ は他のすべての種目より有意に大きな筋活動が観察され、また CDL は SDL より有意に大きな筋活動を示した。大腿直筋は股関節伸展の機能も担うため、BSQ, SDL においても運動に関与していることは確かであるが、膝関節伸展が顕著に見られる PSQ, CDL ほどは活動しないと言える。

大腿二頭筋は、筋力トレーニング種目に関する指導書では、固有背筋と同様に PSQ, BSQ, CDL および SDL すべての種目において主働筋とされている。本研究では、SDL 試行時の筋放電が BSQ 試行時の筋放電よりも有意に大きかった。このことから PSQ, BSQ および CDL の3種目間には筋放電に差がないと言える。SDL と BSQ 間に有意差が観察された理由としては、両種目間に生じる股関節伸展の角度変位の差であると考えられる。

内側広筋に関しては、トレーニングの指導書では PSQ と CDL 種目において quadriceps という表現で効果筋とされている。本研究では、PSQ は他のすべての種目より有意に大きな筋活動が観察され、また BSQ と CDL は SDL より有意に大きな筋活動を示した。内側広筋は膝関節伸展の機能を担うため、股関節伸展のみの SDL において活動が小さくなることは機能解剖学的に妥当なことである。BSQ も股関節伸展が主要な動作となるが、運動には膝関節伸展の要素も含まれることが、この差をもたらしたのであろう。

本研究において、股関節の屈曲局面と伸展局面との比率では、TC 種目の外腹斜筋や大腿直筋のような高い値を示した一部例外はあるが、他はおよそ0.5~0.8の範囲の中に入って伸

展局面の RMS 値の方が高い値を示し、いずれも伸展局面の筋刺激を中心とした種目と考えられる(表 6-2) . この結果は半田らがプル系5種目で比較した結果とも同様の傾向であった. また Wright et al.(1999)のレッグ・カール, スティフレッグド・デッドリフトおよびスクワット種目や, McCaw and Friday(1994)のベンチプレス種目の筋活動における Concentric Phase と Eccentric Phase の比率でもほぼ同様の傾向が報告されている. 本研究では, このような両局面における比率の傾向は可動域における RMS 値変化とも関連しており, その全体的な傾向はHEP局面からHFP局面へと右下がりの変化を示している. したがって, 本研究において実施したバーベルを用いる伝統的なスクワット系やデッドリフト系のトレーニング種目は, HFP局面よりも HEP 局面の効果を重視すべきトレーニング種目であると考えられる.

以上のように, 本研究で実施したスクワット系やデッドリフト系のトレーニング種目において, 固有背筋, 大殿筋, 大腿直筋, 大腿二頭筋および内側広筋に対する筋刺激の度合には明らかな差異が観察された. その結果, 固有背筋と大殿筋は種目間に差異はなく, 大腿直筋ではPSQ, 大腿二頭筋ではSDL, 内側広筋においてはPSQが有効な種目であることが示唆された. 更に, 可動域内のEEP局面とEFP局面との比較では, それぞれの種目において各筋ともに前者の局面において受ける刺激度合いが強く, このような方式の種目はすべて股関節伸展局面の筋刺激を中心とした運動であると示唆された.

6.5 まとめ

フリーウェイト(Barbell)によるパラレル・スクワット(PSQ) , ベントオーバー・スクワット(BSQ) , コンベンショナル・デッドリフト(CDL)およびスティフレッグド・デッドリフト(SDL)のスクワット系とデッドリフト系の筋力トレーニング 4 種目において, 固有背筋, 大殿筋, 大腿直筋, 大腿二頭筋および内側広筋を筋電図学的に分析し, 以下のような結果を得た.

- 1.RMS 値の基準化による比較から, 固有背筋と大殿筋では $PSQ=BSQ=CDL=SDL$ という関係が得られ, 本研究で実施した 4 種目間に差は見られなかった.
- 2.大腿直筋では $PSQ>CDL,BSQ,SDL$ の順となり, PSQ 種目がより高い筋活動を示した. 大腿二頭筋では $SDL>BSQ$ の関係が見られた. 内側広筋では $PSQ>BSQ,CDL,SDL/BSQ>SDL/CDL>SDL$ の順位関係が得られ, PSQ 種目より高い筋活動を示した.
- 3.すべての種目において, 各筋ともに股関節屈曲局面に比べて股関節伸展局面において高い RMS 値を示す傾向が見られ, 本研究において実施した種目は股関節伸展局面の効果を中心とする運動であることが示唆された.

したがって、このような筋活性の結果から本研究で実施したフリーウエイトによるスクワット系とデッドリフト系の4種目において、平行・スクワット種目は大腿直筋と内側広筋、ステイフレッグド・デッドリフト種目は大腿二頭筋のトレーニングにそれぞれより有効な種目であると思われる。

第7章 カーフレイズ系筋力トレーニング種目における腓腹筋、ヒラメ筋の筋電図学的分析

7.1 はじめに

腓腹筋とヒラメ筋の両筋は、下腿後面で浅深の層を形成しているが、腓腹筋が2頭を有することから両筋あわせて下腿三頭筋と称されて共通腱のアキレス腱を通じて踵骨に停止している。機能解剖学的には、2関節筋である腓腹筋には膝関節を屈曲する作用があるものの、両筋の主要な作用は足を足底側に屈し（同時にやや内反する）、または立位において踵を上げることである（森ら、1982）。したがって、これらの2筋は骨格筋の中でも強力な作用を有する筋の一つであって、われわれが運動を行うに際しては重要な働きを担っていることになる。そこで、筋力トレーニングにおいてもこれらの筋は常にトレーニングの対象とされる。

2筋を同時に鍛えるトレーニング種目としてしばしば採用されるのが、立位あるいは坐位において踵を上げたり、足首の底屈動作を繰り返すカーフレイズ (Calf Raise) 系の種目である。フリーウェイトなどを用いる種目としては、スタンディング・カーフレイズやドンキー・カーフレイズが、またトレーニングマシン(Training Machine)を用いる種目としては、シーティッド・カーフレイズやカーフプレスなどの種目がある。これらのトレーニング種目に共通する効果筋としては腓腹筋とヒラメ筋の2筋が示されているが、種目間の差異や姿勢変化などに関する詳細な情報が充分には示されていない (Grymkowski et al., 1984, Yessis, 1992, Norris, 1993, Fahey, 1994,)。

最近、筋力トレーニング種目に関する研究では、姿勢やグリップの異なる種目間差異を筋活動分析から比較検討した筋電図学的報告が見られる。Wright et al. (1999), Boyden et al. (2000) や Pick and Becogue (2000) はスクワット種目やデッドリフト種目に関連して大腿部の筋を分析し、Guimaraes et al. (1991), Sarti et al. (1996), Whiting et al. (1999) や Clark et al. (2003) はシットアップ種目に関連して腹筋を対象に分析している。また、プレス種目に関しては Wagner et al. (1992), McCaw and Friday (1994), Barnett et al. (1995) や半田ら (2002) の報告がある。さらにブル種目に関しても Signorile et al. (2002) や半田ら (2005) が報告している。しかしながら、カーフレイズ系種目に関してはこれまでこのような研究報告はなされて

いない。前述のように、各種目の特異性や姿勢変化が十分に認識されてはならず、それらに関する情報が不足している。そこで、本研究ではフリーウェイト(Barbell)とウェイトバッグおよびマシン(Smith Machine:Nautilus, Leg Press Machine:Nautilus)を用いて行う姿勢の異なる代表的なカーフレイズ系トレーニング種目の4種目において、各種目における腓腹筋とヒラメ筋の筋活動を分析し、種目間の差異と足の姿勢変化による差異を比較検討した。

7.2 方法

7.2.1 被験者

筋力トレーニングに熟練した成人男子10名を被験者とした。被験者は年齢 25.9 ± 5.6 歳、身長 173.1 ± 4.3 cm、体重 74.0 ± 10.1 kgであった。

実験に先立ち、被験者に実験の目的、方法、実験の安全性等について、文書ならびに口頭で説明を行い、実験の内容を十分に理解してもらったうえで同意書を得た。本研究は、早稲田大学スポーツ科学学術院研究倫理委員会の承認を受けて実施された。

7.2.2 トレーニング種目の試技方法

実験の対象としたトレーニング種目は、スタンディング・カーフレイズ(Standing Calf Raise:SDCR)、シーティッド・カーフレイズ(Seated Calf Raise:STCR)、ドンキー・カーフレイズ(Donkey Calf Raise:DCR)およびカーフプレス(Calf Press:CPS)の4種目であった。実験に用いた負荷重量はすべての種目で、下腿に体重の120%の負荷がかかるように設定したが、SDCRでは体重の20%のバーベル、STCRとDCRではそれぞれ体重の60%のバーベル、ウェイトバックを用い、CPSでは体重の120%の負荷がかかるようマシンの重量設定を行った。各種目ともつま先の向きを以下の規定によって平行、内向きおよび外向きの3通りで試行した(図7-1)。

平行(Parallel)―足幅は、腰幅とし、つま先を前方に向け両足を平行にそろえる(図7-1-A)。

内向き(In)―つま先をつけて、踵を外方に向け、両足間の角度を 60° とする(図7-1-B)。

外向き(Out)―踵をつけてつま先を外方に向け、両足間の角度を 60° とする(図7-1-C)。

なお、すべての試技は底屈局面 (Plantar Flexion Phase: PFP) から背屈局面 (Dorsal Flexion Phase: DFP) へと、各局面2秒間合計4秒間で3回繰返された。繰返しのテンポは、験者がストップウォッチを見ながら、被験者に口頭で合図を送ることにより規定された。各種目の方法は以下の通りである(図7-1)。

スタンディング・カーフレイズ(SDCR)

視線を前上方に向け背筋を伸してバーベルを肩上に担ぎ、膝関節を真っ直ぐに伸展した姿勢で床上に立ち、両踵を高く挙上してつま先立つ(図7-1-1)。

シーティッド・カーフレイズ(STCR)

膝関節を90°に屈曲して台上に坐り、スミスマシンのバーを膝上に置き、踵を高く挙上してつま先立つ(図7-1-2)。

ドンキー・カーフレイズ(DCR)

股関節を90°に屈曲させ膝関節を真っ直ぐに伸展した状態でローマンベンチに手をつき上体を前傾させて安定を図りながら、ウエイトバッグを下背部にのせて、踵を高く挙上する(図7-1-3)。

カーフプレス(CPS)

レッグプレスマシンに坐り膝関節を真っ直ぐに伸展した状態で、シーートの固定アームを握り姿勢の安定を図りながら、足関節を90°に屈曲してフットボード下端につま先をのせて、底屈する(図7-1-4)。



1



2



3



4



A



B



C

図7-1 4つのエクササイズとつま先の向き

- | | |
|------------------------|-------------|
| 1: Standing calf raise | A: Parallel |
| 2: Seated calf raise | B: In |
| 3: Donky calf raise | C: Out |
| 4: Calf press | |

7. 2. 3筋電図の導出

被験筋は足関節底屈筋である腓腹筋内側頭, 腓腹筋外側頭およびヒラメ筋の2筋3箇所

とし、すべて右側について皮膚表面電極法により導出した。電極の貼付箇所の同定にあたっては、栢森(1997)の方法を参照した。筋電図導出のための電極および不関電極には、直径8mmの銀塩化銀円盤の皮膚表面電極（小型生体電極，日本光電社製）を用いた。電極の装着にあたっては、筋電図導出部位をアルコール綿と皮膚処理剤（スキンプュアー，日本光電社製）で十分に拭き、各筋腹の中央に2cmの間隔をとり、粘着カラーで固定した。得られた電気信号は、マルチテレメータシステム（WEB-5000，日本光電社製）から、MacLab（MacLab, ADInstruments社製）に送られ、サンプリング周波数1000Hzでデジタル変換され PC（VAIO PCG-9A2N，SONY社製）に記録された。

7.2.4足関節角度の測定

ゴニオメータ（KINETO-ANGLE TRANSDUCER TM-511G，日本光電社製）を足関節の軸と一致するように装着し角度変位を記録した。ゴニオメータのアームは、足関節をまたいで下腿下部と足に固定用のバンドを用いて取り付けられた。得られた電気信号は、筋電図と同様の経路で記録された。

7.2.5測定値の処理と統計分析

筋電図信号は、標準的な1回の波形(図7-2)からゴニオメータとの同期により、各種目においてPFPとDFPの各局面におけるRMS値を算出した。局面における比較には、Whiting et al. (1999)やWright et al. (1999)の方法に従って、各被験者が各被験筋において示した最大の筋放電量をもたらした種目のRMS値を基準値として他の種目のRMS値をその基準値で除すことによる相対値を用いた。

各種目から得られた同一筋におけるRMS値の検定には、一元配置の分散分析を用いた。そして、有意差が認められた場合には、FisherのPLSDの多重比較によって検定した。なお、有意水準は危険率5%未満とした。同一筋における基準値の比較は、統計的にPFPとDFPの両局面間に交互作用が認められなかったため、両局面をまとめて有意差検定を行った。

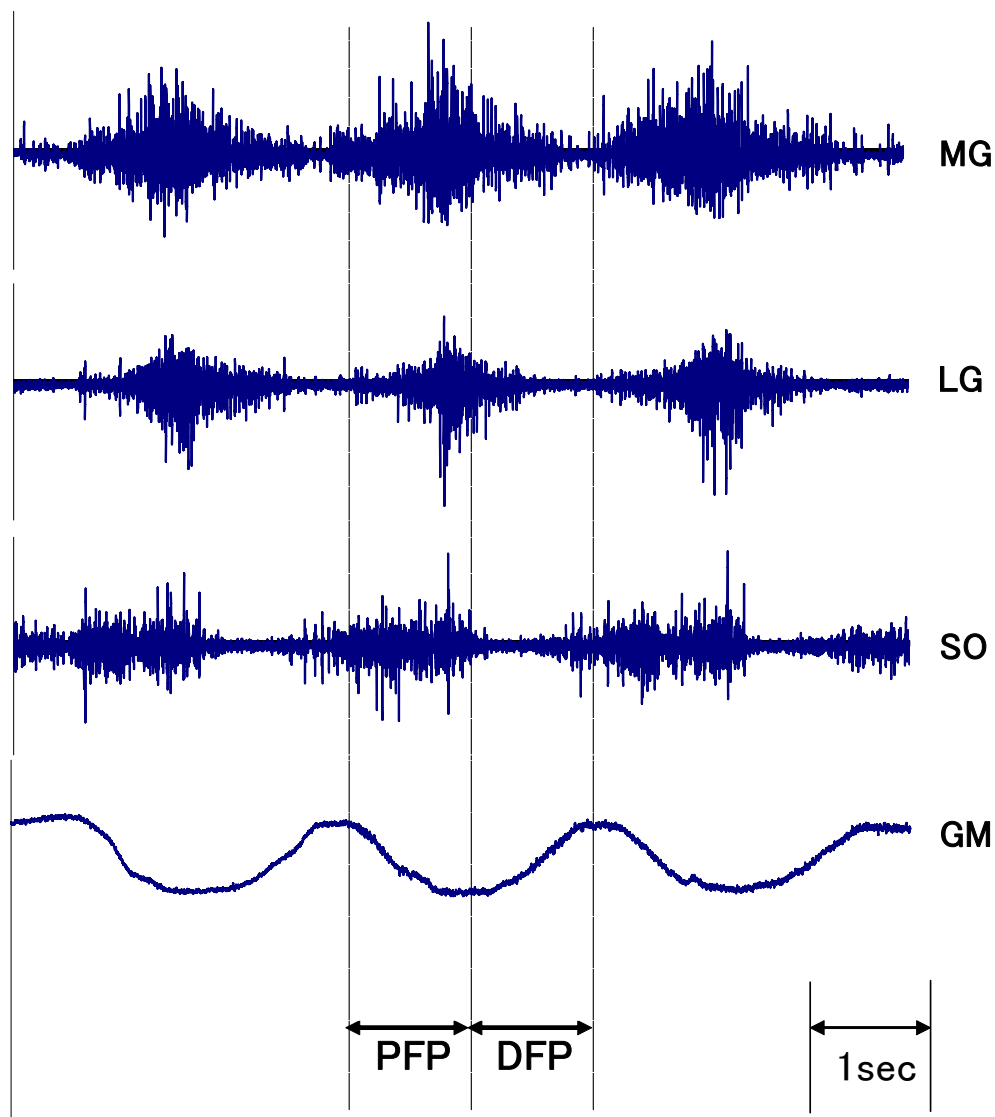


図7-2 スタンディングカーフレイズ(つま先平行)中に得られた筋
ゴニオメータ記録の一例

PFP:Plantar Flexion phase , DFP:Dorsal Flexion phase
MG:(Medial Gastrocnemius) ,LG(Lateral Gastrocnemius)
SO:(Soleus) , GM:(Goniometer)

7.3 結果

腓腹筋内側頭においては、つま先の向きが平行、内向きおよび外向きに関係なくカーフレイズ試行様式による共通した傾向を示した。スタンディング・カーフレイズ、ドンキー・カーフレイズおよびカーフプレスはシーテッド・カーフレイズよりも有意に大きい筋放電をもたらした ($p < 0.01 \sim 0.001$, 図7-3)。腓腹筋外側頭とヒラメ筋は、つま先の向きが平行、内向きおよび外向きを問わず試行様式による有意差は見い出されな

った(図7-4.5).

さらに、つま先の向きが筋活動に及ぼす影響を明らかにするため、各筋において同一種目内でのつま先平行(Parallel), 内向き(In)および外向き(Out)での比較を行った(図7-6.7.8).

腓腹筋内側頭では、ドンキー・カーフレイズにおいてつま先平行とつま先外向きはつま先内向きよりも有意に大きい筋放電が得られた ($p < 0.05$, 図7-6). 腓腹筋外側頭とヒラメ筋においてはつま先の向きによる筋放電の有意差は見出されなかった(図7-7.8).

PEP局面とDFP局面の比較のために、各筋について種目ごとにPEP局面に対するDFP局面の比率を計算した。つま先平行, 内向きおよび外向きのすべての条件について算出したが類似傾向を示したため、つま先平行 (Parallel) 条件のみを表に示した (表7-1) .

腓腹筋内側頭では 0.64~0.68, 腓腹筋外側頭では 0.58~0.68, ヒラメ筋では 0.54~0.66 という値であった。特に低い値を示したのは、カーフプレスにおけるヒラメ筋 (0.54) であった。一方、高い値を示したのはスタンディング・カーフレイズにおける腓腹筋内側頭と外側頭でそれぞれ 0.68 であった。

表7-1 カーフレイズ系4種目におけるRMSの背屈/底屈比

integrated EMG muscle activity for the medial gastrocnemius, lateral gastrocnemius and soleus during the standing ,seated, donky calf raise and calf press .(parallel)

Muscle	Standing calf raise	Seated calf raise	Donky calf raise	Calf press
Medial gastrocnemius				
Dorsal Flexion Phase	0.560 ± 0.119	0.276 ± 0.115	0.506 ± 0.102	0.465 ± 0.174
Plantar Flexion Phase	0.821 ± 0.182	0.433 ± 0.197	0.783 ± 0.132	0.723 ± 0.182
DFP/PFP ratio	0.68	0.64	0.65	0.64
Lateral gastrocnemius				
Dorsal Flexion Phase	0.505 ± 0.226	0.442 ± 0.181	0.471 ± 0.147	0.42 ± 0.155
Plantar Flexion Phase	0.748 ± 0.269	0.724 ± 0.227	0.739 ± 0.265	0.725 ± 0.247
DFP/PFP ratio	0.68	0.61	0.64	0.58
Soleus				
Dorsal Flexion Phase	0.486 ± 0.147	0.485 ± 0.153	0.460 ± 0.124	0.419 ± 0.124
Plantar Flexion Phase	0.825 ± 0.147	0.738 ± 0.198	0.796 ± 0.144	0.77 ± 0.15
DFP/PFP ratio	0.59	0.66	0.58	0.54

DFP/PFP ratio : dorsal flexion phase/plantar flexion phase ratio

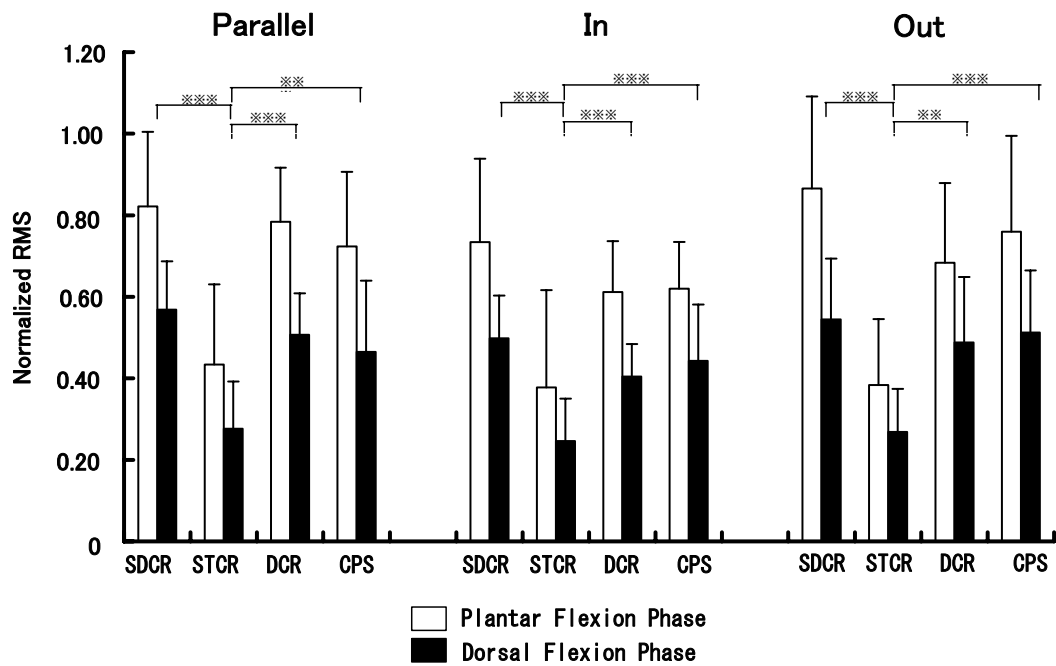


図7-3 腓腹筋内側頭におけるRMS

※ p<0.05, ※※ p<0.01, ※※※ p<0.001

SDCR: Standing Calf Raise, STCR: Seated Calf Raise
DCR: Donky Calf Raise, CPS: Calf press

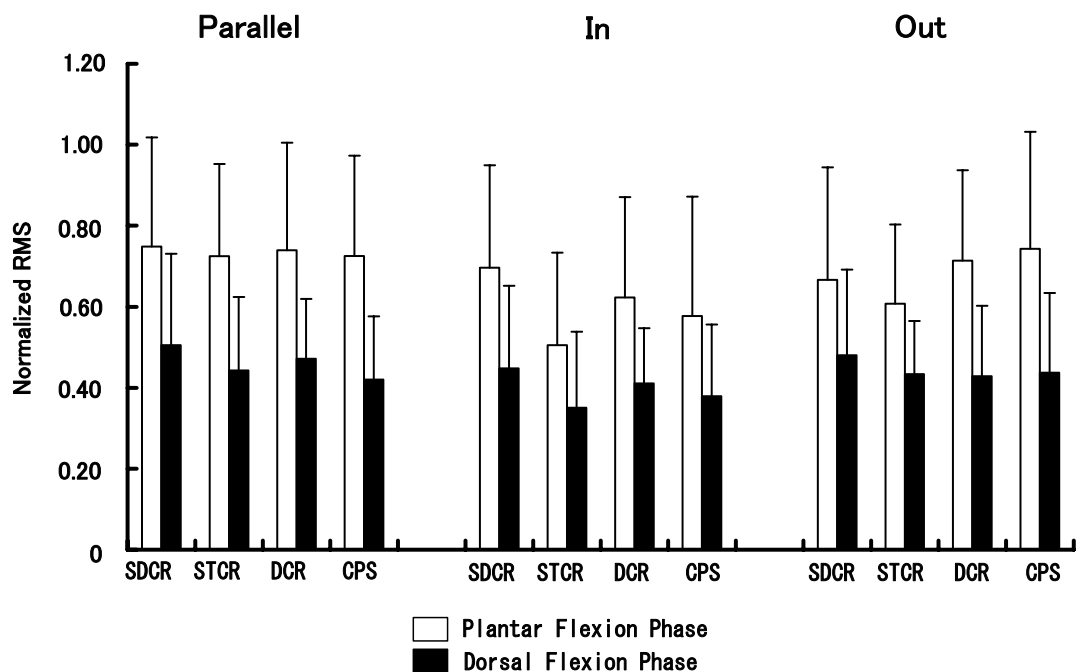


図7-4 腓腹筋外側頭におけるRMS

SDCR: Standing Calf Raise, STCR: Seated Calf Raise
DCR: Donky Calf Raise, CPS: Calf press

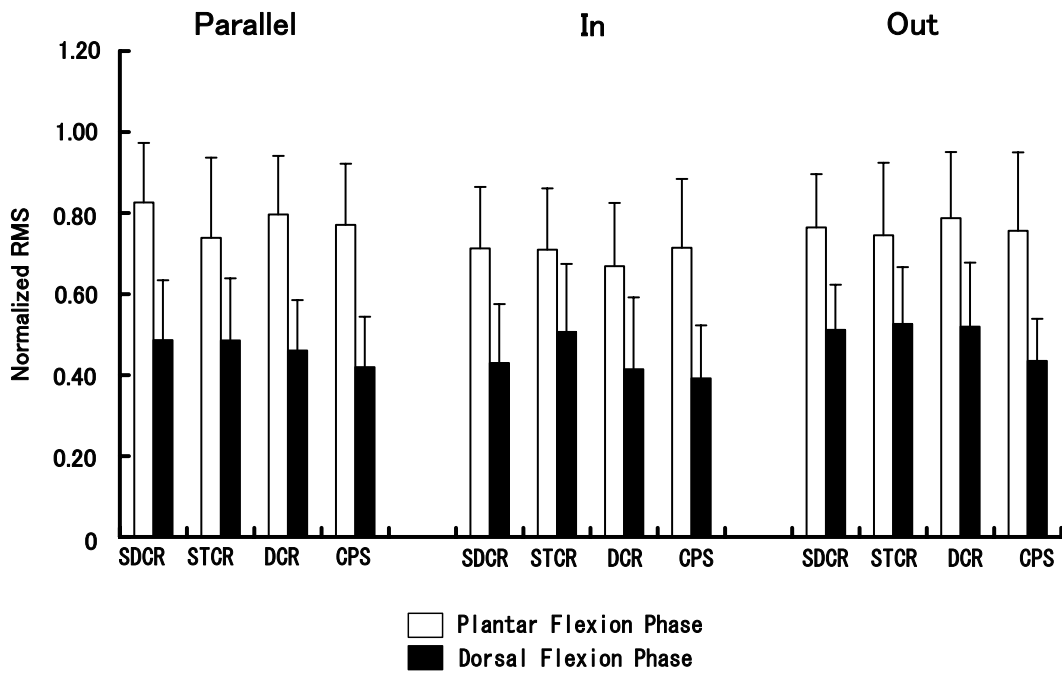


図7-5 ヒラメ筋におけるRMS
 SDCR: Standing Calf Raise, STCR: Seated Calf Raise
 DCR: Donkey Calf Raise, GPS: Calf press

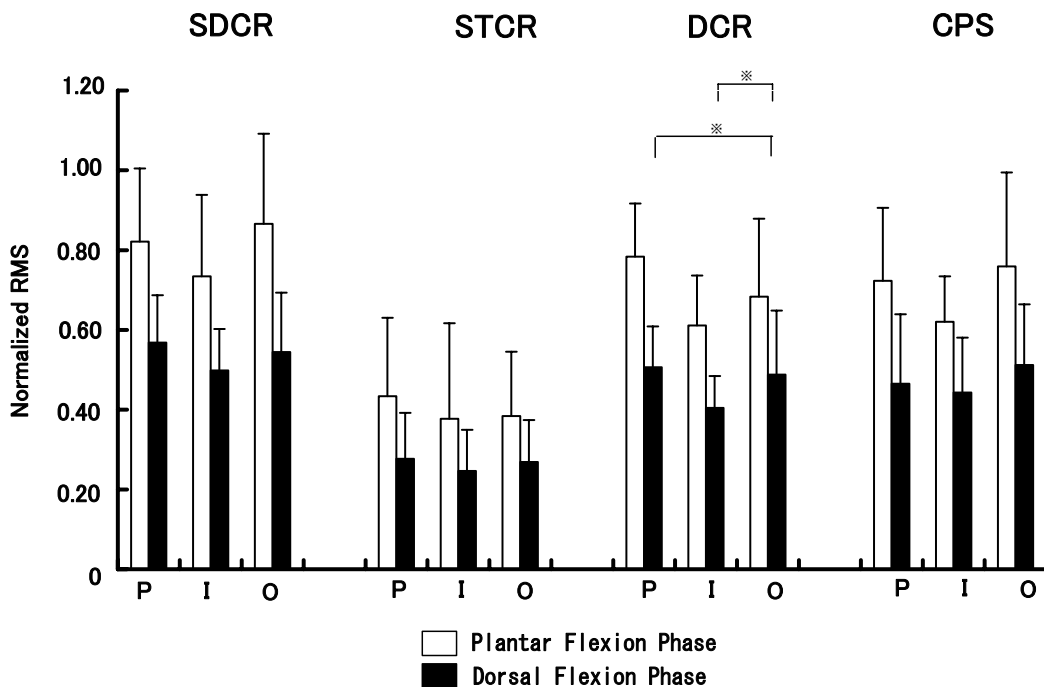


図7-6 腓腹筋内側頭におけるRMS
 SDCR: Standing Calf Raise, STCR: Seated Calf Raise
 DCR: Donkey Calf Raise, GPS: Calf press
 foot direction
 P: parallel, I: in, O: out
 * p < 0.05, ** p < 0.01, *** p < 0.001

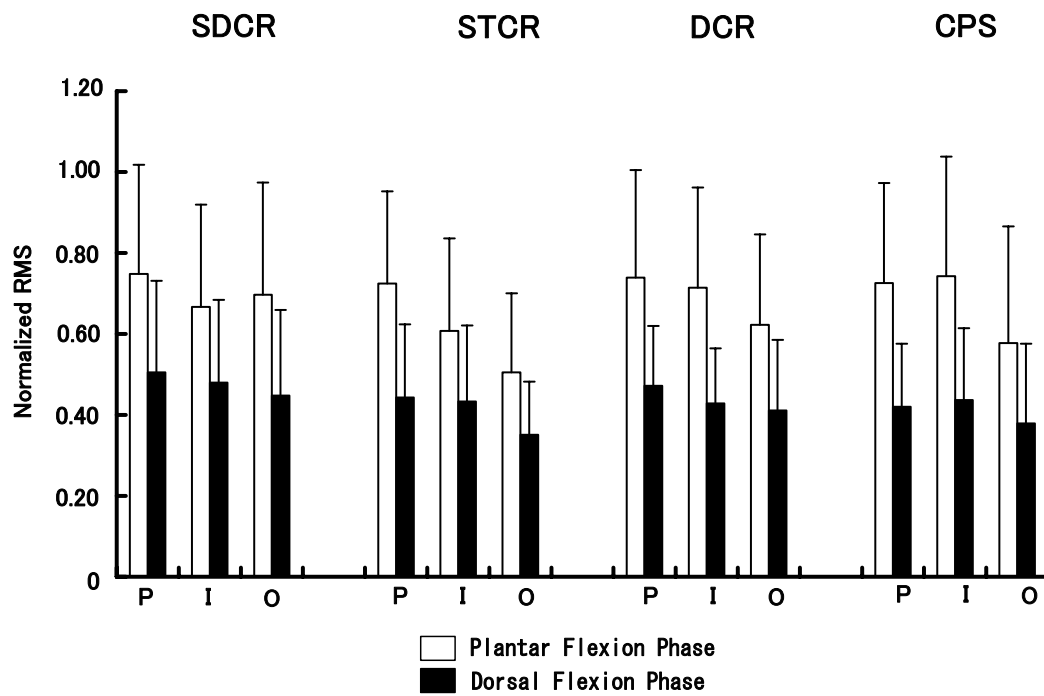


図7-7 腓腹筋外側頭におけるRMS
 SDCR : Standing Calf Raise , STCR : Seated Calf Raise
 DCR : Donky Calf Raise , CPS : Calf press
 foot direction
 P:parallel , I:in , O:out

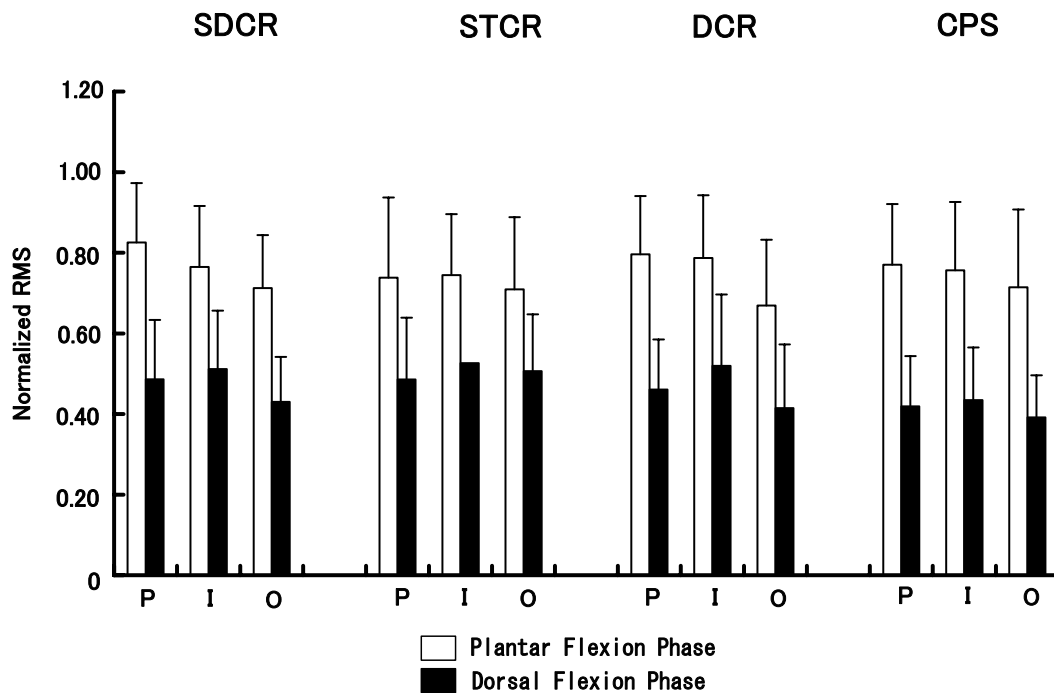


図7-8 ヒラメ筋におけるRMS
 SDCR : Standing Calf Raise , STCR : Seated Calf Raise
 DCR : Donky Calf Raise , CPS : Calf press
 foot direction
 P:parallel , I:in , O:out

7.4 考察

一般的につま先立ちになるとか、つま先を前方に伸すという底屈の動作では、腓腹筋(Gastrocnemius)とヒラメ筋(Soleus)によって構成される下腿三頭筋(Triceps surae)が主動筋と考えられる(森ら, 1982)。したがって、われわれが立つとか跳躍するというような動作において、この筋は常に体を支える抗重力筋として最も重要で強力な働きをする筋の一つであり、筋力トレーニングにおいても常に強化の対象とされ、その効果的なトレーニングが重要なテーマとなる。

下腿三頭筋を構成する2筋は停止部では踵骨腱という共同腱で踵骨に付着しているが、起始部ではヒラメ筋が下腿骨から起始しているのに対して、腓腹筋は大腿骨から起始しており2関節筋として膝関節と足関節に関係している。本研究ではこのような下腿三頭筋の構造上の特徴を考慮して、立位・座位・中間位や、膝関節に対しては屈曲位・伸展位など姿勢に変異のある4種目を実施した。その結果、腓腹筋内側頭のみにおいて、膝屈曲姿勢のSTCRに対して他のSDCR,DCR,CPSの3種目は大きな筋放電を示した。これはつま先の向きには関係なく、すべて同様の傾向であった。他の腓腹筋外側頭及びヒラメ筋には種目間による差は見

られなかった(Figs.3~5).

Grymkowski et al.(1984),Norris(1993),James et al.(1995), Bean(1997)および マッスル・アンド・フィットネス・ジャパン(2000)は膝関節伸展位でのカーフレイズやドンキー・カーフレイズ、カーフ・プレスの主働筋を腓腹筋, 膝関節屈曲位でのシーテッド・カーフレイズの主働筋をヒラメ筋としている. また Yessis(1992)も腓腹筋は膝を伸展した種目で効果的であり, 膝を曲げると関与が少なくなり, ヒラメ筋により大きなストレスがかかると記載している. これらの記載は, 膝関節屈曲位姿勢でのカーフレイズでは腓腹筋に対する刺激強度は低下するという点で本研究結果と一致している. しかし, 本研究では腓腹筋筋活動の種目間差異は内側頭においてのみ見られ, 外側頭にはそのような差異は見られなかった(Figs.3,4) . 同じ筋であっても腹直筋のように比較的によく細長い筋では部位によって筋活動に差が見られるとの報告があるが(Clark et al.,2003) , 腓腹筋の両頭に関してはそのような報告は見当たらない. 従来, 腓腹筋は代表的な白筋線維比率の高い筋とされているが(森ら, 1982), 今回の実験では比較的低い負荷を用いて行っているため, その問題は今後, 高負荷によるデータ収集による検討も必要であると考えられる.

さらに腓腹筋の内側頭と外側頭に対するトレーニング効果の差異に関しては, つま先の向きの違いによる種目内差異としての記載が見られる. Grymkowski et al.(1984)や Fahey(1994)はつま先の向きをいろいろ変えて異なった部位をトレーニングするとし, Bean(1997)は 45° つま先を外側に向けると腓腹筋の内側頭により効果的であり, 逆に 45° 内側に向けると腓腹筋の外側頭により効果的であると述べている. しかしながら, Hatfield(1984)は, 従来から多くのボディービルダーが腓腹筋への満遍ない刺激を狙ってそのトレーニング方法としてつま先の向きに変化をもたせた実施をしていることに対して, 機能解剖学的にはそれよりもむしろ深層の協力筋である長指屈筋(Flexor digitorum longus)や後脛骨筋(Tibialis posterior)への効果が考えられると否定的な見解を示している.

本研究から得られた結果では, 腓腹筋内側頭においてドンキー・カーフレイズ種目のみに, つま先平行とつま先外向きはつま先内向きよりも有意に大きな筋放電が得られた(Fig.6).

しかしながら, 腓腹筋内側頭でもその他の種目に差はなく, また腓腹筋外側頭やヒラメ筋にはすべての種目においてもつま先の向きによる差異は見られなかった(Figs.6~8) . このようなことから, 一部前記の記載に類似する傾向は見られるものの, 全体的にはつま先の向きによる影響はほとんどないものと考えられる. したがって, 実践的には種目に適当な変異をつけて実施することは必要であると考えられるが, つま先の向きにはあまり拘泥しないで,

むしろ快適な向きで実施することが望まれる。マッスル・アンド・フィットネス・ジャパン(2000)は、つま先を極端に内側あるいは外側に向けて動作を行うことは、股関節、膝関節および足関節に傷害をもたらす危険性があるとの懸念を示している。そのため、つま先を正面もしくはやや外側に向けての実施を奨励している。

腓腹筋内側頭と外側頭の筋活動差やつま先の向きとの関係に関しては、今後 Hatfield(1984)が言っているように深層の協力筋の働きや、高負荷によるデータ収集や関節運動との関係を精査し、また障害予防の観点からも検討される必要がある。

筋活動の屈曲局面と伸展局面の関係に関しては、Wright et al. (1999)は 75%1RM でレッグ・カール、スティッフレッグド・デッドリフトおよびスクワット種目実施時の半腱様筋と大腿二頭筋の筋電波形を分析して、Concentric phase と Eccentric phase 両局面の比率が前2種目では 61~71%、後の種目では 74~86%と報告している。本研究では、全体的には前記種目より低い比率であると言える(Table1)。McCaw and Friday (1994)の 60%と 80%1RM を用いた研究では、ベンチプレス種目における上腕二頭筋の比率が 100%を超えているが、本研究では 100%を超える値は観察されず 54~68%の範囲であった。したがって、本研究で実施したカーフレイズ系種目のトレーニングは同一負荷を課せば、他の筋力トレーニング種目と比較すると、屈曲(背屈)運動よりも伸展(底屈)運動における筋活動が相対的に大きくなると考えられる。

以上のように、カーフレイズ試行時の腓腹筋とヒラメ筋の筋活動を定量化することにより本研究で取り上げた 4 つのトレーニング種目の特徴が明らかになった。カーフレイズ試行時の膝関節角度の取り方は腓腹筋とヒラメ筋の筋活動に大きな影響を及ぼす。そのため下腿三頭筋をトレーニングする際には膝関節伸展位と膝関節屈曲位の 2 つをバランスよく実施することは肝心なことである。つま先の向きに関しては、平行、内向き、外向きのいずれで試行しても腓腹筋の両頭に対する効果では大差はないものと考えられる。

7.5 まとめ

一般に下腿三頭筋をトレーニングする種目とされているカーフレイズ系種目、スタンディング・カーフレイズ、シーティッド・カーフレイズ、ドンキー・カーフレイズおよびカーフプレスの 4 種目について、筋力トレーニングに熟練した成人男子 10 名を被験者に腓腹筋内側頭、腓腹筋外側頭およびヒラメ筋を筋電図学的に分析し、以下のような結果を得た。

1. 腓腹筋内側頭においては、つま先の向きに関係なく膝関節伸展位で行うスタンディング・

カーフレイズ, ドンキー・カーフレイズおよびカーフプレスは膝関節屈曲位で行うシーテッド・カーフレイズよりも有意に大きい放電をもたらした. 腓腹筋外側頭とヒラメ筋においては, つま先の向きに関係なく試行様式による有意差は見い出されなかった.

2. 腓腹筋内側頭では, ドンキー・カーフレイズにおいてつま先平行とつま先外向きはつま先内向きよりも有意に大きい筋放電が得られたが, その他の種目間には差は見られなかった. また腓腹筋外側頭とヒラメ筋ではすべての種目においてつま先の向きによる差は見られなかった.
3. 局面の比較から各筋ともに背屈に比べて底屈において高い値を示す傾向が見られた.

第8章 総合討論

8.1 プレス系トレーニング種目における三角筋, 上腕三頭筋, 大胸筋および前鋸筋の筋電図学的分析

本章では、本研究において筋電図学的分析法によって行った体幹や体肢の運動に重要な働きをする諸筋について、代表的な種々のトレーニング種目における主働筋(Agonist)を中心とした筋活動を比較検討するとともに、それらが筋力トレーニングの実践にどのように関連するか、また本研究の問題点や課題についても検討する。

まず、本研究で実施したプレス系のトレーニング種目の効果筋として、筋力トレーニングに関する多くの指導書では三角筋や上腕三頭筋, 大胸筋および前鋸筋が挙げられている。本研究の結果から、前部三角筋はバックプレス(BP)やフロントプレス(FP)において、すなわち体幹に傾斜をつけない方がより刺激を受けることが明らかになった。また、中部三角筋に関しても、前部三角筋の場合と同様の傾向が示された。このことは、Gold's Gym(1984)や Laura and Dutton (1993)の記載と一致している。さらに、Barnett et al.(1995)はベンチプレス種目でベンチの角度を変えた実験を行い、前部三角筋では角度が垂直になるに従って筋活動が高くなると、同様の結果を報告している。

後部三角筋および上腕三頭筋に関しては、種目間に有意差は見られなかった。また本研究における三角筋や上腕三頭筋には、ワイド・ベンチプレス(WB)とナロー・ベンチプレス(NB)間の筋活動に差は見られず、手幅の違いによる影響は見られなかった。したがって、これらの筋にはプレス種目における姿勢の角度変化や手幅の変化による影響はほとんどないと考えられる。

本研究におけるプレス系種目の筋活動の局面変化では、特にインクライン・ベンチプレス(IB)と FP において、前部三角筋の筋活動はバーベル上昇局面で高くなるが、その最終段階では低下したのに対して、上腕三頭筋は逆にバーベル上昇局面の最終段階にかけて高くなるという特異的傾向を示した。中部三角筋は、NB と FP においては、上腕三頭筋と同様の傾向であった。マッスル・アンド・フィットネス・ジャパン(2000)は、シーテイドプレスの正しいフォームとして、完全伸展位で肘を固定しないように記載しているが、本研究ではあくまでも全関節可動域での試行を意識させたために、完全伸展位での肘の固定が起こっていたのかも知れない。しかし、実際のトレーニングでは、シーテイドプレスのような上体を垂直に保って行う

種目においてはバーベルを最終段階までしっかりと押し上げ、三角筋の中部や上腕三頭筋への刺激を強めることも必要であろう。

大胸筋鎖骨部の筋放電に関しては、本研究の結果では、フラットベンチプレス(FBP)とデクラインベンチプレス(DBP)においてインクラインベンチプレス(IBP)よりも有意に大きな筋放電が見られた。これは、Barnett et al.(1995)による、大胸筋鎖骨部の強化のために特にIBPを用いることはあまり意味のないことであるとの報告と一致する。すなわち、体幹に傾斜をつけないFBPにおいて大胸筋鎖骨部も十分な筋活動が得られると考えられる。

本研究では大胸筋胸肋部に関しても、大胸筋鎖骨部と同様に、FBPとDBPが有意に大きい筋放電をもたらした。この結果は、フラット種目が最も有効であるとしたBarnett et al.(1995)の報告とは少し異なるが、しかしIBPが大胸筋の筋活動を高めるための種目として適さないという点では共通している。したがって、大胸筋では鎖骨部と胸肋部ともに、FBPが最も効果的にそれらの筋活動を高めると言える。実践現場においては、現在でも大胸筋鎖骨部に対してはIBP、大胸筋胸肋部に対してはDBPがより有効であると言われているが、筋活動の分析結果からこれは適切ではないことになる。上体を下にしたデクライン姿勢は不安定な姿勢で危険を伴いやすいこともあるので、特にトレーニング経験の少ない者の大胸筋のトレーニングには、安定した姿勢が保てるFBPが最も適していると言えるであろう。

前鋸筋に関しては、本研究では、FBPとIBPが大きな筋放電をもたらした。トレーニング指導書においては、Laura and Dutton(1995)が前鋸筋をベンチプレスにおける主働筋の一つとして挙げており、またMicheal et al.(1999)は、Push-up plusやDynamic hugなどの種目において前鋸筋の筋活動が高いことを報告している。Push-up plusは、姿勢上ではフラットベンチプレスと類似している。したがって、水平位あるいは上体をより上方に起こした姿勢でのベンチプレスが前鋸筋の筋活動を高めるにはより有効であるということになる。

以上のように、フリーウェイト(バーベル)を用いたプレス系トレーニング種目における筋活動の分析結果から、実践的に三角筋(全部、中部)や上腕三頭筋、大胸筋、前鋸筋のトレーニングには、まず比較的姿勢の安定が保てるフラットベンチプレスとインクラインベンチプレスの2種目が有効であると言える。そしてさらに経験が豊富になれば、特に三角筋を効果的に刺激するためにはフロントプレスやバックプレスを取り入れるのが得策であると思われる。

8.2 プル系トレーニング種目における上腕二頭筋、広背筋および僧帽筋の筋電図学的分析

筋力トレーニング種目に関する多くの指導書では、上腕二頭筋は、ベントオーバー・ローイング(BR)やラット・プルダウン(LP)においては主働筋とされているのに対して、アップライト・ローイング(UR)やシーティッド・ローイング(SR)では補助筋とされている。しかし、本研究では、上腕二頭筋の筋活動はURとLPf(フロント)の2種目において有意に大きかった。上腕二頭筋は橈骨に停止していることから、機能解剖学的には肘の屈曲とともに前腕の回外にも貢献することになる。UP や SR では手幅を比較的狭くしていることから回外の方向に緊張しながら肘を屈曲していることが考えられる。

従来、広背筋に関しては、UR を除く他のすべての種目において効果筋とされている。本研究でもURは他のすべての種目に対して有意に低かった。この結果は、従来の指導法と同様に、アップライト・ローイング種目は広背筋のトレーニング種目として適当ではないことを示唆している。Signorile et al.(2002)はLP 種目においてハンドルの握りの違いによる効果について筋電図法により分析し、広背筋のトレーニングには LPb(バック)より LPfの方がより効果的であると報告している。しかし、本研究結果では両種目間に差は見られなかった。

僧帽筋に関しては、UR, BR および SR の3種目において効果筋として挙げられている。本研究では、僧帽筋の上部ではURとBRの2種目が有意に高いRMS値を示した。また中部に関してはSRとURの間には有意差が見られなかった。したがって、僧帽筋上部にはURとBR, 中部にはUR, BR および SR, 下部にはBRがそれぞれより有効なトレーニング種目であることを示唆している。

このように、本研究で実施したフリーウェイト(バーベル)とマシンを用いたプル系トレーニング種目において、上腕二頭筋、広背筋、僧帽筋上部、僧帽筋中部および僧帽筋下部に対する筋刺激の度合には明らかな差異が観察された。その結果、上腕二頭筋ではURとLPf、広背筋ではLPb, LPfおよびSR, 僧帽筋上部においてはURとBR, 僧帽筋中部にはBRとSR, また僧帽筋下部にはBRが有効な種目であることが示唆された。

したがって、ベントオーバー・ローイングとラット・プルダウンの2種目が僧帽筋や広背筋、上腕二頭筋すべてに最も有効なトレーニング種目であることが示唆された。しかし、ベントオーバー・ローイングは上体の前傾姿勢の保持が腰に対する負担を増すことから、実際のトレーニングにあたってはワンアーム・ローイングのようなそれを軽減して行う方法を取るとか、特に初心者では姿勢に十分に注意して行う必要があると思われる。またアップライト・ローイン

グ種目は、上腕二頭筋と僧帽筋上部には刺激効果をもたらすが、広背筋を刺激するには効果的でないことが明らかとなった。

8.3 腹部トレーニング種目における腹直筋上部,腹直筋下部,外腹斜筋および大腿直筋の筋電図学的分析

本研究で対象としたシットアップ系とレッグレイズ系のトレーニング種目に関しては、代表的な指導書はいずれも腹直筋と腹斜筋を共通の効果筋として挙げている。本研究では、腹直筋上部、下部ともにローマンベンチ・シットアップ(RSU)とサポート・レッグレイズ(SLR)の両種目において RMS 値が他の種目より有意に高い値を示した。腹直筋上部ではこれらの両種目の次に高い値を示したのはトランクカール(TC)であった。したがって、腹直筋上部、下部ともに RSU と SLR の両種目において効果的な刺激が得られ、また TC 種目は腹直筋下部においてもベントニー・シットアップ(BSU)やレッグレイズ(LR)より高い筋活動が見られることから、これらの種目に次いで腹直筋のトレーニングには有効な種目であることが示唆される。

外腹斜筋は、SLR と RSU 次いでツイステイング・シットアップ(TSU)の RMS 値が高かった。TSU は回旋運動を伴う上体起こしであるので、外腹斜筋には当然強い働きが求められる。しかし、SLR と RSU は、股関節の屈曲時と伸展時にそれぞれ強い負荷がかかり、すべての腹筋に大きな筋活動を生じることが推測される。また RMS 値が最小を示したのは TC においてであった。TC は胸郭をわずかに曲げるといふ TC 種目の可動域の小ささに原因があるのではないかと考えられる。

大腿直筋に関しては、腹直筋と同様に RSU と SLR の両種目において高い値が見られた。Fahey and Hutchinson(1992)は、大腿直筋をレッグレイズ(LR)と SLR における効果筋の一つとしている。Axler (1997)は、腹筋強化種目試行時の腰椎ストレスを考慮してその安全性を検討し、本研究での SLR と類似する Hanging Leg Raise において腹直筋、外腹斜筋の大きな活動を認めているが、同時に腸腰筋の活動レベルも高くなることから、この種目の実施には疑問符を投げかけている。また、Juker et al. (1997)や Andersson et al. (1997)は、腰筋(Psoas)や大腿直筋の筋活動が TC において低いことを報告している。したがって、TC 種目とは対照的に、RSU や SLR の種目では運動中股関節の屈曲運動に相当の負荷がかかり、大腿直筋とともに大腰筋(Psoas Major)の活動を誘発し腰椎への負担が増すことが考えられる。

このように、本研究で取り上げた腹筋強化を目的とした7つの徒手によるトレーニング種目の中では、RSU と SLR の両種目はすべての筋の筋活動において高い値を示した。他の5種

目は仰臥姿勢をとっているのに対して、これらの2種目では上半身と下半身が常に重力に抗して挙上運動を行っているため、自重の負荷がより強く作用しているものと推測される。しかし、前述したように、股関節屈曲に関する筋活動において、大腿直筋とともに大腰筋の活動も大きくなることが考えられ、大腿直筋の活動の大きさは腰椎への負担増と直結することが推察される。したがって、これらの2種目は腹筋に強い刺激を与えることが可能な種目であるので、熟練者による腹筋強化種目としては望ましいが、筋発達が十分でない初心者にはあまり奨励できない種目と言える。さらに熟練者であっても腰痛に対する予防の観点から、継続的な実施にあたっては負荷の強さやトレーニング量などに十分に配慮することが望まれる。

以上のように実践的には、トランクカールでは腹直筋において、ツイステイング・シットアップでは外腹斜筋において比較的大きな筋活動が見られたことから、これらの両筋は両種目における効果筋として位置づけられるばかりでなく、またこれらの両種目は大腿直筋の活動レベルが低く腰椎への負担も低いことから、腹筋強化のベーシックプログラムとして特に初心者には奨励されるトレーニング種目であると言える。腹直筋と外腹斜筋の筋活動がもっとも大きかったローマンベンチ・シットアップとサポート・レッグレイズは、上級者向けの種目であり、腰椎への負担が大きいことから、過度なトレーニングを避けるなど実施に当たっては十分な注意が必要であろう。

8.4 スクワットとデッドリフト種目における固有背筋、大殿筋、大腿直筋、大腿二頭筋および内側広筋の筋電図学的分析

固有背筋は、筋力トレーニング種目に関する多くの指導書では、パラレル・スクワット(PSQ)、ベントオーバー・スクワット(BSQ)、コンベンショナル・スクワット(CDL)およびスティフレッグド・デッドリフト(SDL)すべての種目において主働筋とされている。本研究では、以上の4種目間に有意差は見られなかった。このことから、4種目間に股関節の可動域の差異はあるにせよ、固有背筋は同程度に活動していると言える。

大殿筋に関しては、BSQの効果筋に関する報告はGrymkowski et al.(1984)の記載に見られるのみである。本研究では、PSQ、BSQ、CDLおよびSDLの4種目間に有意差は見られなかった。このことから、固有背筋と同様に、4種目間で大殿筋は同程度に活動していると言える。

大腿直筋に関しては、トレーニングの指導書ではPSQとCDL種目において効果筋とされているが、いずれの報告においても大腿四頭筋(Quadriceps)という記載にとどまっている。本

研究では、PSQ は他のすべての種目より有意に大きな筋活動が観察され、また CDL は SDL より有意に大きな筋活動を示した。大腿直筋は股関節伸展の機能も担うため、BSQ, SDL においても運動に関与していることは確かであるが、膝関節伸展が顕著に見られる PSQ と CDL ほどは活動しないと考えられる。

従来、大腿二頭筋は、固有背筋と同様に、PSQ, BSQ, CDL および SDL すべての種目において効果筋とされている。本研究では、SDL 試行時の筋放電が BSQ 試行時の筋放電よりも有意に大きかった。PSQ, BSQ および CDL の 3 種目間には筋放電に差が見られなかった。SDL と BSQ 間に見られた有意差は、SDL では股関節の可動域が特に大きく、両種目間に生じる股関節伸展の角度変位の差によると考えられる。

内側広筋に関しては、既に述べたように、トレーニングの指導書では PSQ と CDL 種目において区別しないで大腿四頭筋(Quadriceps)という記載で効果筋とされている。本研究では、PSQ は他のすべての種目より有意に大きな筋活動が観察され、また BSQ と CDL は SDL より有意に大きな筋活動を示した。内側広筋は膝関節伸展の機能を担うため、股関節伸展のみの種目である SDL において活動が小さくなることは機能解剖学的に妥当なことである。BSQ も股関節伸展が主要な動作となるが、運動には膝関節伸展の要素も含まれることが、この差をもたらしたものと推測される。

以上のように、実践的には固有背筋と大殿筋は本研究で実施した 4 種目すべてにおいて効果的な筋刺激が可能であると考えられ、また大腿直筋や内側広筋はパラレル・スクワットにおいて、大腿二頭筋はスティフレッグド・デッドリフトにおいてそれぞれ効果的な筋刺激が得られると考えられる。したがって、従来一般的に行われているように、本研究で対象とした諸筋のトレーニングでは、まず比較的膝や腰に負担の少ないパラレル・スクワットを主体とし、経験を積むにしたがってスティフレッグド・デッドリフトやコンベンショナル・デッドリフトを取り入れるという方法がより適切であろうと思われる。

8.5 カーフレイズ系トレーニング種目における腓腹筋、ヒラメ筋の筋電図学的分析

Grymkowski et al.(1984), Norris(1993), James et al.(1995), Bean(1997) および マッスル・アンド・フィットネス・ジャパン(2000)は、膝関節伸展位でのカーフレイズやドンキー・カーフレイズ、カーフ・プレスの主働筋を腓腹筋、膝関節屈曲位でのシーティッド・カーフレイズの主働筋をヒラメ筋としている。また Yessis(1992)も腓腹筋は膝を伸展した種目で効果的であり、膝を曲

げると関与が少なくなり、ヒラメ筋により大きなストレスがかかると記載している。これらの記載は、膝関節屈曲位姿勢でのカーフレイズでは腓腹筋の筋活動は低下するという点で一致している。しかし、本研究では、腓腹筋筋活動の種目間差異は内側頭においてのみ見られ、外側頭にはそのような差異は見られなかった。従来、腓腹筋は代表的な白筋線維比率の高い筋とされている(森ら, 1982)。今回の実験では比較的低い負荷を用いているので、高負荷によるデータ収集による検討も今後必要であると考えられる。

腓腹筋の内側頭と外側頭に対するトレーニング効果の差異に関しては、つま先の向きの違いに焦点が向けられている。Grymkowski et al.(1984)や Fahey(1994)はつま先の向きをいろいろ変えて異なった部位をトレーニングするとし、Bean(1997)は45° つま先を外側に向けると腓腹筋の内側頭により効果的であり、逆に45° 内側に向けると腓腹筋の外側頭により効果的であると述べている。しかしながら、Hatfield(1984)は、従来から多くのボディビルダーが腓腹筋への満遍ない刺激を狙った方法としてつま先の向きを変化させることに否定的な見解を示している。その根拠として、機能解剖学的にそれよりもむしろ深層の協力筋である長指屈筋(Flexor digitorum longus)や後脛骨筋(Tibialis posterior)への効果を提示している。

本研究から得られた結果から、全体的にはつま先の向きによる影響はほとんどないと考えられる。したがって、実践的には種目に適当な変異をつけて実施することは必要であると考えられるが、つま先の向きにはあまり拘泥しないで、むしろ快適な向きで実施することが望まれる。

腓腹筋内側頭と外側頭の筋活動差やつま先の向きとの関係に関しては、今後、Hatfield(1984)が言っているように深層の協力筋の働きや、高負荷によるデータ収集や関節運動との関係を精査し、また障害予防の観点からも検討される必要があると思われる。

以上のように、カーフレイズ試行時の膝関節角度の取り方は、腓腹筋とヒラメ筋の筋活動に大きな影響を及ぼすことが考えられる。そのため下腿三頭筋をトレーニングする際には、膝関節伸展位と膝関節屈曲位の2つをバランスよく実施することが腓腹筋やヒラメ筋の効果的なトレーニングには必要であろう。つま先の向きに関しては、平行、内向き、外向きのいずれで試行しても腓腹筋の両頭に対する刺激効果には大差がなく、実践的にはむしろ平行に近い快適な方向での実施が良いと考えられる。

8.6 関節可動域の両局面における RMS 値の比較

本研究では、バーベル上昇・下降局面や主関節の伸展・屈曲局面として、各種目の実

施中での両局面における各筋の RMS 値を比較した。

プレス系種目では、両局面の比率はおよそ 0.5~1.0 の範囲であったが、特に高い値を示したのはワイド・ベンチプレスとフロントプレスにおける三角筋後部であった。ほとんどは 0.5~0.8 の範囲に入っていた。

その他、プル系種目や腹部トレーニング種目、スクワット系種目、カーフレイズ系種目における各筋の比較でも 0.4~0.9 の範囲が多かった。しかし、この範囲に入らないで、特に高い値を示したのは、トランクカールにおける外腹斜筋 1.08 とコンベンショナル・デッドリフトにおける大腿直筋 1.30 であった。これらは上体の下降局面やバーベルの下降局面においても十分な筋活動が得られることを示している。

Wright et al. (1999) はレッグ・カールやスティッフレッグド・デッドリフト、スクワット種目において、両局面を Concentric Phase と Eccentric Phase に分けて Eccentric/Concentric Ratio を計算し、前 2 種目では 61~71%、後者の種目では 74~86% の範囲を示している。これらは本研究の傾向とも一致している。また McCaw and Friday (1994) はベンチプレス種目における上腕二頭筋の値が 100% 以上を示したと報告しているが、本研究でも外腹斜筋や大腿直筋において同様の傾向が見られた。

したがって、このような一部例外種目はあるが、本研究でも実施したほとんどの種目は Wright et al. (1999) が用いている Concentric Phase を中心とするトレーニング種目であると考えられる。本研究では、各種目を各局面 2 秒間で 1 回繰り返し 4 秒間という、両局面を同じテンポで実施し、特に局面間の移行時には時間を設定しなかった。しかし、両局面におけるテンポの変化と、さらに各局面への 2 つの移行局面を設定して、そのテンポのとり方によっては各筋の筋活動における比率が異なってくることが推測される。

Aaberg (2006) が述べているように、実践的には 2 局面から、3 局面、さらに最大で 4 局面が想定され、それらのテンポをいろいろと変化させ正確にコントロールすることによって、目標とする特異性を達成する効果を上げることが可能であるかもしれない。彼は 4 桁数字を使って各局面の秒数を表わし、最大筋力や静的筋力、スピードなど養成しようとする目標に合わせて、それらの時間を設定した実施を推奨している。

8.7 本研究の問題点と今後の課題

本研究は、現在一般的に広く実施されている筋力トレーニング種目を対象として、筋電図学的分析法によって各種目の主働筋における種目間や種目内での筋放電を比較検討

した。比較の際には、Whiting et al. (1999)や Wright et al. (1999)の方法に従って、種目間でのRMS値の最大値を基準値とした相対値を用いた。しかし、一般的にはMVCによる相対値を用いる方法や、また1RMによる基準値を用いる方法も行われている(Boyden et al., 2000, Pick and Becque, 2000)。しかし、筋によっては十分なMVC値が得られないとか、1RMには危険を伴うという問題点もあり、目的に応じて実践現場で活用できるデータが得られる方法を研究する必要があるだろう。

今回の実験では、各種目の動作を各局面2秒間、1回の繰り返し4秒間で、両局面を同じテンポによって行った。その結果、両局面におけるRMS値の比較では、一部の筋に例外は見られたが、ほとんどの筋活動はConcentric Phaseにおいて高い値が示された。Aaberg(2006)は実践現場で4局面を想定したトレーニングの実施を推奨しているが、今後さらに両局面の移行局面も想定されたテンポでの筋活動の分析が必要であろう。

今後の大きな課題としては、以下のように考えている。筋電図のデータのみで筋力トレーニングの効果にまで言及することは無理があると考えられる。そこで筋電図データの収集を行ったプレス系種目、プル系種目、腹部トレーニング種目、スクワット系種目、デッドリフト系種目およびカーフプレズ系種目の同一種目を対象として、実際にトレーニングを行いその効果を比較検討していくことが求められるであろう。トレーニング効果は筋の機能的な側面と形態的な側面からアプローチしていく。機能的な側面からの効果の判定としては、筋力測定を、形態的な側面からの効果の判定としてはMRIを用いての筋断面積測定が有効であろう。

最近の代表的な指導書の中においても、多数ある筋力トレーニング種目の効果筋に関する記載では単なる筋名の列挙か、あるいは自分の経験に基づいた独断的な説明が多く見られる。そこで、本研究の最終的な目標は、このような現状を少しでも改善し実践に貢献できるように、筋電図データ、筋力測定データおよび筋断面積測定データなどを盛り込んで、筋力トレーニングを行う人にとってより効果的な実施が可能となる科学的な指導書を作成することである。

第9章 結論

本研究は、現在一般的に広く実施されている筋力トレーニング種目を対象として、成年男子を被験者にフリーウェイト(バーベル)やマシン、徒手による種々の種目を実施し、筋電図学的分析法によって主働筋における種目間や種目内での筋放電を比較検討し、以下のような結論を得た。

- (1) プレス系種目においては、三角筋は前部と中部ともに、フロントプレス(シーテッド)やバックプレス(シーテッド)のような垂直姿勢を保った種目とインクラインベンチプレスで大きな筋活動を示した。三角筋後部と上腕三頭筋には種目間の差異は認められなかった。大胸筋は鎖骨部と胸肋部ともに、デクラインベンチプレスとフラットベンチプレスで大きな筋活動を示した。前鋸筋はフラットベンチプレスとインクラインベンチプレスで大きな筋活動を示した。
- (2) プル系種目においては、上腕二頭筋はアップライト・ローイングとラット・プルダウン(フロント)で大きな筋活動を示し、広背筋はシーテッド・ローイング、ラット・プルダウンのフロントおよびバックで大きな筋活動を示した。僧帽筋は上部、中部、下部ともに、ベントオーバー・ローイングで大きな筋活動を示した。
- (3) 腹部トレーニング種目においては、腹直筋は上部と下部ともにローマンベンチ・シットアップとサポート・レッグレイズで大きな筋活動を示し、上部と下部との活動の違いは見られなかった。外腹斜筋はサポート・レッグレイズ、ローマンベンチ・シットアップ次いでツイステイング・シットアップのRMS値が高かった。大腿直筋はローマンベンチ・シットアップとサポート・レッグレイズで大きな筋活動を示した。
- (4) スクワット系種目においては、大腿直筋と内側広筋はパラレル・スクワットで大きな筋活動、大腿二頭筋はスティフレッグド・デッドリフトで大きな筋活動をそれぞれ示した。固有背筋と大殿筋には種目間の差異は認められなかった。
- (5) カーフレイズ系種目においては、腓腹筋内側頭は、つま先の向きに関係なく膝関節伸展位で行うスタンディング・カーフレイズ、ドンキー・カーフレイズおよびカーフプレスにおいて、膝関節屈曲位で行うシーテッド・カーフレイズよりも有意に大きな筋活動を示した。腓腹筋外側頭とヒラメ筋ではすべての種目においてつま先の向きによる差は見られなかった。

(6) プレス系種目では、可動域における両局面の比率はおよそ0.5~1.0の範囲であった。その他のプル系種目や腹部トレーニング種目、スクワット系種目、カーフレイズ系種目における各筋の比較でも0.4~0.9の範囲が多かった。すべての種目において、各筋ともにEccentric局面に比べてConcentric局面において高いRMS値を示す傾向が見られ、本研究において実施したトレーニング種目はConcentric局面の効果を中心とする運動であることが示唆された。

引用文献

1. Aaberg,E. (1998)Muscle Mechanics.HumanKinetics,Champaign,IL., 158-159,166-167, 192-193, 196-197.
2. Aaberg, E. (2006) Muscle Mechanics. 2nd ed. Human Kinetics, Champaign, IL. pp. 195, 196.
3. Andersson,E.A.,Nilsson,J.,Ma,Z.,and Thorstensson,A. (1997) Abdominal and hip flexor muscle activation during various training exercises. Eur. J.Appl. Physiol.,75: 115-123.
4. Axler,C.T.,and McGill,S.M.(1997) Low back loads over a variety of abdominal exercises: searching for the safest abdominal challenge. Med.Sci.Sports Exerc.,29: 804-811.
5. Barnett,C.,Kippers,V. and Turner ,P.(1995) Effects of variations of the bench press exercise on the EMG activity of five shoulder muscles. J.Strength and Cond .Res.9(4) : 222-227.
6. Bauer,J.A.,Fry,A. and Carter, C. (1999) The use of lumbar-supporting belts while performing squats:Erector spinae electromyographic activity .J.Strength and Cond .Res,13:384-388.
7. Bean, A. (1997)The Complete Gide to Strength Training,A &C Black, London, pp. 198-202.
8. Boyden,G.,Kiingman,J. and Dyson, R. (2000) A comparison of quadriceps ectromyographic activity with the position of the foot during the parallel squat. J.Strength and Cond .Res.14 (4) :379-382
9. Clark,K.M,Holt,L.E.,and Synyard,J.(2003) Electromyographic comparison of the upper and lower rectus abdominis during abdominal exercises. J.Strength and Cond. Res.,17: 475-483.
10. Ebben,W.P,and Jensen,R.L.(2002) Electromyographic and kinetic analysis of traditional, chain, and elastic band squats. J.Strength and Cond. Res.,16: 547-550.
11. Escamilla,R.F.,Mctaggart,M.S.C.,Fricklas,E.J.,Dewitt,R.,Kelleher,P.,Taylor,M.K.,Hreljac, A.,and Moorman,C.T.(2006) An electromyographic analysis of commercial and common abdominal exercises:implications for rehabilitation and training. J Orthop Sports Phys

- Ther.,36: 45-57.
12. Escamilla,R.F.,Babb,E.,Dewitt,R.,Jew,P.,Burnham,T.,Busch,J.,D'anna,K.,Mowbray,R.,and Imamura,R.T.(2006) Electromyographic analysis of traditional and nontraditional abdominal exercises: implications for rehabilitation and training. Phys Ther.,86: 656-671.
 13. Fahey,T.D. and Hutchinson,G.(1992) Weight Training for Women. Mayfield Publishing Company, Carifornia: 101-122.119-134,123-133.128-130.
 14. Frederick,C and Hatfield,P,D. Bodybuilding:A scientific approach.Contemporary, Chicago,(1984),109-117.
 15. Grymkowski,P.,Connors,E.,KimberT.and Reynods,B.(1984) Gold,s Gym Training Encychopedia.Contenporary books,Chicago: 139-160,191-210.212-219.
 16. Guimaraes,A,C.S.,Aurelio,M.I.A.,and Marantes,R.(1991) The contribution of the rectus abdominis and rectus femoris in twelve selected abdominal exercises. J.Sports.Med.Phys. Fitness,31: 222-230.
 17. 半田徹,加藤浩人,長谷川伸,瀧間久俊,岡田純一,加藤清忠 (2002)筋電図学的分析による筋力トレーニングのプレス系 5 種目における三角筋・上腕三頭筋の活動の違い.ヒューマンサイエンス リサーチ,11:125-135.
 18. 半田 徹,加藤浩人,長谷川伸,岡田純一,加藤清忠(2003)腹部の筋力トレーニングにおける腹直筋,外腹斜筋および大腿直筋の筋電図学的分析.体力科学,52:p.796.
 19. 半田徹,加藤浩人,長谷川伸,岡田純一,加藤清忠 (2005)筋力トレーニングのプル系 5 種目における上腕二頭筋,広背筋および僧帽筋の筋電図学的研究.体力科学,54:159-168.
 20. 半田 徹,加藤浩人,長谷川伸,岡田純一,加藤清忠(2006)筋力トレーニングのスクワット系とデッドリフト系種目における固有背筋,大殿筋,大腿直筋,大腿二頭筋および内側広筋の筋電図学的研究.姿かたち研究,6: 33-46.
 21. 半田徹,加藤浩人,長谷川伸,岡田純一,加藤清忠 (2007)カーフレイズ系筋力トレーニング種目における腓腹筋, ヒラメ筋の筋電図学的分析.スポーツ科学研究,4, pp. 63-74.
 22. 半田徹,加藤浩人,長谷川伸,岡田純一,加藤清忠(2007)筋力トレーニングのベンチプレス系 3 種目における大胸筋, 前鋸筋および三角筋の筋電図学的研究.スポーツ科学研究,4, pp. 58-70.
 23. Hatfield,F.C.(1984)Body building,A Scientific Approach.Contemporary Books,INC.,Chicago,p.138.

24. James,A.,Peterson.,Cedric X.,Bryant,Susan,L. and Peterson.(1995) Strength training for Sports Women.Human Kinetics Books,Champaign,pp.55-56.
25. Juker,D.,Babb,E.,Mcgill,S.,Kropf,P.,and Steffen,T.(1998) Quantitative intramuscular myoelectric activity of lumbar portions of psoas and the abdominal wall during a wide variety of tasks . Med.Sci.Sports Exerc.,30: 301-310.
26. 加藤清忠(1993) マスル・トレーニング. 西村書店, 新潟: pp64-69.
27. 栢森良二(1997) 筋電図のための解剖ガイドー四肢・体幹. 西村書店,新潟: pp66-67.88-89,166-167, 176-177, 190-191, 194-195, 230-235, 260-261. 264-267.
28. Kellis,E.,and Baltzopoulos,V. (1998) Muscle activation differences between eccentric and concentric isokinetic exercise. Med.Sci.Sports Exerc.,30: 1616-1623.
29. Konrad,P.,Babb,E.,Schmitz,K.,and Denner,A.(2001) Neuromuscular evaluation of trunk-training exercises. J.Ahletic Training,36: 109-118.
30. Laura,R.,and Dutton,K. (1993) Weight Training for Sports.Bantam Sports, Sydney: pp42-44,43-49,65-70.
31. MacLaughlin,T.M. (1984) The biomechanics of powerlifting :Assistance exercise,developing chest and lats. Powerlifting U.S.A.7 (9) :20-21.
32. Madsen,N. and MacLaughlin,T.(1984) Kinematics factors influencing performance and injury risk in bench press exercise. Med.Sci.Sports Exerc.16(4) :376-381.
33. Massey,B.H.,Freeman,H.W.,Manson,F.R.,and Wessel,J.A.(1970)The Kinesiology of Weight Lifting.WM.C.Brown Co.,Dubuque,Iowa.pp1-25.
34. McCaw,S.T.,and Friday, J.J.(1994) A comparison of muscle activity between a free weight and machine bench press. J.Strength and Cond.Res.,8: 259-264.
35. Micheal, J. ,Decker, M. ,Robert, A. ,Hintermeister, P. ,Kenneth, M. ,Richard, J. and Hawkins, M. (1999)Serratus anterior muscle activity during selected rehabilitation exercises. Am. J. Sports Med. , 27:784-791.
36. 森於菟,小川鼎三,大内値弘,森 富 (1982) 分担解剖学 I . 金原出版, 東京: pp265,267-268,309, 321-323,334. 340-341.380,386-392,406-407.
37. マスル・アンド・フィットネス・ジャパン(2000) ウェイト・トレーニング正しいテクニックを究める. マスル・アンド・フィットネス・ジャパン, 東京:31-34,47-51,69.
38. 中川 宏, 熊本水瀬(1973)ベンチプレスの筋電図学的研究. 体育学研究 18(2) :83-89.

39. 中川 宏, 橋本不二雄, 岡本昌夫, 八木田恭輔, 西河光雄(1975) ベンチプレスによるトレーニング効果の筋電図学的研究. 体育学研究 22(3):153 -160.
40. Norris,C,M. Weight Training:Principles&Practice.A & C Black,London(1993), 94-95, 99-101,122.
41. 岡本勉,高木公三郎,熊本水頼(1967) 大腿直筋の機能に関する筋電図的研究. 体力科学 16(4):96.
42. Pauletto,B.(1991) Strength Training for Coaches. Leisure Press,Canada: pp. 159-161. 164-165.
43. Pick, J. and Becque, D. M. (2000) The relationship between training status and intensity on muscle activation and relative submaximal lifting capacity during the back squat. J. Strength and Cond. Res, 14:175-181.
44. Piering, A.W., Janowski, A.P.,Moore, M.T., Snyder, A.C., Wehrenberg, W.B. (1993) Electromyographic analysis of four popular abdominal exercises. J.Ahletic Training,28: 120-126.
45. Ricci,B.,Marchetti,M.,and Figura,F.(1981) Biomechanics of sit-up exercises. Sci.Sports Med.Exerc.,13: 54-59.
46. Sarti,M.A.,Monfort,M.,Fuster,M.A.,and Villaplana,L.A.(1996) Muscle activity in upper and lower rectus abdominus during abdominal exercises. Arch.Phys.Med.Rehabil.,77: 1293-1297.
47. Selseth,A.,Dayton,M.,Cordova,M.L.,Ingersoll,C.D.,and Merrick,M.A.(2000) Quadriceps concentric EMG activity is greater than eccentric EMG activity during the lateral step-up exercise. J.Sport Rehabil.,9: 124-134.
48. Signorile, J. F, Zink, A. J. and Szwed. (2002) A comparative Investigation of Muscle Utilization Patterns Using Various Hand Position During the Lat Pull-down. J. Strength and Cond . Res. , 16:539-546.
49. Sternlicht,E.,and,Rugg.S. (2003) Electromyographic analysis of abdominal exercise devices and a traditional crunch. J.Strength and Cond. Res.,17: 463-468.
50. Thomas,R. and Baechle(1994) Essential of Strength Training and Conditioning.Human kinetics, Canada
51. Walters,C.E.,and Partridge,M.J.(1957) Electromyographic study of the differential action

- of the abdominal muscles during exercise. *Am.J.Phys.Med.*,36: 259-268.
52. Wagner, L. L. , Evans, S. A. , Weir, J. P. , Housh, T. J and Johnson, G. O. (1992) The effect of grip width on bench press performance. *Int. J. Sport Biomech.* , 8 : 1- 10.
 53. Whiting, C.W., Rugg,S.,Coleman,A.,and Vincent,J.W.(1999) Muscle activity during sit-ups using abdominal exercise devices. *J.Strength and Cond.Res.*,13: 339-345.
 54. Wilson,G.J.,Elliot,B.C.,and Kerr,G.K.(1989) Bar path and force profile characteristics for maximal loads in bench press.*Int. J.Sport Biomech.*,5: 390-402.
 55. Wretenberg, P. , Feng, Y. and Arborelius, U.P. (1996) High - and low - bar Squatting techniques during weight - training. *Med. Sci. Sports Exerc.* , 28(2) :218- 224.
 56. Wright, G.A., Delong, T.H.,and Gehlsen ,G.(1999) Electromyographic activity of the humstrings during performance of the leg curl,stiff-leg deadlift,and back squat movements. *J.Strength and Cond .Res.*,13: 168-174.
 57. Yessis, M. (1992)*Kinesiology of Exercise*.Masters Press, IN: pp. 3-10, 33, 43.