

自重によるシットアップ及びスクワット動作における筋活動水準

Levels of muscle activities in unloaded sit-up and squat movements

高井 洋平*, 杉崎 範英*, 竹下 香寿美**, 川上 泰雄**, 福永 哲夫**

Yohei Takai*, Norihide Sugisaki*, Kazumi Takeshita**, Yasuo Kawakami**, Tetsuo Fukunaga**

*早稲田大学 大学院人間科学研究科

*Graduate School of Human Sciences, Waseda University

**早稲田大学 スポーツ科学学術院

**Faculty of Sport Sciences, Waseda University

キーワード: 筋電図法, 筋カトレーニング

Key Words: Electromyography, EMG, Resistance training

抄 録

本研究は、日常生活で実施可能な自重によるシットアップ動作及びスクワット動作における四肢及び体幹筋群の筋活動水準を、筋電図を用いて調べることを目的とした。被検者は、ウエイトトレーニング経験のある男子大学生 6名 (21.7±0.5歳、172.9±6.2 cm、65.8±6.1 kg、平均値±標準偏差) であった。動作は、シットアップ及びスクワット動作とし、体幹屈曲及び膝関節屈曲角度の異なった方法でそれぞれ3種類行わせた。また、上腕筋群、下肢筋群及び体幹筋群における最大努力による等尺性随意収縮 (MVC) を行わせた。それぞれの動作中に、上腕二頭筋 (BB)、上腕三頭筋 (TB)、腹直筋 (RA)、脊柱起立筋 (ES)、大腿直筋 (RF)、大腿二頭筋 (BF)、前脛骨筋 (TA)、ヒラメ筋 (SOL) の表面筋電図を導出した。各試行における各筋の筋活動水準をMVC時の平均筋電位に対する相対値 (%MVC) を用いて評価した。その結果、シットアップ動作では腹直筋の筋活動水準が、他の筋に比べて著しく高かった (15.8±5.6~28.2±9.1% MVC)。また、股関節屈曲を伴うシットアップ動作においては、大腿直筋の筋活動水準も高くなる (12.6±9.5~16.6±8.3% MVC) ことが示された。スクワット動作では、下肢筋群及び脊柱起立筋の筋活動水準が高い (下肢筋群、6.0±4.0~29.5±18.2% MVC; ES、17.4±5.1~22.5±4.3% MVC) ことが明らかになった。また、自重によるトレーニング動作においても、動作方法を変えることで各筋の活動水準が異なることが明らかになった。

スポーツ科学研究, 2, 9-19, 2005 年, 受付日: 2005 年 2 月 1 日, 受理日: 2005 年 3 月 1 日

連絡先: 高井洋平, 〒359-1192 埼玉県所沢市三ヶ島2-579-15 早稲田大学大学院人間科学研究科

pacific-t1981@akane.waseda.jp

I. 緒言

骨格筋では、加齢や不活動に伴い、萎縮 (Kawakami et al. 2000, Suzuki et al. 1994) や発揮張力の低下 (Viitasalo et al. 1985, Overrend et al. 1992) が起こることが知られている。日常生活は身体動作を基盤として成り立っており、身体動作は、筋が発揮した張力 (筋力発揮) によって発現する。そのため、加齢や不活動に伴う筋力低下の防止を図ることは、日常生活を営む上で不可欠であるといえる。Funato et al. (1999) は、不活動にともなう筋力低下の防止に関して、20日間のベッドレスト中であっても、アイソメトリック脚伸展トレーニングを毎日実施することにより、脚伸展筋と足底屈筋力の低下を防ぐことができることを報告している。Greenleaf et al. (1983) も同様に、ベッドレスト中に仰臥位最大膝関節屈曲のアイソキネティック運動を週6回実施したところ、膝伸展筋力と肩挙上筋力の著しい向上と膝屈曲筋力の低下の阻止が見られたことを報告している。また、角田ら (1987) は、55歳～63歳男性を対象とした肘屈曲筋群に対するアイソメトリックトレーニングを実施したところ筋力及び単位面積当たりの筋力は有意に増加したとする結果を示している。これらの先行研究から、加齢や不活動による筋力の低下や萎縮は、筋力トレーニングによって防ぐことができると考えられる。

一方、筋力トレーニングは、トレーニング機器を使用して行われることが多い。しかしながら、トレーニング機器を用いたトレーニングには、費用や設備あるいは、設備のある場所へ行くための時間といった制限がある。これに対して、日常生活の中で容易に行える筋力トレーニング方法として、自重によるトレーニングが挙げられる。この自重による筋力トレーニングの中でも、下肢 (宮谷ら, 2000) や腹直筋 (Kanehisa et al. 2004) において萎縮が顕著であることから、これらの部位を対象としたスクワットやシットアップが一般的に行われている。しかしながら、これら自重によるスクワットおよびシット

アップ動作において、筋力トレーニングとして十分な筋活動が得られるかについて検討した報告は少なく、また一部の筋のみを局所的に観察したものに限られる (Peter et al. 2001; Cheri et al. 2004; Jerome et al. 1997)。

そこで、本研究は、筋電図法を用いて、自重によるシットアップとスクワット動作における四肢および体幹の各筋の筋活動水準を調べることを目的とした。

II. 方法

1. 被検者

被検者は、ウェイトトレーニング経験のある男子大学生6名であった。被検者の年齢、身長および体重の平均値±標準偏差は、21.7±0.5 歳、172.9±6.2 cm および65.8±6.1 kg であった。被検者には本研究の目的、実験の方法、研究参加への任意性などについて説明を行った後、実験参加への同意を得た。

2. 試行

本研究では、シットアップ及びスクワットを3種類の異なる動作で行った。いずれの試行も、メトロノーム (ヤマハ教販社製) の電子音に合わせて4秒に1回の頻度で動作を行い、5回連続して行った。また、疲労の影響を除くために試行間に十分な休息を設けた。

1) シットアップ動作 (図 1)

被検者は仰臥位になり、膝を立てた姿勢 (膝の関節角度は135度:完全伸展位0度) で、以下の3種類の方法でシットアップ動作を行った。

- sit1: 両手を頭の後ろに組み、腹部を見るように起き上がる。このとき起き上がる高さは、肩甲骨が少し離れる程度とした。
- sit2: 両手を頭の後ろに組み、完全に上体を起こす。
- sit3: 両手を頭の後ろに組み、背中に台 (高さ25cm) を置いて上体の可動域を狭くし、完全に上体を

起こす。台を置く位置は、上体を下げたときに、肩甲骨が台にあたる場所とした。

試行中は、下半身が動かないように検者が膝と足関節を固定した。



図1 シットアップ動作 A: sit1, B: sit2, C: sit3

2) スクワット動作 (図 2)

被検者は、両足を肩幅より少し広めに取り、以下の3種類のスクワット動作を行った。

sq1: 両手を頭の後ろで組み、膝の関節角度を90度(完全伸展位0度)まで屈曲した後、立ち上がる。

sq2: 両手を頭の後ろで組み、膝の関節角度を45度まで屈曲した後、立ち上がる。

sq3: 両手を机の上において、体を支えながら膝の関節角度を90度まで屈曲した後、立ち上がる。

被検者には、動作中、膝を前方に出さないこと、および顔を正面に向けて行うことを指示した。また、各試行における膝関節屈曲角度の調節は、臀部が触れた時点で膝関節が設定角度となるように調節した椅子を、被検者の背後に置くことで行った。

3) 最大随意収縮 (Maximal Voluntary Contraction: MVC) (図 3)

上記の試行に加えて、以下に示す方法を用いて上腕筋群、下肢筋群及び体幹筋群の最大努力による等尺性随意収縮を行わせた。上腕筋群と下肢筋群は静的筋力測定装置 (VFT-002、VINE社製) を使用した。また、体幹筋群は沢井ら (2004) と同様の方法で行った。各筋において約3秒間の力発揮を2回ずつ行わせた。また、疲労の影響を除くため試行間には十分な休息を設けた。

肘屈曲及び伸展 (図3A): 肘関節角度を90度、肩関節角度を90度及び手首は回内位と回外位の中間位に固定し、肘屈曲及び伸展筋力発揮を行わせた。

膝伸展及び屈曲 (図3B): 股関節及び膝関節角度を90度で座らせ、足首と膝が動かないように固定

した後、膝伸展及び屈曲筋力発揮を行わせた。
 足底屈及び背屈 (図3C): 足関節及び股関節が90度
 の長座姿勢で、踵が浮かないように足関節を固
 定し、底屈及び背屈筋力発揮を行わせた。
 体幹屈曲 (図3D): 膝を立てた仰臥位で体幹屈曲の
 筋力発揮を行わせた。肩甲骨が地面から離れる

まで上体が起き上がった時、それ以上上体が起
 き上がらないように検者によって抵抗を加えた。
 体幹伸展 (図3E): 伏臥位で両手を後頭部に添えた
 後、体幹伸展筋力発揮を行わせた。この時、上
 体が伸展しないように検者によって抵抗を加え
 た。

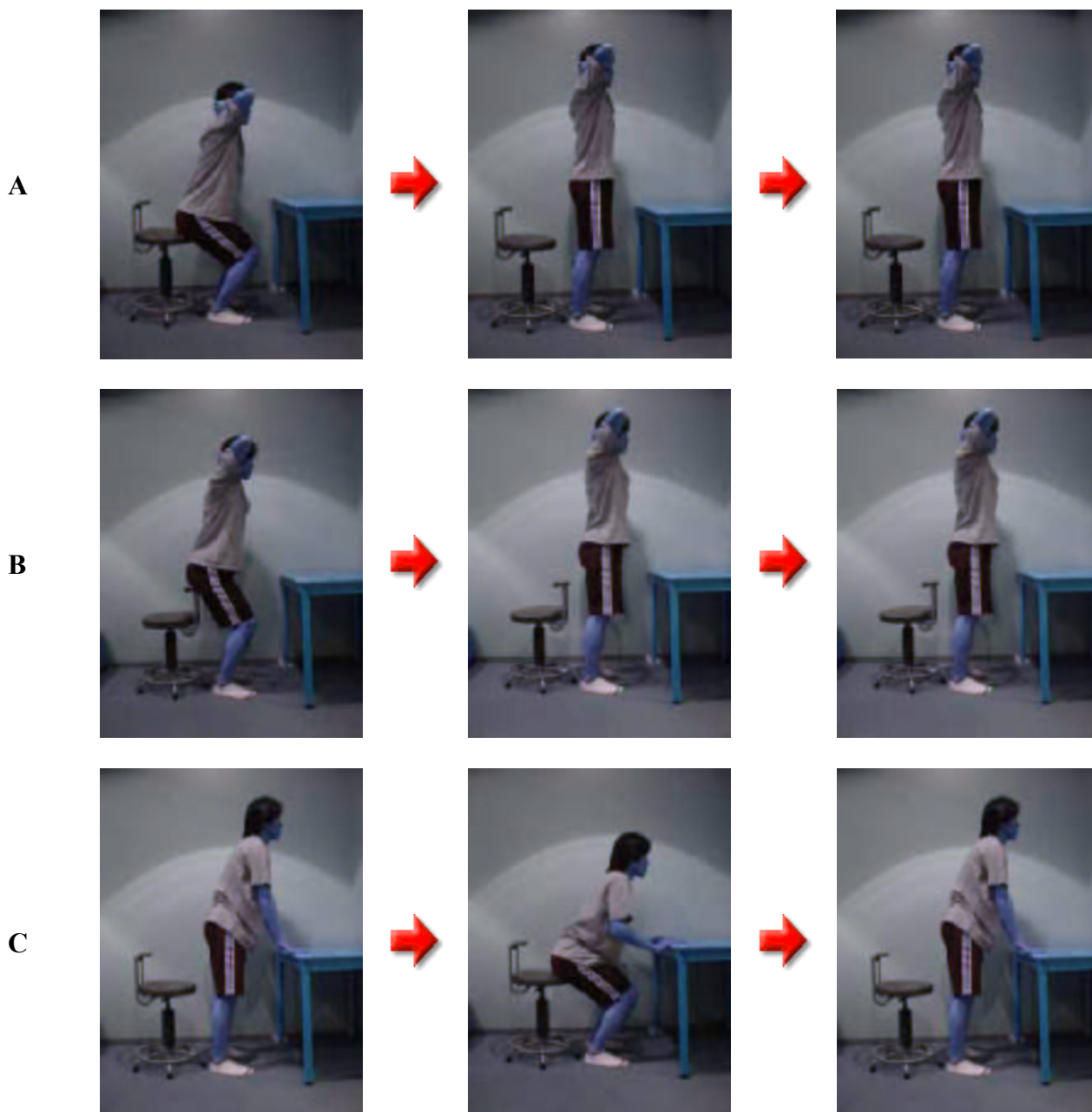


図2 スクワット動作 A: sq1, B: sq2, C: sq3

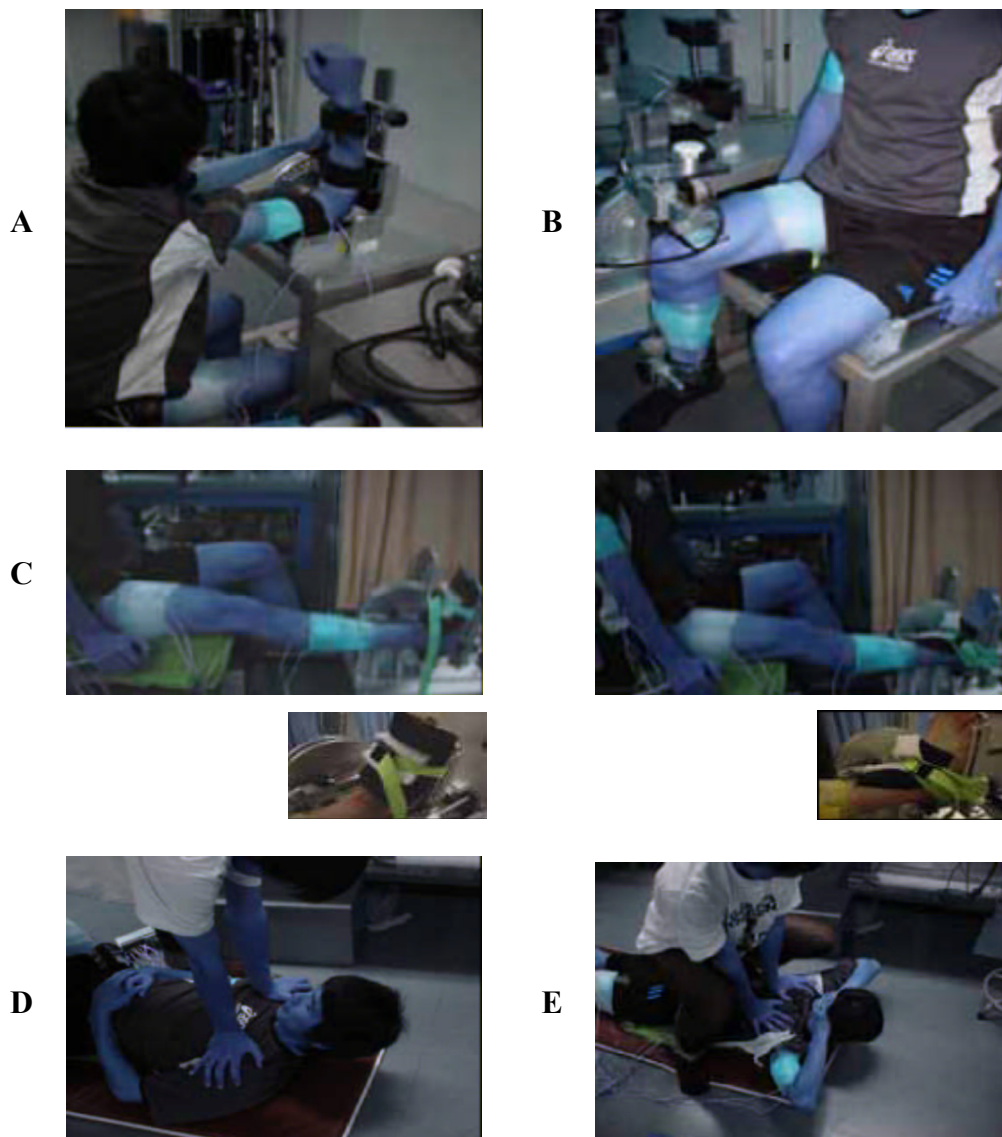


図3 最大随意収縮(MVC)測定姿勢

A: 肘屈曲及び伸展, B: 膝伸展及び屈曲, C: 足底屈(写真下)及び背屈(写真上), D: 体幹屈曲, E: 体幹伸展

3. 筋電図の測定方法

動作中の筋の活動量を測定するために、テレメータ方式のバイオアンプ (MultiTelemeter、WEB-5000、日本光電社製) を用いて双極誘導により表面筋電図を導出した。被検筋は、上肢、体幹及び下肢それぞれの部位における浅層の大筋群から拮抗関係にある2対の筋 (計8筋) を選定した (沢井ら、2004) (表1)。測定部位は筋腹中央とし、電極は直

径 15mm の電極 (Blue sensor、N-00-S、日本GEマーケットメディカルシステム社製) を使用した。また、電極間距離は 20mm とした。筋電図はバイオアンプにより増幅し、ローカットフィルター (時定数0.03) を介した後、AD変換器 (PowerLab/16SP、ADInstruments製) を用いてデジタル変換し、サンプリング周波数 1kHzでパーソナルコンピューター (Power Book G3、Apple Computer社製) に記録した。

表1 被検筋

上肢	上腕二頭筋 (Basic Brachii; BB)	上腕三頭筋 (Triceps Brachii; TB)
体幹	腹直筋 (Rectus Abdominis; RA)	脊柱起立筋 (Erector Spinae; ES)
下肢	大腿直筋 (Rectus Femoris; RF)	大腿二頭筋 (Biceps Femoris; BF)
	前脛骨筋 (Tibialis Anterior; TA)	ヒラメ筋 (Soleus; SOL)

4. 筋電図の解析

MVCについては、筋放電量が一定の水準に達している間の0.5秒間の平均筋電位 (mEMG) をMVC発揮時の筋電位とした。2回の試行のうち平均筋電位が高かったほうを採用した。

シットアップ動作及びスクワット動作については、5回の動作のうち、前後1回を除いた3回を分析対象とした。分析対象区間の決定は以下の通りに行った。各試行において、動作を1回ずつ分けるために、1回の動作における開始及び終了の時点を得られた筋電図から判断した。そのために、筋の収縮及び弛緩がはっきりしている被検筋を1筋選び、その筋の50 msec毎のmEMGを算出した。この値がMVCにおけるmEMGの5%以上になった時点から5%未満になった時点の間を分析対象区間とした (図4)。1筋の分析対象区間を決定した後、他の7筋の分析対象区間をその筋に合わせた。選んだ筋は、シットアップ動作では、RAとして、スクワット動作では、TAとした (図5)。各試行の筋活動水準は、3回の動作におけるmEMGの平均値とした。なお、試行間の比較は、MVCに対する相対値 (%MVC) を用いた。

5. 統計処理

測定結果は、いずれの項目も平均値±標準偏差で表した。試行間の比較には、二元配置分散分析を用い、F値が有意な場合には、Bonferroni 法により多重比較検定を行った。なお、有意性の基準は $p < 0.05$ とした。

Ⅲ. 結果

図6にシットアップ動作を行ったときの各筋の筋活動水準を示した。シットアップ動作では、3つの動作において他の7筋と比較してRAの筋活動が顕著に見られた。そして、BB、TB、ES及びBFにおいてはほとんど筋活動が見られなかった。RAの活動水準は、sit1では $28.2 \pm 9.1\%$ MVC、sit2では $26.5 \pm 7.0\%$ MVC、sit3においては $15.8 \pm 5.6\%$ MVCであった。sit3における筋活動水準は、sit1とsit2と比較して有意に低かった ($p < 0.05$)。また、sit1とsit2のRAは、他の7筋より有意に高かった ($p < 0.05$)。sit3において、RAは上半身の他の3筋 (BB、TB及びES) と下肢筋群のBFとSOLよりも有意に高い筋活動水準を示した ($p < 0.05$)。また、sit2とsit3においてはRFに高い筋活動が見られ、sit2では $12.6 \pm 9.5\%$ MVC、sit3で $16.6 \pm 8.3\%$ MVCであった。これらは、sit1の $2.2 \pm 1.7\%$ MVCよりも有意に高い筋活動水準であった ($p < 0.05$)。各試行のRFは、sit2でESより有意に高く ($p < 0.05$)、sit3ではRAを除く上半身の他の3筋 (BB、TB及びES) と他の下肢筋群 (BF、TA及びSOL) より有意に高かった ($p < 0.05$)。同様に、TAとSOLでもsit2とsit3の筋活動が見られたが、sit1と比べて有意差はなかった。

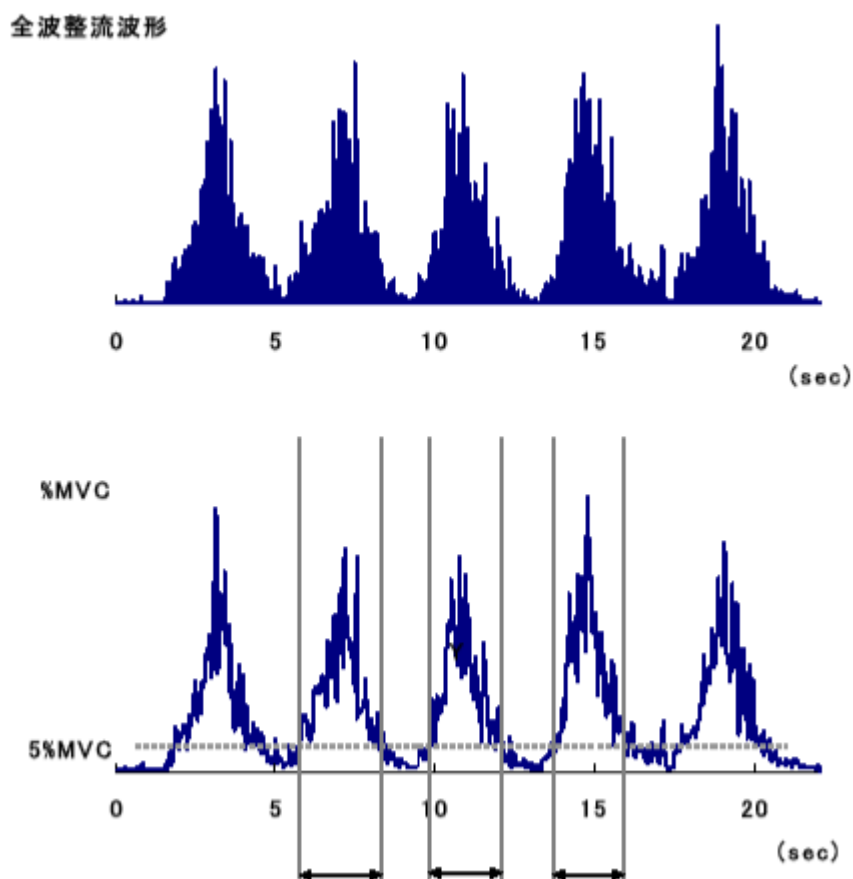


図4 分析区間の規定方法

上段:全波整流波形 下段:% MVC : 分析対象区間 (シットアップ動作中のRAの典型例)

スクワット動作における各筋の筋活動水準を図7に示した。この動作では、ESと下肢筋群の筋活動が見られた。BB、TB及びRAの筋活動はほとんど見られなかった。RFは、sq1では $14.1 \pm 11.4\%$ MVCであり、sq2では $8.1 \pm 9.1\%$ MVC、sq3では $12.0 \pm 10.5\%$ MVCであった。各試行間に有意差は見られなかった。下肢筋群で最も高い筋活動水準を示した筋は、TAであった。sq1では $29.5 \pm 18.2\%$ MVC、sq2においては $14.2 \pm 9.2\%$ MVC、そしてsq3では $23.8 \pm 18.8\%$ MVCであった。sq1ではsq2より有意に高かった ($p < 0.05$)。また、sq1のTAは他の下肢筋群 (RF、BF及びSOL) より有意に高く ($p < 0.05$)、BB、TB及びRAよりも有意に高かった ($p < 0.05$)。sq3のTAは、BB、TB及びRAよりも

有意に高かった ($p < 0.05$)。ESにおいては、sq1で $22.5 \pm 4.3\%$ MVCを示し、sq2では $18.2 \pm 4.0\%$ MVC、sq3では $17.4 \pm 5.1\%$ MVCの筋活動水準を示した。各試行間に有意差は見られなかった。sq1とsq2におけるESの活動水準は、BB、TB及びRAよりも有意に高く ($p < 0.05$)、sq3ではTBとRAより有意に高かったが ($p < 0.05$)、BBとの間に有意な差はなかった。BFは、sq1では $12.2 \pm 9.6\%$ MVCであり、sq2では $6.0 \pm 4.0\%$ MVC、sq3では $11.1 \pm 9.4\%$ MVCであった。SOLの活動水準は、sq1は $13.2 \pm 5.3\%$ MVC、sq2では $10.8 \pm 6.8\%$ MVC、そしてsq3では $10.3 \pm 5.4\%$ MVCであった。

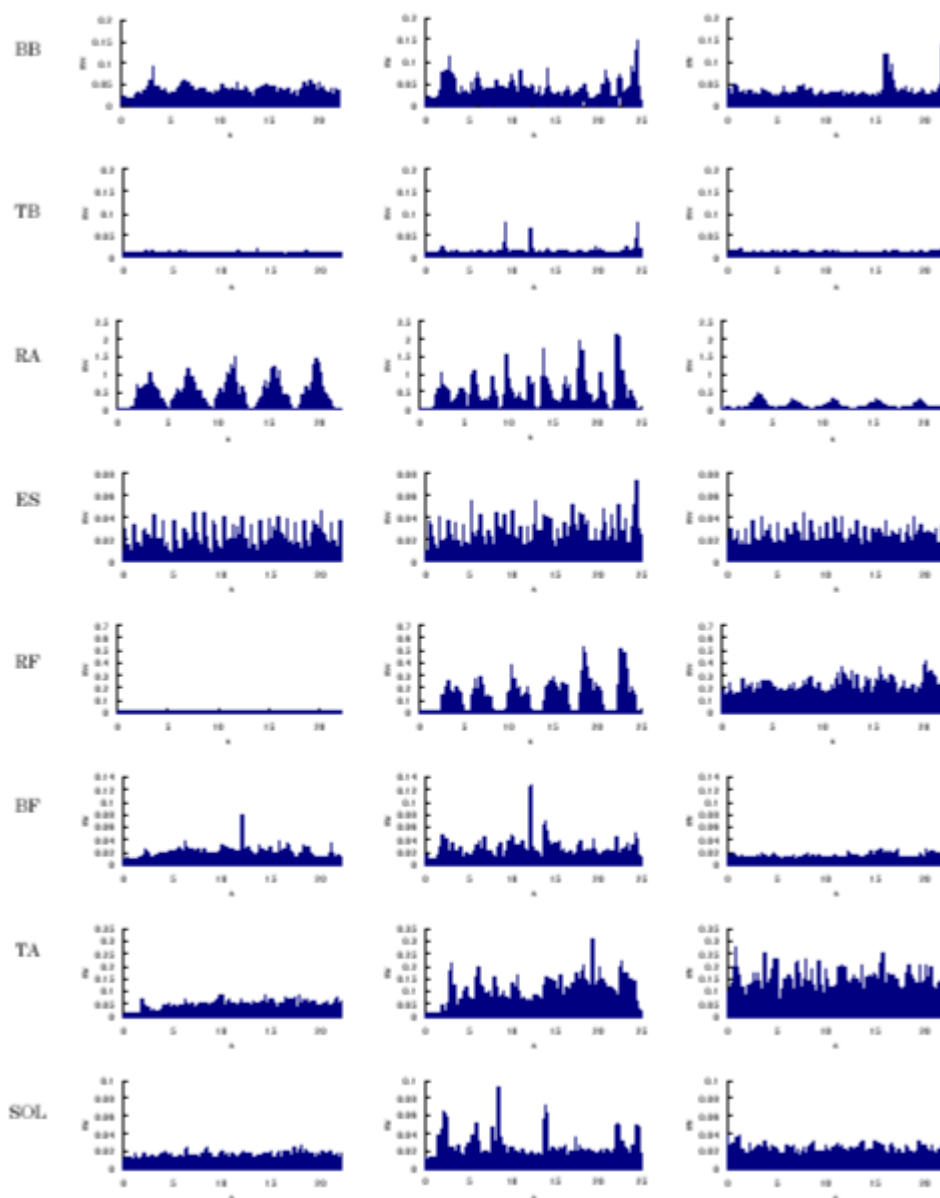


図5.1 シットアップ動作における各筋の整流波形の典型例

左:sit1、中:sit2、右:sit3

IV. 考察

本研究で得られた知見は、以下の通りである。

- シットアップ動作では、RAの筋活動水準が、他の筋に比べて著しく高かった。しかしながら、動作方法によって、RAの筋活動水準が異なった。また、sit2及びsit3のような股関節屈曲を伴う試行においては、RFにも筋活動が認められた。
- スクワット動作では、下肢筋群すべての筋活動水

準が高く、その中でもTAの活動水準が高かった。

また、上半身では、ESにおいてのみ下肢筋群同様の高い筋活動が認められた。

シットアップ動作においては、RAの筋活動水準が他の筋に比べて著しく高かった。しかしながら、上体を起こす位置および上体の可動域を変化させることでRAの筋活動水準は異なった。このことから、動作方法を変えることで、RAの筋活動水準を調整することがで

きると考えられた。また、股関節屈曲を伴うシットアップ動作では、RFにも筋活動が見られた。この結果は、同様に股関節屈曲を伴うシットアップ動作におけるRFの

筋活動を報告しているPeter et al. (2001) の結果と一致し、シットアップ動作では、RAだけでなく股関節屈曲筋の活動水準も高かった。

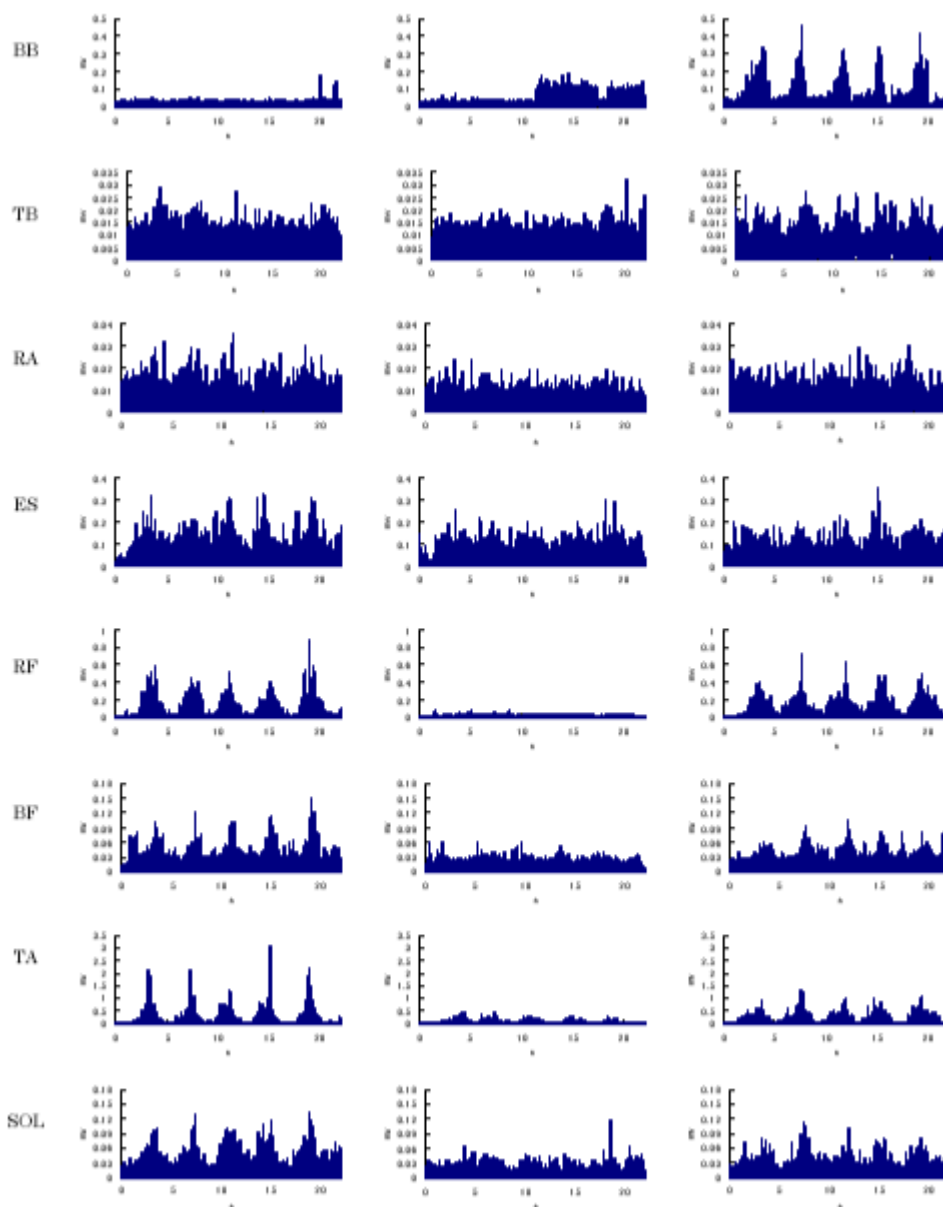


図5.2 スクワット動作における各筋の整流波形の典型例

左:sq1、中:sq2、右:sq3

一方、スクワット動作では、膝関節の可動域の違いによって下肢筋群の筋活動水準が異なった。Jerome et al. (1997) は、自重でのスクワット動作中の筋活動水準に関して、RFの筋活動水準は膝関節角度60度か

ら90度の間で最も高く (約48%MVC)、30度から60度の間での筋活動水準は約20%MVCであると報告している。本研究で行ったsq2 (膝関節角度を45度まで屈曲) におけるSOL以外の下肢筋群の筋活動水準は、

sq1 (膝関節角度を90度まで屈曲) のそれと比較して半分程度であり、Jerome et al. (1997) と同様の結果となった。この結果は、スクワットでは膝関節屈曲角度を変えることにより筋活動水準を調整することができる可

能性を示唆する。また、スクワット動作を行ったときに、下肢筋群に加えてESにおいても筋活動が見られた。このことから、スクワット動作は、下肢筋群だけでなく、ESも活動水準が高かった。

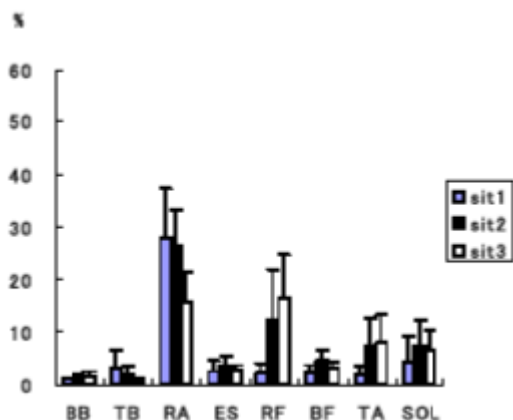


図6 シットアップ動作における各筋の活動水準

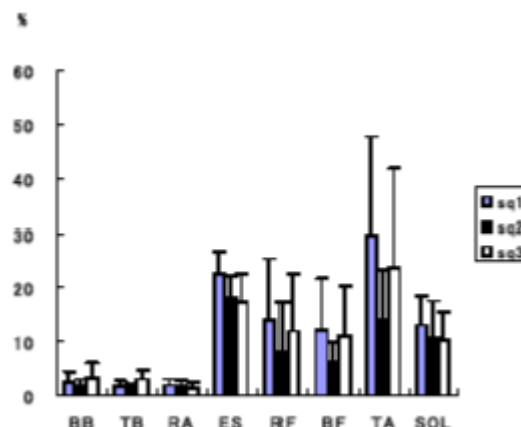


図7 スクワット動作における各筋の活動水準

本研究のシットアップ動作とスクワット動作における筋活動水準は最も活動している筋で約30%MVCであった。先行研究においては、トレーニング効果をもたらす負荷は40%~70%以上とされており (Hettinger, 1961; 金久, 2002)、本研究の結果はこれらの条件を満たしていない。このことから、自重を用いた2つの筋力トレーニング動作においては、高いトレーニング効果を期待することはできないとも考えられる。しかしながら、本研究では安定した筋力トレーニング動作を行える被検者としてトレーニング動作に習熟した者を用いたため、被検者は一般人と比較して筋力レベルが高く、動作中の相対的な負荷が低かったと考えられる。そのため、一般人や高齢者など筋力レベルの低い者にとっては、自重によるトレーニングでも相対的な負荷は高く、筋活動水準は高くなる可能性がある。この点に関して、被検者に筋力レベルの低い者を用いた更なる研究が必要である。また、自重によるシットアップやスクワット動作が加齢や不活動による筋機能低下の改善あるいは予防のためのトレーニング方法として有

効であるかどうかは今後の研究を待たなければならないが、本研究はそのための基礎となる知見を提供し得るものと考えられる。

V. まとめ

本研究の目的は、筋電図を用いて、自重によるトレーニング動作における四肢及び体幹の筋の活動水準を明らかにすることであった。その結果、シットアップ動作では腹直筋の筋活動水準が、他の筋に比べて著しく高かった。また、股関節屈曲を伴うシットアップ動作においては、大腿直筋の筋活動水準も高くなることが示された。スクワット動作では、下肢筋群及び脊柱起立筋の筋活動水準が高いことが明らかになった。また、自重によるトレーニング動作においても、動作方法を変えることで各筋の活動水準が異なることが明らかになった。

参考文献

- Basmajian, J. V. and C. J. DeLuca. (1986) Their functions revealed by electromyography. 5th edition, Williams and Wilkins, Baltimore, pp. 187-200.
- Cheri L. Drysdale, Jennifer E. Earl, and Jay Hertel (2004) Surface Electromyographic Activity of the Abdominal Muscles During Pelvic - Tilt and Abdominal - Hollowing Exercises. *Athl Train*, 39 (1), 3236.
- Funato, K., Nagareda, H., Shinohara, M., Ito, M., Kurokawa, S., Kouzaki, M., Shimoda, M., Suzuki, Y., and Fukunaga, T. (1999) Effects of resistance training during bed rest on morphological and functional characteristics of skeletal muscle. 4th Tokyo Symposium of Inactivity and Health (Personal Communication).
- Greenleaf, J. E. , Beaumont, W. , Convertino, V. A. and Starr, J. E. (1983) Handgrip and general muscular strength and endurance during prolonged bed rest with isometric and isotonic leg exercise training. *Aviat Space Environ Med*, 54 (8), 696-700.
- Hettinger, T. (1961) *アイソメトリックトレーニング*. 初版, 猪飼道夫・松井秀治訳, 大修館書店, 東京, pp. 112
- Jerome, A. , Isear, Jr. , Jeff, C. , Erickson and Teddy, W. (1997) EMG analysis of lower extremity muscle recruitment patterns during an unloaded squat. *Medicine and Science in Sports and exercise*.
- 金久博昭 (2002) 筋のトレーニング. 筋の科学事典, 初版, 福永哲夫編, 朝倉書店, 東京, pp. 271, pp. 291-292.
- Kanehisa H, Miyatani M, Azuma K, Kuno S and Fukunaga T. (2004) Influences of age and sex on abdominal muscle and subcutaneous fat thickness. *Eur J Appl Physiol*, 91 (5-6), 534-7.
- Kawakami, T. , Ichinose, Y. , Kubo, E. , Suzuki, Y. and Fukunaga, T. (2000) Changes in muscle size and architecture following 20 days of bed rest. *J. Grav. Physiol.* , 7, 53-60
- 宮谷昌枝, 東香寿美, 久野譜也, 金久博昭, 福永哲夫 (2000) 体肢筋量における年齢差. 岡田守彦ら編, 高齢者機能増進法, ナップ, pp. 304-306.
- Overrend, T. J. , Cunningham, D. A. , Paterson, D. H. et al. (1992) Knee extensor and knee flexor strength: cross sectional... area ratios in young and elderly men. *J. Gerontol.* 47, 204-210.
- Peter Konrad, Klaus Schmitzt, Achim Dennert (2001) Neuromuscular evaluation of trunk - training exercises. *Journal of Athletic Training*, 36, 109-118.
- 沢井史穂, 実松寛之, 金久博昭, 角田直也, 福永哲夫 (2004) 日常生活動作における身体各部位の筋活動水準の評価 - 姿勢保持・姿勢変換・体重移動動作について - *体力科学*, 53, 93-106.
- Suzuki, Y., Murakami, T. , Haruna, Y. , Kawakubo, K. , Goto, S. , Makita, Y. , Igawa, S. and Gunji, A. (1994) Effects of 10 and 20 days bed rest on leg muscle mass and strength in young subjects. *Acta Physiol. Scand.* , 150, Suppl. 616, 5-18.
- 角田直也, 池川繁樹, 奥山秀雄, 金久博昭, 船渡和男, 福永哲夫 (1987) 高齢者における異なる強度での筋力トレーニング. 第42回日本体力医学会大会抄録, pp. 5 20
- Viitassalo, J. T. , Era, P. , Leskinen, A. - L. et al. (1985) Muscular of men aged 31-35, 51-55 and 71-75 years. *Ergonomics*, 28, 1563-1574.