

筋肉痛が生じている部位の運動を 行ってもよいのか？

横浜市立大学 野 坂 和 則
(共同研究者) 同 坂 本 啓

Do Repeated Bouts of Eccentric Exercise with Sore Muscle Exacerbate Muscle damage and Retard Recovery Process?

by

Kazunori Nosaka, Kei Sakamoto
Exercise and Sports Science
Department of Environmental Science
Yokohama City University

ABSTRACT

It is well documented that muscle soreness occurs when performing eccentric exercise, and muscle soreness is an indication of muscle damage. Muscle soreness after eccentric exercise develops in several hours and peaks at 1-3 days after exercise, then subsides gradually. Exercises are often performed using sore muscles. It has not been investigated that how the exercises with sore muscles influence the recovery from muscle damage. The purpose of this study was to test the hypothesis that performing repeated bouts of eccentric exercise when muscles were sore and not recovered from previous eccentric exercise would exacerbate muscle damage and retard recovery process. Eight male students (19.6 ± 1.3 yrs) who had never involved in any resistance training program were used as subjects. One arm performed three sets of 10 eccentric actions of the elbow flexors (ECC) using a dumbbell that was set at 50% of the pre-

exercise maximal isometric force level with the elbow joint angle at 90 degrees (1 bout condition). The other arm performed the same exercise three weeks later, and repeated the exercise in every other day for 3 times (ECC 1, ECC 2, ECC 3) (3 bouts condition).

Changes in maximal isometric force (MIF), relaxed (RANG) and flexed elbow joint angle (FANG), circumferences of the upper arm (CIR), muscle soreness, and plasma creatine kinase activity (CK) were compared between the arms. These measures were assessed immediately before and after each ECC and for 5 days after exercise in the 1 bout condition and for 1 day after the 3 bouts condition. All measures changed significantly immediately after ECC in the 1 bout condition as well as ECC 1-3 ($P < 0.05$). Changes in MIF, RANG, and CIR were significantly different between the conditions, but recovery process did not seem to be exacerbated in the 3 bouts condition. Muscle soreness did not develop after ECC 2 and ECC 3, and the soreness level even decreased significantly ($P < 0.05$) immediately after ECC 2 and ECC 3. These results suggest that eccentric exercise performed with "sore muscle" did not produce further soreness and muscle damage nor exacerbated the repair process when the exercise was repeated every other day.

要 旨

エクセントリック運動に伴う筋肉痛がピークである時期に、さらにエクセントリック運動を行った場合の筋損傷については検討されていない。本研究では、エクセントリック運動による筋肉痛がピークの状態、さらなるエクセントリック運動を負荷した場合、筋損傷は悪化し、筋の損傷からの回復も遅れるのではないかと仮説を検証することを目的とした。被験者にはレジスタンストレーニングを習慣的に行っていたことがない8名の男子大学生を用いた。片方の腕では、肘関節角度90度にて測定した最大等尺性屈筋力の50%に相当する重量のダンベルを用い、肘屈曲位（肘関節角度：約60度）から肘伸展位（肘関節角度：約180度）まで約5秒間かけてゆっくり降ろす運動を10回3セット実施した。検者は被験者の肘が伸展した時

点でダンベルを支え、被験者が無負荷で肘屈曲位に腕を戻し、つぎのエクセントリック動作ができるようにダンベルの移動を行った。15秒に1回ずつエクセントリック動作を行い、セット間は3分とした。この運動の3週間後に、他方の腕で同様なエクセントリック運動を3セット行い、さらにこの腕には1日おきに計3回の運動を負荷した。すなわち、1回目のエクセントリック運動による筋肉痛がピークであるときに2回目のエクセントリック運動を、さらに筋が前の運動から回復していないときに3回目の運動を負荷した。

肘関節角度90度における最大等尺性屈筋力、弛緩時および最大屈曲時の肘関節角度、上腕部周径、筋肉痛、血漿クレアチンキナーゼ（CK）活性値を間接的な筋損傷指標とし、これらの変動を両腕間で比較した。エクセントリック運動を1回のみ行った腕と3回実施した腕では、弛緩時肘関

節角度、上腕部周径囲、CK の変動に有意差が認められた。しかし、これらの差の要因は必ずしも 2 回目、あるいは 3 回目の運動を负荷したことにあるとは考えにくかった。筋肉痛は、2 回目、3 回目のエクセントリック運動に伴っては発現せず、運動直後にはむしろ痛みが軽減していた。これらの結果より、筋肉痛がある筋肉にさらに筋損傷を誘発するような负荷をかけても、筋肉痛は悪化せず、また、筋の損傷からの回復が著しく妨げられることもないことが明らかになった。

緒 言

慣れていない運動や久しぶりの運動を行った数時間後から数日間にわたって筋肉痛に悩まされることはしばしばある^{17, 25)}。筋肉痛は伸張性の筋活動を伴う動作（エクセントリック動作）によって引き起こされやすいことが知られており^{1, 2, 9, 27)}、筋^{10, 13, 16, 23)}あるいは結合組織の損傷^{3, 27)}が原因で起こると考えられている。一般に痛みは危険信号であり^{17, 25)}、生体の異常を知らせ患部の安静を促していると考えられる。したがって、筋肉痛があるということは、その部位には損傷あるいは炎症が生じており^{9, 12, 25)}、少なくとも筋肉痛が消失するまでは、その部位の安静を保つことが必要なのだと解釈できる。しかし一方で、筋肉痛があっても運動をするような状況は多々あり、また、筋肉痛のある部位を痛みをこらえて動かすことによってかえって痛みが軽減することがあるのも経験的な事実である^{17, 19)}。

筋肉痛が生じている部位にさらに筋肉痛を生じさせる運動を负荷した場合、筋の損傷はどうなるのか、また筋の機能的な回復にどのような影響を与えるのかについては明らかにされていない。そこで本研究では、エクセントリック運動によって筋肉痛を生じさせた部位に、さらなるエクセントリック運動を负荷した場合の筋の変化について検討することを目的とした。

1. 研究方法

被験者にはレジスタンストレーニングを習慣的に行っていない 8 名の男子大学生を用いた。被験者の身体的特性（平均±標準偏差）は、年齢 19.6 ± 1.3 歳、身長 170.0 ± 7.1 cm、体重 64.0 ± 8.3 kg であった。運動には上腕屈筋群の伸張性筋運動（エクセントリック運動）を右、左それぞれの腕を用いて、異なった负荷設定で行った。片方の腕では、肘関節角度 90 度にて測定した最大等尺性屈筋力の 50% に相当する重量のダンベルを、肘屈曲位（肘関節角度：約 60 度）から肘伸展位（肘関節角度：約 180 度）まで約 5 秒間かけてゆっくり降ろす運動を 10 回 3 セットのみ実施した。検者は被験者の肘が伸展した時点でダンベルを持ち、被験者が無负荷で肘屈曲位に腕を戻し、15 秒に 1 回ずつエクセントリック動作ができるように補助した。セット間は約 2 分とした。この運動の 3 週間後に、他方の腕で同様な负荷に相当する重量のダンベルを用いたエクセントリック運動 3 セットを前述の方法で行い、さらにこの腕には、2 日後に 2 回目の運動を、さらにその 2 日後に 3 回目の運動を负荷した。すなわち、この腕には 1 日おきに計 3 回の運動が负荷され、1 回目のエクセントリック運動による筋肉痛がピークであるときに 2 回目のエクセントリック運動が、さらに筋が回復していないときに 3 回目の運動が负荷された。

肘関節角度 90 度における最大等尺性屈筋力、弛緩時および最大屈曲時の肘関節角度、上腕部周径囲、筋肉痛、血漿クレアチンキナーゼ（CK）活性値を間接的な筋損傷指標とし、これらの変動を両腕間で比較した。また B モード超音波法による上腕部の筋断面像から筋の状況の把握を試みた。統計には 2 元分散分析を用い、また、運動前後での筋肉痛の程度の比較には t 検定を用いた。有意水準は危険率 5 % 以下とした。

最大等尺性筋力の測定は、竹井機器工業社製の

多用途筋力測定装置を用い、肩関節および肘関節を90度に保つように上腕部を台の上に載せ、手でグリップを握り、グリップの高さで床と水平にセットされたバネ式筋力計を約3秒間引っ張ることによって行った。このとき、上体は固定し、上腕屈筋群のみを用いた筋力発揮ができるようにした。測定は2回行い2回の平均値を記録とした。弛緩時および最大屈曲時の肘関節角度の測定は、あらかじめ皮膚上に測定の基準になる点をマジックインクにて印し、そこに角度計をあてて行った。測定は2回行い、2回の平均値を記録とした。

上腕部周径囲は肘関節より3, 5, 7, 9 cm 部位に巻き尺を当てて測定した。測定部位の皮膚にはマジックインクで印をつけておき、常に同じ部位の測定ができるようにした。また、測定には同じ検者が当たるものとし、巻き尺の当てる位置や強さが常に一定になるようにした。この測定における誤差は ± 2 mm 以内であることがあらかじめ確認されている。

上腕部周径囲を測定した部位に7.5 MHz のリニア探触子をあて、Bモード法により超音波画像をアロカ社製の超音波診断装置システム (ECHO-CAMERA SSD-500/ECHO COPIER SSZ-305) を用いて撮影した。画像プリントから皮下脂肪、上腕骨を基準として上腕屈筋群の筋厚を求めた。また、エコーの信号強度を手がかりに、筋の損傷状態の把握を試みた。採血はヘパリン入り真空採血管を用いて肘正中静脈から約3 ml の血液を得、遠心分離の後、血漿を得た。サンプルは測定までの期間、 -20 度の冷凍庫に凍結保存した。CK 活性値の測定には、ダイナボット株式会社製のキット試薬を用い、生化学自動分析システム・VP スーパーを用いて分析した。筋肉痛の測定はアンケート用紙を用いて行った。アンケート用紙には上腕部3カ所、前腕部3カ所の圧痛、および肘屈曲時と伸展時の運動痛の程度が5 cm の線上に示せるようになっており、線の左端には無痛、右端が非

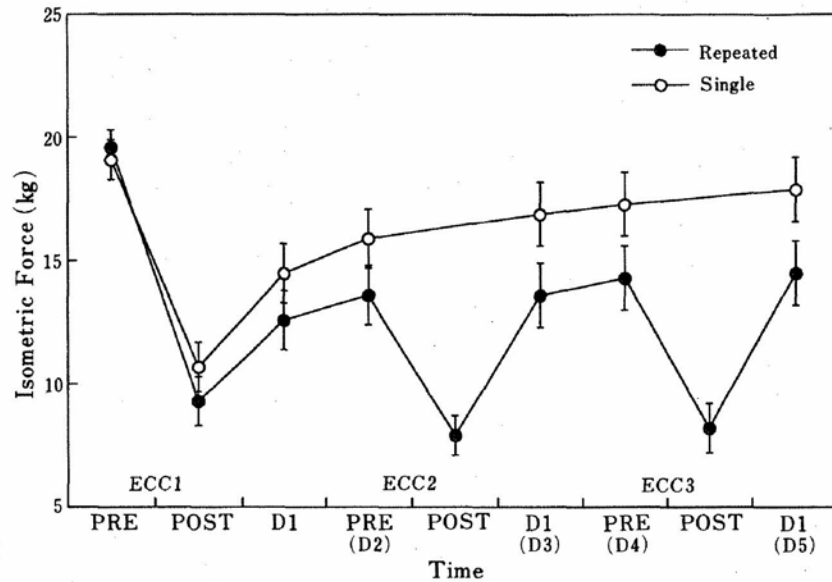
常に痛いと示され、痛みの程度を線上に示せるようになっており痛みの程度が記された所までの線の長さをもって、痛みの評価とした。

2. 研究結果

肘関節角度90度における最大等尺性屈筋力の運動前値は、1回の運動を負荷した腕で 19.6 ± 2.2 kg、3回の運動を負荷した腕で 19.1 ± 2.0 kg であった。1回目の運動直後にはそれぞれ 9.3 ± 2.8 kg、 10.7 ± 2.5 kg まで減少し、2日目までにそれぞれ 12.6 ± 3.3 kg、 14.5 ± 5.1 kg まで回復した。2回目、3回目の運動直後の筋力は1回目の運動直後とほぼ同じであり、それぞれ 7.9 ± 2.3 kg、 8.2 ± 2.7 kg であったが運動前値からの減少量は1回目の運動ほど大きくなかった。2回目、3回目の運動直後の変化を除いて検討した場合、両腕間で筋力の回復過程には有意な差は認められず、3回運動を行った腕で大きく回復が遅延していることはなかった (図1)。

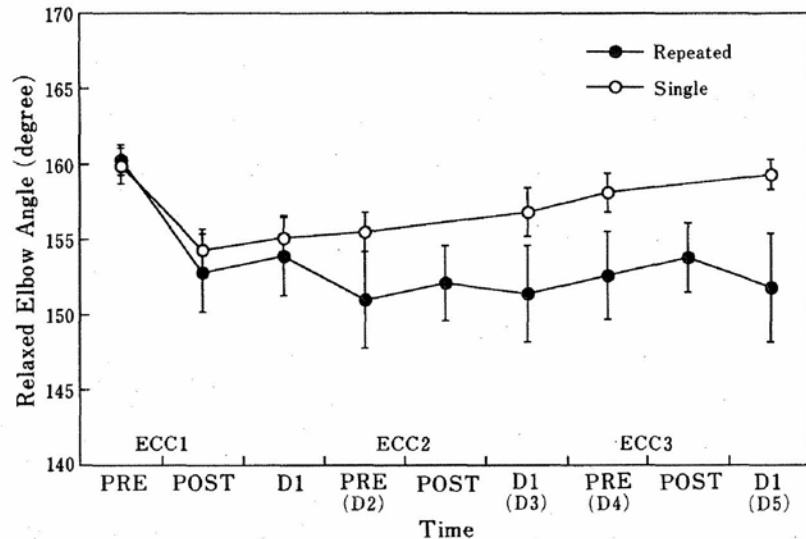
弛緩肘関節角度は1回目の運動直後に減少し、その2日後までに1回のみ運動を負荷した腕では徐々に回復しているのに対し、3回の運動を負荷した腕ではさらに減少していた。2回目、3回目の運動直後には一時的に角度の増加が認められたが、実験期間中に運動前値までは回復しなかった。これに対して、1回のみ運動負荷では運動5日後までにほぼ運動前値まで回復した。2回目、3回目の運動直後の変化を除いて検討した場合でも、両腕間の変化には有意な差が認められた (図2)。最大屈曲時肘関節角度は運動後に15~18度増加し、肘関節を屈曲しづらくなっていた。2回目、3回目の運動後にも約15度の増加が認められた。2回目、3回目の運動直後の変化を除いて検討した場合、両腕間の変化には有意な差は認められなかった (図3)。

上腕部周径囲は、図4に示したように運動直後に約1 cm 大きくなり、1日後までに0.4 cm 程細



8名の被験者の平均値と標準誤差を示した。1回のみ運動 (ECC1) を行った腕では直前 (PRE)、直後 (POST) と1日後から5日後 (D1-D5) の変化を、1日おきに3回の運動 (ECC1-ECC3) を行った腕では各運動の直前 (PRE)、直後 (POST) と1日後 (D1) の変化を示してある

図1 1回 (Single) および3回 (Repeated) のエクセントリック運動に伴う最大等尺性屈筋力の変化

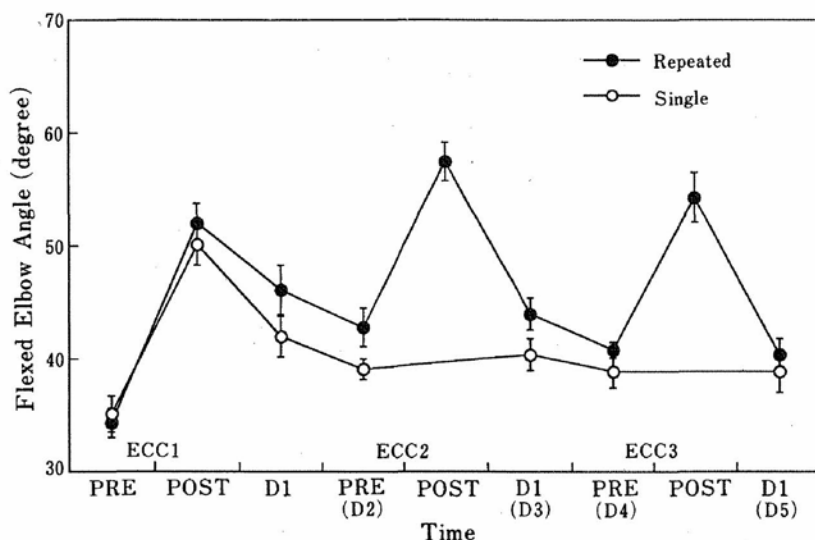


8名の被験者の平均値と標準誤差を示した。X軸の説明は図1を参照

図2 1回 (Single) および3回 (Repeated) のエクセントリック運動に伴う弛緩時肘関節角度の変化

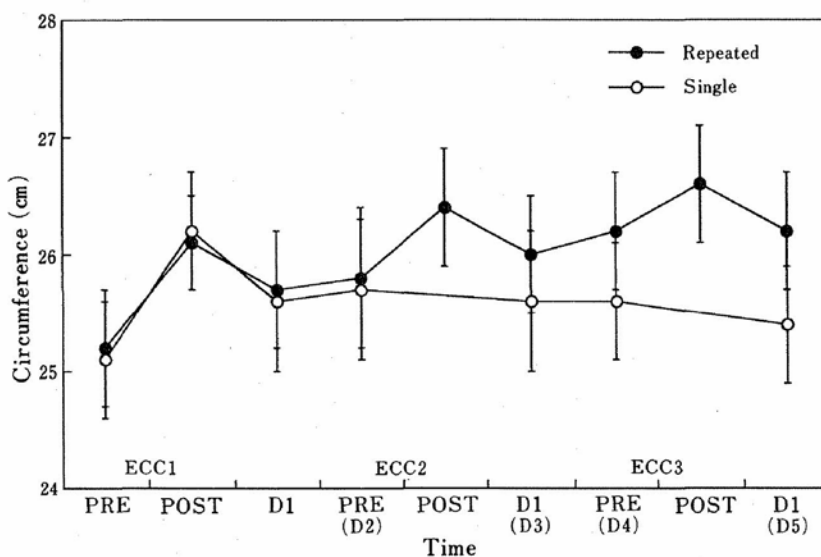
くなったが、運動前に比べ若干増加した状態はしばらくの間継続した。2回目の運動後には約0.6 cm, 3回目の運動後には約0.4 cm 運動前値より増加した。2回目, 3回目の運動直後の変化を除

いて検討した結果、両腕間の変化には有意な差が認められ3回の運動を负荷した腕で有意に大きかった。超音波画像からも、周径囲の変化と対応して筋厚の増加が認められた。また、運動後には浮腫



8名の被験者の平均値と標準誤差を示した。X軸の説明は図1を参照

図3 1回 (Single) および3回 (Repeated) のエクセントリック運動に伴う最大屈曲時肘関節角度の変化



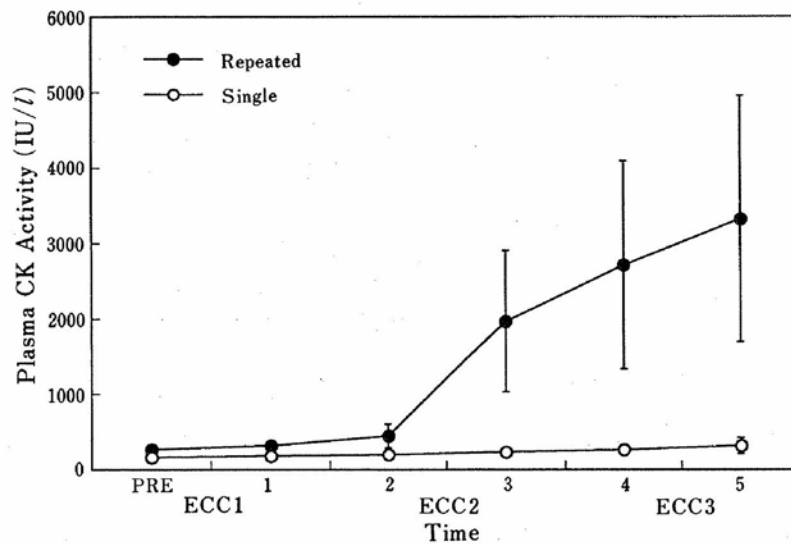
8名の被験者の平均値と標準誤差を示した。X軸の説明は図1を参照

図4 1回 (Single) および3回 (Repeated) のエクセントリック運動に伴う上腕部周径の変化

が原因と考えられるエコーの信号強度の増加が認められた。

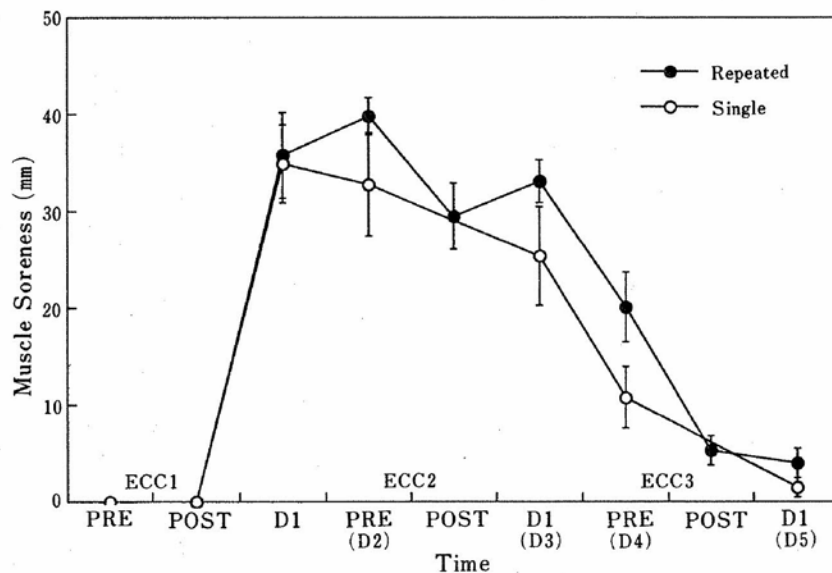
CK の変化には両腕間に顕著な差が認められた。1回のみ運動を負荷した腕では大きな増加が認められなかったのに対し、3回の運動を負荷した腕ではピークが3,000 IU/l を越える有意に大きな増加であった (図5)。1回目の運動1日後には

上腕屈筋群に激しい筋肉痛が発現した。痛みは上腕部の筋群を圧迫したときに最も大きく、続いて伸展時、屈曲時の順であった。図6には圧痛の変化を示した。運動1～2日後をピークとして筋肉痛は徐々に消失し、1回目の運動の5日後までにはほとんどなくなった。2回目、3回目の運動直後の変化を除いて検討した結果、両腕間の変化に



8名の被験者の平均値と標準誤差を示した。1回のみ運動（ECC1）を行った腕では直前（PRE）と1日後から5日後（1-5）の変化を、1日おきに3回の運動（ECC1-ECC3）を行った腕でも第1回目の運動後の5日間の変化を示してある

図5 1回（Single）および3回（Repeated）のエクセントリック運動に伴うCKの変化



8名の被験者の平均値と標準誤差を示した。X軸の説明は図1を参照

図6 1回（Single）および3回（Repeated）のエクセントリック運動に伴う筋肉痛の変化

は有意な差が認められなかった。2回目、3回目の運動前後での筋肉痛の程度の変化に着目すると、運動後に筋肉痛が有意に軽減されていることが明らかとなった。

3. 考 察

1回のみ運動を负荷した腕と1日おきに3回の運動を负荷した腕とでは、最大等尺性屈筋力（図1）、最大屈曲時肘関節角度（図3）、筋肉痛（図6）においては有意な差が認められなかった。

弛緩時肘関節角度 (図2), 上腕部周径囲 (図4), CK (図5) には両腕間で有意な差が認められたが, 2回目, 3回目の運動によって回復過程が遅延したことを裏付ける変動とは考えられなかった。その理由として, 弛緩時肘関節角度は2回目の運動前ですでに差が生じており, 2回目, 3回目の運動によって長期間にわたる弛緩時肘関節角度の減少が生じたとは考えにくい (図2)。CK の変化においても, 一般に, 上腕屈筋群のエクセントリック運動後の上昇は2日後から顕著になり, ピークは運動後4~5日である^{6, 8, 20, 21)}。2回目, 3回目の運動によって筋損傷が悪化した結果, 大きなCK上昇が生じたとは考えにくい。むしろ1回の運動のみを行った腕でほとんどCKが変動しなかったことは, これまでの同様なモデルを用いた研究結果¹⁹⁾とは異なっている。おそらく, 1回のみ運動を负荷した腕に対する運動刺激は, 3回の運動を负荷した腕の1回目の運動刺激と比較して小さかったのではないかと考えられる。運動直後の最大等尺性屈筋力, 弛緩時および最大屈曲時肘関節角度の変化が小さかったことは, それを裏付けているように思われる。

実験の設定として, 1回の運動での筋損傷度に差が生じてしまったことは, 1回のみ運動负荷と3回の運動负荷を比較するうえで適切でないことは認めざるをえない。しかし, 1回目の運動でおそらく, より損傷を受けたであろうと考えられる腕において, その後さらに2回の運動を负荷した場合でも, 最大等尺性屈筋力, 最大屈曲時肘関節角度, および筋肉痛の回復過程に差が認められなかった (図1, 3, 6)。したがって, 筋肉痛がピークの時期にさらに筋損傷を誘発させるような運動を与えても, 新たに顕著な筋損傷は誘発されないと考えて良いように思われる。また, 弛緩時肘関節角度 (図2), 上腕部周径囲 (図4), CK (図5) の変化があるとはいえ, 最大のエクセントリック運動を负荷した実験結果^{6, 20, 21)}と比較し

て, その変動幅が小さかったことは, 最大等尺性屈筋力の50%の负荷が, 顕著な筋損傷を起こすまでには至っていなかったものと推察される。

肘関節角度90度において測定した最大等尺性屈筋力の50%の负荷は, 肘関節が120度よりも大きくなり伸展位に近い状態では, ほぼ最大に近いエクセントリック负荷となっていたと考えられるが, 120度よりも小さい角度では十分なエクセントリック负荷とはなっていなかったことは明らかである¹⁹⁾。しかし, 日常的なトレーニングの場面では, 今回のトレーニングで用いたような负荷が用いられることも多いと考えられる。よって, 今回の実験において用いたエクセントリック運動负荷で生じる筋肉痛は, 多くの運動・スポーツ愛好者がしばしば経験する筋肉痛の状況に近いものと考えられ, そのような筋肉痛が生じているときに, 痛みがある筋を用いて運動をしてもいいのか, という疑問に対する答えを導くのに適切なモデルとなっていたと考えられる。

本研究結果より, 筋肉痛がピークである状態でさらにエクセントリック運動を行っても, 筋損傷が悪化したり, 回復が遅延することはないというデータが得られたことは, 筋肉痛がある筋を用いて運動しても良いということになる。先行研究¹⁹⁾においても, 3日おきに3回のエクセントリック運動を実施した場合, 本研究と同様な指標の変化は1回のみ運動と有意な差がなかったことが示されている。本研究では1日おきに3回のエクセントリック運動を実施したが, この場合も, 3日おきと同様に2回目, 3回目の運動によって筋損傷が悪化したり, 回復過程が顕著に遅れることはなかったと考えられる。したがって, 筋肉痛があるときに筋肉痛がある部位の運動を行っても, それだけでは筋に悪影響を与えることにはならないものと結論づけられる。

筋肉痛に限って言えば, 図6に示したように, 2, 3回目の運動直後の筋肉痛がレベルが有意に

低下していることから、筋肉痛は運動によって軽減されることが明らかとなった。経験的には、筋肉痛がある部位を動かすときは最初は痛さをこらえなければならないが、しばらくすると痛みが軽くなる現象がある。本実験の結果は、この現象を確認したことになる。このメカニズムについては不明であるが、運動によって痛みに対する感受性が増加することが知られている^{11, 14)}。また、運動前にストレッチングやウォーミングアップを行うことによって、その後の筋肉痛や筋損傷が軽減されること²⁰⁾が報告されている。これは萎縮していた筋や結合組織が運動によってストレッチされ、スムーズに動くようになり、余分な緊張が取れたために痛みが軽減されたことや、運動による筋温の上昇、血流の増加、痛みを誘発する化学物質の代謝が促進されたことなどによって痛みが軽減するのかもしれない。また、筋肉痛の要因として、筋内圧の上昇が指摘されているが^{7, 13)}、筋を動かすことによって水分代謝が良くなり、水分による神経の圧迫が軽減されることも考えられる。しかし、筋肉痛が軽減されたことが筋損傷の回復が早まったと解釈するのは誤りであろう。エクセントリック運動後に軽いコンセントリック運動を実施することによって一時的に筋肉痛が軽減することが Saxton and Donnelly²⁰⁾ によって報告されているが、その効果は筋の回復を促進するほどではなかったとされている。今回のエクセントリック運動でも、運動によって回復過程が促進するような効果は認められなかった。

なぜ筋損傷が悪化しないのかについては明らかではない。エクセントリック運動に伴う筋損傷は運動直後よりも数日後からより顕著になり^{13, 23)}、回復には長期間を要することが知られている^{20, 26)}。また、1度エクセントリック運動を行った筋には長期間にわたって再びエクセントリック運動を行った場合の筋損傷を軽減する適応が残る^{4, 5, 21)}。さらに筋損傷が完全に回復しないうちに、さらに刺

激を加えても、すでに筋には適応が生じることが報告されている^{8, 15, 18)}。

今回の実験結果を加味すると、少なくとも運動1日後にはさらなるエクセントリック運動負荷に対する耐性ができあがっていることになる。神経系や免疫系などの関与があるのかもしれないが、これが何によるものなのかは現在のところ不明である。Armstrong ら²¹⁾ は、1回目のエクセントリック運動時には運動ストレスに対する耐性の低い筋線維が選択的に損傷、除去され、筋にはストレス耐性の高い筋線維だけが残るため、2回目以降の運動に伴う筋損傷が1回目ほど顕著ではないという仮説を提唱している。本研究において、2回目、3回目の運動は筋力が低下している状況で行われており、1回目の運動時よりも少ない筋線維で1回目と同様な仕事をしていることになる。それにもかかわらず、2, 3回目の運動の影響を受けずに筋力(図1)や関節角度(図2, 3)が回復していることは、ストレス耐性の高い筋線維には損傷が生じないことを示しているのかもしれない。

筋肉痛がある筋の運動を行っても良いということは、それが効果的だということとは異なる。筋力の低下がある状況では十分な運動負荷が得られないし、危険性もあることを念頭に置くべきである¹⁹⁾。今後、組織学的な検討も含めて、筋損傷が回復していない状態で連続的に損傷が誘発される刺激を加えていった場合の筋の変化について、研究を進めていくことが必要である。

4. 結 論

エクセントリック運動負荷によって筋肉痛が生じている上腕屈筋群に、1回目の運動の2日後、さらに4日後にエクセントリック運動を負荷した場合の間接的筋損傷指標の変動について検討した。その結果、2回目、3回目のエクセントリック運動によって、新たな筋肉痛は生じないばかりか、

運動直後には痛みが軽減した。また、筋力や関節可動域の回復が悪化していることもなかったことから、筋肉痛があるときに、さらに筋損傷を誘発する運動刺激を加えても、筋の損傷度が増したり損傷からの回復が遅れたりするような現象はないものと考えられた。これは一般的な外傷とは明らかに異なり、筋肉痛の特殊性を示唆するものである。しかし、筋肉痛があるときには、筋力や関節可動域の低下を伴うことが多く、このような状況で運動することには危険性が伴う可能性は否定できず、またトレーニング効果の観点から考えると、決して効果的なトレーニングとはいえないと考えられた。

謝 辞

本研究に助成して下さった、財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に深謝申し上げます。

文 献

- 1) Appel, H. J., J. M. C. Soares, J. A. Duarte ; Exercise, muscle damage and fatigue, *Sports Med.*, **13**, 108-115 (1992)
- 2) Armstrong, R. B., G. L. Warren, J. A. Warren ; Mechanisms of exercise-induced muscle fiber injury, *Sports Med.*, **12**, 184-207 (1991)
- 3) Bobbert, M. F., A. P. Hollander, P. A. Huijing ; Factors in delayed onset muscular soreness of man, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **18**, 75-81 (1986)
- 4) Byrnes, W. C., P. M. Clarkson, J. S. White, S. S. Hsieh, P. N. Frykman, R. J. Maughan ; Delayed onset muscle soreness following repeated bouts of downhill running, *J. Appl. Physiol.*, **59**, 710-715 (1985)
- 5) Clarkson, P. M., I. Tremblay ; Rapid adaptation to exercise-induced muscle damage, *J. Appl. Physiol.*, **65**, 1-6 (1988)
- 6) Clarkson, P. M., K. Nosaka, B. Braun ; Muscle function after exercise-induced muscle damage and rapid adaptation, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **24**, 512-520 (1992)
- 7) Crenshaw, A. G., L. E. Thornell, J. Friden ; Intramuscular pressure, torque and swelling for the exercise-induced sore vastus lateralis muscle, *Acta. Physiol. Scand.*, **152**, 265-277 (1994)
- 8) Ebbeling, C. B., P. M. Clarkson ; Muscle adaptation prior to recovery following eccentric exercise, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **60**, 26-31 (1990)
- 9) Evans, W. J., J. G. Cannon ; The metabolic effects of exercise-induced muscle damage, In: Exercise and Sports Sciences Review, **19**, J. Holloszy (Ed.), Williams and Wilkins, 99-125 (1991)
- 10) Friden, J., M. Sjostrom, B. Ekblom ; Myofibrillar damage following intense eccentric exercise in man, *Int. J. Sports Med.*, **4**, 170-176 (1983)
- 11) Gurevich, M., P. M. Kohn, C. Davis ; Exercise-induced analgesia and the role of reactivity in pain sensitivity, *J. Sports Sci.*, **12**, 549-559 (1994)
- 12) Howell, J. N., G. Chleboun, B. Conatser ; Muscle stiffness, strength loss, swelling and soreness following exercise-induced injury in humans, *J. Physiol.*, **464**, 183-196 (1993)
- 13) Jones, D. A., D. J. Newham, J. M. Round, S. E. J. Tolfree ; Experimental human muscle damage: morphological changes in relation to other indices of damage, *J. Physiol.*, **375**, 435-448 (1986)
- 14) Kosec, E., J. Ekholm ; Modulation of pressure pain thresholds during and following isometric contraction, *Pain*, **61**, 481-486 (1995)
- 15) Mair, J., M. Mayr, E. Muller, A. Koller, C. Haid, E. Artner-Dworzak, C. Calzolari, C. Larue, B. Puschendorf ; Rapid adaptation to eccentric exercise-induced muscle damage, *Int. J. Sports Med.*, **16**, 352-356 (1995)
- 16) McCully, K. K., J. A. Faulkner ; Characteristics of lengthening contractions associated with injury to skeletal muscle fibers, *J. Appl. Physiol.*, **61**, 293-299 (1986)
- 17) Miles, M. P., P. M. Clarkson ; Exercise-induced muscle pain, soreness, and cramps, *J. Sports Med. Phys. Fitness*, **34**, 203-216

- (1994)
- 18) Newham, D. J., D. A. Jones, P. M., Clarkson; Repeated high-force eccentric exercise : effects on muscle pain and damage, *J. Appl. Physiol.*, **63**, 1381-1386 (1987)
 - 19) Nosaka, K., P. M. Clarkson ; Muscle damage following repeated bouts of high force eccentric exercise, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **27**, 1263-1269 (1995)
 - 20) Nosaka, K., P. M. Clarkson ; Variability in serum creatine kinase response after eccentric exercise of the elbow flexors, *Int. J. Sports Med.*, **17**, 120-127 (1996)
 - 21) Nosaka, K., P. M. Clarkson, M. E. McGuigin, J. M. Byrne ; Time course of muscle adaptation after high-force eccentric exercise, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **63**, 70-76 (1991)
 - 22) Rodenburg, J. B., D. Steenbeek, P. Schiereck, P. R. Bar ; Warm-up, stretching and massage diminish harmful effects of eccentric exercise, *Int. J. Sports Med.*, **15**, 414-419 (1994)
 - 23) Round, J. M., D. A. Jones, G. Cambridge ; Cellular infiltrates in human skeletal muscle : exercise induced damage as a model for inflammatory disease? *J. Neurol. Sci.*, **82**, 1-11 (1987)
 - 24) Saxton, J. M., A. E. Donnelly ; Light concentric exercise during recovery from exercise-induced muscle damage, *Int. J. Sports Med.*, **16**, 347-351 (1995)
 - 25) Smith, L. L. ; Acute inflammation : the underlying mechanism in delayed onset muscle soreness? *Med. Sci. Sports Exerc.*, **23**, 542-551 (1991)
 - 26) Shellock, F. G., T. Fukunaga, J. H. Mink, V. R. Edgerton ; Exertional muscle injury ; evaluation of concentric versus eccentric actions with serial MR imaging, *Radiology*, **179**, 659-664 (1991)
 - 27) Stauber, W. T. ; Eccentric action of muscles ; physiology, injury, and adaptation. In : Exercise and Sports Sciences Reviews, **17**, K. Pandolf (Ed.). Baltimore : Williams and Wilkins, 157-185 (1989)