

「東海保健体育科学」投稿論文

1) 論文種類： 原著論文

2) 題 目 (和)： 伸張性収縮運動後における筋機能と筋の状態や形態との関係

(英)： The relationships between function, and condition and morphology in skeletal  
muscles after eccentric exercise

3) 欄外題目： 筋機能と筋の状態や形態との関係

4) 著者名 (和)： 堀田典生<sup>1)</sup> 山本薫<sup>2)</sup> 前野信久<sup>1)</sup> 石田浩司<sup>3)</sup>

(英)： Norio HOTTA<sup>1)</sup>, Kaoru YAMAMOTO<sup>2)</sup>, Nobuhisa MAENO<sup>1)</sup> and Koji ISHIDA<sup>3)</sup>

5) 所属機関名 (和)： 愛知淑徳大学 医療福祉学部<sup>1)</sup>

名古屋大学 教育発達科学研究科<sup>2)</sup>

名古屋大学 総合保健体育科学センター<sup>3)</sup>

(英)： Faculty of Medical Welfare, Aichi Shukutoku University<sup>1)</sup>

Graduate School of Education and Human Development, Nagoya  
University<sup>2)</sup>

Research Center of Health, Physical Fitness and Sports, Nagoya  
University<sup>3)</sup>

6) 機関所在地 (和)： 1) 464-8671 名古屋市千種区桜が丘 23

2) 464-8601 名古屋市千種区不老町

3) 464-8601 名古屋市千種区不老町

(英)： 1. 23 Sakuragaoka, Chikusa-ku, Nagoya 464-8671, JAPAN

2. Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8601, JAPAN

3. Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8601, JAPAN

7) 連絡者名： 堀田典生 (ほったのりお)

E-mail： horinori@asu.aasa.ac.jp

## Abstract

The purpose of this study was to elucidate the relationships between muscle function, and muscle condition and morphology after eccentric exercise (ECC). Six male subjects performed ECC using both of their arms and so data for 12 samples were achieved. For ECC, the subject performed several sets of 10 submaximal eccentric actions using a dumbbell set at 25-50% of maximal voluntary contraction (MVC) strength with the elbow joint angled at 90°. Measurements were performed immediately before ECC and 2 (D2) and 7 days (D7) after ECC. Muscle pain was evaluated using a visual analog scale. We used MVC force as an indicator of loss of muscle function and the circumference of the upper arm (CIR) as an index of morphological changes in muscles as a result of muscle damage. We also measured the echo intensity in transverse ultrasound images (Echo-intensity) to evaluate visually the change in muscle condition. There was significant coefficient of correlation between the change in MVC force at D2 and the change in CIR at D7. As for the relationships between the change in MVC force at D2 and changes in Echo-intensity at D2 or D7, however, no significant correlations were observed. These results suggest that loss of muscle function when muscle pain is likely at its peak could affect the morphological changes in muscles when almost all muscle pain has disappeared and that loss of muscle strength as a result of ECC could not be evaluated by the changes in the transverse ultrasound images.

**Key words:** Muscle damage, Loss of muscle strength, Edema, Swelling, Ultrasound image

## Abstract 和訳

本研究の目的は、伸張性収縮 (eccentric exercise: ECC) 後の筋機能と筋の状態や形態との関係を調べることであった。

6人の被検者は両腕にて ECC を行い、我々は 12 標本を得た。ECC を行うために、肘関節 90 度位における 25-50 % MVC に相当するダンベルを用い、10 回 1 セットとして数セット、伸張性に筋を収縮させた。測定は ECC の直前と 2 日 (D2)、7 日後 (D7) に行われた。筋痛の評価には視覚的アナログスケールが用いられた。我々は、最大筋力 (MVC force) の低下を筋損傷に伴う筋機能低下の指標とした。また、上腕周囲長 (CIR) の変化を筋損傷に伴う筋形態変化の指標とした。我々はさらに、視覚的に筋の状態変化を捉えるために、超音波断層画像上の肘関節屈曲筋群のエコー強度 (Echo-intensity) を測定した。

D2 における MVC force の ECC の直前からの変化と D7 における CIR の ECC の直前からの変化の間に有意な相関が認められた。しかしながら、D2 における MVC force の ECC 直前からの変化と D2 あるいは D7 における Echo-intensity の ECC 直前からの変化の間には有意な相関は認められなかった。

これらの結果は、筋痛がおよそ最大になる時期の筋機能低下と筋痛消失期の筋形態変化に関係性がある可能性や、損傷に伴う最大筋力の低下は超音波画像からは評価できないことを示唆している。

**キーワード:** 筋損傷, 筋力低下, 浮腫, 腫脹, 超音波画像

## I. 緒言

不慣れな運動や久しぶりに運動を行った後、筋に痛みを感じることもある。この痛みは、運動を行った数時間後から翌日以降に生じることから、遅発性筋痛 (delayed onset muscle soreness: DOMS) と呼ばれている (Armstrong, 1984; Smith, 1991; 野坂, 2003a)。DOMS は、筋線維が引き伸ばされながら収縮する伸張性収縮 (eccentric contraction: ECC) を含む運動を行うと、生じやすいことが知られている (Armstrong, 1984; Smith, 1991; 野坂, 2003a, 2003b)。

ECC を含む運動は、DOMS だけでなく筋損傷も生じさせる (Armstrong, 1984; Smith, 1991; Nosaka and Clarkson, 1996a; Nosaka et al., 2001, 2002; Nosaka and Newton, 2002; 野坂, 2003a)。筋損傷と DOMS の因果関係は不明であるが、筋の損傷やそれに伴う炎症がトリガーとなり DOMS が生じる、というのが現在主流な考え方である (Armstrong, 1984; Smith, 1991; 竹倉, 2002; 野坂, 2003a)。

筋損傷の直接的な指標は、電子顕微鏡で観察される Z 線の乱れや筋細胞膜の異常などの筋微細構造の変化や、光学顕微鏡で観察されるジストロフィンやデスミンの欠損する筋線維像、あるいは炎症性細胞の浸潤などの組織学的な変化である (野坂, 2009)。しかし、組織学的な検査は侵襲的であり、ヒトを対象とした場合は容易でない。また、筋バイオプシーによる小さな標本から筋全体の損傷の程度を推定することは難しい (野坂, 2009)。そのため、筋の損傷程度を評価するのに、間接的な指標が用いられることが多い。筋損傷の間接的指標としては、磁気共鳴画像 (MRI) や B モード超音波画像、最大筋力、関節可動域、筋細胞からの逸脱酵素である血清クレアチンキナーゼ活性、活動肢の周囲長の変化など、損傷の結果生じる現象や徴候を捉えたものが用いられている (野坂, 2003a, 2009)。例えば、ECC により損傷が生じたと考えられる筋では、超音波画像のエコー強度の増加が顕著に認められている (野坂, 2003a)。また、最大筋力の低下や周囲長の増加なども観察される (野坂, 2003a)。

ECC に伴う最大筋力低下の原因は様々であるが、筋の損傷が主たる因子であると考えられている (Warren et al., 1999) . 最大筋力の変化とその他の間接的指標の変化の関係性は強くないと示唆されているが (Nosaka et al., 2006) , 実際に、視覚的に筋の状態変化を捉えた MRI や超音波画像の異常所見との関係性を調べた研究は少ない (Nosaka and Clarkson, 1996b) . MRI や超音波画像は、筋損傷に伴う徴候や機能、体肢の外観の変化を捉えた間接的指標とは異なり、直接筋組織の状態変化を映し出しているため、筋損傷をよく反映し得る最大筋力の変化との関係性は強いと考えられる . 事実、Nosaka and Clarkson (1996b) は MRI の信号強度の変化と最大筋力の低下に有意な相関関係を見出している . しかしながら、磁気共鳴装置よりも身近である超音波診断装置より得られるエコー強度の変化との関係性を調べた研究は、我々の知る限り存在しない . そこで本研究では、最大筋力の変化と超音波画像の異常所見に関係があるのかを調べることを目的とした .

また、各指標の時間的な変化は異なり、それぞれが筋損傷の異なった側面を示していると考えられている (野坂, 2009) . 例えば、最大筋力は筋の機能的な側面を映し出し、周囲長などは形態的な変化を捉えたものと考えられる . 筋の機能変化を反映し得る最大筋力の変化と、筋の形態変化に影響を受ける周囲長変化の相関は、強くはないことが示唆されているが (Nosaka et al., 2006) , この手の報告は希少である . そこで我々は、筋機能変化を反映した指標と筋形態変化を捉えた指標間に関係があるのかを検討することにした .

## II. 方法

### 1. 被検者

本実験の被検者は健康な男子 6 名であった . 被検者の年齢、身長、体重は  $24.3 \pm 6.3$  歳、 $169.9 \pm 4.4$  cm、 $68.2 \pm 8.9$  kg (平均値  $\pm$  標準偏差) であった . 全ての被検者に本研究の目的、方法を十分に説

明した後、研究に参加することの同意を得た。本研究は、名古屋大学総合保健体育科学センターの倫理委員会の了承の下で行われた。

## 2. 実験手順

実験に先立ち、被検者に実験器具に慣れさせた。DOMS は ECC 1 - 3 日後にピークをむかえ、5 - 7 日程度で消失することが知られているため (Armstrong, 1984; 野坂, 2003a)、測定は ECC 直前 (Pre)、2 日後 (D2) と 7 日後 (D7) の 3 回行った。

## 3. ECC

本実験で採用した ECC は先行研究 (Nosaka and Newton, 2002) を参考にした。すなわち、肘関節屈曲 90 度位の最大筋力の 25 - 50% に相当する重量のダンベルを持ち、3 秒間かけて肘関節屈曲位 90 度から最大伸展位までダンベルを下ろす運動 (伸張性収縮) を行った。これを 12 秒間のインターバルを挟んで 10 回 1 セットとして 3 セット以上行った。5 分程度の休憩を挟んだ後、標本数を増やす目的で反対側の腕はその半分のセットを行い、被検者の両腕に DOMS や筋損傷を生じさせた。本研究では、筋痛や損傷の程度を多様化させるために、左右の腕でセット数を変えた。

全身性の血液マーカーは例外として (Nosaka and Newton, 2002)、片腕で生じた筋力低下、浮腫などがもう片腕に影響を及ぼすことは考えにくく、そのような報告もない。そこで本研究では、両腕から得られたデータを独立したものとして扱った。

## 4. 筋痛の評価

筋痛の評価は視覚的アナログスケール (O'Connor and Cook, 1999) を用いた。100mm のスケ-

ルとし、左端には「痛みなし」、右端には「想像出来る最大の痛み」と記載し、その間を被検者の主観で自由に示させた。最大筋力の5%に相当する重量の重りを手首にまいて1秒に1回の頻度にて20回の肘の屈曲 - 伸展運動を行っている最中の痛みと、検者が被検者の腕を1秒に1回の頻度にて20回、受動的に屈曲 - 伸展させている最中の痛みをアンケートした。運動も受動動作も5セット以上行い、その値が安定していることを確認した後に平均した。また、運動と受動動作の平均値をさらに平均し、痛みの代表値 (Muscle pain) とした。

#### 5. 筋損傷に関わる指標

本研究では、ECCに伴う筋損傷の間接的指標の内、視覚的に筋の状態変化を捉えるものとして、超音波断層画像上 (GE 横河メディカルシステム, Logiq5Pro) のエコー強度 (Echo-intensity) を用いた。Bモード超音波画像は7 - 12 MHzのリニアプローブにて得た。撮影箇所は、肘を曲げた際に肘関節の内側にできるしわから約6.5 cm 中枢位の筋腹として、油性フェルトペンで印をつけ毎回同じ箇所を撮影した。その際のプローブ角度や被検者の肘関節角度も測定日間で統一した。Echo-intensityの測定は上記で得られた上腕横断面を用い、エコー強度の測定箇所は先行研究 (Nosaka and Clarkson, 1995; Nosaka et al., 2005) に従い、上腕骨の直上の1 cm × 1 cm の正方形内とした (図 1)。NIH-image ソフトウェア [National Institutes of Health (<http://rsb.info.nih.gov/nih-image/>)] 上で白を255、黒を0としてエコーで得られた画像の白さを任意単位 (Arbitrary unit: A.U.) で表わした。[[図 1 挿入]]

筋損傷の間接的指標の中でも筋機能変化を評価するものとして、本研究では肘屈曲90度位における等尺性最大屈曲筋力 (MVC force) を用いた。その測定方法は我々の先行研究 (Hotta et al., 2009) に従った。すなわち、肘関節角度90°位におけるMVC発揮中の力をロードセル (共和電業, 100KSB340D) とストレインアンプ (共和電業, DPM-110A) を用いて測定した。数分間の

休憩を挟んで3回行い、その最大値を MVC force と定義した。

また、本研究では、筋損傷の間接的指標の内、筋の形態変化を捉えるものとして、上腕周囲長 (Circumference: CIR) を用いた。CIR の測定は、先行研究に従った (Nosaka et al., 2001; Nosaka and Newton, 2002)。すなわち、上腕の定められた箇所に油性フェルトペンで印をつけ、テープ型メジャーで毎回同一箇所を測定した。測定は全て同一の検者が行った。

## 6. 統計方法

全ての指標の標本数は 12 で値は平均値±標準誤差で示した。最初に各指標の ECC 前後の変化を確認するために、反復測定一元配置分散分析を行い、F 値が有意な場合の多重比較には Bonferroni 法を用いた。指標間の相関関係を調べるために Pre からの変化量 (値) を算出し、Pearson の相関係数 (r) を用いて検定した。また、相関の有意性の検定を行うために Fisher の r の Z 変換を行い、相関係数が 0 でないか検討した。各指標の組み合わせを変えて相関分析を繰り返すため、Bonferroni の補正を行った。さらに、回帰統計 (単回帰分析) を加え決定係数 ( $R^2$ ) の算出および、回帰式の検定を行った。危険率 5%未満をもって有意とした。統計解析には StatView5.0 ソフトウェアを用いた。

## III. 結果

### 1. ECC に伴う各指標の変化

本実験の ECC により各指標が有意に変化しているか否かを確認する目的で、それぞれの指標内において時系列 (Pre, D2, D7) を比較した。図 2 に各指標の時系列データを示した。全ての被検者の両腕は D2 において筋痛が生じた。D7 では 12 本中 7 本の腕で筋痛は消失していた。D2 の Muscle pain は、Pre, D7 に比べて有意な ( $P<0.01$ ) 高値を示した。

MVC force は D2 , D7 共に Pre と比べて有意に ( $P<0.01$ ) 低下した . さらに , D2 は D7 よりも有意な ( $P<0.01$ ) 低値を示した .

本研究では , B モード超音波断層画像から Echo-intensity を測定した . 図 1 に Pre , D2 , D7 における代表的な 2 本の腕の超音波画像を示した . Echo-intensity は D2 から D7 にかけて上昇する傾向であった . しかし , 有意差 ( $P<0.01$ ) が認められたのは Pre と D7 の間のみであった . CIR は D2 , D7 の両者において Pre に比べて有意な ( $P<0.01$ ) 高値を示した . しかしながら , D2 と D7 間に有意差は認められなかった . [[図 2 挿入]]

## 2. エコー強度と最大筋力の変化の関係

Echo-intensity と MVC force の変化の関係を調べるために , 指標間の相関の有無を検討した . 図 3 に D2 における MVC force と Echo-intensity の関係をプロットした散布図 , 回帰直線 , 決定係数ならびに回帰直線の検定結果 (P 値) を示した . Echo-intensity と D2 における MVC force の間には , D2 , D7 とともに , 有意な相関 ( $r=-0.64$  ,  $P>0.05$ ;  $r=-0.60$  ,  $P>0.05$ ) は認められなかった . [[図 3 挿入]]

## 3. ECC 後の筋機能変化と筋形態変化の関係

筋損傷に伴う筋機能変化と形態変化に関わる指標の関係を調べるために , 変化の大きかった D2 における MVC force と D2 , D7 における形態の変化を示し得る CIR の Pre からの変化量 (CIR) の間の相関の有無をみた . 図 3 に D2 における MVC force と CIR の関係をプロットした散布図 , 回帰直線 , 決定係数ならびに回帰直線の検定結果 (P 値) を示した .

CIR は D2 において , MVC force との有意な相関関係は認められなかったが ( $r=-0.53$  ,  $P>0.05$ ) , D7 においては , 強い負の相関 ( $r=-0.74$  ,  $P=0.02$ ) が観察された .

#### IV. 考察

本研究の目的は、(1) 筋損傷をよく反映する間接的指標として用いられる最大筋力の変化と視覚的に筋の損傷を捉えた超音波画像のエコー強度の変化に関係があるのか、(2) 筋損傷の間接的指標の内、筋の機能変化を表したものと筋の形態変化を捉えたものに関係があるのかを検討することであった。

ECC は様々な運動やスポーツに内在し、学校体育から生涯スポーツ・競技スポーツに関わる全ての人々が DOMS や筋損傷を被る可能性がある。本研究の目的を果たすことは、体育・スポーツに関わる人々のコンディションのチェック等に役立ち、適切な運動処方のための基礎的資料となり得るとの背景の下に本研究は行われた。

本研究の主な知見は、(1) Echo-intensity の変化と D2 における MVC force の変化間には有意な相関は認められなかったこと、(2) 筋損傷に伴う筋機能低下の指標となり得る MVC force の D2 の変化量と筋損傷に伴う筋の形態変化を示す指標となり得る CIR の D7 の変化量との間において有意な負の相関関係が観察されたことであった。

##### 1. ECC に伴う各指標の変化

本研究において、DOMS の程度を示す Muscle pain は D2 で有意な高値を示し、D7 ではほとんど回復していた (図 2)。一方、筋損傷に伴う筋機能の変化を示す MVC force は D2 で有意に低下し、D7 では D2 に比べて回復しているものの、Pre の値に比較して未だ有意な低値を示していた (図 2)。最大筋力は筋損傷を反映するよい指標と考えられているため (Warren et al., 1999)、筋痛が軽減・消失しても筋の損傷は続いていることが示唆された。CIR は筋損傷に伴う形態変化の内、炎症や液体貯留など浮腫による身体の一部のはれ、すなわち腫脹、の程度を評

価し得ると考えられているが (Nosaka and Clarkson, 1996a) , Pre と比較して D2 では有意な高値を示し ,DOMS が消失・軽減していた D7 においても依然 ,有意な高値を維持していた (図 2) . 浮腫は炎症に伴う筋組織への水分や免疫細胞の移動によると説明され (Fridén et al., 1988) ,超音波画像におけるエコー強度を強めると考えられている (van Holsbeeck and Introcaso, 1992; Nosaka and Clarkson, 1996a) . 本研究では , 筋痛期である D2 よりも筋痛軽減・消失期である D7の方が Pre に比べて Echo-intensity が強くなった (図 2) . 従って , 痛みが軽減あるいは消失し , 筋機能の回復が開始されていても , 浮腫などの損傷に伴う筋組織の炎症応答は続いていることが示唆された .

筋痛や筋損傷の間接的指標の変化動態がそれぞれ異なるという本研究の結果は , これまでの多くの先行研究 (Nosaka and Clarkson, 1996a; 野坂, 2003a) を支持するものであった .

## 2. エコー強度と筋損傷に関わる指標の関係

ECC に伴う筋損傷の間接的指標の内 , 最大筋力は筋の損傷をよく反映する指標として用いられている (Warren et al., 1999) . 一方 , MRI や超音波画像は , 筋損傷に伴う徴候や機能 , 体肢の外観の変化を捉えた間接的指標とは異なり , 直接筋の状態変化を映し出している . 実際 , MRI の信号 (T2 緩和時間) 変化と最大筋力の変化の間には有意な相関関係がみられたという報告がある (Nosaka and Clarkson, 1996b) . また , エコー強度は MRI 信号の変化と同じく浮腫の影響を受けて変化し (Nosaka and Clarkson, 1996a; van Holsbeeck and Introcaso, 1992) , 浮腫の発端は , 筋力の低下を導き得る筋線維の損傷である (MacIntyre et al., 1995) . 従って , MRI 信号と同様にエコー強度においても最大筋力の変化と関係性があると考えられた . しかし 本研究においては , D2 における MVC force の変化と Echo-intensity の D2 , D7 における変化に有意な相関は認められなかった (図 3) . MRI (Nosaka and Clarkson, 1996b) と本研究における超音波断層画像の結果

の不一致の主な原因として、空間分解能が MRI よりもはるかに劣ることが考えられた。

これらの結果から、超音波画像診断からは、筋の損傷の有無は評価できるが、ECC 後の筋機能の変化の評価は難しいことが示唆された。しかしながら、超音波診断装置を用いて ECC の筋損傷を捉えた先行研究 (Nosaka and Clarkson, 1996a) では、エコー強度の変化が本研究よりも強い。従って、本研究では損傷の程度が弱く、エコー強度の変化が小さかったため、MVC force との間に有意な相関関係が得られなかった可能性がある。今後さらなる研究が必要である。

### 3. ECC 後の筋機能変化と筋の形態変化の関係

筋の損傷に伴い、筋力などの筋機能が低下することは周知の事実である (Nosaka and Clarkson, 1995; 平野ほか, 2000; 春日ほか, 2001; 野坂, 2003a; Nosaka et al., 2005)。この原因は主に興奮収縮連関の異常、収縮蛋白質量の低下、筋線維の物理的損傷で説明されている (Warren et al., 2002)。最大筋力は ECC 直後において最大に低下するのに対して、筋損傷に伴う形態変化を示す間接的指標の多くは、ECC 4 日後以降にピークを迎えるため (野坂, 2003a)、機能と形態の変化の動態は大きく異なる。従って、ECC に伴う筋機能と形態変化の関係性は薄いと考えられた。しかし、本研究では、D2 における MVC force の低下と体肢の腫脹の指標である CIR の D7 における変化の間に強い負の相関が認められた ( $r=-0.74$ ) (図 3)。これは、MVC force 低下の原因のうち、筋組織の物理的損傷と関連が深いと考えられた。筋細胞膜の傷など筋線維の物理的な損傷が起こり、それが原因で筋組織に水分や炎症性のサイトカイン、免疫細胞などが流入し続け (MacIntyre et al., 1995)、ECC から数日間経て浮腫が顕著になったため、D7 のみに有意な相関が認められたと我々は推察した。この推察は、浮腫の程度を反映する Echo-intensity も ECC 後に増加していくことから支持できる。

しかし、この CIR の結果は、浮腫の影響を受けて変化し得る Echo-intensity の D7 の変化量と

MVC force の D2 における変化量の間には有意な相関が認められなかったことと矛盾する (図 3) .  
その原因の一つとして、エコー強度増加は筋組織の一部の浮腫を反映し、CIR 増加はおそらく浮腫に伴う体肢の腫脹の程度を映し出しているという、対象の違いが考えられた。あるいは、エコー強度は、浮腫などの体液の組織への流入以外の徴候によっても変化すること (Aspelin et al., 1992) が関係しているかもしれない。このことは、周囲長と MRI や超音波画像の ECC 後の変化の動態は完全には一致しない (野坂, 2003a, 2009) ことから裏付けられる。

これらの結果から、筋痛期における最大筋力低下の程度とその後の体肢の腫脹の程度に関わり合いがある可能性が示唆された。従って、ECC に伴う筋機能低下に影響を与える筋線維の物理的損傷の程度により、その後の体肢の腫脹の程度も変わることが考えられた。

ECC 直後あるいは 1 日後における最大筋力の低下と ECC4 日後の体肢の周囲長増加の関係は強くはないと考察している先行研究 (Nosaka et al., 2006) の両指標間の相関係数は 0.45 から 0.51 であり、本研究の結果と異なる。その理由としては、標本数や指標の測定日の違いが考えられた。今後、先行研究と測定日を揃えて追試する必要がある。

## V. まとめ

(1) MVC force の D2 における変化量と D2、D7 における Echo-intensity の変化量との間には、有意な相関は認められなかった。(2) 筋の機能変化を映し出す MVC force の D2 における変化量と、筋の形態変化を示す CIR の D7 における変化量との間に有意な相関が認められた。

これらの結果から、超音波画像診断からは、ECC 後の筋機能の変化の評価は難しいこと、筋痛がおよそ最大になる時期の筋機能低下の程度により筋痛消失期の体肢における腫脹の程度も変わり得ることが示唆された。

## 謝辞

研究に協力して下さった被検者の皆様に感謝致します。また、多くの助言をして下さいました片山敬章先生 (名古屋大学), 尾方寿好先生 (国立身体障害者リハビリテーションセンター研究所), 川田裕樹先生 (帝京科学大学) に御礼申し上げます。

## 文献

- Armstrong, R. B. (1984) Mechanisms of exercise-induced delayed onset muscular soreness: a brief review. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 16 (6) : 529-538.
- Aspelin, P., Ekberg, O., Thorsson, O., Wilhelmsson, M. and Westlin, N. (1992) Ultrasound examination of soft tissue injury of the lower limb in athletes. *Am. J. Sports Med.*, 20 (5) : 601-603.
- Fridén, J., Sfakianos, P. N., Hargens, A. R. and Akeson, W. H. (1988) Residual muscular swelling after repetitive eccentric contractions. *J. Orthop. Res.*, 6 (4) : 493-498.
- 平野朋枝, 西沢富江, 小笠原仁美, 春日規克 (2000) 伸張性収縮により引き起こされる筋線維の損傷-骨格筋の構造及び筋線維タイプとの関係から-. 岡崎女子短期大学研究紀要, 33 : 143-150.
- Hotta, N., Yamamoto, K., Katayama, K. and Ishida, K. (2009) The respiratory response to passive and active arm movements is enhanced in delayed onset muscle soreness. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 105 (3) : 483-491.
- 春日規克, 平野朋枝, 西沢富江, 竹倉宏明 (2001) 伸張性収縮による筋損傷・回復期の機能と形態変化. 愛知教育大学研究報告 (芸術・保健体育・家政・技術科学編), 50: 53-19.
- MacIntyre, D. L., Reid, W. D. and McKenzie, D. C. (1995) Delayed muscle soreness. The inflammatory response to muscle injury and its clinical implications. *Sports Med.*, 20 (1) : 24-40.

- 野坂和則 (2003a) 筋肉痛の科学. 横浜市立大学論叢. 自然科学系列, 54 (1-2) : 51-98.
- 野坂和則 (2003b) 筋損傷と再生. 吉岡利忠, 後藤勝正, 石井直方編 筋力をデザインする. 杏林書院: 東京, pp. 151-168.
- 野坂和則 (2009) 筋損傷, 筋肉痛と筋の適応. 宮村実晴編 身体トレーニング 運動生理学からみた身体機能の維持・向上. 真興交易: 東京, pp. 168-175.
- Nosaka, K., Chapman, D., Newton, M. and Sacco, P. (2006) Is isometric strength loss immediately after eccentric exercise related to changes in indirect markers of muscle damage?. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.*, 31 (3) : 313-319.
- Nosaka, K. and Clarkson, P. M. (1995) Muscle damage following repeated bouts of high force eccentric exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 27 (9) : 1263-1269.
- Nosaka, K. and Clarkson, P. M. (1996a) Changes in indicators of inflammation after eccentric exercise of the elbow flexors. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 28 (8) : 953-961.
- Nosaka, K. and Clarkson, P. M. (1996b) Variability in serum creatine kinase response after eccentric exercise of the elbow flexors. *Int. J. Sports Med.*, 17 (2) : 120-127.
- Nosaka, K. and Newton, M. (2002) Difference in the magnitude of muscle damage between maximal and submaximal eccentric loading. *J. Strength Cond. Res.*, 16 (2) : 202-208.
- Nosaka, K., Newton, M. and Sacco, P. (2002) Delayed-onset muscle soreness does not reflect the magnitude of eccentric exercise-induced muscle damage. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 12 (6) : 337-346.
- Nosaka, K., Newton, M., Sacco, P., Chapman, D. and Lavender, A. (2005) Partial protection against muscle damage by eccentric actions at short muscle lengths. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 37 (5) : 746-753.

Nosaka, K., Sakamoto, K., Newton, M. and Sacco, P. (2001) The repeated bout effect of reduced-load eccentric exercise on elbow flexor muscle damage. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 85 (1-2) : 34-40.

O'Connor, P. J. and Cook, D. B. (1999) Exercise and pain: the neurobiology, measurement, and laboratory study of pain in relation to exercise in humans. *Exerc. Sport Sci. Rev.*, 27: 119-166.

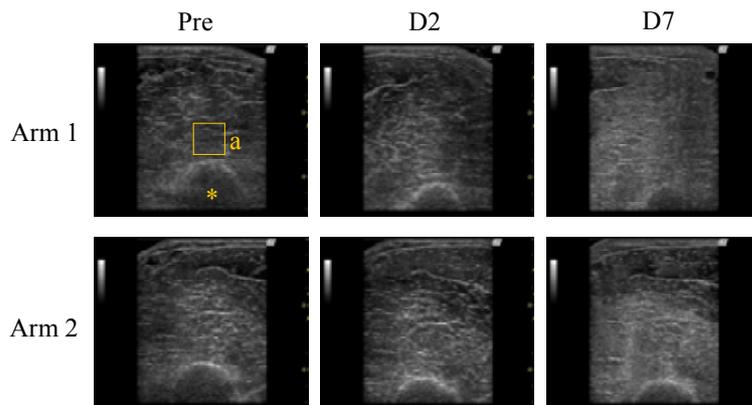
Smith, L. L. (1991) Acute inflammation: the underlying mechanism in delayed onset muscle soreness?. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 23 (5) : 542-551.

竹倉宏明 (2002) 運動を発現する骨格筋-運動と筋肉. 春日規克, 竹倉宏明編 運動生理学の基礎と発展. フリースペース: 東京, pp. 43-66.

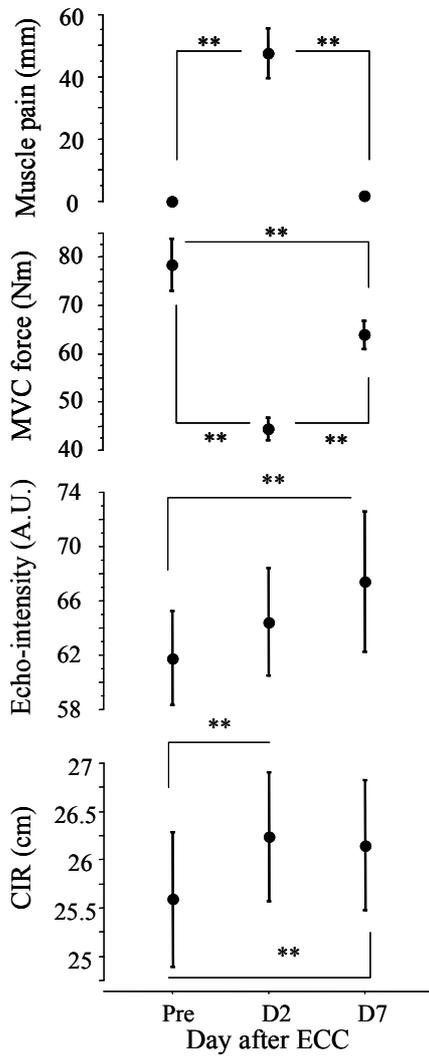
van Holsbeeck, M. and Introcaso, J. H. (1992) Musculoskeletal ultrasonography. *Radiol. Clin. North Am.*, 30 (5) : 907-925.

Warren, G. L., Ingalls, C. P., Lowe, D. A. and Armstrong, R. B. (2002) What mechanisms contribute to the strength loss that occurs during and in the recovery from skeletal muscle injury?. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, 32 (2) : 58-64.

Warren, G. L., Lowe, D. A. and Armstrong, R. B. (1999) Measurement tools used in the study of eccentric contraction-induced injury. *Sports Med.*, 27 (1) : 43-59.

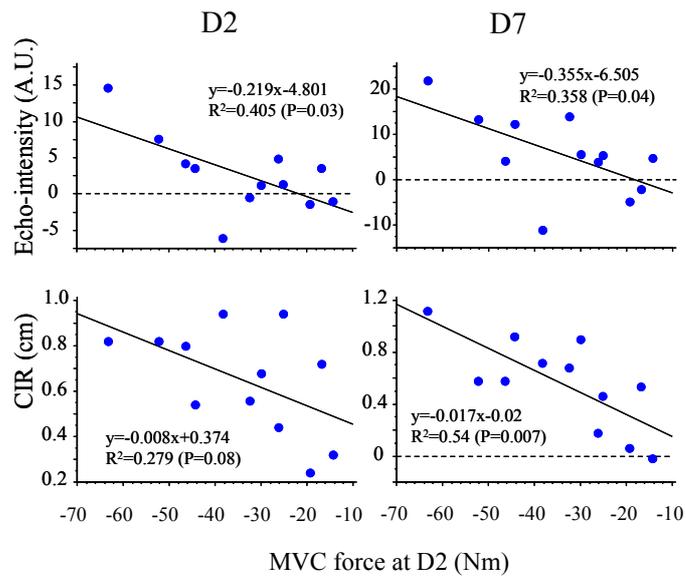


**Fig. 1** A series of transverse ultrasound images of two representative arms before (Pre) and 2 (D2) and 7 days (D7) after eccentric exercise (ECC). We measured echo intensity of the region of interest (ROI) (Echo-intensity: a). Asterisk indicates humerus.



**Fig.2** Muscle pain from delayed onset muscle soreness (DOMS) (Muscle pain), maximal voluntary contraction (MVC) force, intensity of the transverse ultrasound image (Echo-intensity), and circumference of upper arm (CIR) before (Pre) and 2 (D2) and 7 days (D7) after eccentric exercise (ECC).

Asterisk represents a significant difference ( $P < .001$ ).



**Fig.3** Relationships between the change in maximal voluntary contraction (MVC) force at 2 days (D2) after eccentric exercise (ECC) and the changes in intensity of the transverse ultrasound image (Echo-intensity) and circumference of upper arm (CIR) of the elbow flexors from before ECC (Pre) to D2 and 7 days after ECC (D7). The regression equations were indicated [ $\Delta$ MVC force (Nm) = x,  $\Delta$ Echo-intensity (A.U.) or  $\Delta$ CIR (cm) = y, coefficient of determination =  $R^2$ ].