筋疲労回復にはどのような方法が最も効果的か?

名古屋大学 石 田 浩 司 (共同研究者) 名古屋市立大学 高 石 鉄 雄 名古屋大学 宮 村 実 晴

What is the Most Effective Way to Recover from Muscle Fatigue?

by

Kouji Ishida

Research Center of Health, Physical Fitness and Sports, Nagoya University
Tetsuo Takaishi

College of General Education, Nagoya City University Miharu Miyamura

Research Center of Health, Physical Fitness and Sports, Nagoya University

ABSTRACT

To elucidate the most effective way to recover from muscle fatigue, twitch force, maximal voluntary plantar flexion force and EMG signal during constant force output were measured progressively before and after experimentally induced fatigue in triceps surae. Vibratory massage, static stretching and moderate jogging, which were adopted for the treatments of recover from fatigue, were performed after fatigue at the separate day. Muscle fatigue was induced by calf raise with one leg.

Maximal voluntary contraction (MVC) returned faster in all three recover treatments compared with control. Root mean square value of EMG (RMS) and mean power frequency (MPF) of gastrocnemius decreased while soleus RMS increased after fatigue. These values showed little difference among treatments. Maximal twitch contra-

ction force (Pt), maximal rate of tension development (+dF/dt), relaxation (-dF/dt), mean contraction speed (Pt/CT) and relaxation speed (Pt/HRT) decreased after fatigue. These values returned faster in jogging than any other treatment. On the other hand, the subjects felt that massage was most comfortable and there was little symptom of delayed muscle soreness by massage and stretching.

These results suggested that moderate exercise of the whole body, i. e. jogging was the most effective way to recover the contractile functions from fatigue while stretching and massage were effective to muscle injury and mental fatigue, respectively. Thus, moderate exercise, stretching and massage were all recommended for recover from fatigue.

要 旨

筋疲労に対してジョギング、マッサージ、ストレッチングのうち、いずれの回復方法が最も効果的であるかを明らかにするため、健康な成人男子4名を対象として、踵上げ動作により下腿三頭筋に筋疲労を起こさせ、電気刺激による誘発張力、随意の最大筋力および一定筋力発揮時の筋放電を疲労後1時間にわたって経時的に測定した。随意の最大筋力は各回復法ともコントロールに比べて回復が早かった。

また、一定筋力発揮時の筋放電の平均周波数は、腓腹筋において筋疲労によって低下し、時間経過とともに回復するが、回復方法によって大きな差は認められなかった。さらに、最大の単収縮張力、収縮および弛緩の最大速度や平均速度はジョギングによる回復が最も早かった。一方、被検者自身の主観的な判断では、マッサージが最も気持ち良く、また、ストレッチングやマッサージによって遅発性の筋痛が抑えられたとの解答が多かった。

以上の結果から、筋そのものの収縮機能を回復

させるには、ジョギングなど全身を使った軽運動 による積極的な休息方法が最も効果的であるが、 精神的な疲労回復や筋痛を抑える意味では、スト レッチングやマッサージも有用であることが示唆 された.

緒 言

激しい運動を続けていると、疲れて力が発揮できなくなったり、後から筋肉痛が起きる.とくに競技スポーツにおいては、そのような疲労からいかに早く回復するかは非常に重要な問題であり、そのため、ジョギングなどの軽運動、ストレッチング、マッサージなどさまざまな疲労回復方法が表も効果があるかということについてはあまり明らかにされていない.その原因のひとつとして、疲労および回復の程度を客観的に判断する指標があまりないことがあげられる.疲労は自覚的なものとしてとらえられることが多いが、それでは筋自身にどのような変化が起こっているかわからない.したがって、筋疲労の回復方法の効果を明らかにしようとする場合、神経系が関与しない局所的な筋そのも

のの機能がどのように変化しているかを検討する 必要がある.

電気刺激を用いて末梢神経を刺激すると、中枢神経系の影響を受けずに筋が収縮することから、筋そのものの収縮特性が把握できる。筋は疲労すると収縮能力が低下することから、筋疲労および回復時の収縮特性の変化を定量的に分析することによって、筋疲労の程度をリアルタイムで客観的に判断することが可能であると考えられる。

一方,随意的な筋力発揮についても,筋が疲労した状態では,同じ張力を発揮していても筋放電のパターンが疲労前に比べて変化するが,それを周波数分析や積分筋電図を用いて定量的に分析することが広く行なわれている.このように,一定筋力を発揮している時の筋放電を経時的に測定,分析することで筋疲労および回復の程度が客観的に把握できると思われる.

そこで本研究では、筋疲労後に異なる疲労回復 法を施した時に、電気刺激による誘発張力および 一定筋力発揮時の筋電図が、経時的にどのように 変化するか分析することによって、筋疲労回復に はどのような方法が最も効果的か明らかにするこ とを目的とした.

1. 研究方法

被検者:被検者は健康な成人男子 4名(年齢 20~31歳,体重 58~71 kg)であった.

疲労および回復方法:各被検者の体重を負荷として、片足での踵上げ動作を行なわせ、下腿三頭筋(ヒラメ筋、腓腹筋)に疲労を起こさせた。すなわち、被検者は約1秒に1回の割合でできるだけ高く踵を上げて降ろす動作を、20秒の休憩をはさんで30、25、20、15、10、5回の計105回実施した。

また、筋疲労回復の手段として、手軽で広く行なわれている方法を選んだ、すなわち、振動マッサージ器を用いて筋肉をマッサージする方法

(Massage),ストレッチングによって筋を伸ばす方法 (Stretch),全身的な軽い運動であるゆっくりとしたジョギング (Jogging),そしてなにもしないコントロール (Control) の4種類の方法を用いた.

測定方法:ヒラメ筋 (Soleus), 腓腹筋内側頭 (Gas-Med), 外側頭 (Gas-Lat) の筋腹上に 1.5 cm の間隔で表面電極を取り付け、 双極で筋放電 を導出した. 誘発張力の測定については、被検者 に椅座位姿勢をとらせ、足部にロードセルを組み 込んだ等尺性の筋力測定装置を取り付け、足関節 角度 10 度底屈, 膝関節角度 60 度屈曲肢で固定 し、 膝窩部の後脛骨神経より経皮的に単発で持続 時間 lms の矩形波の電気刺激を加えた、刺激の強 度は supramax とした. 張力信号,筋放電ともサ ンプリング周波数1kHzでA/D変換してコン ピュータに取り込み、分析を行なった. 処理項目 として、最大の単収縮張力 (Pt)、張力の立ち上が りの最大の傾き(+dF/dt)と弛緩の最大の傾き (-dF/dt), 張力の立ち上がりから最大になるま での収縮時間 (Contraction Time; CT), 最大 張力から半分の張力に落ちるまでの時間(Half Relaxation Time: HRT) を求めた¹³⁾.

また、一定筋力発揮中の筋放電については、随意による等尺性の最大足底屈筋力 (MVC) を測定し、その 50% の筋力を約3秒間保持している時の筋放電をサンプリングし、1024 ポイントのFFT を実施して周波数分析を行ない、平均の周波数 (Mean Power Frequency; MPF) および振幅の平均値 (Root Mean Square: RMS) を求めた、

プロトコール:前もって運動に慣れさせるために踵上げを練習させ、5日以上経過した後、本実験を実施した。被検者に自転車エルゴメータで100 W程度で5分間ウォーミング・アップさせた後、まず随意による最大の足底屈筋力 (MVC)を3回測定し、その最大値を求めた。つぎにその

50% をターゲットとしてモニター上に示し、検者の合図とともに被検者にできるだけそのターゲットに合せるように足底屈筋力を発揮させ、筋力が安定した時に 2.048 秒間サンプリングし、 1分以上の間隔をおいて 3 回繰り返した. 続いて電気刺激による誘発張力を、10 秒以上の間隔をおいて 5回測定した. これらの値を疲労前の値(before fatigue)とした.

つぎに踵上げ運動により筋疲労を起こさせた後、同じ手順で測定を行ない、疲労直後(after fatigue)の値とした. さらに疲労回復法のうちからひとつを選んで約10分実施した後、同様の測定を行ない、回復法直後の値(after treat)とした. その20分後(20 min after)、40分後(40 min after)にも同様に測定を行なった. そして5日以上経過した後、回復方法を変えて測定を繰り返した. なお、50% MVC は疲労前の MVC の50% に統一した. 回復方法は順序効果がでないよう、被検者によって順番を変えて実施した.

また、誘発張力は筋温の影響を大きく受けることから、実験は室温 25℃ に保たれた人工気候室で行ない、さらに被検筋が冷えている場合は白熱灯で暖めるなど、なるべく筋温が一定になるように留意した。また、被検者に自覚的、主観的な筋疲労の程度を実験終了時、1日後、2日後、3日後にわたって記録させた。

2. 結果

図1は、被検者 M. H. におけるコントロール条件での疲労前、疲労直後そして疲労から1時間経過した時点での単収縮張力曲線を重ね合わせたものである。疲労により、最大の単収縮張力は低下し、立ち上がりや弛緩の傾きは緩やかになり、収縮時間は短縮されることが認められ、それらは1時間経過した後も完全に回復していなかった。

4名の被検者のそれぞれの回復法における最大筋力 (MVC) および誘発張力のパラメータの絶対 デサントスポーツ科学 Vol. 13

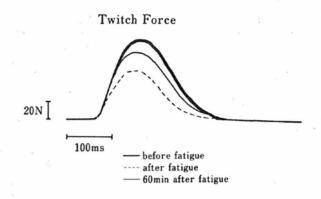


図1 被検者 M. H. のコントロール時における 疲労前後の誘発張力曲線

値の平均値と標準偏差の変化を表 1 に、また、疲労前の値を 100% とした時の相対的な変化の平均値を図 2、図 3 に示した。MVC は疲労直後 90 ~ 94% まで低下し、その後はなにもしないコントロールではあまり回復しないが、その他の方法では時間とともに回復していく傾向がみられ、とくにマッサージでの回復が早かった。 Pt については、疲労直後に 80% 程度まで低下するが、ジョギングによる回復が最も早く、逆にストレッチングではコントロールよりも遅れる傾向が認められた。 +dF/dt、-dF/dt についてもジョギングによる回復が最も早く、マッサージやストレッチングはコントロールと変らない傾向がみられた。

一方、CTやHRTはコントロールの方が回復が早い傾向が認められた。このCTやHRTはPtの影響を受けること、たとえば、Ptが小さいとCTが早くなることも考えられる。そこでCTやHRTでPtを割って正規化してみると、ジョギングによる回復が早いことが認められた。+dF/dtや-dF/dtは張力の立ち上がりや弛緩の最大速度を、また、Pt/CTやPt/HRTは平均速度を示すものと考えられる。すなわち、疲労によって収縮や弛緩の速度が落ちるが、ジョギングによって最も早く回復する傾向がみられた。誘発張力のパラメータ全体を通してみるとジョギングによる回復が早く、ついでマッサージ、ストレッチ

表 1 回復方法別にみた時間経過にともなうMVC, Pt,+dF/dt,-dF/dt, CTおよびHRT

		MVC (N)	Pt (N)	+dF/dt (N/s)	-dF/dt (N/s)	CT (ms)	HRT (ms)
		(11)	(14)	(N/S)	(N/S)	(ms)	(ms)
Control	before fatigue	854±99	108.1±24	2231±508	1252±50	90.6±8	89.0±15
	after fatigue	767±84	84.9 ± 21	2017 ± 486	1102 ± 175	84.2±1	73.7±10
	after treat	785±65	90.1 ± 20	2023 ± 470	1055±90	86.0±7	82.4±13
	20min after	771±73	97.1 ± 17	2130±319	1105±95	86.4±5	85.6±10
	40min after	775±75	97.7 ± 18	2086 ± 338	1112±57	86.4±3	85.3±12
Massage	before fatigue	868±140	108.6±12	2213±403	1161±120	90.2±8	90.9±13
	after fatigue	809±122	86.4±2	1995 ± 140	1025±87	83.7±4	75.3±7
	after treat	843±114	91.6±17	2045 ± 442	1009±146	84.2±6	81.5±9
	20min after	852±131	96.7±18	2079 ± 475	1066±141	86.9±5	81.5±8
	40min after	861±153	97.8±10	2104 ± 291	1115±167	90.0±6	81.6±9
Stretch	before fatigue	860±147	110.1±13	2291±200	1248±277	94.4±2	88.8±8
	after fatigue	788±141	89.9 ± 15	2115 ± 269	1112±179	83.0±1	73.9 ± 10
	after treat	824±144	88.1±12	1992 ± 217	1062±216	85.4±2	78.4±13
	20min after	829±167	91.0 ± 10	2032±135	1111±182	88.3±3	$79,9 \pm 9$
	40min after	835±178	97.3±11	2114±136	1198±218	87.9±3	84.0±14
Jogging	before fatigue	890±49	108.2±10	2292±305	1153±266	88.2±7	95.3±18
	after fatigue	805±82	88.6±17	2118±380	1074±141	81.2±1	76.7 ± 15
	after treat	851±71	95.6±12	2105±338	1075±148	85.4±6	85.5±14
	20min after	857±82	102.3 ± 10	2165±233	1140±178	87.2±3	86.7±15
	40min after	892±117	104.7±7	2238±225	1187±212	87.5±3	86.9±16

Values are mean \pm SD (n = 4)

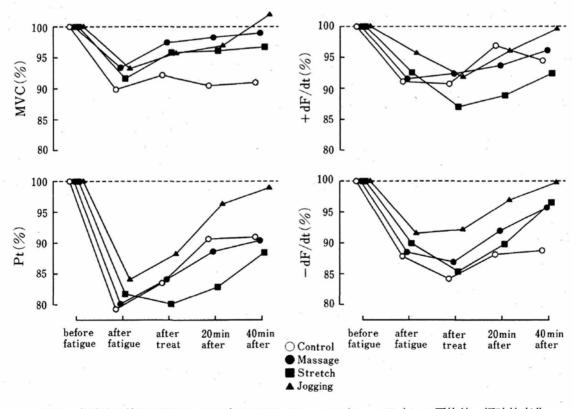


図2 疲労前の値を 100% とした時の MVC, Pt, +dF/dt, -dF/dt の平均値の経時的変化

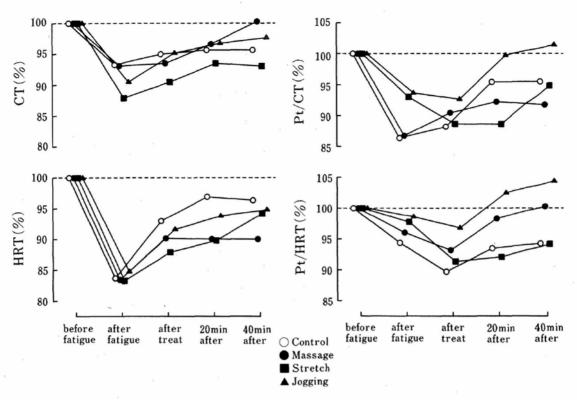


図3 疲労前の値を 100% とした時の CT, HRT, Pt/CT, Pt/HRT の平均値の経時的変化

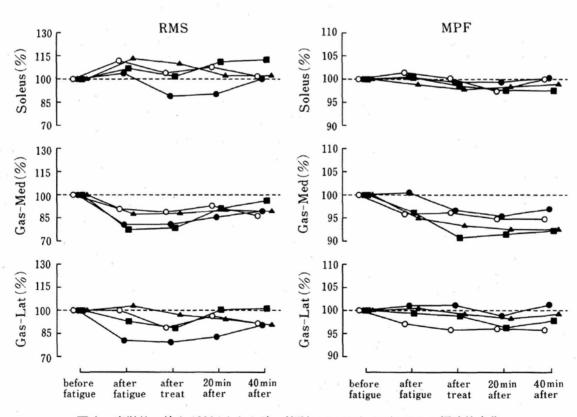


図4 疲労前の値を 100% とした時の筋別の RMS および MPF の経時的変化

ングの順番であるが、ストレッチングはあまりコ ントロールと変らない傾向が認められた. 50% MVC で筋力を維持している時の筋放電の 平均振幅および平均周波数を筋別に**図4**に示し た. RMS については、ヒラメ筋では疲労によって増加し、その後減少するが、腓腹筋では逆に疲労によって低下しその後元に戻る傾向が認められた. しかし、回復法によってあまり大きな違いは認められなかった. また、MPF は腓腹筋で疲労により低下し、時間経過とともに回復する傾向がみられたが、これも回復方法による一定の傾向は認められなかった.

各被検者に対し主観的な疲労の残存感を質問した結果、すべての被検者においてマッサージの後はほとんど疲労が残らず、次の日もほとんど筋肉痛がなかったとの回答が得られた。また、ストレッチングやジョギングでは多少疲労感や筋肉痛が残るがコントロールよりもその程度は低いこと、ストレッチングの方がジョギングよりも効果があったとの答えが多かった。

3. 考察

筋疲労の原因については、主にエネルギー源の 枯渇と乳酸などの疲労物質の蓄積が考えられてい る.本研究では、筋中および血中の乳酸濃度の測 定を行なっていないが、本研究での踵上げ運動は 1セット最高 45 秒程度の短時間の運動であり、 グリコーゲンの枯渇は起こっていないと考えられ ることから、乳酸の蓄積が疲労の主要因と考えられる。

Pt や収縮速度などの誘発張力のパラメータは、 図2、図3に示したように、疲労により大きく低下していた。先行研究によると、筋疲労および回復時において、Pt や収縮速度は乳酸濃度と負の相関があることが明らかにされている^{5.6,22)}。すなわち、解糖系のエネルギー供給機構による乳酸蓄積によって筋中に水素イオンが増加すると、トロボニンや筋小胞体とカルシウムイオンとの結合が阻害される^{7,21)}ため、収縮張力が低下したり、筋小胞体のカルシウムイオン取り込みや放出速度と関係するCT、HRT、+dF/dt、-dF/dt³⁾が低下 する. このように、本実験で観察された筋疲労による収縮能力の低下は、乳酸蓄積によって興奮収縮連関(E-C coupling)が阻害されたことによるものと考えられる.

本研究では50% MVC を維持している時、とく に腓腹筋の筋放電の MPF が疲労によって低下す る傾向が認められた. 先行研究では, 乳酸濃度と MPF の低下の割合との間に高い相関があること が報告い2,23)されており、その原因としては、乳酸 蓄積による motor units の conduction velocity の低下^{16,20)}や,motor units の発火の同期 化15.18)などが示唆されている。このように、乳酸蓄 積によって MPF は低下する。また、速筋線維の 占める割合が多い筋ほど乳酸の生成が早く20, MPF の低下も早い^{9,14,19)}ことも報告されている. すなわち、速筋線維が多い筋では乳酸の蓄積が早 く、その結果 MPF も早く低下する。本研究では、 踵上げ動作の繰り返しにより、 ヒラメ筋より速筋 線維の多い腓腹筋で主に乳酸が蓄積し、E-C coupling が阻害されて収縮能力が低下したので はないかと推察される.

したがって、疲労を早く回復させるには、この 乳酸を早く除去させることが必要である。先行研究によると、乳酸を除去する時には、運動後安静 にしているよりも、全身を使った軽い運動を行 なった方が早く除去されることが明らかにされて いる^{8,10)}. すなわち、激しい運動で局所的に乳酸が 蓄積されたような場合、全身的な運動を行ない、 全身の循環血流量を高めた状態にしておくこと で、早く乳酸を除去することができると考えられ る. 本研究においても、疲労後に軽いジョギング をすることにより、乳酸の除去が早まり、収縮パ ラメータの回復が促進されたと考えられる.

実際のスポーツ場面では、疲労により堅くなった筋をストレッチングで伸ばしたりほぐすことはよく行なわれているが、それだけで全身の血流を増大させる効果はあまりなく、乳酸を早く除去す

ることは期待できない。また、Cafarelli ら²⁰は振動マッサージではあまりパフォーマンスの回復は起こらなかったと報告している。マッサージは局所的に血流をよくする働きがあるが、全身の循環を高めていないため、乳酸の除去をあまり促進していないと考えられる。このような理由により、ストレッチングやマッサージでは、ジョギングほど収縮機能は早く回復しないのではないかと思われる。以上述べてきたように、筋の収縮能力を早く回復させるにはジョギングが最も優れており、積極的休息の重要性が示唆された。

一方、ストレッチングやマッサージは筋疲労回復にはあまり効果がないのだろうか. 本研究では、すべての被検者において、マッサージを行なうと「すっきりした」とか「気持ちがいい」など精神的、感覚的に疲労感がとれたとの解答を得られたことから、マッサージにはいわゆる中枢性疲労を取り除く精神的効果があるものと思われる. すなわち、図2で示したように、マッサージを施した時の随意による最大の筋力(MVC)の回復が最も早かったのも、精神的な効果があったためではないかと考えられる. また、マッサージを施した翌日や2日後では筋痛や筋の疲労感などがあまりなかったとの解答が多かったことから、マッサージには遅発性の筋痛を抑える効果もあるものと思われる.

さらに、ストレッチングによっても遅発性の筋痛が和らいだとの被検者の解答が多かったところから、ストレッチングは筋の収縮能力の回復よりも、筋痛を抑える役割を果たすのではないかと思われる。deVries⁴、森谷ら¹⁷は、静的なストレッチングによって遅発性の筋通が抑えられたと報告しており、本研究の結果と一致している。しかしながら、最近、Highら¹¹⁰は、ストレッチングは筋痛を抑える効果がないと報告しており、ストレッチングは筋痛を抑える効果がないと報告しており、ストレッチングは筋痛を抑える効果がないと報告しており、ストレッチングをいつ行なうか、時間はどれ位かなどを含めて今後検討していく必要があると思われる。

本研究では、ジョギングによって筋の収縮能力がより早く回復し、マッサージによって中枢性の疲労を取り除いて精神的にリラックスさせ、さらにストレッチングによって筋痛が抑えられることが明らかとなった。したがって、スポーツ場面における最も効果的な疲労の回復方法は、これら3つの方法を合せて行なうことであると思われる。すなわち、中枢性疲労、末梢性疲労さらに筋に障害を残さないよう、クーリング・ダウンにはゆっくり時間をかけ、これら3つの方法を合せて総合的に行なう必要があることが示唆された。

まとめ

ジョギング、マッサージ、ストレッチングのうちいずれの疲労回復法が最も効果的かを明らかにするため、筋疲労および回復期の誘発張力、最大の随意筋力および一定筋力発揮時の筋電図を分析した結果、以下のことが明らかとなった.

- 1)最大随意筋力は、各回復法ともコントロールに比べ回復が早い傾向が認められた。
- 2) 一定筋力発揮時の筋放電については、筋疲労によりとくに腓腹筋において平均周波数の低下がみられ、時間経過とともに回復していくが、回復法による顕著な差は認められなかった.
- 3)最大単収縮力、収縮や弛緩の最大速度、平均速度については、ジョギングによる回復が最も早い傾向が認められたが、マッサージやストレッチングはコントロールとあまり差がみられなかった。
- 4)被検者の主観的疲労感については、マッサージ、ストレッチングを施した時に、疲労感や筋痛が残らないとの解答が多かった。

以上のことから、筋そのものの収縮機能を回復 させるにはジョギングが最も効果的であるが、精 神的リフレッシュ、またはその後の筋痛を抑える 意味で、マッサージやストレッチングも合わせて 行なう必要があることが示唆された。

文 献

- Bouissou, P., Estrade, P. Y., Goubel, F., Guezennec, C. Y., Serrurier, B.; Surface EMG power spectrum and intramuscular pH in human vastus lateralis muscle during dynamic exercise, J. Appl. Physiol., 67, 1245 -1249 (1989)
- 2) Cafarelli, E., Sim, J., Carolan, B., Liebesman, J.; Vibratory massage and short-term recovery from muscular fatigue, *Int. J. Sports Med.*, 6, 474-478 (1990)
- 3) Close, R. I.; Dynamic properties of mammalian skeletal muscles, *Physiol. Rev.*, **52**, 129-197 (1972)
- 4) deVries, H. A.; Electromyographic observations of the effects of static stretching upon muscular distress, *Res. Quart.*, **32**, 468-479 (1961)
- 5) Duchateau, J., Montigny, L., Hainaut, K.; Electro-mechanical failures and lactate production during fatigue, Eur. J. Appl. Physiol., 56, 287-291 (1987)
- 6) Fitts, R. H., Holloszy, J. O.; Lactate and contractile force in frog muscle during development of fatigue and recovery, *Am. J. Physiol.*, **231**, 430-433 (1976)
- 7) Fuchs, F., Reddy, V., Briggs, F. N.; The interaction of cations with the calcium-binding site of troponin, *Biochim. Biophys. Acta*, 221, 407-409 (1970)
- 8) Gisolfi, C., Robinson, S., Turrell, E. S.; Effects of aerobic work performed during recovery from exhausting work. *J. Appl. Physiol.*, **21**, 1767-1772 (1966)
- Häkkinen, K., Komi, P. V.; Electromyographic and mechanical characteristics of human skeletal muscle during fatigue under voluntary and reflex conditions, *Elec*troenceph. Clin. Neurophysiol., 55, 436-444 (1983)
- Hermansen, L., Stensvold, I.; Production and removal of lactate during exercise in man, Acta Physiol. Scand., 86, 191-201 (1972)
- 11) High, D. M., Howley, E. T., Franks, B. D.; The effects of static stretching and warmup on prevention of delayed-onset muscle soreness, Res. Quart. Exer. Sport, 60, 357-361 (1989)
- 12) Horita, T., Ishiko, T. ; Relationships between muscle lactate accumulation and surface EMG activities during isokinetic contractions in man, Eur. J. Appl. Physiol., 56, 18 -23 (1987)
- 13) Ishida, K., Moritani, T., Itoh K.; Changes in voluntary and electrically induced contra-

- ctions during strength training and detraining, Eur. J. Appl. Physiol., 60, 244-248 (1990)
- 14) Komi, P. V., Tesch, P.; EMG frequency spectrum, muscle structure, and fatigue during dynamic contractions in man, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **42**, 41-50 (1979)
- Largo, P., Jones, N. B.; Effect of motorunit firing statistics on E. M. G. spectra, Med. Biol. Eng. Comput., 15, 648-655 (1977)
- 16) Lindström, L., Magnusson, R., Petersén, I.; Muscular fatigue and action potential conduction velocity changes studied with frequency analysis of EMG signals, *Electromyog. Clin. Neurophysiol.*, 10, 341-356 (1970)
- 17) 森谷敏夫,石田浩司,田口貞善;ストレッチングによる筋痛の生理学的効果に関する電気生理学的解明,デサントスポーツ科学,8,212-220 (1986)
- 18) Moritani, T., Muro, M., Nagata, A.; Intramuscular and surface electromyogram changes during muscle fatigue, *J. Appl. Physiol.*, **60**, 1179-1185 (1986)
- 19) Moritani, T. Nagata, A., Muro, M.; Electromyographic manifestations of muscular fatigue, Med. Sci. Sports Exer., 14, 198-202 (1982)
- 20) Mortimer, J. T. Magnusson, R., Petersén, I.; Conduction velocity in ischemic muscle: effect on EMG frequency spectrum, Am. J. Physiol., 219, 1324-1329 (1970)
- 21) Nakamura, Y., Schwartz, A.; The influence of hydrogen ion concentration on calcium binding and release by skeletal muscle sarcoplasmic reticulum, *J. Gen. Physiol.*, **59**, 22 32 (1972)
- 22) Sahlin, K., Edström, L., Sjöholm, H., Hultman, E.; Effects of lactate acid accumulation and ATP decrease on muscle tension and relaxation, Am. J. Physiol., 240, C 121-C 126 (1981)
- 23) Tesch, P. A., Komi, P. V., Jacobs, I., Karlsson, J., Viitasalo, J. T.; Influence of lactate accumulation of EMG frequency spectrum during repeated concentric contractions, *Acta Physiol. Scand.*, 119, 61-67 (1983)
- 24) Tesch, P., Sjödin, B., Karlsson, J.; Relationship between lactate accumulation, LDH activity, LDH isozyme and fibre type distribution in human skeletal muscle, *Acta Physiol.* Scand., 103, 40-46 (1978)