室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

負荷加重装置を用いたEccentric運動後の筋肉痛と筋電図の関係について

メタデータ	言語: Japanese
	出版者: 室蘭工業大学
	公開日: 2014-03-26
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者: 上村, 浩信, 谷口, 公二, 小成, 英寿
	メールアドレス:
	所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/2844

室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

負荷加重装置を用いたEccentric運動後の筋肉痛と筋電図の関係について

その他（別言語等）のタイトル	The relationships between muscular soreness and EMG after eccentric contraction by the Loading Accelation Machine
著者	上村　浩信，谷口　公二，小成　英寿
雑誌名	室蘭工業大学研究報告．文科編
巻	40
ページ	21-38
発行年	1990-11-10
URL	http://hdl.handle.net/10258/2844

負荷加重装置を用いたEccentric運動後の筋肉痛と筋電図の関係について

上村浩信　谷口公二　小成英寿

The relationships between muscular soreness and EMG after eccentric contraction by the Loading Accelation Machine

Hironobu Kamimura　Kozi Taniguchi Hidetoshi Konari

Abstract

The purpose of this study is to examine the relationships between muscular sorenss and EMG after eccentric contraction by the Loading Accelation Machine.

The subjects used in this study were three healthy men(23yr).

They perforemed eccentric exercise(20 maximal contraction) of the forearm flexors by using the Loading Accelation Machine(LAM). Criterion measures of muscular soreness an EMG during sustained isometric contraction(20,40,60 and 80% MVC) were assessed before, immediately after, and for 5 days after exercise. Muscular soreness was maximal 24 hours later and lasted for 84 hours later. IEMG increased 24 hours after eccentric exercise at each workload.

MPF increased by 20% MVC and decreased by 60,80% MVC 24 hours after eccentric exercise.

It was suggested by this research that muscular soreness effects upon the efficacy of force generation and directly muscle contractile elements.

緒　言

なれない運動は、身体に障害を引き起こす[2、3、7、8、15、16、19]。その中でも運動後に発生する筋肉痛は、運動直後よりも数時間後または、数日後のほうが、

激しいと報告されている[2、7、16、19]。筋肉痛の発生している時、筋の発揮張力の低下すること[3、8、19]、また、血液中に筋タンパク質、特にクレアチニンキナーゼ (Creatine kinase : CK) が出現する[3、7、15]。これは、筋肉に由来するもので臨床の分野においては筋の障害の程度と関係が深い。また、組織学的研究においては、筋線維に障害が見られることが報告されている[8、9、15、16]。運動のタイプすなわち筋収縮では、Eccentric 収縮運動の障害が Isometric 収縮や Concentric 収縮[19]よりも激しいとされている。

そこで本実験においては、Eccentric 運動を行わせるために筋力を受動的に発揮する特殊な装置[18]を用いて筋肉痛を引き起こそうとした。また、筋肉痛の研究において、筋肉痛時に筋電図を用いた報告が少ない。そのため本研究では、筋肉痛発生時に筋張力を発揮させどのような負荷強度で筋肉痛が影響するのかについて筋電図から検討することを目的とした。

方　法

被験者は、Table 1. に示す健康な成人男子３名である。

Table. 1 Characteristics of subjects in experiment.

Nama	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	RI	Body fat (%)
K.N.	24	172.9	66.1	127	9.73
H.F.	24	163.5	66.5	152	19.80
E.U.	24	160.5	78.7	189	19.71
Mean	24	165.6	70.4	156	14.75
SD		5.3	5.9	25.5	4.11

筋肉痛を実験的に起こすために、上腕二頭筋に筋肉痛を発生させた。この時に用いた装置[18] は、(Fig. 1) に示す装置である。被験者はこの装置に正対して椅子に座り platform に肘を乗せモーターの回転力に抵抗して受動的な最大努力による筋力を発揮した。肘関節は、90度から140度に伸展されるまでの Eccentric 収縮を連続20回行わせた。このときに運動した腕は、被検者の非利き手とした。

筋肉痛発生中の筋肉の効率及び筋疲労の程度を探るために筋肉に Isometric 収縮を行わせた。その時の負荷は、筋疲労前のMVC（最大随意収縮力）の20%、40%、60%、80%であった。筋収縮時間は、20%及び40%では30秒、60%及び80%では20秒であった。筋疲労を出来るだけ排除するために各試行間の時間を5分以上おいた。Fig. 2 に示すように、被検者は椅子に腰掛け腰と肩関節を固定させた。上腕二頭筋の Isometric 筋収縮させるために肘関節を90度に屈曲し茎状突起から近位のところにカフをまきワイヤーを介しておもりを下げた。この時のおもりは、各被検者の最大随意筋力 (MVC) の20%、40%、60%、80%に相当ものであった。このようにして筋力を発揮してもらった。このような筋力発揮を Eccentric 運動前と Eccentric 運動後24時間後、48時間後に行った。今回の報告では、各運動負荷とも5秒間のデータを報告する。

筋肉痛に関しての自覚症状調査は Talag ら[19] のスケールを用い「痛みなし」から「たえられなく痛む」までの7段階に分けて調査した。この調査は、筋肉痛がなくなるまで12時間おきに行った。

筋肉痛発生を起こすための筋疲労運動について

Eccentric 運動は、被検者が椅座位で上腕屈曲力測定装置（セノー社　HNF-158）に正対した姿勢で肘関節を固定しアームに接続したホルダーに手首をかけ、アームの回転により前腕を介して肘関節に加わる負荷に耐えながら筋力を発揮する。アームの回転は、ギヤを介して伝えられるモーター（大洋電気　PS 15）の回転を利用した。肘屈曲力がアームによる索引力を上回っているとき、肘関節角度は保たれ Isometric の状態となる。負荷加重速度は、1.0kg・m／sec であった。

筋肉痛とモーターユニットの関係をみるために、筋疲労運動前、筋疲労運動後24時間後及び48時間後に上腕二頭筋より EMG（Φ8 mm）を筋腹より双極誘導（電極間20mm）した。EMG は脳波計に増幅された後 Data recorder（周波数特性0～650Hz，日本光電社製）に収録し後日 EMG 積分値（IEMG）及び筋電図の平均周波数（MPF）を求めた。張力はロードセルによりStrainアンプを介して電磁オシログラフ、脳波計に記録すると同時にDatarecorder に記録しピーク張力、力積をデジタイザー及び多用途積分ユニットでもとめた。肘角度は、electro gonio-meterを用いStrainアンプ、脳波計を介してData recoderに記録した。

EMG は、上腕二頭筋よりEMG（Φ8mm）を筋線維の走行と平行に筋腹より双極誘導（電極間20mm）した。アース電極は肩峰上に置いた。皮膚と電極間の抵抗は、15KΩ 以下になるように皮膚をアルコール綿でクリーンにした。尚EMG を常に同じ部位より誘導するために皮膚上に印をつけ電極はゴム板に張り付けたものを用いた。EMG は脳波計（周波数特製DC ～3000Hz，日本光電社製 EEG-4217）を用いて時定数0.03で増幅し、ペーパースピード 1 cm／sec にて記録された。また後日波形処理を行うためデータレコーダー（周波数特性0～650Hz，日本光電社製RMG-5304）に収録した。

データレコーダーに記録された EMG は、多用途積分ユニット（日本光電社製 EI-60G）に入力した。入力された EMG は全波整流しリセットタイムを 1sec に設定して積分波形を脳波計のレコーダー部にペーパースピード 1cm／sec で記録した。この波形の垂直距離をノギスで測定し筋電図積分値（IEMG）を得た。

表面筋電図の周波数分析は、データ処理装置（日本光電社製 ATAC-450）を用いて Data recorder に記録した EMG の分析を行った。MPF は、全周波数成分のパワーの半分にあたる周波数である。

張力はロードセルによりポリグラフシステム（日本光電社製142-8）内にセットされたストレインアンプ（日本光電社製6M57A）で増幅し電磁オシログラフ（三栄測器社5L37ME）、脳波計に記録すると同時にデーターレコーダーにも記

録した。ピーク張力、力積を求めるためにパーソナルコンピューター（NEC社製 PC-8801)に接続したデジタイザー(イーエスディボラトリ社製 PD-9001)及び多用途積ユニット（日本光電社製 EI-60G）を用いた。

平均値の差の検定は Student の t-test によって行った。

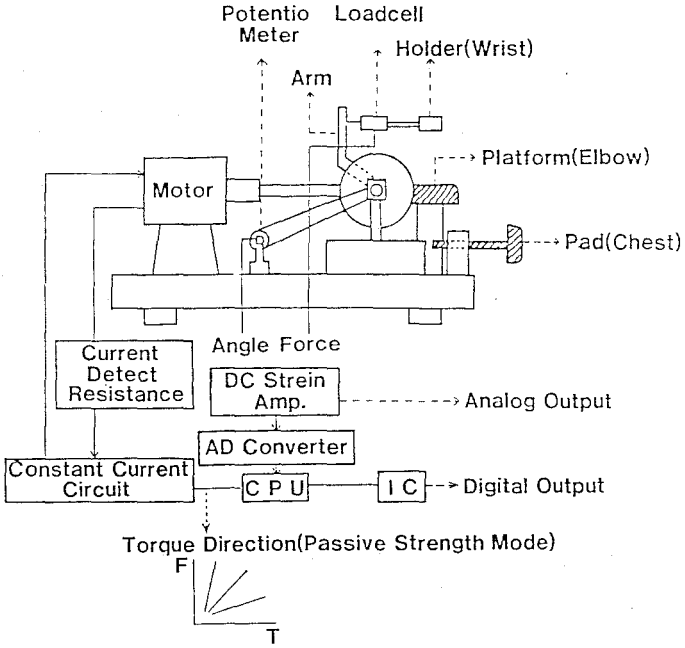

Fig. 1 Schematic inner structure of the Loading Accelation Machine.

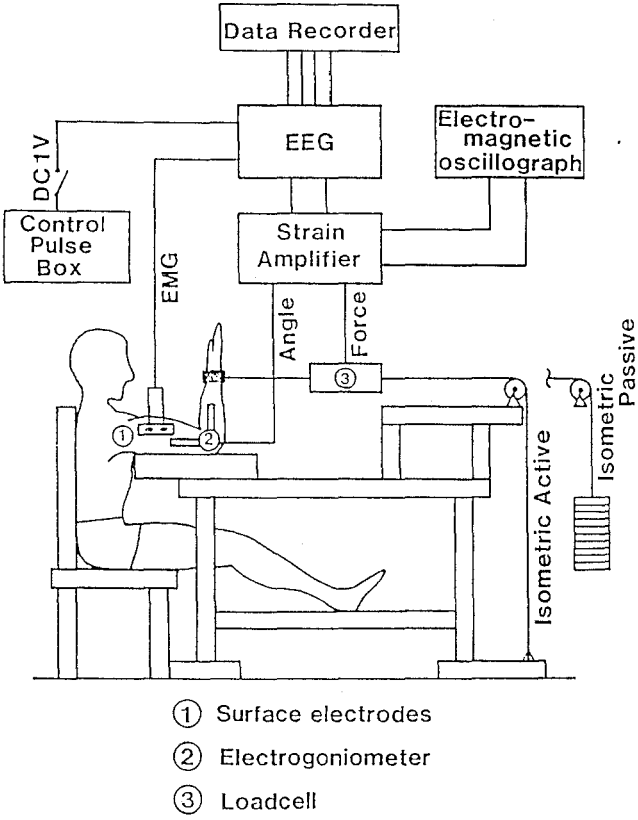

Fig. 2 Schematic measurement of isometric contraction.

結　果

Fig. 3 は、筋肉痛の自覚症状における経時的な変化を示したものである。各被検者とも Eccentric 運動後24時間目（以下24h）に筋肉痛が激しく。そして84時間目に筋肉痛が消失した。

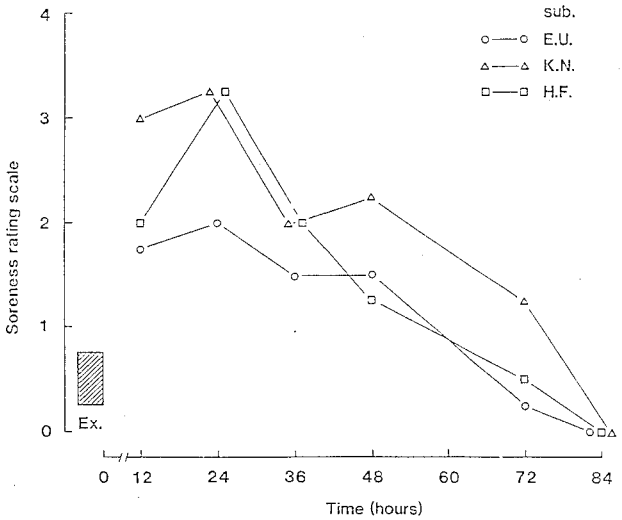

Fig. 3 Changess of musclar soreness in experiment.

Fig. 4 は、Eccentric 運動前 (Pre-exercise 以下 PE) 、24時間後 (以下24h) 、48時間後 (以下48h) による筋電図積分値を各負荷毎に示したものである。筋肉痛が激しい 24h と PE と比較すると負荷強度が増すに差がみられる傾向にあり、とくに60%MVC と80%MVC においては 5 %水準で有位差がみられる。筋肉痛が和らいだ48h においては PE と比較すると少し高い傾向にある80% MVC で 5 %水準での有位差がみられる以外その差はあまりないようである。Fig. 5 は個人的にみたものである。Subj. K. N と Subj. E. U は、PE と 24h を比較すると負荷強度が増すにつれて筋電図積分値が高くなり48h にPE の値にもどるようである。一方 Subj. H. F は、24h. 48h と筋電図積分値が各負荷強度とも高くなっている。

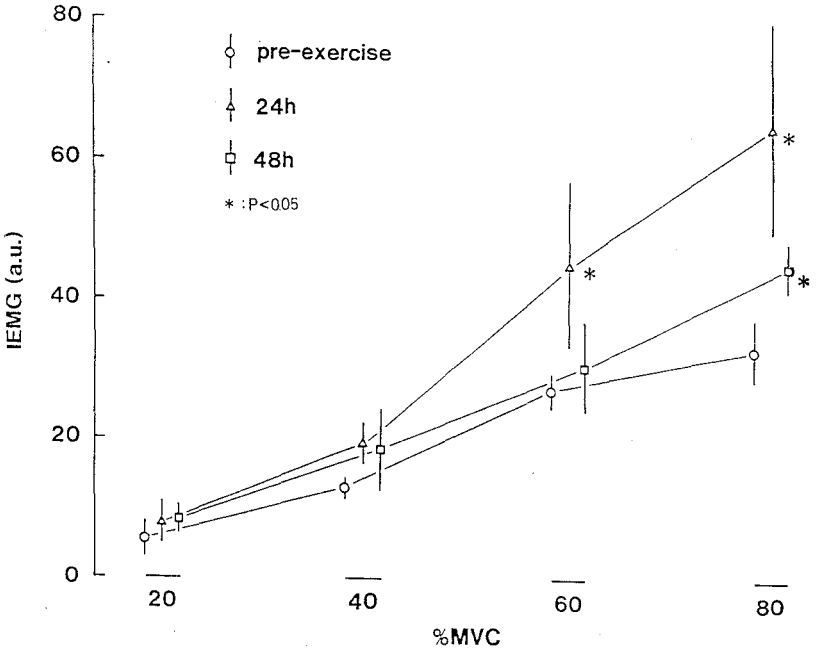

Fig. 4 Changes in IEMG on each MVC (Maximal volantary contruction) Isometric contraction pre-muscular sorenss and muscular soreness. Values are means±SD.

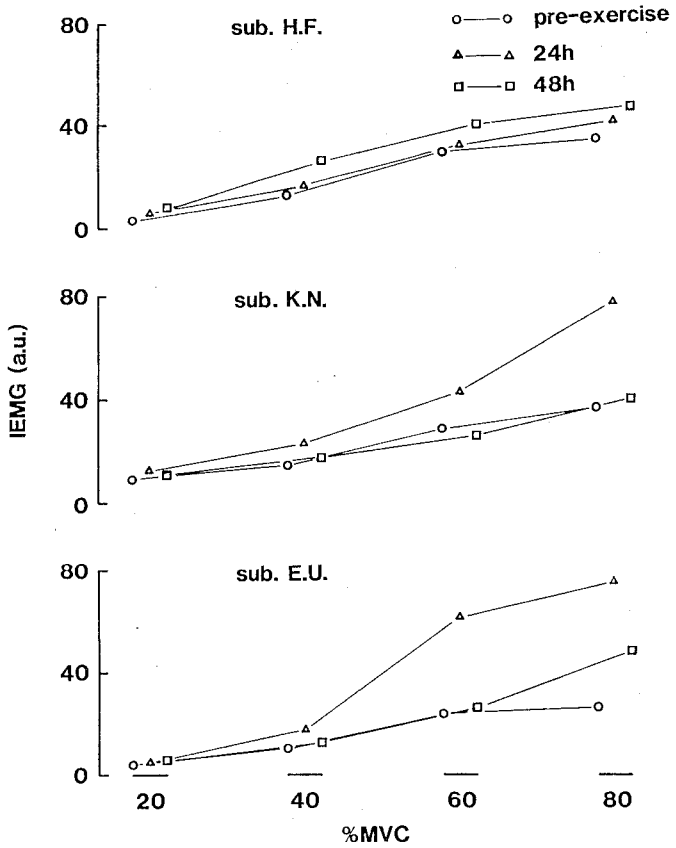

Fig. 5 Changès in IEMG on each MVC Isometric contraction pre-muscular soreness and muscular soreness.

Fig. 6 は、Hakkinen ら[10] に従い筋力をIEMG 値で除することによって、筋出力効率を算出した図である。Eccentric 運動前 (PE) , 24h, 48hによる発揮張力力あたりの筋電図積分値 (NI／IEMG) を各負荷毎に示したものである。筋肉痛が激しい24 h と PE と比較すると負荷強度が増すに差がみられる傾向にあり、とくに60% MVC と80% MVC においては 5 %水準で有位差がみられる。筋肉痛が和らいだ48hにおいてはPEと比較すると少し高い傾向にある。80% MVC で 5 %水準での有位差がみられる以外その差はあまりないようである。

Fig.7は、個人的にみたものである。Subj.K.NとSubj.E.Uは、Pre-exercise と24h を比較すると負荷強度が変化しても NI／IEMG の値は変化しないが、Subj. H. Fにおいては20%MVC, 40%MVC という低い負荷強度での NI／IEMG の差が大きかった。

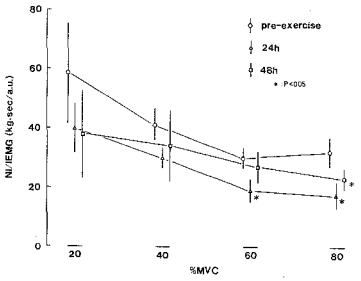

Fig. 6 Changes in NI(Net inpulse)/IEMG on each MVC Isometric contraction pre-muscular soreness and muscular soreness. Values are means±SD.

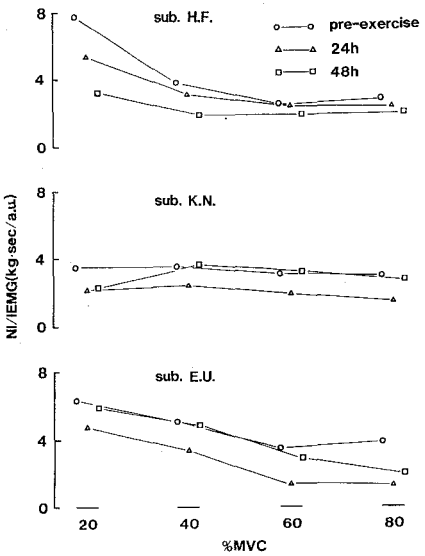

Fig. 7 Changes in NI/IEMG on each MVC Isometric contraction pre-muscular soreness and muscular soreness.

Fig. 8 は、Eccentric 運動前 (PE)、24h、48h に周波数分析 (MPF) を各負荷毎に示したものである。PE と24h, 48h の有意な差は見られなかったが、PE と比較すると24h では、低い負荷強度20% MVC においては、MPF が高くなり、40% MVC 以上の負荷強度では、低くなる傾向がみられた。48hは、PF と比較すると各負荷強度でも低い傾向がみられるが、 24h よりは高い傾向にあった。

Fig. 9 は、Eccentric 運動前 (PE)、24h、48h に周波数分析 (MPF) を被検者ごとに示したものである。Sub . HF は、24h と PE とを比較すると20, 40 % MVC は、低く、80% MVC は、高くなっている。48h においては、各負荷強度とも PE と比較して低くなった。Sub . K . N は、80% MVC を除いて各強度とも PE よりも高くなり、24, 48h と高くなった。Sub . E . U は、24h の20 % MVC のみが PE のときよりも高いが、その他は、各負荷強度とも低かった。

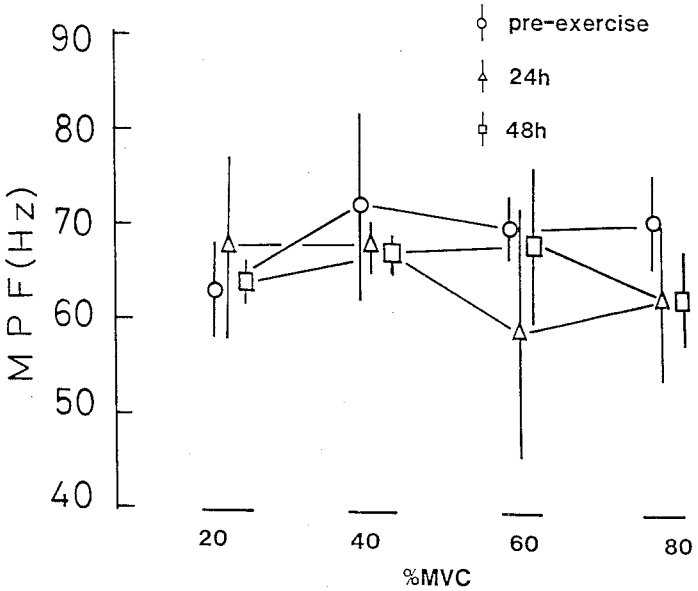

Fig. 8 Changes in MPF (Mean power frequency) on each MVC Isometric contraction pre-muscular soreness and muscular soreness. Values are means±SD.

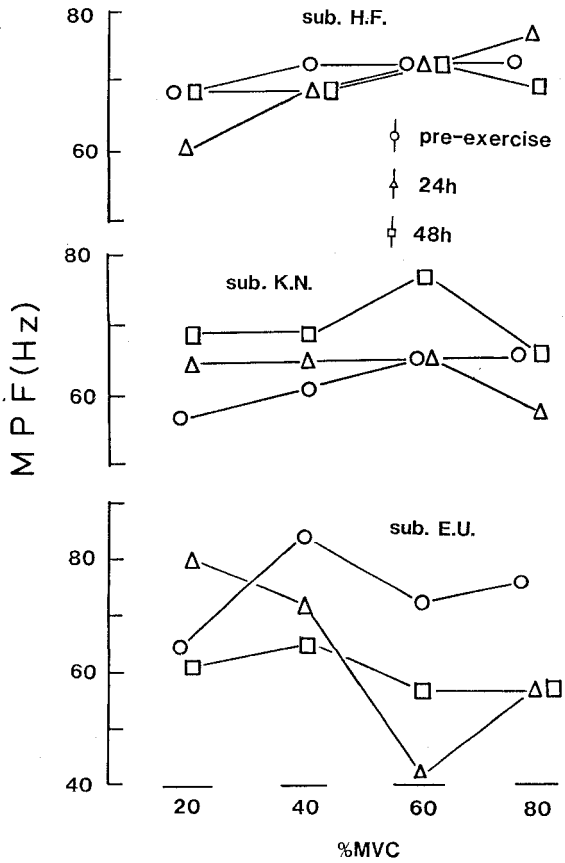

Fig. 9 Changes in MPF on each MVC Isometric contraction pre-muscular soreness and muscular soreness.

考　察

筋肉痛について

筋肉痛は、運動直後より数時間または、数日後に激しい痛みを伴うことで知られている[3、8、18]。生化学的報告によると筋肉痛発生時に血清中にCKの活性

値が、増加し、筋肉の障害を示すとされている[3、15、16]。また、バイオプシィーによる組織学的研究報告によると運動直後よりも数日後が筋線維のダメージが多くなり特に筋線維の Z Line の破壊がみられる[8、9]。この原因として筋小胞帯がダメージを受け筋細胞内にカルシウムイオンが蓄積し、筋ショウ中のプロテアーゼが活性化して細胞や筋線維にダメージを引きおこした[4]と考えられている。このような筋肉痛を発生させる運動は、おもに Eccentric 収縮運動で踏台昇降運動の降りる脚[5、16]、バーベルを降ろす運動[3、19]、坂下り走[2] などである。本研究においては、負荷加重装置を用いた Eccentric 収縮運動をおこなった。本研究では、各被検者とも24時間目に筋肉痛のピークが現れた。このピークの現れ方について、Eccentric 収縮運動において、痛みのピークは、筋肉痛発生運動後48時間目であるという報告[2、3、7、16、19]が多く、また筋肉痛の程度は、Eccentric 収縮が Concentric 収縮や Isometric 収縮よりも激しいとされ[19]、筋収縮のタイプによっても筋肉痛のピークに違いがみられることも報告されている[19]。本実験の筋肉痛のピークが、24時間であった。Talag の報告[19]によれば、Isometric 収縮の筋肉痛は、24時間目である。また同じ運動を2週間おきに繰り返した実験では筋肉痛の程度は低くなり痛みのピークが24時間目になった報告[3、15] がなされている。ランナーを被検者とした Evansら[7]によるとトレンドとアントレンドが Eccentric 運動を行った実験において、CKの活性値は、アントレンドのほうがトレンドよりも高いと報告されている。以上のことから考えると本実験の被検者が以前スポーツ愛好家であったことから20回の最大努力による Eccentric 運動であったのにもかかわらず筋肉痛のピークが24時間目におきたのであろうと考えられる。

筋電図について

表面筋電図は、非侵襲的に筋の特性を知ることができる[12]。また、Komi and Buskirk によれば針筋電図よりも表面筋電図のほうが day to day あるいは test-retest の再現性は高いと報告されている[11]。そこで、本研究は、表面筋電図を用いて筋肉痛と運動単位の関係を検討した。筋肉痛の激しい24hにおい

て、各負荷強度とも筋電図積分値（以下 IEMG）は、筋肉痛前に比べ高くなり、48h において、筋肉痛はまだあるが IEMG は、24h に比べると低くなり筋肉痛前の値に戻りつつある。これを被検者ごとにみると、E．U と K．N は、各自荷強度とも、IEMG が 24h に高く 48h になると筋肉痛まえの値に戻りつつある。しかし、被検者 H．F は、値そのものの増加は先の被検者に比較すると少ないが、24h、48h と IEMG が増加している。筋肉痛がある時、IEMG が増加するがその増加のしかたに個人差がみられた。

次に、筋の出力効率から検討してみる。すなわち、筋電図積分値を筋肉が行うための筋肉への入力とみて、実際行った仕事すなわち力積を筋肉の出力とみるとき。力積／筋電図積分値(NI／IEMG)を筋肉の効率と見ることができる[10]。

筋出力効率の変化は、24h が各負荷強度とも低く 48h に筋肉痛前の値に戻っているが、負荷強度の低い20% MVC と高い80% MVC においてまだ低い。この筋出力効率の低下を被検者ごとにみると、被検者 K．N と E．U は、各負荷荷強度とも24h で効率の低下がみられるが、H.F は、特に低い負荷強度で効率の低下がみられる。48h において、K.N は、低い20% MVC の効率の低下がみられるが、40% MVC 以上ではみられない。E．U は、高い80% MVC での効率の低下はまだ残っていると考えられる。H．F は、各負荷強度とも効率の低下が 24h より48h が悪くなっていると考えられる。特に H.F が筋肉痛が48h に低くはなっているものの筋出力効率の低下が起きていることから筋の障害が他の被検者よりも激しかったと考えられる。

筋出力効率において特に低い負荷強度において低下がみられるこの事に関して考えてみる。Newham らの研究によると大腿四頭筋の Eccentric な運動後において Submaximal な張力を発揮しているとき、筋電図積分値の変化は、Eccentric 運動直後 150 %以上の値を示し、その後徐々にその値は、低くなるが24時間を経ても回復しないことを報告している[17]。また、電気刺激により筋張力の変化を見た実験においては、低周波刺激による張力の低下が大きいことを報告している[6]。そのことを低周波疲労と呼んでいる。この原因として、Eccentric 運動により筋肉に物理的な作用が生じ筋小胞体がダメージを受けてカルシウムイ

オンがリリースされるために筋収縮に関与するカルシウムイオンの低下が低周波疲労を引き起こしたのではないかと考えられている[6]。

さらに運動単位との関連から考える。MPF と運動単位の参加様式には関連性が高く、MPF が高いと Fast 系の運動単位の参加が多く、低いと Slow 系の運動単位の参加が多いとされている[14]。周波数分析で Isometric 運動後の筋疲労の回復をみた研究によると、MPF は運動後10分で回復することが報告されている[12]。しかし、本研究のように Eccentric 運動後に周波数分析の報告は、なされていない。本研究から周波数分析を行ったところ、高い負荷強度の筋出力発揮においては、Eccentric 運動後24時間目の MPF は、Eccentric 運動を行う前よりも低い値を示し、48時間目に元の値に戻った。しかし、被検者ごとにみてみると48時間目も MPF が低い値を示すものがいた。筋線維タイプの影響をみた先行研究によると Friden らは、バイオプシィーにより速筋線維のダメージが大きいことを報告している[8]。また Cybex Ⅱを用いた Isokinetic運動では、角速度が大きい 300 度の張力の回復が 7 日たっても回復していないと報告している[8]。本研究において高い負荷強度で MPF が低くなったことは、筋肉痛によりなんらかの障害が生じたために大きな力発揮する Fast 系のユニットがリクルーメントされず Slow 系のユニットが代償的にリクルーメントされたためではないかと考えられる。

ま と め

負荷加重装置を用いた筋肉痛発生時において次のことが明らかになった。

1、負荷加重装置を用いたエクセントリック運動後において各被検者とも筋肉痛が発生した。その程度は、24時間目に激しく、84時間目まで筋肉痛が残った。

2、筋肉痛発生運動後において各負荷強度とも筋電図積分値が24時間目に高くなり48時間目に元の値に戻った。

3、筋肉痛発生運動後において各負荷強度とも筋電図の MPF が変化した。すなわち、張力が高い80・60% MVC においては、MPF は、低くなり、張力が低い20% MVC においては、MPF は、高くなった。

以上のことから、負荷加重装置を用いた筋肉痛発生実験より筋肉痛発生時において筋電図積分値から筋の出力効率の低下がみられた。特に低い負荷強度でその影響が大きかった。また、周波数分析より筋肉痛によりなんらかの障害が生じたためにMPFが低くなり、大きな力を発揮するFast系のユニットがリクルーメントされずSlow系のユニットが代償的にリクルーメントされたためではないかと考えられる。

引用・参考文献

1) Armstrong, R. G. , W. Ogilvie, and J. A. Schwane. Eccentric exercise-induced injury to rat skeletal muscle. J. Appl. Physiol. 54 : 80-93, 1983

2) Byrnes, W. C., P. M. Clarkson, J. S. White, S. S. Hsieh, P. N. Frykman, and R. J. Maughan. Delayed onset muscles soreness following repeated bouts of downkill running. J. Appl. Physiol. 59 : 710-715, 1985.

3) Clarkson, P. M. , and Isabelle Tremblay : Exercise-induced muscle damage, repair, and adaptation in man. J. Appl. Physiol. 65 (1) : 1-6, 1988

4) Cullen, M. J., S. T. Appleyard, and L. Bindoff : Morphologic aspects of muscle breakdown and lysosomal activation. Ann. NY Acad. Sei. 317 : 440-463, 1979

5) Davis. C. T. M and M. J. White. : Muscle weakness following eccentric work in man. Pfluger Arch. 392 : 168-171, 1981

6) Edwards R. H. T. , D. K. Hill, D. A. Jones and P. A. Merton : Fatigue of duration in human skeltal muscle after exercise. J. Physiol. 272 : 769-778, 1977.

7) Evans, W. J. , C. N. Meredith, J. G. Gannon, C. A. Dinarello, W, R. Frontera, V. A. Hughes, B. H. Jones, and H. G. Knuttgen : Metabolic changes following eccentric exercise in trained and untrained men. J. Appl. Physiol. 61 (5) : 1864-1868, 1986.

8) Friden. J., M. Sjostrom, and B. Ekblom : Myofibrillar damage following intense eccentric exercise in man. Int. J. Sports Med. 4 (3) : 170-176, 1983.

9) Friden. J. , M. Sjostrom, and B. Ekblom : A morphological study of delayed muscle soreness. Experientia 37 : 506, 1981

10) Hakkinen, K. , Komi P. , V. and Alen, M. : Effects of explosive type strength training on isometric frce- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extenser muscle during strength training and detraining. Acta Physiol. Scand. , 125 : 587-600, 1985

11) Komi, P. V. and Buskirk, E. R. : Reproducibility of Electromyography with insert wire electrodes and surface electrodes. Elcetromyography, 4 : 357-367, 1970.

12) Kuorinka llkka : Restitution of EMG spectrum after musclar Fatigue. Eur. J. Appl. Physioi. 57 : 331-315, 1988.

13) 宮田　博文、佐渡山　亜兵、勝田　茂：等尺性収縮における外側広筋の筋電位電動速度（その筋線維組成との関連)。体力科学，34 (4) : 231-238, 1985.

14) Moritani T. and Muro M. : Motor unit activity and surface electromyogram power spectrum during increasing force of contraction. Eur. J. Appl. Physiol, 56 : 260-265, 1987.

15) Newham, D. J., D. A. Jones, and P. M. Clarkson : Repeated high-horce eccentric exercise : effects on muscle pain and damage. J. Appl. Physiol. 63 (4) : 1381-1386, 1987

16) Newham, D. J, D. A. Jones, S. E. J. Tolfree, and R. H. T. Edwards : Skeltal muscle damage : a study of isotope uptake, enzyme efflux and pain after stepping. Eur. J. Appl. Physiol. 55 : 106-112, 1986.

17) Newham, D. J. , K. R. Mills, B. M. Quigley and R. H. T. Edwads : Pain and fatigue after eccentric muscle contraction. Clinical Science. 64 : 55-62, 1983.

18) 宇佐美　かおる：アイソメトリック収縮時における能動的と受動的筋出力特性について. 東京学芸大学修士論文 pp39. 1986

19) Talag T. S. : Residual muscular soreness as influenced by concentric, eccentric, and static contractions. The research Quarterly, 44 (4) :458-469, 1973