

2016 年度 修士論文

DOMS 発現時に行う伸張性収縮運動が 次の DOMS に与える影響

早稲田大学 大学院スポーツ科学研究科
スポーツ科学専攻 コーチング研究領域

5015A040-1

山口 翔大

研究指導教員： 岡田 純一 教授

目次

第 1 章 緒言	1
第 1 節 関連文献の考証	3
第 2 章 方法	12
第 1 節 被験者	12
第 2 節 実験プロトコル	12
第 3 節 測定項目	14
第 4 節 統計処理	17
第 3 章 結果	19
第 1 節 筋痛	19
第 2 節 筋力	19
第 3 節 筋電図	22
第 4 節 関節可動域	22
第 4 章 考察	25
第 1 節 筋痛の抑制に与える影響	25
第 2 節 トレーニング効果	29
第 3 節 現場への応用	30
第 5 章 結語	32
参考文献	33
謝辞	65

第 1 章 緒言

遅発性筋肉痛（Delayed Onset Muscle Soreness：以下，DOMS）は，不慣れな運動，あるいは高強度の運動によって発生する筋の痛みであるとされており²⁾，とりわけ筋が引き延ばされながら張力を発揮する伸張性収縮での筋発揮が，DOMS を引き起こしやすいとされている³⁾．特に，長さ - 張力関係の下行脚での伸張性収縮運動で DOMS が誘発されやすいため，伸展位での運動では DOMS が生じやすい^{50,44)}．また，DOMS に伴って生じる筋痛は，運動を行ってから 12—24 時間後に発現し，24—78 時間後にピークに達し，5 日—1 週間程度で自然に消失していく^{1,2,12)}．DOMS が生じた筋肉は，硬く（stiff），感じやすく（tender）になっており，多くの場合柔軟性の低下がみられたり，筋力の低下が生じたりする^{1,2,10,12,35,37,46,51,52,63)}．また，痛みを伴うことが DOMS において大きな特徴となるが，痛みの種類としては，筋肉を動かす際の痛み（運動痛）や圧迫された際の痛み（圧痛）が主な痛みで，何もしない際の痛み（疼痛）を感じることはない．

DOMS は，疼痛を感じない点や，何か治療をしなくとも痛みが消失する点から軽視されがちだが，実際にスポーツ活動を行う人々にとって心理的なストレスの要因になると考えられる^{11,12)}．また，DOMS 発現時の筋力は約 60—70%低下するため，筋力トレーニング時の仕事量も同様に低下していく．実際に Chen et al.⁸⁾は，DOMS 発現時に DOMS 誘発運動と同回数，同負荷の等速性運動を行わせたところ，発現前の仕事量に比べて 60%低下したと報告している．このことから，DOMS の発現が日々のトレーニング効率を悪くすることが懸念される．さらに，筋力トレーニングはスポーツの競技レベルを向上させる要因の一つであるが，筋力トレーニングに伴って生じる DOMS の発現により，その競技の特

異的な技術トレーニング等に負の影響を与える可能性がある。このように、日々のトレーニング効率や、競技パフォーマンス向上のための特異的な技術トレーニングの妨げにならないためにも、DOMS の予防または早期回復に対する効果的な方法を検討することに意義があると考えられる。

運動直前、または運動後から数時間の間に DOMS を予防する方法として、ストレッチ^{26,40)}、マッサージ^{20,26,33,65,70)}、アイシング^{33,55,70)}、皮膚への薬の塗布^{24,27)}、薬品の摂取^{18,22,23,39)}、電気刺激などの物理療法^{13,15,25)}、などの効果が検討されている。有意な効果があったと報告している研究もあるが、実験方法に問題があったり、その作用機序が曖昧だったりしており、実際には DOMS を確実に予防できたという報告はないと結論付けられている⁶⁶⁾。しかし、一回目に生じた DOMS の後、しばらくして同じ運動を行った場合には、DOMS が顕著に軽減される、すなわち二回目の DOMS はあえて予防等を行わずとも症状が軽減されることが報告されている^{4,19,29,42,44,52,53,55,62)}。この現象は **Repeated Bout Effect** (以下、RBE) と呼ばれており、RBE は筋力トレーニングによる適応 (adaptation) の一種であるとされている¹⁰⁾。適応に関して竹宮ら⁶⁴⁾は、生体は各種のストレスの時間的、質的そして量的な変化に対応して適応反応を発動させる、と述べている。RBE では、時間とは運動を行う日数を指し、量とは一回の運動あたりの総回数、質とは重さ (負荷) を指すことが考えられる。先行研究でも、4 週間にわたって週に一回運動負荷を行ったことで、DOMS の発現が抑制されていくことを報告している⁵¹⁾。これは、竹宮らの言う時間的な要因が満たされたことによる適応が生じた、すなわちトレーニングを行う日数の増加に伴って適応が生じたことが予想される。また、適応の中でも、とりわけ痛みに対する

適応のことを **Habituation** と言い、健常人が同じ痛みを繰り返し感じることによって、同様の痛みに対して痛みを感じなくなる^{43,57,62)}。さらに、**DOMS** の回復が完了しないうちに、伸張性収縮運動負荷を与えた場合、さらなる **DOMS** の悪化が生じることはなく、最初の伸張性収縮運動からの回復が遷延することもないという報告がされている⁶²⁾。

以上の報告をまとめると、1) **RBE** は適応の一種であるとされ、適応を促すには時間的要素を満たす必要がある、すなわち伸張性収縮運動を行う頻度を増やす必要があること、2) 繰り返し痛み刺激を与えられることで、その痛みに対する適応が生じること、3) **DOMS** 発現時に繰り返し運動を行っても **DOMS** が遷延することはないこと、この三点を踏まえると、**DOMS** 発現時に更なる伸張性収縮運動負荷を与えることは、**DOMS** を悪化させず、運動適応の時間的要素が満たされることで **RBE** の効果が助長し、二回目に発現する **DOMS** の程度が更に抑制される可能性が考えられる。

一回目の **DOMS** を予防する効果的な方法の検討は難しいが、二回目以降の **DOMS** を顕著に抑制することができれば、スポーツ現場でトレーニングを行っているアスリートに対する心理的負担を軽減できたり、筋力トレーニング並びに技術トレーニングの質を担保するための一助となることが考えられる。したがって、本研究は、**DOMS** 発現時の繰り返し運動が、二回目に生じる **DOMS** の程度に与える影響を明らかにすることを目的とする。

第1節 関連文献の考証

痛みとは

痛みとは、身体的、精神的に大きな影響を与える不快な感覚である。多くの病気や怪我

には痛みがともなうが、痛みは、病気や怪我それ自体以上に苦しみや悩みの原因となる。

国際疼痛学会（International Association for the Study of Pain : IASP）³¹⁾は、「痛みは組織の実質的あるいは潜在的障害に基づいて起こる不快な感覚的・情動的体験である。また、このような傷害を表現する言葉を使って述べられる感覚・情動体験も含まれる。」と痛みを定義している。

また痛みは生体からの警報信号であるとされることが多い。痛みの経験が危険回避に役立ったり、傷害部位の活動が抑制され、治癒が促進されたりすることなどの側面から考えると、痛みは警報信号として生存に不可欠な感覚であるといえる。しかし、痛みが警報信号として機能するためには、1) 痛みが早期に発現すること、2) 痛みが傷害の治療経過と一致した時間経過をたどり、治療に伴って消失していくこと、の3つの条件を満たしていることが必要である⁷¹⁾。実際には、このような条件に当てはまる痛みは少なく、例えばがんの末期の痛みや後遺症としての慢性痛など、警報信号とはならない痛みが多い。警報信号ではない痛みは、一体なんのために存在するのか、本研究のテーマである DOMS などの筋の痛みも、多くの場合、必ずしも警報信号であるとは考えられず、どのような意義があるのか不明なままである。

遅発性筋肉痛（Delayed Onset Muscle Soreness : DOMS）

運動中あるいは運動直後はまったく痛みはなく、一般的には不慣れな運動や久しぶりに行った運動後数時間から 24 時間程度経過してから発現し、24—72 時間後にピークに達し、その後約 1 週間かけて自然に消失する痛みのことを DOMS という。代表的な筋傷害であ

る、いわゆる肉離れのような運動中に生じる痛みとは異なり、運動後時間が経過してから痛みを感じる事が大きな特徴である。DOMSの原因として、乳酸説⁹⁾、筋痙攣説¹⁾、筋温上昇説²⁾、筋・筋内結合組織の損傷説²⁸⁾が挙げられていたが、現在は前者3つが完全に否定されており、損傷説が最も有力であるとされている。

遅発性筋肉痛のメカニズム：損傷説

損傷説の起源は Hough²⁸⁾によって発表された論文に遡ることができる。著者はこの論文の中で運動中に発現する筋肉痛と DOMS の2種類の筋肉痛について述べているが、前者は筋疲労と同様な要因によって生じるとしている。そして、DOMSにおいては筋線維あるいは筋線維と腱に連結する結合組織の裂開が原因で発現すると説明している。この説を発展させて、Armstrong²⁾は、次のような一連の展開によって DOMS が起きるのではないかと推察している。

1) 運動中、特に伸張性収縮運動中に発生する強い機械的な力が、ある小さい筋横断面に加わることで、筋線維やそれに直列の結合組織の構造たんぱく質に損傷が起きる。2) 強い機械的な力による筋細胞膜の構造的な損傷、あるいは細胞膜の透過性の亢進は、細胞質への異常なカルシウムイオンの流入をもたらす。筋線維にいくつかの有害な影響をもたらす。細胞内のカルシウムイオン濃度が高まると、ミトコンドリアにカルシウムイオンを蓄積し、結果として酸化的リン酸化機構が阻害され、ATP 産生量が減少し、カルシウムイオンを細胞外に出す機能が低下し、より細胞内カルシウム濃度が高まることになる。筋細胞内での高濃度のカルシウムイオンは、Z 帯、トロポニン、トロポミオシンを優先的に分

解するカルシウムイオン依存性たんぱく質分解酵素の活性を高める。3) 運動後において進行する筋細胞膜の悪化は、細胞内の構成物を細胞外や血漿中に流失させる。このような流失物やコラーゲンの分解産物は、後にマクロファージに変化する単球を引き付け、肥満細胞や損傷部位の結合組織にある組織球を活性化する。そして内因性リゾソームのたんぱく質分解酵素の活性が高まり、他の筋特異的たんぱく質の分解が進行する。

近年の研究から、Armstrong の仮説についての詳細が明らかになってきおり、伸張性収縮運動に伴う筋損傷のメカニズムやその後の炎症反応に関与する細胞についての理解は進んでいる。しかし、損傷・炎症がどう痛みと繋がるかは不明な点が多く、今後の大きな課題として残されている。

DOMS と筋損傷との時間的關係

現在筋損傷が最も有力な説であると説明したが、DOMS と筋損傷との時間的關係をグラフ化すると、損傷と DOMS によって生じる痛みが必ずしも一致するものであるとは限らないことが分かる。

上腕屈筋群の伸張性収縮運動後の間接的筋損傷指標の変化と筋痛の変化の時間経緯を比べてみると、図 1 のようになる

67). 筋痛、等尺性筋力、筋弛緩時肘関節角度（スティフネス）、上腕部周経围（腫脹）、血漿 CK 活性値（CK）、MRI-T₂ 緩

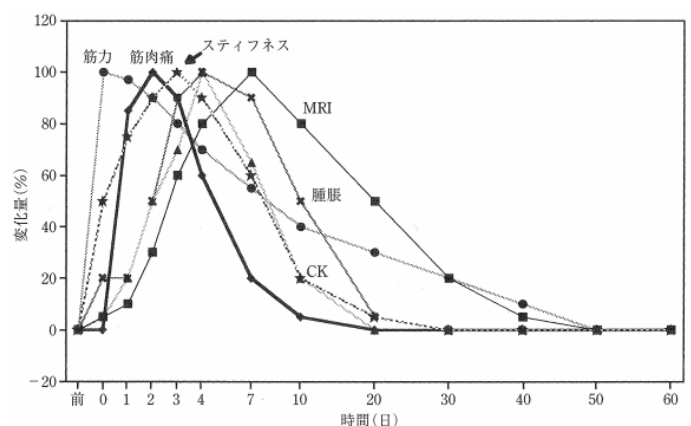


Figure 1 Change of muscle soreness and indirect muscle damage index following eccentric contraction exercise by elbow flexor muscles⁶⁷⁾

和時間（MRI）の変化量の推移を運動前の状態を 0，最大の変化が現れる時点を 100 とし
て表した．筋力の低下は直後，スティフネスの増加は運動 3 日後，腫脹と CK のピークは
4—5 日後，MRI のピークは 7 日後と，各項目によって時間経緯は異なり，筋痛に関して
は，運動直後はまったく痛みが無く，1 日後に出現し，ピークは運動 2—3 日後となる．ま
た筋痛は，他の指標と比べて早期に運動前値に戻る変化を示しており，他のどの指標とも
一致した時間経過を示していない．これは，筋痛の原因が，他の指標の変化を起こす原因
とは異なっていることを示していると考えられる．このように，筋の損傷と炎症反応を反
映すると考えられる間接的な指標と筋痛との間には，時間的变化の面でも，また変化の大
きさの関係の面でも一致しているとはいえず，DOMS の原因を筋損傷であるとすることに
疑問を投げかけるものである．しかし，これは DOMS の原因が結合組織の損傷であるこ
とを否定するものではない．仮に DOMS の原因が筋損傷であったとしても，DOMS の程
度が筋損傷の程度を反映するものではない点は重要である．

痛みの評価

DOMS の大きな特徴として，運動から数日経過してから筋に痛みを生ずると説明してき
たが，痛みは主観的，個人的なものであり，客観的に捉えることは非常に難しい．痛みを
客観的に評価するためには，痛みの感覚を何らかの形で数値化する必要がある．痛みの程
度の測定方法として多く用いられるものに，視覚アナログ尺度（Visual Analog Scale：
VAS），言語対応尺度（Verbal Rating Scale：VRS），数値対応尺度（Numerical Rating
Scale：NRS），フェイススケールなどの評価方法がよく用いられる^{2,10,11,27,42,63,67}．

DOMS の研究においては、10cm の直線に片方の端に「痛み無し」、もう一方の端に「最高の痛み」と示し、直線上に痛みの程度を示す VAS、数段階の痛みの強さを表す言葉を直線上に記載しておき、数字と対応させる VRS、痛みの程度を 10 段階の数値で表現する NRS が用いられることが多い。

DOMS 発現時の運動

伸張性収縮運動に伴って生じた DOMS の回復が完了しないうちにさらなる伸張性収縮運動を行った場合、さらなる DOMS は生じず、最初の伸張性収縮運動からの回復が遷延することもない^{8,62)}。さらには、DOMS 発現時に行う伸張性収縮運動の直後は、運動前に比べて筋痛が有意に低減していたという報告が多数ある。これは、DOMS が生じている筋にさらに DOMS を引き起こすような負荷をかけても、悪化しないばかりか、運動によって一時的に筋痛が軽減することを示している。さらに、この現象は等速性収縮運動時のみならず、等張性収縮運動時でも同様の結果が得られていることから、フリーウエイト時にも発現する現象であることがわかる⁵⁹⁾。

繰り返し運動効果 (Repeated Bout Effect : RBE)

不慣れな運動や久しぶりに行った運動後には DOMS が生じるが、その後しばらくして同じ運動を行った場合には、DOMS は生じないか、顕著に軽減する。この現象は RBE と呼ばれており、多くの研究でこの現象が報告されている^{4,19,29,42,44,52,53,55,62)}。RBE のメカニズムについては多くの研究で研究されてきたが、その原因は明らかになっておらず、未

だに謎が多いままである。しかし、近年様々な研究結果から、神経性、細胞性、機械性の三つの要因が RBE の原因として注目されている⁵⁴⁾。

神経性の要因

伸張性収縮は他の収縮様式とは異なり、特異的な神経活動が生じる¹⁹⁾。実際に、伸張性収縮運動は短縮性収縮運動と比べてより少ない運動単位の活動によって遂行される。また通常、最大努力での筋発揮を行う場合、遅筋線維に繋がる Slow Motor Unit（以下、SMU）が最初に動員されるが、伸張性収縮での筋発揮では速筋線維に繋がる Fast Motor Unit（以下、FMU）が優先的に動員される^{48,49)}。DOMS が伸張性収縮で特異的に発現する理由も上記の活動が関係しており、Moritani et al.⁴⁵⁾は伸張性収縮運動中、活性化する少数の速筋線維が高い伸張ストレスに晒されることで、損傷の影響を受けやすいことを示している。

一方で RBE の原因に神経性の要因が提唱される理由として、一回目の伸張性収縮運動では通常通り FMU が優先的に動員されるが、その後いわゆる生態の学習効果により、二回目の同運動では SMU も同時に動員され、線維にかかる伸張性ストレスを低減する可能性が示唆された。筋電図（Electromyogram：以下、EMG）から得られるデータの中に、FMU と SMU の活動頻度の中間値（中間周波数）を算出する方法があり、それは筋活動中に動員されている運動単位を定量化することができる。実際にこの手法を用いて RBE の原因を検討した先行研究では、RBE が発現した際には、FMU から SMU へのシフトが確認できたことが報告されている⁶⁸⁾。

細胞性の要因

細胞性の要因は、1990年 Morgan et al.⁴⁹⁾が、サルコメアの長軸方向の増加が原因でRBEが発現すると予想したことがきっかけとなり、その後様々な研究が行われてきた。その理論を裏付けるデータとして、Brockett et al.⁶⁾は、伸張性収縮運動を行った後日、サルコメアの長軸方向への増加を確認したと報告しており、サルコメアの増加が長さ-張力関係を右側にシフトさせる可能性を示唆している。また Newham et al.⁵⁰⁾は、筋損傷は、長さ - 張力関係の下行脚で行われる伸張性収縮が、サルコメアの組織を破壊することが原因で生じると述べられている。したがって、一回目の伸張性収縮運動により、サルコメアが長軸方向に増加したことで、長さ - 張力関係が右側にシフトし、結果として下行脚での伸張性ストレスに強くなったことが、RBEが生じた原因である可能性が報告されている。しかし、RBEが生じている筋でサルコメアの増加が生じていることを、人間の筋で報告している先行研究はなく、今後の課題として残されたままである。

機械性の要因

サルコメア内の組織には、筋収縮に直接的に関与する筋フィラメント（アクチンメントとミオシンフィラメント）の他に、第3のフィラメントが存在する。このフィラメントは、タイチン（titin）またはコネクチン（connectin）とよばれるたんぱく質から成り、M線とZ線を結んでいる。このタイチンフィラメントにより、ミオシンフィラメントが筋節の中央に保持される⁶⁹⁾。また、筋フィラメントやタイチンの他に、直径10nmの中間径フィラメントがZ線レベルの筋原線維を横切るのがみられる⁶⁹⁾。この中間径フィラメントは、

主にデスミン (desmin) というたんぱく質が重合してできており、隣接する Z 線間を連結し、筋原線維の位相を揃えている。過度な伸張性収縮運動後は、このタイチンとデスミンを破壊することが報告されている⁵⁶⁾が、ラットをモデルにした Barash et al.⁴⁾の研究では、伸張性収縮運動により損傷した筋のタイチンとデスミンの含有量が、3—7 日後に増大することを確認した。この結果は、フィラメントのリモデリングによって、次の伸張性ストレスに対する耐性が強化された結果であり、それが RBE に関係しているものだと考えられる。しかし、細胞性の要因と同様に、RBE が生じている筋でフィラメントのリモデリングが生じたことを、人間の筋で報告している先行研究はなく、今後の課題として残されたままである。

第2章 方法

第1節 被験者

被験者は、健康な男性8名(年齢 23 ± 1.5 歳, 身長 170 ± 6.89 cm, 体重 67 ± 9.34 kg, Mean $\pm$ SD)とした。被験者の選定条件は、1) 過去半年の間に定期的なトレーニングを行っていない者、2) 摂食障害や宗教上の偏食、ベジタリアン等の食生活がない者、3) 日頃からサプリメントを摂取していない者、4) 両腕に怪我をしていない者、の4条件とし、そのすべてを満たしている者を採用した。本実験はクロスオーバーデザインにて行われた。実験に先立ち、本研究の目的、試行、危険性および被験者の権利について説明を行った上で、実験参加の同意を得た。なお、本研究は早稲田大学学術研究倫理委員会の承認を得て(研マネ第70-226)、実験は早稲田大学における学術研究倫理に係るガイドラインに従って実施された。

第2節 実験プロトコル

本研究は、次の条件を設定し実験を行った。①DOMS 発現時に伸張性収縮運動を行わない単発運動条件(以下、SC)②DOMS 発現時に更なる伸張性収縮運動を行う繰り返し運動条件(以下、RC)の2条件を設定した。また、1週目のRCおよびSCをRC 1week, SC 1weekと表記し、4週目のRCおよびSCをRC 4week, SC 4weekと表記した。対象とする筋は肘関節屈曲筋群とした。なお、各条件の順序は無作為に決定し、各条件は2週間以上開けて行われた。両条件共に、DOMS 誘発運動を行う日の手順は、pre測定として、①筋痛、②上腕径囲、③ROMを評価した。その後ウォーミングアップを行い、最大等尺

性筋力を測定し、その直後に DOMS 誘発運動を行った。DOMS 誘発運動が終わり次第すぐに最大等尺性筋力を測定し、その後 pre 測定と同じ項目および手順で post 測定を行った (図 2)。

単発運動条件

DOMS 誘発運動と pre, post 測定を 1 日目 (SC 1week : Day0) に行い、その 2 日後 (SC 1week : Day2) と 4 日後 (SC 1week : Day4) には DOMS 誘発運動を行わず、測定のみ実施した。その後 2 週間開け、初日から 21 日後 (SC 4week : Day21) に再度 DOMS 誘発運動と測定を行い、その 2 日後 (SC 4week : Day23) と 4 日後 (SC 4week : Day25) に測定のみを行った (図 3)。

繰り返し運動条件

DOMS 誘発運動と測定を 1 日目に行い (RC 1week : Day0)、その 2 日後 (RC 1week : Day2) と 4 日後 (RC 1week : Day4) に再度 Day0 と同じ手順で DOMS 誘発運動と測定を行った。その 2 週間後、すなわち初日から 21 日後 (RC 4week : Day21) に再度 DOMS 誘発運動をし、その 2 日後 (RC 4week : Day23) と 4 日後 (RC 4week : Day25) に測定のみを行った (図 3)。

DOMS 誘発運動

DOMS 誘発運動は、BIODEX System3 (BIODEX 社製) を用いて、最大努力

での伸張性収縮運動を行った。測定に際して各被験者に筋力測定の安全性を説明し、毎回の試行で最大努力するように指示をした。また、被験者が全力で力発揮ができるよう、検者は声援を送った。毎回同じ位置で測定できるよう、一回目の測定時に各アタッチメントの位置を記録し、二回目以降の測定を同じ値で実施した。

被験者は、シートに座り、肩関節屈曲 80°、外転 15°になる位置に肘を置いた。力を入れた際に体が動かないよう、シートに付属されているストラップで体を固定し、さらに被験者には、力を入れた際に肩が浮かないように注意するよう伝えた。角速度は away 30deg/sec, toward 30deg/sec とし、可動範囲は最大伸展位から 90°屈曲した位置までとした。1 セット 10 回を 3 セット、計 30 回の運動を行い、セット間の休息時間は 1 分に設定した。

第 3 節 測定項目

筋痛

Face Scale と Talag Scale を組み合わせたオリジナルのスケールにて行った（図 4）。Face Scale には、左から順に 0「痛くない」2「ほんの少し痛い」、4「少し痛い」、6「痛い」、8「かなり痛い」10「非常に痛い」と表記し、その痛みに合わせた表情を言葉の上に記載した。Talag Scale は、10cm の直線の一方に 0「痛くない」、もう一方に 10「非常に痛い」と表記し、被験者には自身の痛みと言葉を照らし合わせて評価させた。

評価姿勢は立位で、検側の肩関節を屈曲 90°にし、肘関節の屈曲伸展を 5 往復行った際の運動痛の程度を記入させた。

関節可動域

肘関節最大屈曲角度と肘関節伸展角度を測定した。あらかじめ肩峰の midpoint, 外側上顆, 尺骨茎状突起の 3 点にマジックでマーキングをし, その 3 点のなす角度を算出した。

上記の運動をビデオカメラで撮影し, 実験後映像解析ソフトウェア (DARTFISH, DARTFISH 社製) で屈曲角度と伸展角度を算出した (図 5)。

上腕周径囲

ロータリーメジャーを用いて, 肘頭から 5, 10, 15cm 上部の位置で周径囲を測定した。また, 肘頭から肩峰までを結んだライン上に, 3 点のポイント (5, 10, 15cm) をマーキングし, そのポイント上で周径囲を測定した。測定時には, 被験者に脱力するように指示をした。5, 10, 15cm の 3 点は DOMS 誘発運動後の post 測定で同一の場所が測定できるよう, pre 測定時に印を付けた。

最大筋力

多用途筋機能評価運動装置 (BIODEX System3 : BIODEX 社製) を用いて等尺性屈曲筋力を測定した。測定に際して各被験者に筋力測定の安全性を説明し, 毎回の試行で最大努力するように指示をした。また, 被験者が全力で力発揮ができるよう, 検者は声援を送った。毎回同じ位置で測定できるよう, 一回目の測定時に各アタッチメントの位置を記入し, 二回目以降の測定を同じ値で行った。

各関節角度は肘関節屈曲 45°, 肩関節屈曲 80°に統一して行った。3 秒間の最大筋力発揮を

3 回行い，試行間の休息を 5 秒間とした．得られたピークトルクの最大値を最大筋力として採用した．

仕事量

DOMS 誘発運動として行われた伸張性収縮試行中の仕事量を採用した．伸張性収縮で行った肘関節伸展時の抵抗トルクと，股関節角度，関節角度および角速度のデータをサンプリング周波数 100Hz で A/D 変換して記録した．データ分析には，データ統合解析プログラム（KIneAnalyzer, キッセイコムテック社製）を使用し，1rep 毎の積分値を算出した．各仕事量の計算式は以下の通りである．

$$W = \int_0^t |x(t)| dt$$

W : 仕事量

また，3 セット（合計 30rep）の仕事量の総和を，全セット数である 3 で割った数を総仕事量とした．また，合計 30 回行った DOMS 誘発運動を 5 回毎に分け，それぞれの平均値を算出した．

表面筋電図

DOMS 誘発運動（伸張性収縮）中と最大筋力（等尺性収縮）中の EMG データを，テレメトリー式筋電計（MARQ MQ-8, キッセイコムテック社製）を用いて双極誘導法によって導出した．あらかじめ電極を貼付する部位の皮膚上を，酒精綿で擦り，皮膚抵抗が 5k Ω 以下になるまで角質除去を行った．電極は，大きさが 19×38mm，素材が銀・塩化

銀 (Ag/AgCl) のディスポーザブル電極 (アドメデック社製 LecTrode NP) を使用し, 上記の前処理後, 上腕二頭筋の筋腹に貼付した. 電極間距離を 20mm とし, アース電極を茎状突起に貼付した. また, 全試技で同じ部分に貼付できるよう, pre に貼付した電極の周りにマジックでマーキングを施した. 電極位置の決定は Starbuck et al.⁶³⁾ の手法を参考した. 得られた筋電図信号は, サンプリング頻度 1000Hz での A/D 変換を経て, パーソナルコンピュータ (HSTNN-C82C HWLETT-PACKARD 社製) に無線搬送 (Bluetooth) された. このデジタルデータを電気信号収録ソフトウェア (Vital Recorder2, キッセイコムテック社製) でファイル化し, ハードディスクに保存した.

データ分析には, データ統合解析プログラム (KineAnalyzer, キッセイコムテック社製) を使用した. 得られた筋電図信号にバンドパスフィルター (10-450Hz) を施し, 全波整流を行った. 分析区間は 3 秒間とした (図 6). 周波数分析は, 窓関数 (Haming 窓) の高速フーリエ変換 (Fast Fourier Transform : FFT) によるパワースペクトラム解析を行い, ポイント数 2048 にて中間周波数を算出した.

第 4 節 統計処理

分析結果は, 筋痛, 等尺性筋力, 総仕事量, 関節可動域, 上腕周径囲を平均値 $\pm$ 標準偏差で表し, 伸張性筋力, 30 回毎の仕事量, 中間周波数, %MVC を平均値 $\pm$ 標準誤差で表した. また, 伸張性筋力, 仕事量, 中間周波数, 筋放電量の比較には, 5 回ごとの平均値を採用しており, それに伴いグラフも 5 回ごとの平均値をプロットしている.

等尺性筋力 (day0 と day21), 総仕事量 (day0 と day21) および中間周波数 (各条件間

の IM と ECC) の平均値の差の検定には、対応のある t 検定を用いた。また、中間周波数の平均値の差の検定には一元配置分散分析を用いた。それ以外の平均値の差の検定には二元配置分散分析（条件×経時変化）を用いた。同じく、二元配置分散分析を行った際の比較は、RC1week－SC1week, RC4week－SC4week, RC1week－RC4week, SC1week－SC4week の間で行った。

一元配置分散分析および二元配置分散分析の結果、有意な主効果が認められた場合、主効果の検定および多重比較検定として Bonferroni 法を用いて下位検定を実施した。また、二元配置分散分析の結果、交互作用が認められた場合、単純主効果の検定および多重比較検定として Bonferroni 法を用いて下位検定を実施した。すべての統計処理には、解析ソフト（SPSS statistics version 23, IBM 社製）を使用した。なお、危険率 5%未満 ($p < 0.05$) をもって有意とした。

第 3 章 結果

第 1 節 筋痛

図 7 に DOMS 誘発運動によって生じた筋痛の経時的変化を示し、表 1 に時間、条件および交互作用の統計的な関係性をまとめた。RC1week-SC1week では交互作用及び条件間に有意差が認められず、日数にのみ有意な差が認められた。一方で RC4week-SC4week , RC1week-RC4week, SC1week-SC4week では交互作用、条件間および時間の間で有意な差が認められたため単純主効果の検定として各要因の多重比較検定を行った。その結果、RC4week-SC4week では SC4week よりも RC4week の方が有意に低い値 ($p<0.01$) を示し、RC1week よりも RC4week の方が有意に低い値 ($p<0.01$) を示し、SC1week よりも SC4week の方が有意に低い値 ($p<0.05$) を示した。また、全条件において、DOMS 誘発運動の前 (day0・21) 後 (day0post・day21post) の値に比べて day1・22 で最も筋痛の値が高い値を示し、その後時間の経過に伴い減少していった。

第 2 節 筋力

等尺性筋力

図 8 に day0 と day21 の pre 測定で行った等尺性筋力の平均値をプロットしたグラフを示した。RC の day0 ($44.76\pm13.22\text{N}\cdot\text{m}$: Mean $\pm$ SD) と day21 ($53.13\pm12.22\text{N}\cdot\text{m}$) を比較した結果、day21 の方が有意に高い値を示した ($p<0.01$)。また、SC の day0 ($47.56\pm14.74\text{N}\cdot\text{m}$) と day21 ($46.68\pm14.47\text{N}\cdot\text{m}$) を比較した結果、有意な差がみられなかった。

図 9 に筋力の経時的変化を示し、表 2 に時間、条件および交互作用の統計的な関係性を示した。RC4week-SC4week と RC1week-RC4week では交互作用及び条件間に有意な差が認められず、日数 ($p<0.01$) にのみ有意な差が認められたため主効果の検定として多重比較検定を行った。両条件間において、day0・21 で行った DOMS 誘発運動によって筋力が有意に低下し、その後日数の変化に伴い値が回復していった。また、RC1week-SC1week では、交互作用 ($p<0.05$) と日数 ($p<0.01$) に有意な差が認められたため、日数の単純主効果の検定として多重比較検定を行った。RC1week および SC1week の両条件において、day0 で行った DOMS 誘発運動によって筋力が有意に低下した。また RC1week のみ直後の値に比べて day4 で有意に高い値を示した。SC1week-SC4week においては交互作用 ($p,0.05$)、時間 ($p<0.01$)、条件間 ($p<0.05$) に有意な差が認められたため単純主効果の検定として各要因の多重比較検定を行った。その結果、SC1week-SC4week の条件間では、day4 において SC1week よりも SC4week の方が有意に高い値を示した ($p<0.05$)。また、SC1week では day0 で行った DOMS 誘発運動の直前の値に比べて、直後の値が有意に低下した ($p<0.01$)。一方で、SC4week においては day21 で行った DOMS 誘発運動の直前の値に比べて、直後の値が有意に低い値 ($p<0.01$) を示し、その後 day23 と day25 では運動直後に比べて有意に高い値 ($p<0.01$) を示した。

伸張性筋力

図 10 に DOMS 誘発運動の回数の経過に伴う伸張性筋力の 5 回毎の変化を示し、表 3 に回数、条件および交互作用の統計的な関係性をまとめた。すべての条件間において交互

作用は認められなかったが、回数間に有意な差が認められたため主効果の検定として多重比較検定を行った。その結果、1・5回の値に比べ、回数が増加するにつれて伸張性筋力が有意に低下していった ($p<0.01$)。また、RC1week－RC4weekのみ条件間で有意な差が認められたため主効果の検定として多重比較検定を行った結果、RC1weekよりもRC4weekの方が有意に高い値を示した ($p<0.05$)。

仕事量

図 11 に DOMS 誘発運動で行った伸張性収縮運動の総仕事量を、day0 と day21 で比較したグラフを示した。RC の day0 ($334.18\pm72.38\text{J}$) と RC の day21 ($425.18\pm105.27\text{J}$) を比較した結果、day21 の方が有意に高い値を示した ($p<0.01$)。また、SC の day0 ($375.24\text{J}\pm87.92$) と day21 ($346.68\pm104.42\text{J}$) を比較した結果、有意な差は認められなかった。

図 12 に DOMS 誘発運動の回数の経過に伴う仕事量の 5 回毎の変化を示し、表 4 に回数、条件および交互作用の統計的な関係性をまとめた。すべての条件間において交互作用は認められなかったが、回数間に有意な差が認められたため主効果の検定として多重比較検定を行った。その結果、回数が増加するにつれて、1・5回の値に比べて伸張性筋力が有意に低下していった ($p<0.01$)。また、RC1week－RC4weekのみ条件間で有意な差が認められたため、主効果の検定として多重比較検定を行った結果、RC1weekよりもRC4weekの方が有意に高い値を示した ($p<0.05$)。

第 3 節 筋電図

中間周波数

図 13 に等尺性筋力測定(IM)と DOMS 誘発運動として行われた伸張性収縮運動(ECC)の一回目で抽出された中間周波数の値を示した。両運動の平均値を比較した結果、全ての条件において ECC の方が有意に高い値を示した ($p<0.01$)。

図 14, 15, 16, 17 に DOMS 誘発運動の回数の経過に伴う中間周波数の 5 回毎の変化を示し、表 5 に回数間の統計的な関係性を表にまとめた。RC4week の 5 回平均ごとの比較の結果、各回数間に有意な差が認められたため下位検定として多重比較検定を行った(図 15)。その結果、1-5 回よりも、5-10 回 ($p<0.05$)、15-20 回 ($p<0.05$) の方が有意に低い値を示した。その他の条件間では有意な差がみられなかった。

筋放電量

図 18 に DOMS 誘発運動の回数の経過に伴う筋放電量の 5 回毎の変化を示し、表 6 に回数、条件および交互作用の統計的な関係性をまとめた。二元配置分散分析の結果、全ての条件、回数間に有意な差はみられなかった。

第 4 節 関節可動域

伸展時

図 19 に肘関節伸展時の関節可動域の経時的変化を示し、表 7 に時間、条件および交互作用の統計的な関係性を示した。すべての条件間で交互作用と条件の間には有意な差が認

められなかったが、RC1week-SC1week と RC1week-RC4week において、日数に有意な差が認められた ($p<0.05$)。多重比較検定の結果、両条件で DOMS 誘発運動前 (day0・day21) よりも運動後 (day0post・day21post) の方が有意に低い値を示した。その他の条件間では有意な差がみられなかった。

屈曲時

図 20 に肘関節伸展時の関節可動域の経時的変化を示し、表 8 に時間、条件および交互作用の統計的な関係性を示した。すべての条件間において交互作用は認められなかったが、RC1week-SC1week, RC1week-RC4week, SC1week-SC4week の時間の間に有意な差が認められたため、下位検定として多重比較検定を行った。その結果、RC1week-RC4week, SC1week-SC4week において DOMS 誘発運動前 (day0・day21) よりも後 (day0post・day21post) の方が有意に高い値を示し ($p<0.05$)、RC1week-SC1week においては運動後 (day0post) と day4 の値が運動前 (day0) よりも有意に高い値を示した ($p<0.05$)。

上腕周径囲

表 9 に肘頭から上部 5cm の周径囲の値を示し、表 10 に時間、条件および交互作用の統計的な関係性を示した。RC1week-SC1week では交互作用及び時間の間に有意な差が認められたため、単純主効果の検定として多重比較検定を行った。その結果、RC1week では DOMS 誘発運動前 (day0) よりも運動後 (day0post) と day4 の方が有意に高く、day2

よりも day4 の方が有意に高い値を示した。SC1week では DOMS 誘発運動前 (day0) よりも day2 の方が有意に高い値を示した。また、その他の条件においては、交互作用と条件の間に有意な差は認められず、時間に主効果が認められた ($p<0.05$) ため、主効果の検定として多重比較検定を行った。その結果、どの条件においても DOMS 誘発運動前 (day0) よりも運動後 (day0post) の方が有意に低い値を示し、RC1week-RC4week においては day4 も有意に高い値を示した ($p<0.05$)。

表 11 に肘頭から上部 10cm の周径囲の値を示し、表 12 に時間、条件および交互作用の統計的な関係性を示した。すべての条件間で交互作用は認められず、RC1week-SC1week, RC1week-RC4week, SC1week-SC4week, では時間の間に有意な差が認められた。3 条件において DOMS 誘発運動前 (day0) よりもその後の測定において有意に高い値を示した (RC1week-SC1week : $p<0.01$, RC1week-RC4week : $p<0.05$, SC1week-SC4week : $p<0.05$)。

表 13 に肘頭から上部 15cm の周径囲の値を示し、表 14 に時間、条件および交互作用の統計的な関係性を示した。すべての条件間で交互作用は認められず、RC4week-SC4week, RC1week-RC4week, SC1week-SC4week, では時間の間に有意な差が認められた。3 条件において DOMS 誘発運動前 (day0) よりもその後の測定において有意に高い値を示した (RC1week-SC1week : $p<0.05$, RC1week-RC4week : $p<0.05$, SC1week-SC4week : $p<0.05$)。

第 4 章 考察

本研究では 4 週目の筋痛の程度が, DOMS 発現時に繰り返し運動を行った RC において最も抑制された (図 7). SC と比べても RC の方が筋痛の値が低いことから, DOMS 発現時に運動を行うことで RBE の効果が助長し, 二回目に発現する DOMS の程度が更に抑制される可能性を示した. また, 最大等尺性筋力と, DOMS 誘発運動時に計測された伸張性収縮筋力および仕事量は, day0 よりも day21 で測定された値の方が高い値を示した (図 8, 10, 11, 12). このことは, DOMS が発現した状態で運動を行ったとしても, トレーニング効果が生ずる可能性を示すと考えられる.

第 1 節 筋痛の抑制に与える影響

両条件共に筋痛の程度は運動から 1 日後に最も増加し, その後時間の経過に伴い回復していく傾向が観察された (図 7). このように, 運動直後から変化し, その後約 1 週間かけて元の値に戻っていく様相は筋力, 関節可動域, 上腕周径囲でも同様に認められた (図 9, 19, 20, 表 9, 11, 13). これらの結果は, 他の DOMS に関する先行研究⁵¹⁾の結果と一致するものであることから, RC, SC は DOMS を十分に誘発できていたことが分かる. また, 一週目の day0 から day4 までの筋痛 (図 7), 筋力 (図 9), 関節可動域 (図 19, 20), 上腕周径囲 (表 9, 11, 13) の条件間, また DOMS 誘発運動中の伸張性筋力 (図 10) と仕事量 (図 12) の条件間に有意な差が無いことから, day0 で行った DOMS 誘発運動の強度には条件間で差がなかったと解釈される.

また, 両条件の 1 週目と 4 週目の筋痛を比較すると, 1 週目に比べて 4 週目の筋痛が有

意に低い値を示していることは同様であった（図 6）。さらに、筋力においても、SC では 1 週目に比べて 4 週目の day4 で、筋力が有意に高い値を示した。これらの結果は、先行研究^{21,46)}と類似するものであり、本研究で RBE が両条件共に発現していた可能性を支持する結果であろう。

RBE のメカニズムには、3 つの可能性が示唆されており、今回測定した中間周波数は、このうちの一つである神経性の要因を説明する項目の一つである^{51,63)}。中間周波数は通常、運動単位の活動様式に影響されると言われている⁶⁸⁾。特性として、SMU は低周波成分、FMU は高周波成分を有しているとされており、永田ら⁴⁷⁾は、低 (45Hz 以下)、中 (46–80Hz)、高 (81Hz 以上) の三つの周波数帯域に分類している。しかし、これら周波数帯域は、筋が保有する筋線維割合に依存する⁶¹⁾ため、被験筋が異なる場合、この三つの周波数帯域を参考とするには注意が必要となるが、本研究で採用した上腕二頭筋と、永田らが採用した大腿直筋の速筋線維の割合は同様に 60%程度^{34,36)}とされていることから、今回は永田らが定義した周波数帯域を参考値とすることは妥当であろう。また、筋電図は環境や被験者の皮膚状態等に影響を受けやすいことから、得られたデータへの信憑性を担保することが重要だと考えられる。最大張力を発揮する際には、サイズの原理より SMU に支配される遅筋線維から動員され、張力の上昇および経時変化に伴い FMU に支配される速筋線維が動員されていく⁶⁰⁾。しかし、伸張性収縮においては他の収縮運動とは異なり、速筋線維を優先的に動員するとされている^{48,49)}。したがって、速筋線維では FMU を動員するため高周波帯域となることを考えると、伸張性収縮では周波数の値が大きくなるといえる。実際に本研究で行った pre 測定時の等尺性筋力を発揮している最中は中周波帯域で、DOMS 誘

発運動時の伸張性筋力を発揮している最中では高周波帯域であった（図 13）。

4 週目における RC の中間周波数は、最初の 1-5 回平均の値よりも 5-10 回と 15-20 回平均の値の方が有意に低い値を示したが、SC においてはそれぞれの回数の間に有意な差は認められなかった（図 15, 16）。このことは、RC では DOMS 誘発運動中に高周波から低周波にシフトした、すなわち回数を重ねることで FMU のみならず SMU も同様に活性化したことが影響していると考えられる。Warren et al.（2000）は、一回目の伸張性運動で DOMS が回復した後に再度同負荷で伸張性運動を行ったところ、二回目の伸張性収縮時の中間周波数が低周波にシフトしたことを報告している⁶⁷⁾。さらに Nosaka K & Clarkson PM⁵²⁾も、伸張性収縮時の運動単位の動員が、FMU のみならず SMU も動員されたことによって仕事量の分配が生じ、そのことが RBE に起因している可能性を指摘している。このことから、本研究でも 4 週目の RC において伸張性収縮運動の回数を重ねることで SMU の動員率が増加していき、結果として RBE が生じた可能性があると考えられる。しかし、前述した通り SC においても RBE が生じているが、RC のように中間周波数が低周波にシフトした傾向はみられなかった。この結果には、RBE の他の要因である機械性と細胞性のどちらかが強く作用した、もしくは協同して作用したことで、中間周波数の値には現れなかった可能性が考えられるが、本研究においてそれらの影響を明らかにすることはできない。それぞれの貢献度を明確にするには、超音波法や MRI 法等を用いた更なる検討が必要である。

一方で、両条件の 4 週目の値を比較した結果、RC の筋痛ピーク値は $19.13 \pm 24.08 \text{ mm}$ だったのに対して、SC は $47.13 \pm 5.25 \text{ mm}$ で、RC の方が有意に低い値を示した ($p < 0.05$)。

これは DOMS 発現時に行う繰り返し運動が、筋痛の再発予防効果に繋がった可能性を示唆している。この背景には、繰り返し運動を行うことで時間的要素が満たされ、RBE の効果が助長したことが起因した可能性が考えられる。また、Bingel^{5,43,57)}の報告では、健常人では身体に繰り返し痛み刺激を加えることで、痛みに関連する脳領域の活動の減少や、主観的な痛み強度の減少が見られることが明らかになっている。また、DOMS 発現時には痛みを感知する脳領域が活動すること⁷²⁾や、DOMS が発現した腕とは逆の腕でも RBE が発現すること⁶³⁾を踏まえると、今回の筋痛再発予防効果の発現には中枢性の要因も考えられるが、本研究において中枢性の影響を明らかにすることはできないため、今後調査を進めていく必要がある。また今回の研究では、質的要素と量的要素には着目せず、時間的要素のみを満たす方法で行ったが、質および量的な要因にも着目することで更なる DOMS 抑制の効果が期待できよう。

本研究において、RC、SC ともに筋痛の抑制を確認することができた。これは RBE の反応を確認できたことを意味する。しかし、SC においては RBE の発現の原因を明らかにすることができなかった。この結果は、RBE のメカニズムである神経性の要因^{51,63,67)}のみならず、機械性の要因^{4,56,69)}、細胞性の要因^{6,44,50)}が影響を与えているためであると考えられるが、今回はその影響を明らかにするための測定を行っていない。したがって、今後は RBE が発現した群としなかった群に分け、その原因を神経性、機械性および細胞性のすべての観点から調査を行うことで、その相互関係を明らかにしていく必要があると考えられる。また、本研究では DOMS 発現時の繰り返し運動の強度を最大努力で行わせたため、

被験者の中には強い痛みを感じる例もあった。そのため、現場への応用を考慮すると、繰り返し運動の強度や回数を調整することも必要であろう。

第2節 トレーニング効果

本研究では、pre 測定時の最大等尺性筋力、DOMS 誘発運動中の仕事量および伸張性筋力が RC において、day0 よりも day21 で高い値を示した（図 8, 10, 11, 12）。この結果は、DOMS 発現時に行う伸張性収縮運動が、発揮筋力を改善する可能性を示唆するものであり、DOMS 発現時での運動にもトレーニング効果があることを意味する。

今回行ったトレーニング期間は 1 週間という短い期間であったのにも関わらず仕事量、伸張性筋力、等尺性筋力の改善がみられた。短期間のトレーニング効果であるため、筋の変化ではなく、運動様式や収縮様式への慣れ、すなわち BIODEx への慣れや、伸張性収縮への慣れが懸念される。しかし、今回は RC で運動様式や収縮様式に関係なく筋力の改善がみられたことや、SC での等尺性筋力の改善がみられなかったことから、末梢の変化もしくは神経系の改善が生じたことが考えられる。

本研究では、神経系の影響を%MVC によって評価した。多くの先行研究では、単位筋断面面積あたりの筋力の増加は、トレーニングの比較的初期の段階に生じると報告している^{30,32,37,45)}。また、そのような単位筋断面面積当たりの筋力における変化は筋電図積分値の増加を伴ったことから、福永ら³⁰⁾は比較的短期間のトレーニングによる最大筋力の増加の要因を、神経の興奮水準の高まりあるいは力発揮に関与する運動単位の増加が原因であるとしている。しかし、本研究においては両条件間に差はなく、1 週目と 4 週目の間にも差は

みられなかった．このことから，今回のトレーニング効果の発現には，主働筋以外の変化が主な原因の一つであると考えられる．

Jones et al.³⁵⁾は，健常人であればトレーニング実施の有無に関わらず，最大随意収縮の場合にすべてあるいはそれに近い数の運動単位を活動させることが可能という指摘をしており，トレーニングによる運動単位の動員増強とそれによる筋力増大に否定的な意見を述べている．さらに Rutherford & Jones⁵⁸⁾は，筋肥大を伴わない筋力増加にはたす神経系の機能的な適応として，力発揮に関与する協同筋群間の協調性の高まりを示唆している．また Carolan & Cafarelli⁷⁾は，協同筋群間の協調性の増強に加え，力発揮時における拮抗筋群の活動低下を指摘している．このことから，本研究で得られた仕事量，伸張性筋力，等尺性筋力の増加には，主働筋の神経系の改善というより，むしろ主働筋が力を発揮しやすい状況を作りだしたことで，すなわち協同筋および拮抗筋の神経系が改善されたことによって，筋力発揮の効率化が得られた可能性が考えられる．

第3節 現場への応用

DOMS 誘発運動と同程度の運動を DOMS 発現時に繰り返し行うことで，その次に生じる DOMS の程度が抑制された．またこれに伴い，DOMS の回復後には仕事量の増加や伸張性筋力および等尺性筋力の増加が生じることが認められた．レジスタンストレーニングプログラムやスポーツ現場への応用において，DOMS 発現時に運動を行うことが，次の DOMS を抑制し，さらには，扱う重量の増加や挙上回数の増加に繋がると考えられる．また，DOMS 発現時に更なる負荷を与えたとしても，DOMS が悪化・遷延することはなかった．

そのため, DOMS 発現時には休ませるのではなく, 積極的に運動を行うべきかもしれない.

しかし, その際は筋力が約 60%—80%低下することを考慮したプログラムデザインの検討が必要となる. また, 選手が強い痛みを訴えた場合は, 無理にトレーニングを行わせることをせず, 選手の感覚を優先することも大切であると考え. また, 今回の結果は習慣的にトレーニングを行っていない者への反応である可能性があることや, 等速性運動でのみみられる反応である可能性があるため, 今後はトレーニング上級者や等張性運動での検討を行っていく必要があると考えられる.

第 5 章 結語

本研究は，DOMS 発現時に行う伸張性収縮運動が，次の DOMS に与える影響を明らかにすることを目的として行われた．

その結果，DOMS 発現時に繰り返し運動を行った条件では，繰り返し運動を行わなかった条件に比べ，4 週後に生じた筋痛が有意に低値を示したことから，DOMS 発現時の運動は，次の運動で生ずる筋痛のさらなる抑制を促すことが明らかとなった．また，RC では 4 週目の等尺性筋力，仕事量および伸張性収縮筋力の増加が認められたことから，DOMS 発現時であってもトレーニング効果が生ずる可能性が示唆された．

参考文献

- 1) Abraham, W. M. (1976) Factors in delayed muscle soreness. *Medicine and science in sports* 9(1): 11-20.
- 2) Armstrong, R. B. (1984) Mechanisms of exercise-induced delayed onset muscular soreness: a brief review. *Medicine and science in sports and exercise* 16(6): 529-538.
- 3) Asmussen, E. (1956) Observations on experimental muscular soreness. *Acta Rheumatologica Scandinavica* 2(1-4): 109-116.
- 4) Barash, I. A., Peters, D., Fridén, J., Lutz, G. J., and Lieber, R. L. (2002). Desmin cytoskeletal modifications after a bout of eccentric exercise in the rat. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* 283(4): 958-963.
- 5) Bingel, U., Schoell, E., Herken, W., Büchel, C., and May, A. (2007) Habituation to painful stimulation involves the antinociceptive system. *Pain* 131(1): 21-30.
- 6) Brockett, C. L., Morgan, D. L., and Proske, U. W. E. (2001). Human hamstring muscles adapt to eccentric exercise by changing optimum length. *Medicine and science in sports and exercise* 33(5): 783-790.
- 7) Carolan, B., and Cafarelli, E. (1992). Adaptations in coactivation after isometric resistance training. *Journal of applied physiology* 73(3): 911-917.
- 8) Chen, T. C., and Hsieh, S. S. (2000) The effects of repeated maximal voluntary

isokinetic eccentric exercise on recovery from muscle damage. *Research quarterly for exercise and sport* 71(3):260-266.

- 9) Cheung, K., Hume, P. A., and Maxwell, L. (2003) Delayed onset muscle soreness. *Sports Medicine* 33(2): 145-164.
- 10) Clarkson, P. M., Byrnes, W. C., Gillis, E., and Harper, E. (1987). Adaptation to exercise-induced muscle damage. *Clinical Science* 73(4): 383-386.
- 11) Clarkson, P. M., Nosaka, K., and Braun, B. (1992) Muscle function after exercise-induced muscle damage and rapid adaptation. *Medicine and science in sports and exercise* 24(5): 512-520.
- 12) Cleak, M. J., and Eston, R. G. (1992) Delayed onset muscle soreness: mechanisms and management. *Journal of sports sciences* 10(4): 325-341.
- 13) Craig, J. A., Bradley, J., Walsh, D. M., Baxter, G. D., and Allen, J. M. (1999) Delayed onset muscle soreness: lack of effect of therapeutic ultrasound in humans. *Archives of physical medicine and rehabilitation* 80(3): 318-323.
- 14) DeLorme, T. L. (1945) Restoration of muscle power by heavy-resistance exercises. *J Bone Joint Surg Am* 27(4): 645-667.
- 15) Denegar, C. R., Perrin, D. H., Rogol, A. D., and Rutt, R. (1989) Influence of transcutaneous electrical nerve stimulation on pain, range of motion, and serum cortisol concentration in females experiencing delayed onset muscle soreness. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* 11(3): 100-103.

- 16) Deschenes, M. R., Covault, J., Kraemer, W. J., and Maresh, C. M. (1994) The Neuromuscular Junction. *Sports Medicine* 17(6): 358-372.
- 17) Dettmers, C., Ridding, M. C., Stephan, K. M., Lemon, R. N., Rothwell, J. C., and Frackowiak, R. S. (1996) Comparison of regional cerebral blood flow with transcranial magnetic stimulation at different forces. *Journal of Applied Physiology* 81(2): 596-603.
- 18) Donnelly, A. E., McCormick, K., Maughan, R. J., Whiting, P. H., and Clarkson, P. M. (1988) Effects of a non-steroidal anti-inflammatory drug on delayed onset muscle soreness and indices of damage. *British Journal of Sports Medicine* 22(1): 35-38.
- 19) Enoka, R. M. (1996) Eccentric contractions require unique activation strategies by the nervous system. *Journal of Applied Physiology* 81(6): 2339-2346.
- 20) Ernst, E. (1998) Does post-exercise massage treatment reduce delayed onset muscle soreness? A systematic review. *British Journal of Sports Medicine* 32(3): 212-214.
- 21) Falvo, M. J., Schilling, B. K., Bloomer, R. J., and Smith, W. A. (2009) Repeated bout effect is absent in resistance trained men: an electromyographic analysis. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 19(6): 529-535.
- 22) Francis, K. T., and Hoobler, T. (1987) Effects of aspirin on delayed muscle soreness. *The Journal of sports medicine and physical fitness* 27(3): 333-337.

- 23) Giamberardino, M. A., Dragani, L., Valente, R., Di Lisa, F., Saggin, R., and Vecchiet, L. (1996) Effects of prolonged L-carnitine administration on delayed muscle pain and CK release after eccentric effort. *International journal of sports medicine* 17(05): 320-324.
- 24) Hasson, S., Mundorf, R., Barnes, W., Williams, J., and Fujii, M. (1989) Effect of pulsed ultrasound versus placebo on muscle soreness perception and muscular performance. *Scandinavian journal of rehabilitation medicine* 22(4): 199-205.
- 25) Hasson, S., Barnes, W., Hunter, M., and Williams, J. (1989) Therapeutic effect of high speed voluntary muscle contractions on muscle soreness and muscle performance. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* 10(12): 499-507.
- 26) High, D. M., Howley, E. T., and Franks, B. D. (1989) The effects of static stretching and warm-up on prevention of delayed-onset muscle soreness. *Research quarterly for exercise and sport* 60(4): 357-361.
- 27) Hill, D. W., and Richardson, J. D. (1989) Effectiveness of 10% Trolamine Salicylate Cream on Muscular Soreness Induced by a Reproducible Program of Weight Training*. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* 11(1): 19-23.
- 28) Hough, T. (1902) Ergographic studies in muscular soreness. *American Physical Education Review* 7(1): 1-17.
- 29) Howatson, G., Van Someren, K., and Hortobagyi, T. (2007) Repeated bout effect after maximal eccentric exercise. *International journal of sports medicine* 28(07):

557-563.

- 30) 福永哲夫 (1978) ヒトの絶対筋力：超音波による体組成・筋力の分析. 杏林書院：東京,
- 31) IASP (1986) Subcommittee on taxonomy. pain. suppl. 3: 1-226.
- 32) Ikai, M., and Steinhaus, A. H. (1961) Some factors modifying the expression of human strength. *Journal of Applied Physiology* 16(1): 157-163.
- 33) Isabell, W. K., Durrant, E., Myrer, W., and Anderson, S. (1992) The effects of ice massage, ice massage with exercise, and exercise on the prevention and treatment of delayed onset muscle soreness. *Journal of Athletic Training* 27(3): 208.
- 34) Johnson, M., Polgar, J., Weightman, D., and Appleton, D. (1973) Data on the distribution of fibre types in thirty-six human muscles: an autopsy study. *Journal of the neurological sciences* 18(1): 111-129.
- 35) Jones, D. A., Rutherford, O. M., and Parker, D. F. (1989) Physiological changes in skeletal muscle as a result of strength training. *QJ Exp Physiol* 74(3): 233-56.
- 36) Klein, C. S., Marsh, G. D., Petrella, R. J., and Rice, C. L. (2003) Muscle fiber number in the biceps brachii muscle of young and old men. *Muscle & nerve* 28(1): 62-68.
- 37) Komi, P. V., Viitasalo, J. T., Rauramaa, R., and Vihko, V. (1978) Effect of isometric strength training on mechanical, electrical, and metabolic aspects of muscle function. *European journal of applied physiology and occupational physiology*

40(1): 45-55.

- 38) Kraemer, W. J. (1983) Exercise Prescription in Weight Training: Manipulating Program Variables. *Strength & Conditioning Journal* 5(3): 58-61.
- 39) Lecomte, J. M., Lacroix, V. J., and Montgomery, D. L. (1998) A randomized controlled trial of the effect of naproxen on delayed onset muscle soreness and muscle strength. *Clinical Journal of Sport Medicine* 8(2): 82-87.
- 40) Lund, H., Vestergaard - Poulsen, P., Kanstrup, I. L., and Sejrsen, P. (1998) The effect of passive stretching on delayed onset muscle soreness, and other detrimental effects following eccentric exercise. *Scandinavian journal of medicine & science in sports* 8(4). 216-221.
- 41) Lynn, R., and Morgan, D. L. (1994) Decline running produces more sarcomeres in rat vastus intermedius muscle fibers than does incline running. *Journal of applied physiology* 77(3): 1439-1444.
- 42) McHugh, M. P., Connolly, D. A., Eston, R. G., and Gleim, G. W. (1999) Exercise-induced muscle damage and potential mechanisms for the repeated bout effect. *Sports Medicine* 27(3): 157-170.
- 43) Mobascher, A., Brinkmeyer, J., Warbrick, T., Musso, F., Schlemper, V., Wittsack, H. J. and Winterer, G. (2010) Brain activation patterns underlying fast habituation to painful laser stimuli. *International journal of psychophysiology* 75(1): 16-24.
- 44) Morgan, D. L. (1990) New insights into the behavior of muscle during active

lengthening. *Biophysical journal* 57(2): 209.

- 45) Moritani, T. (1979) Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation* 58(3): 115-130.
- 46) Muthalib, M., Lee, H., Millet, G. Y., Ferrari, M., and Nosaka, K. (2011) The repeated-bout effect: influence on biceps brachii oxygenation and myoelectrical activity. *Journal of Applied Physiology* 110(5): 1390-1399.
- 47) 永田 晟 (1984) 筋と筋力の科学: 筋収縮のスペクトル解析. 不昧堂出版: 東京, 152-156
- 48) Nardone, A., and Schieppati, M. (1988) Shift of activity from slow to fast muscle during voluntary lengthening contractions of the triceps surae muscles in humans. *The Journal of Physiology* 395(1): 363-381.
- 49) Nardone, A., Romano, C., and Schieppati, M. (1989) Selective recruitment of high-threshold human motor units during voluntary isotonic lengthening of active muscles. *The Journal of physiology* 409: 451-471.
- 50) Newham, D. J., Jones, D. A., Ghosh, G., and Aurora, P. (1988) Muscle fatigue and pain after eccentric contractions at long and short length. *Clinical science* 74(5): 553-557.
- 51) Newham, D. J., Jones, D. A., and Clarkson, P. M. (1987) Repeated high-force eccentric exercise: effects on muscle pain and damage. *Journal of applied physiology* 63(4): 1381-1386.

- 52) Nosaka, K. and Clarkson, P. M. (1995) Muscle damage following repeated bouts of high force eccentric exercise. *Medicine and science in sports and exercise* 27(9): 1263-1269.
- 53) Nosaka, K., Sakamoto, K., Newton, M., and Sacco, P. (2001) The repeated bout effect of reduced-load eccentric exercise on elbow flexor muscle damage. *European journal of applied physiology* 85(1-2): 34-40.
- 54) Nosaka, K., and Aoki, M. S. (2011) Repeated bout effect: research update and future perspective. *Brazilian Journal of Biomotricity* 5(1): 5-15.
- 55) Paddon-Jones, D. J., and Quigley, B. M. (1997) Effect of cryotherapy on muscle soreness and strength following eccentric exercise. *International journal of sports medicine* 18(08): 588-590.
- 56) Patel, T. J., and Lieber, R. L. (1997) 12 Force Transmission in Skeletal Muscle: from Actomyosin to External Tendons. *Exercise and sport sciences reviews* 25(1): 321-364.
- 57) Rennefeld, C., Wiech, K., Schoell, E. D., Lorenz, J., and Bingel, U. (2010) Habituation to pain: further support for a central component. *PAIN* 148(3): 503-508.
- 58) Rutherford, O. M., and Jones, D. A. (1986) The role of learning and coordination in strength training. *European journal of applied physiology and occupational physiology* 55(1): 100-105.

- 59) Sakamoto, A., Maruyama, T., Naito, H., and Sinclair, P. J. (2010) Acute effects of high-intensity dumbbell exercise after isokinetic eccentric damage: interaction between altered pain perception and fatigue on static and dynamic muscle performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 24(8): 2042-2049.
- 60) Sale, D. G. (1987) Influence of Exercise and Training on Motor Unit Activation. *Exercise and sport sciences reviews* 15(1): 95-152.
- 61) 佐藤寿晃・森直樹・千葉登（2006）随意収縮および電気刺激による筋疲労後の筋電図学的解析．山形保健医療研究 9：11-17.
- 62) Smith, L. L., Fulmer, M. G., Holbert, D., McCammon, M. R., Houmard, J. A., Frazer, D. D., and Israel, R. G. (1994) The impact of a repeated bout of eccentric exercise on muscular strength, muscle soreness and creatine kinase. *British Journal of Sports Medicine* 28(4): 267-271.
- 63) Starbuck, C., and Eston, R. G. (2012) Exercise-induced muscle damage and the repeated bout effect: evidence for cross transfer. *European journal of applied physiology* 112(3): 1005-1013.
- 64) 竹宮隆・石川利寛（1998）運動適応の科学：トレーニング科学的アプローチ．杏林書院：東京，2-3
- 65) Tiidus, P. M. (1997) Manual massage and recovery of muscle function following exercise: a literature review. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* 25(2): 107-112.

- 66) Torres, R., Ribeiro, F., Duarte, J. A., and Cabri, J. M. (2012) Evidence of the physiotherapeutic interventions used currently after exercise-induced muscle damage: systematic review and meta-analysis. *Physical Therapy in Sport* 13(2): 101-114.
- 67) Warren, G. L., Lowe, D. A., and Armstrong, R. B. (1999) Measurement tools used in the study of eccentric contraction-induced injury. *Sports Medicine* 27(1): 43-59.
- 68) Warren, G. L., Hermann, K. M., Ingalls, C. P., Masselli, M. R., and Armstrong, R. B. (2000) Decreased EMG median frequency during a second bout of eccentric contractions. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 32(4): 820-829.
- 69) Waterman-Storer, C. M. (1991) The cytoskeleton of skeletal muscle: is it affected by exercise? A brief review. *Medicine and science in sports and exercise* 23(11): 1240-1249.
- 70) Yackzan, L., Adams, C., and Francis, K. T. (1984) The effects of ice massage on delayed muscle soreness. *The American journal of sports medicine* 12(2): 159-165.
- 71) 柳田尚 (1988) 痛みとはなにか. 講談社: 東京, 25-28
- 72) Zimmermann, K., Leidl, C., Kaschka, M., Carr, R. W., Terekhin, P., Handwerker, H. O., and Forster, C. (2012) Central projection of pain arising from delayed onset muscle soreness (DOMS) in human subjects. *PloS one* 7(10): e47230.

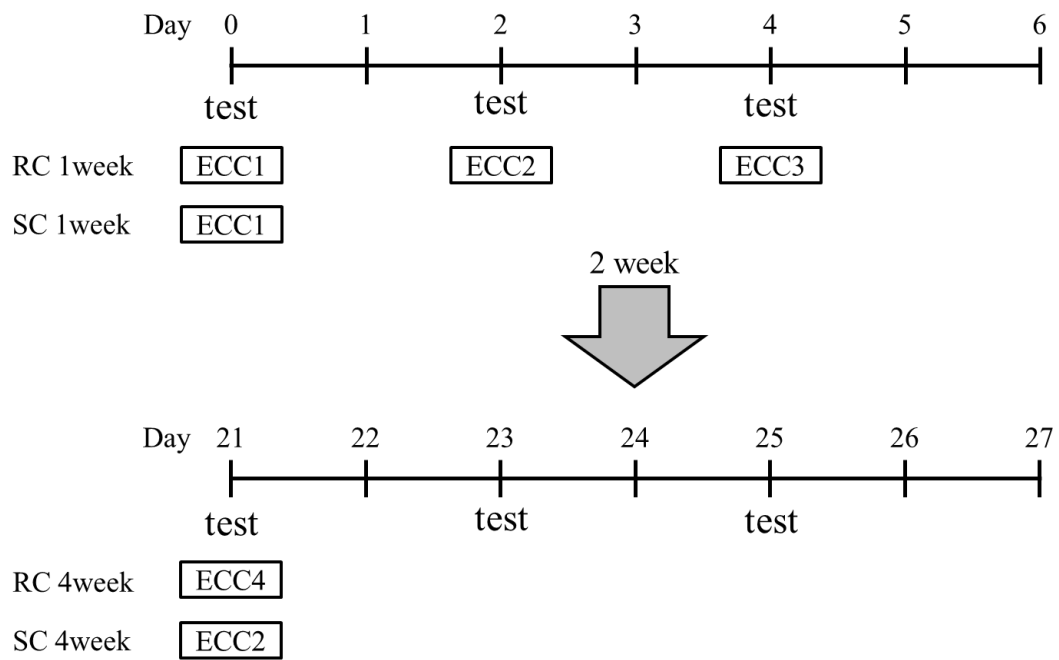


Figure 2 Experimental procedure

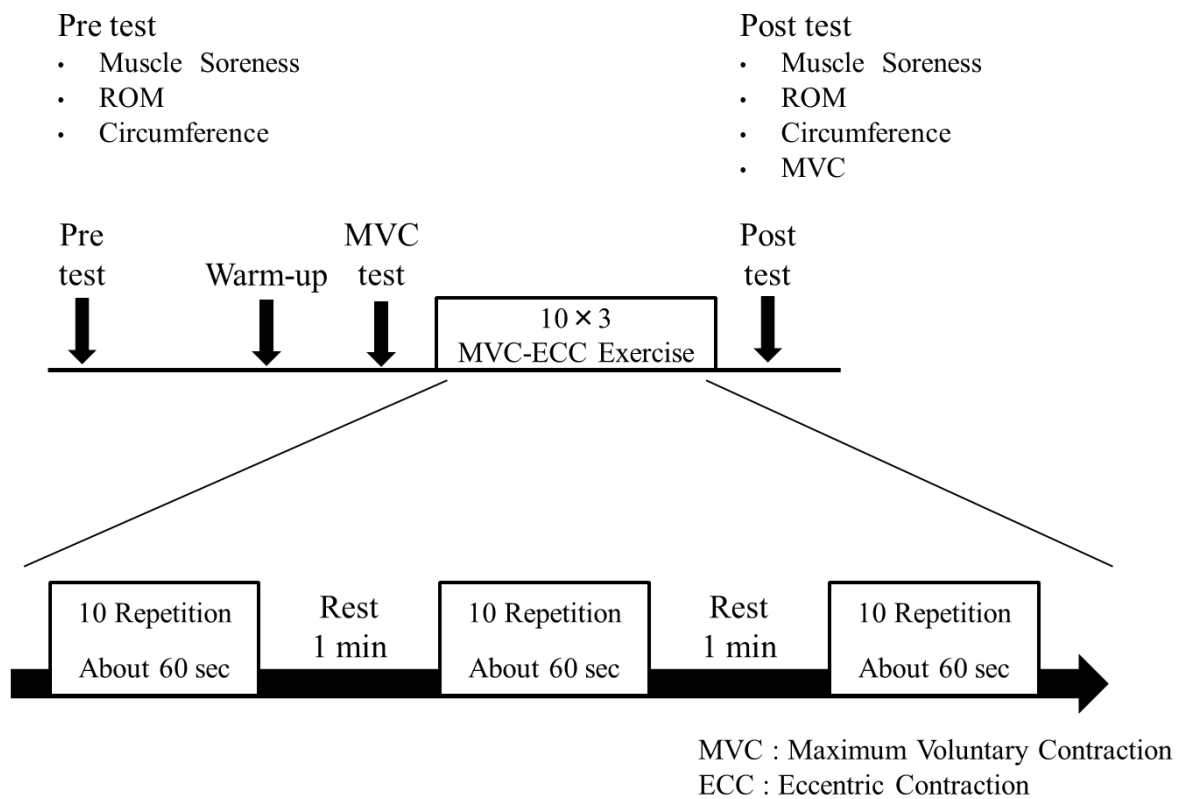


Figure 3 Experimental protocol in pre and post test

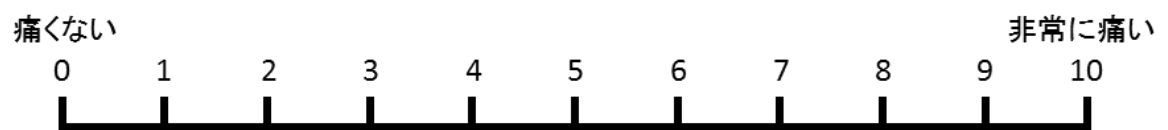
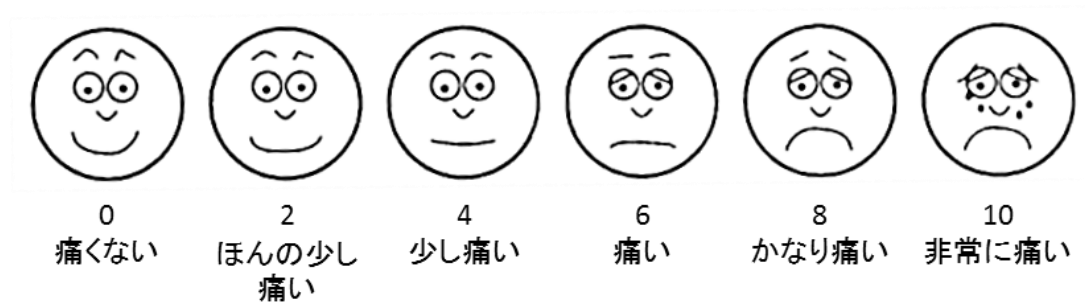
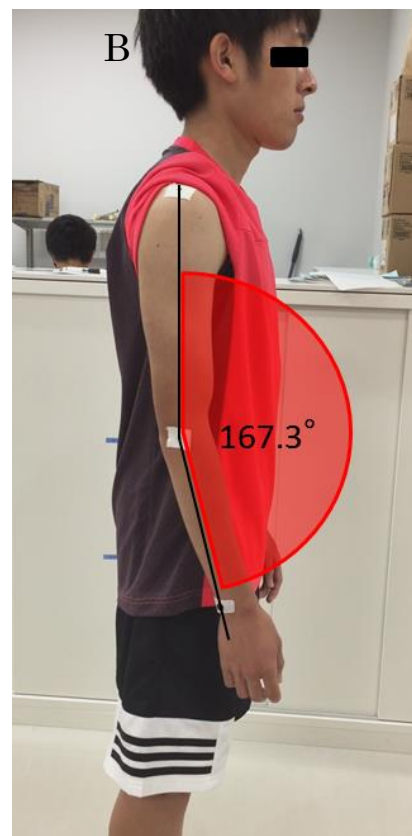
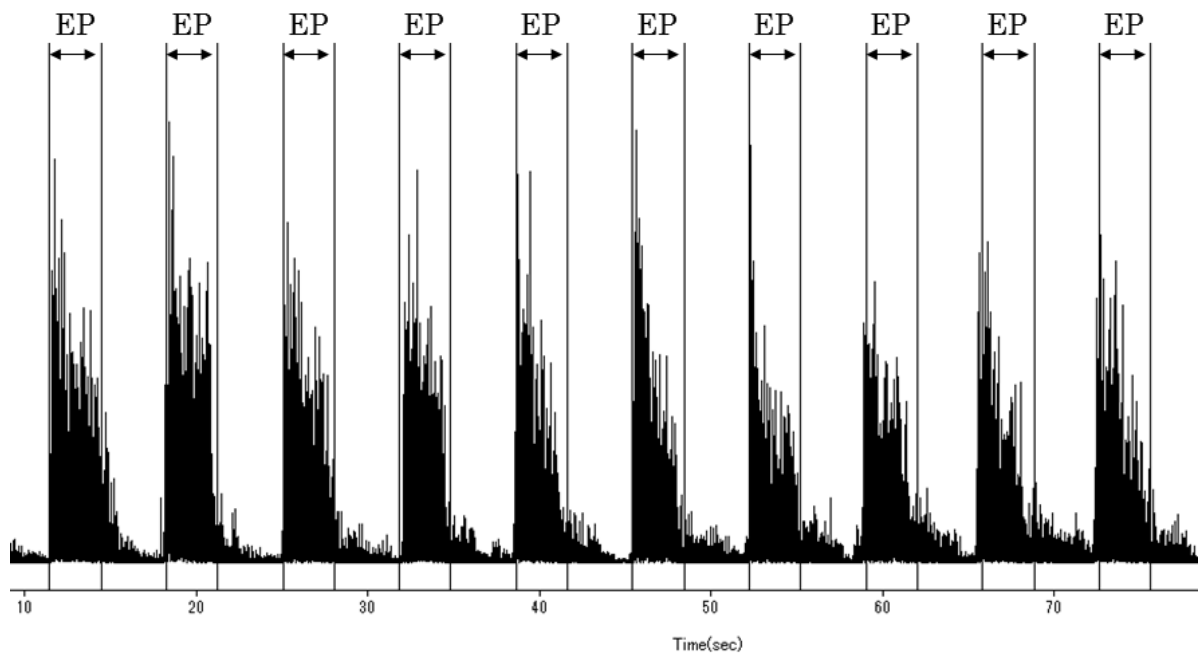


Figure 4 Face scale and Talag scale



A : flexion B : extension

Figure 5 ROM measurement



EP : Eccentric Phase

Figure 6 Analysis of EMG

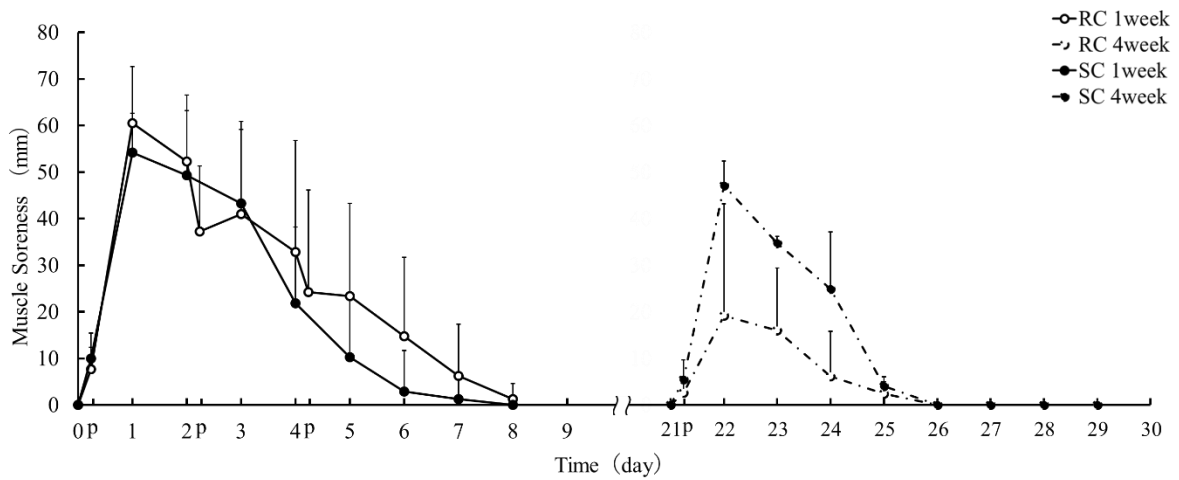


Figure 7 Time course of muscle soreness

Table 1 Summary of two-way ANOVA (muscle soreness)

Source	Comparison	P	Condition	Post hoc test
Condition	RC1-SC1	0.186	n.s.	
	RC4-SC4	0.000	* *	day1,2,3 : RC4 < SC4
	RC1-RC4	0.001	* *	day1,2,3,4,5 : RC1 > RC4
	SC1-SC4	0.030	*	day4,5 : SC1 > SC4
Time(day)	RC1-SC1	0.000	* *	day1 > day0, day0post, 4, 5, 6, 7 day2 > day0, day0post, 4, 5, 6, 7 day3 > day0, 5, 6, 7
	RC4-SC4	0.000	* *	RC4 SC4 n.s. day22 > day21, day21post, 25, 26, 27, 28 day23 > day21, day21post, 25, 26, 27, 28 day24 > day21, 27, 28
	RC1-RC4	0.000	* *	RC1 day1 > day0, day0post day2 > day0, day0post, 6, 7 day3 > day0, 7
	SC1-SC4	0.000	* *	RC4 SC1 n.s. day1 > day0, day0post, 5, 6, 7 day2 > day0, day0post, 5, 6, 7 day3 > day0, 4, 5, 6, 7, 8
			SC4	day22 > day21, day21post, 25, 26, 27, 28 day23 > day21, day21post, 25, 26, 27, 28 day24 > day21, 27, 28
Condition×Time	RC1-SC1	0.117	n.s.	
	RC4-SC4	0.000	* *	
	RC1-RC4	0.000	* *	
	SC1-SC4	0.000	* *	

RC1: RC 1week RC4: RC 4week SC1: SC 1week SC4: SC 4week

* p<0.05

** p<0.01

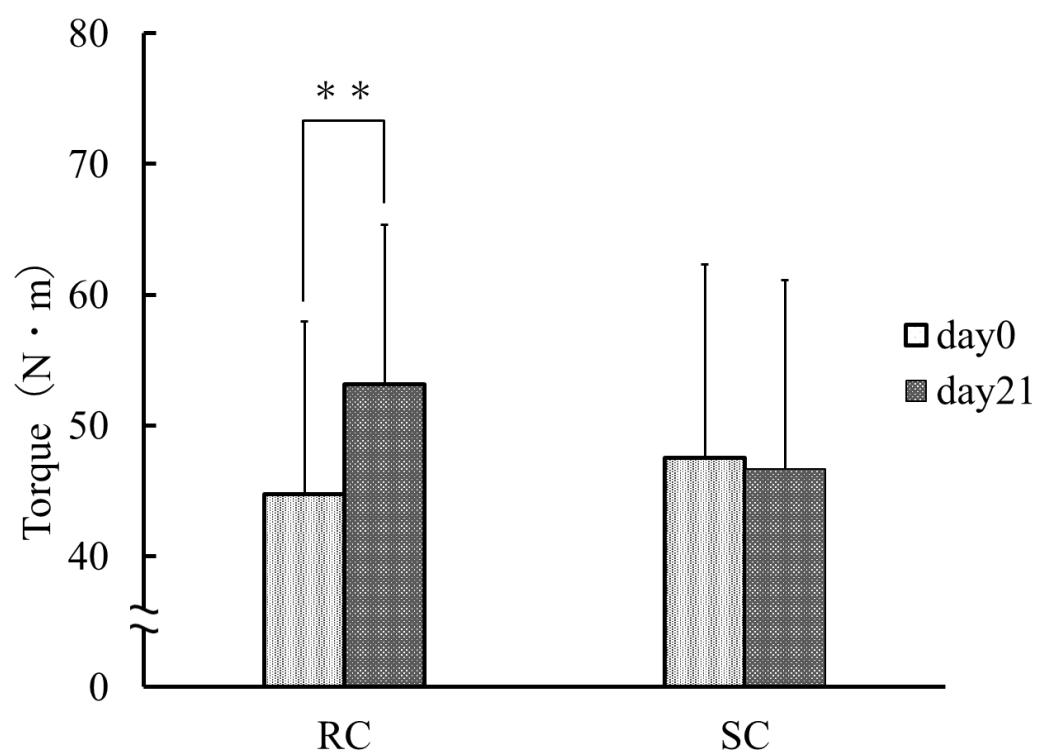


Figure 8 Maximum isometric contraction torque

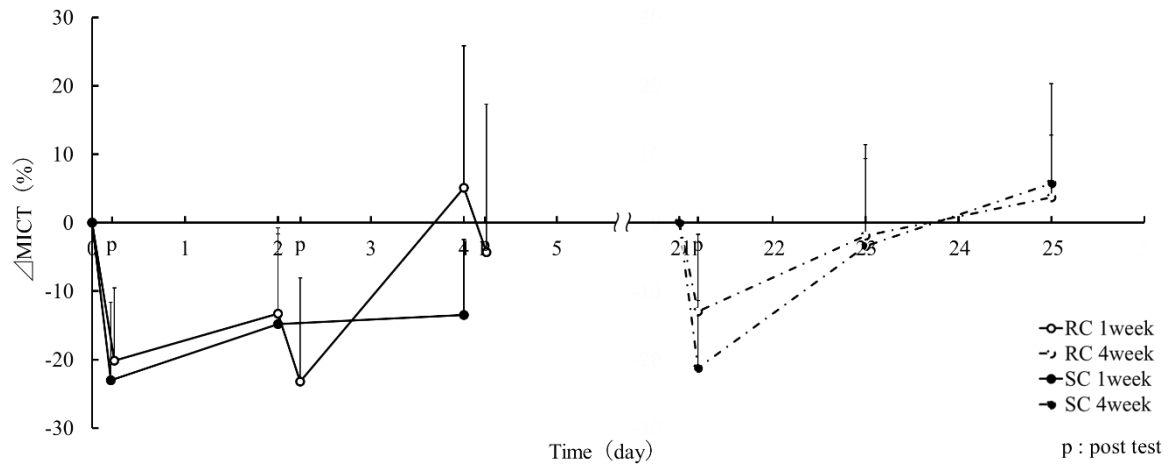


Figure 9 Time course of maximum isometric contraction torque (MICT)

Table 2 Summary of two-way ANOVA (maximum isometric contraction torque)

Source	Comparison	P	Condition	Post hoc test
Condition	RC1-SC1	0.088	n.s.	
	RC4-SC4	0.664	n.s.	
	RC1-RC4	0.409	n.s.	
	SC1-SC4	0.049	*	day4: SC1 < SC4
Time (day)	RC1-SC1	0.000	* *	RC1 day0post < day0, day4 day0post < day0
	RC4-SC4	0.000	* *	SC1 day21post < day21, day23, day25
	RC1-RC4	0.000	* *	day0post · day21post < day0 · 21, day4 · 25
	SC1-SC4	0.000	* *	SC1 day0post < day0
			SC4	day21post < day21, day23, day25
Condition×Time	RC1-SC1	0.037	*	
	RC4-SC4	0.487	n.s.	
	RC1-RC4	0.282	n.s.	
	SC1-SC4	0.035	*	

* p<0.05

RC1: RC 1week RC4: RC 4week SC1: SC 1week SC4: SC 4week

** p<0.01

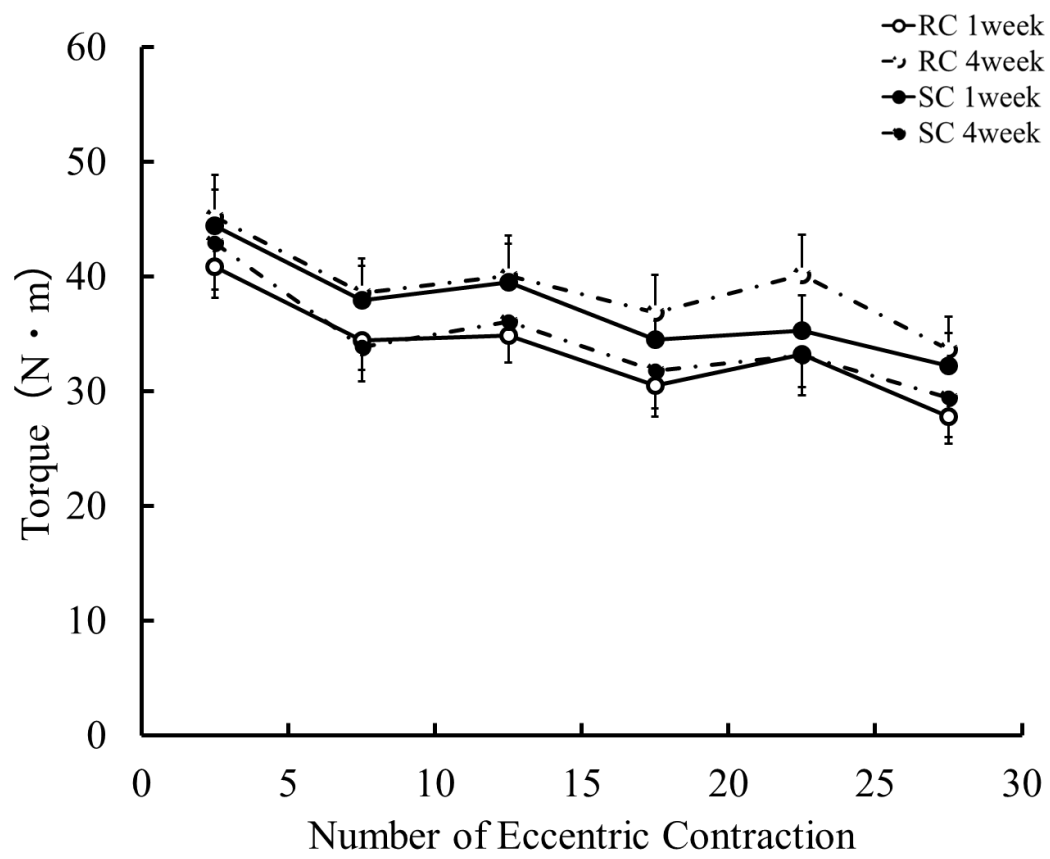


Figure 10 Maximum eccentric contraction torque

Table 3 Summary of two-way ANOVA (maximum eccentric contraction torque)				
Source	Comparison	P	Condition	Post hoc test
Condition	RC1-SC1	0.105	n.s.	
	RC4-SC4	0.153	n.s.	
	RC1-RC4	0.014	*	RC 1week<RC 4week
	SC1-SC4	0.107	n.s.	
Time(rep)	RC1-SC1	0.000	* *	1-5>5-10, 15-20, 20-25, 25-30 10-15>15-20, 25-30 15-20>25-30 20-25>25-30
	RC4-SC4	0.000	* *	1-5>5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30 10-15>15-20, 25-30 15-20>20-25
	RC1-RC4	0.000	* *	1-5>5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30 10-15>25-30 20-25>25-30
	SC1-SC4	0.000	* *	1-5>5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30 10-15>15-20, 20-25, 25-30 20-25>25-30
	RC1-SC1	0.597	n.s.	
	RC4-SC4	0.362	n.s.	
	RC1-RC4	0.566	n.s.	
	SC1-SC4	0.526	n.s.	
				* p<0.05
				** p<0.01
RC1:RC 1week RC4:RC 4week SC1:SC 1week SC4:SC 4week				

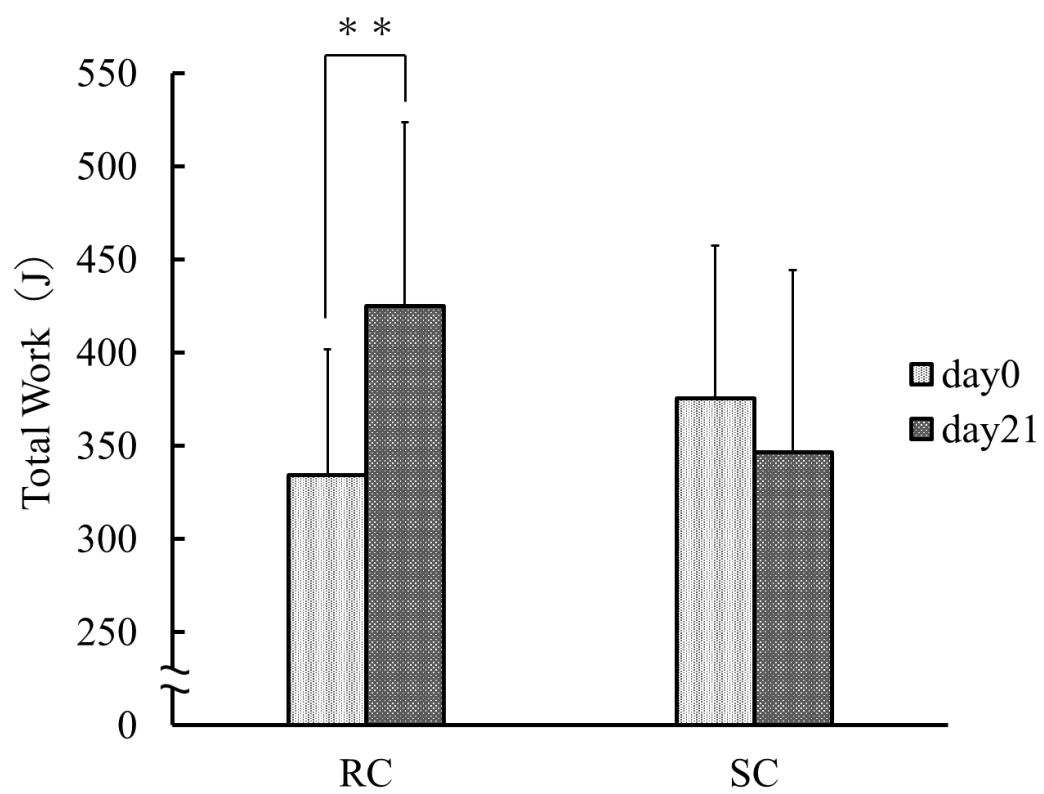


Figure 11 Total work during induced-muscle damage exercise

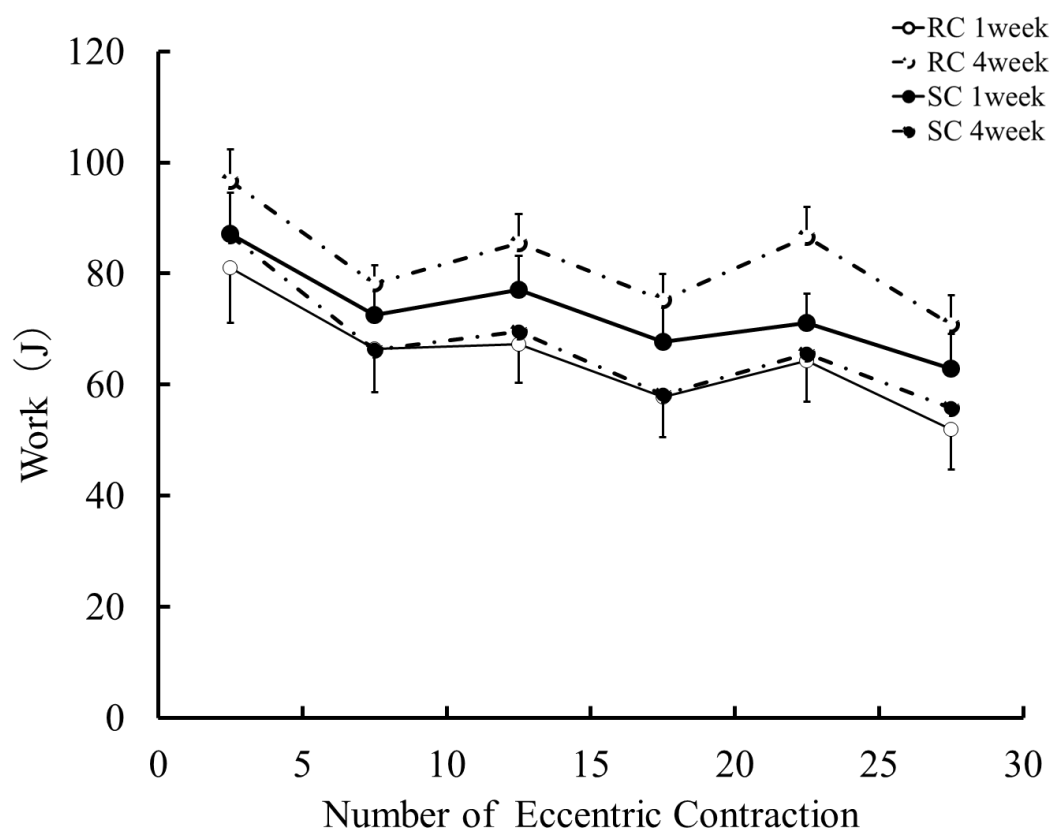


Figure 12 Work during induced-muscle damage exercise

Table 4 Summary of two-way ANOVA (work during induced-muscle damage exercise)

Source	Comparison	P	Condition	Post hoc test
Condition	RC1-SC1	0.185	n.s.	
	RC4-SC4	0.052	n.s.	
	RC1-RC4	0.010	*	RC 1week < RC 4week
	SC1-SC4	0.086	n.s.	
Time (rep)	RC1-SC1	0.000	* *	1-5 > 5-10, 10-15, 15-20, 25-30 10-15 > 15-20, 25-30 20-25 > 25-30
	RC4-SC4	0.000	* *	1-5 > 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30 10-15 > 15-20 15-20 > 20-25
	RC1-RC4	0.000	* *	1-5 > 5-10, 10-15, 15-20, 25-30 10-15 > 15-20, 25-30 20-25 > 25-30
	SC1-SC4	0.000	* *	1-5 > 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30 10-15 > 15-20, 25-30
	RC1-SC1	0.663	n.s.	
	RC4-SC4	0.304	n.s.	
	RC1-RC4	0.455	n.s.	
	SC1-SC4	0.281	n.s.	
Condition×Time				
RC1: RC 1week	RC4: RC 4week	SC1: SC 1week	SC4: SC 4week	* p<0.05 ** p<0.01

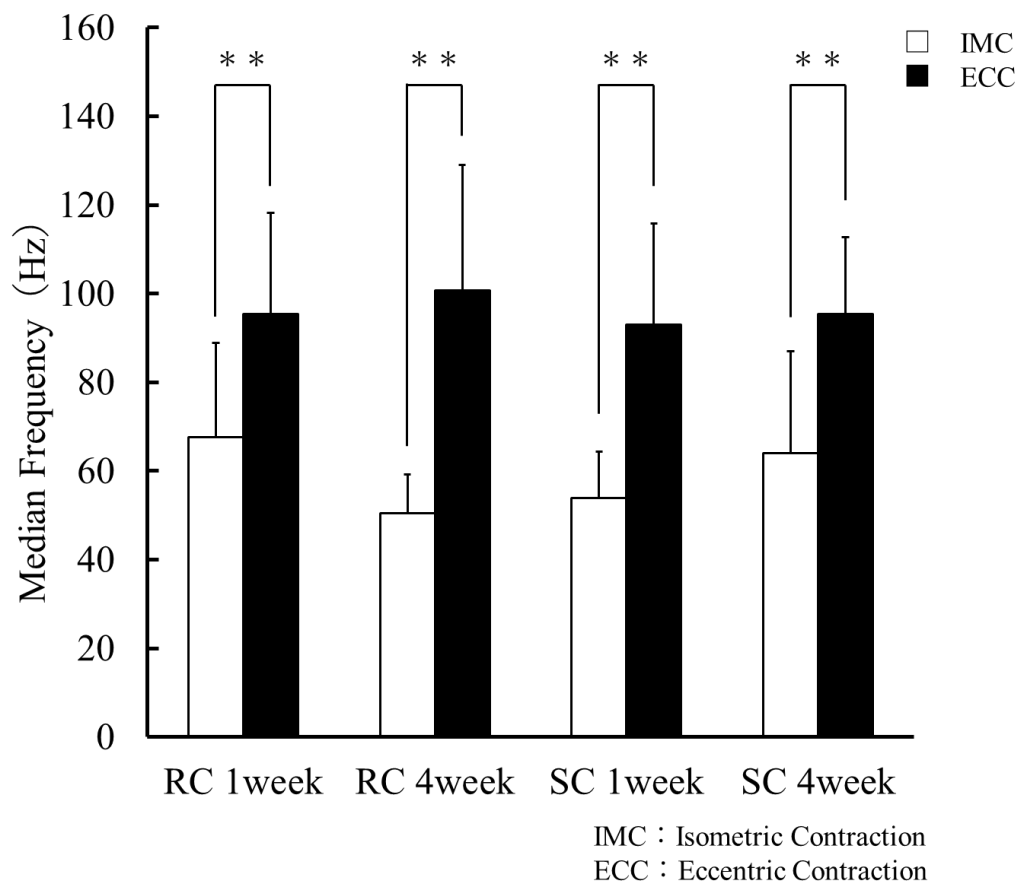


Figure 13 Median frequency during maximum isometric contraction and induced muscle damage exercise

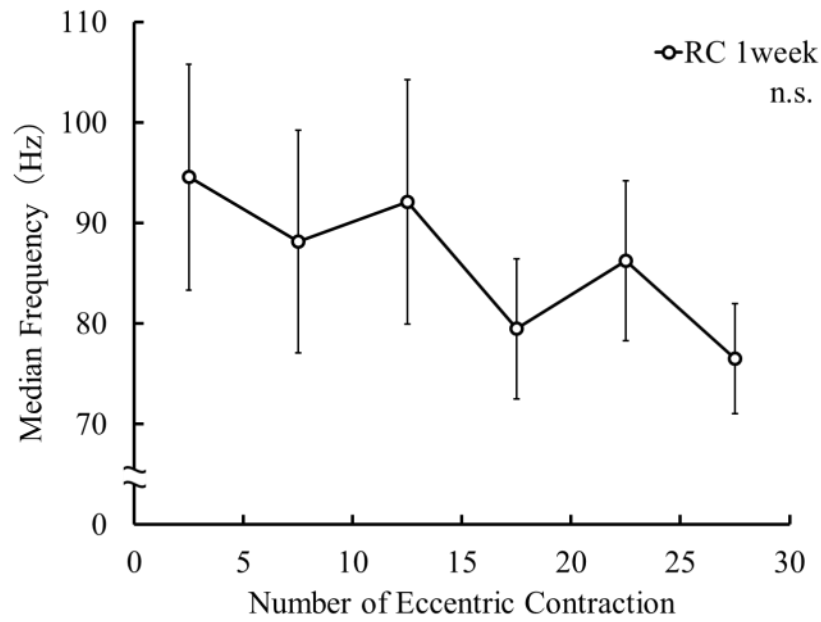


Figure 14 Median frequency within RC 1week

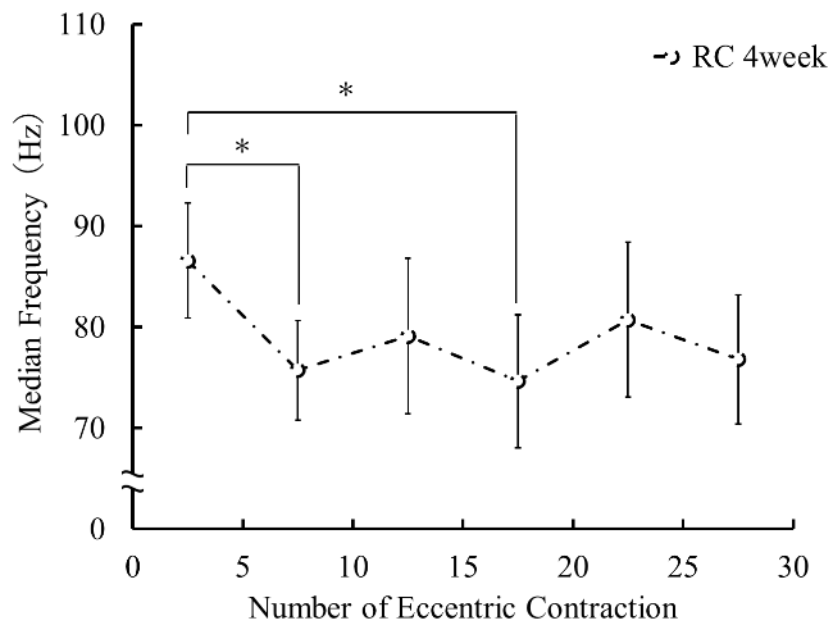


Figure 15 Median frequency within RC 4week

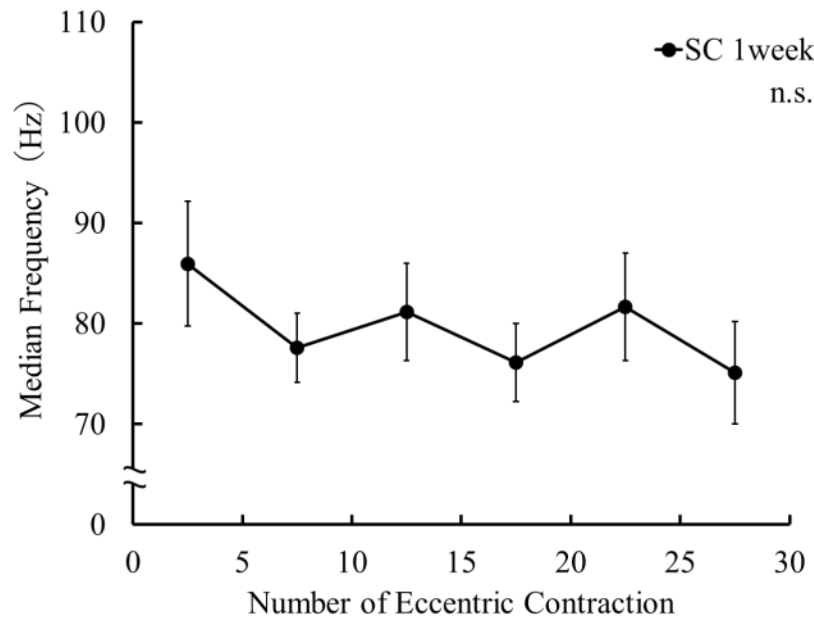


Figure 16 Median frequency within SC 1week

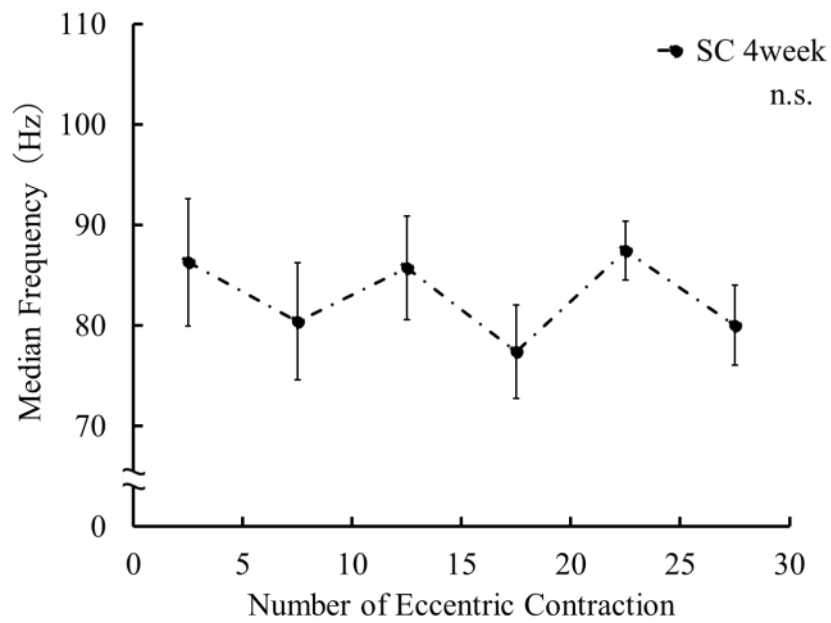


Figure 17 Median frequency within SC 4week

Table5 Summary of one-way ANOVA (median frequency)

Source	Condition	P	Post hoc test
Time(rep)	RC 1week	0.148	n.s.
	RC 4week	0.029	*
	SC 1week	0.120	n.s.
	SC 4week	0.157	n.s.

* p<0.05

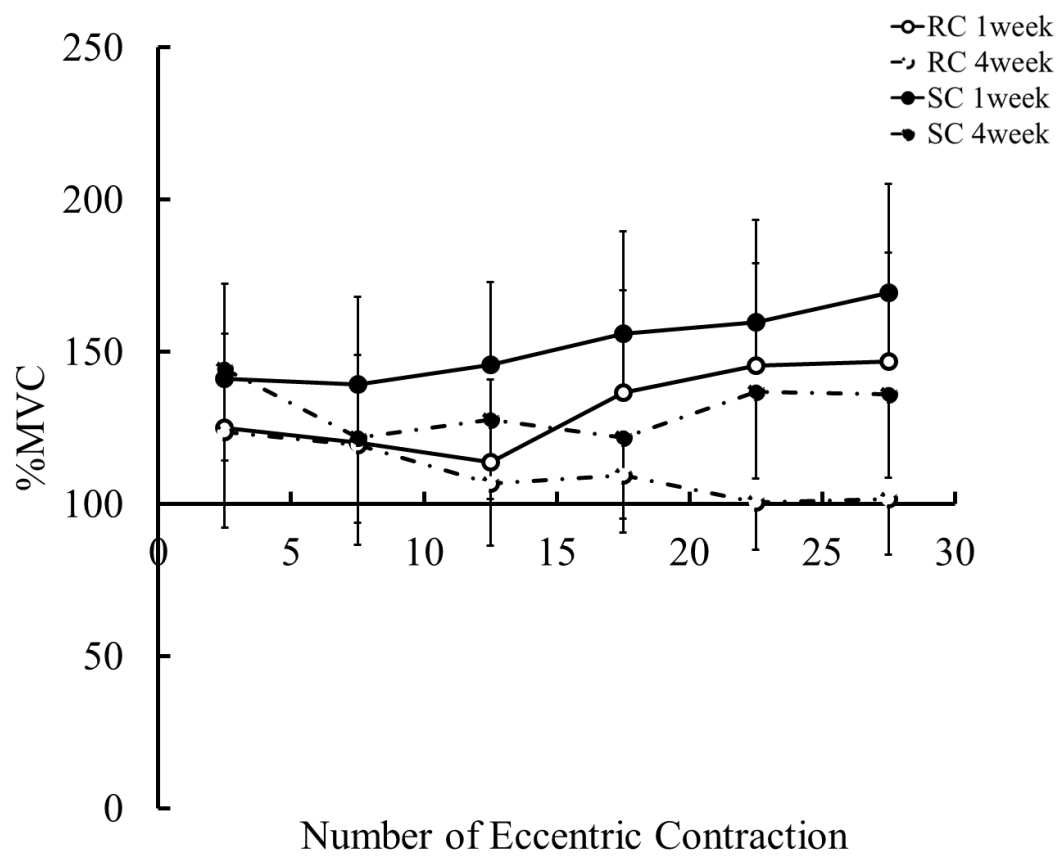


Figure 18 EMG amplitude during induced-muscle damage exercise

Table 6 Summary of two-way ANOVA (EMG amplitude)

Source	Comparison	P	Condition	Post hoc test
Condition	RC1-SC1	0.694	n.s.	
	RC4-SC4	0.499	n.s.	
	RC1-RC4	0.649	n.s.	
	SC1-SC4	0.470	n.s.	
Time (rep)	RC1-SC1	0.106	n.s.	
	RC4-SC4	0.399	n.s.	
	RC1-RC4	0.793	n.s.	
	SC1-SC4	0.105	n.s.	
Condition×Time	RC1-SC1	0.737	n.s.	
	RC4-SC4	0.324	n.s.	
	RC1-RC4	0.139	n.s.	
	SC1-SC4	0.102	n.s.	

RC1: RC 1week RC4: RC 4week SC1: SC 1week SC4: SC 4week

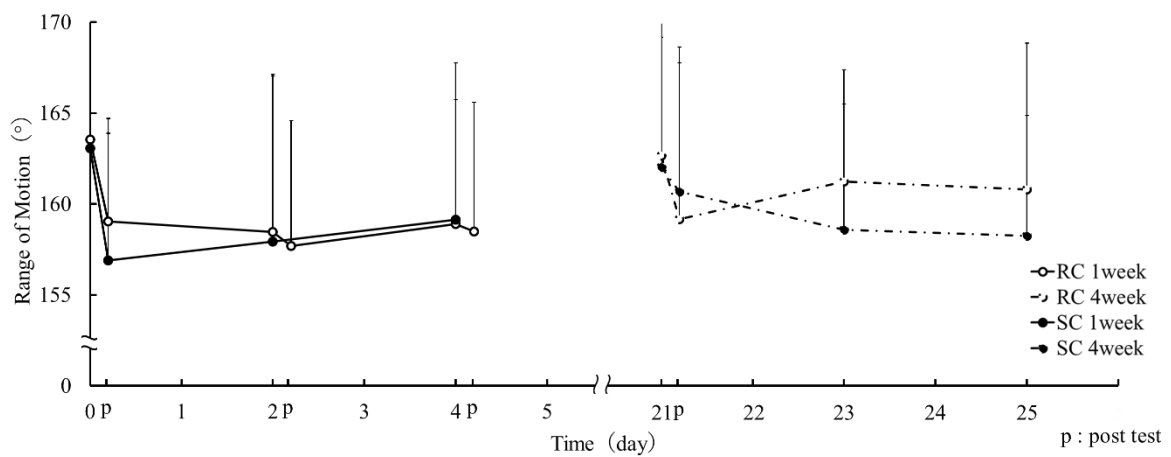


Figure 19 Time course of range of motion during elbow joint extension

Table 7 Summary of two-way ANOVA (range of motion during elbow joint extension)

Source	Comparison	P	Condition	Post hoc test
Condition	RC1-SC1	0.810	n.s.	
	RC4-SC4	0.763	n.s.	
	RC1-RC4	0.474	n.s.	
	SC1-SC4	0.474	n.s.	
Time (day)	RC1-SC1	0.025	*	day0 > day0post
	RC4-SC4	0.149	n.s.	
	RC1-RC4	0.031	*	day0 • day21 > day0post • day21post
	SC1-SC4	0.055	n.s.	
Condition×Time	RC1-SC1	0.713	n.s.	
	RC4-SC4	0.156	n.s.	
	RC1-RC4	0.559	n.s.	
	SC1-SC4	0.091	n.s.	

* p<0.05

RC1: RC 1week RC4: RC 4week SC1: SC 1week SC4: SC 4week

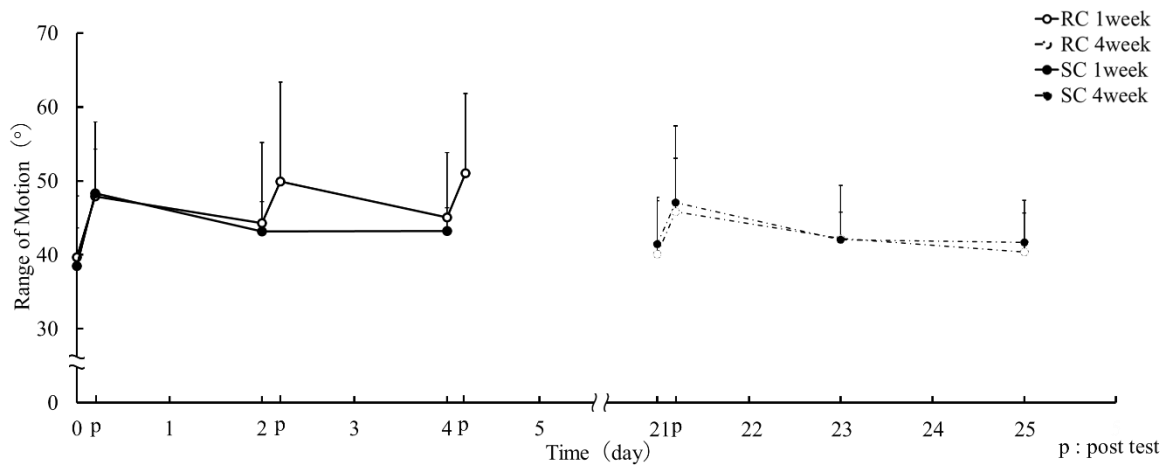


Figure 20 Time course of range of motion during elbow joint flexion

Table 8 Summary of two-way ANOVA (range of motion during elbow joint flexion)

Source	Comparison	P	Condition	Post hoc test
Condition	RC1-SC1	0.711	n.s.	
	RC4-SC4	0.731	n.s.	
	RC1-RC4	0.085	n.s.	
	SC1-SC4	0.865	n.s.	
Time (day)	RC1-SC1	0.001	*	day0 < day0post, day4
	RC4-SC4	0.072	n.s.	
	RC1-RC4	0.008	*	day0 • day21 < day0post • day21post
	SC1-SC4	0.002	*	day0 • day21 < day0post • day21post
Condition×Time	RC1-SC1	0.744	n.s.	
	RC4-SC4	0.742	n.s.	
	RC1-RC4	0.305	n.s.	
	SC1-SC4	0.330	n.s.	

* p<0.05

RC1: RC 1week RC4: RC 4week SC1: SC 1week SC4: SC 4week

Table 9 Upper arm circumference at 5cm proximal from olecranon

		day0	day0post	day2	day2post	day4	day4post
RC 1week	Mean	24.64	25.04	24.78	25.35	25.46	25.74
	SD	1.93	2.02	1.93	1.95	2.08	1.86
RC 4week	Mean	24.35	24.78	24.81		24.94	
	SD	1.73	1.90	1.76		1.85	
SC 1week	Mean	24.55	25.05	25.19		25.08	
	SD	1.89	2.13	2.04		1.80	
SC 4week	Mean	24.74	25.04	24.86		24.89	
	SD	1.81	1.86	1.90		1.73	

Table 10 Summary of two-way ANOVA (upper arm circumference at 5cm proximal from olecranon)

Source	Comparison	P	Condition	Post hoc test
Condition	RC1-SC1	0.970	n.s.	
	RC4-SC4	0.395	n.s.	
	RC1-RC4	0.080	n.s.	
	SC1-SC4	0.563	n.s.	
Time (day)	RC1-SC1	0.013	*	RC1 day0 < day0post, day4 day2 < day4
				SC1 day0 < day2
	RC4-SC4	0.004	* *	day0 < day0post
	RC1-RC4	0.000	* *	day0 < day0post, day4
	SC1-SC4	0.024	*	day0 < day0post
Condition×Time	RC1-SC1	0.005	* *	
	RC4-SC4	0.27	n.s.	
	RC1-RC4	0.108	n.s.	
	SC1-SC4	0.089	n.s.	
				* p<0.05
RC1: RC 1week RC4: RC 4week SC1: SC 1week SC4: SC 4week				** p<0.01

Table 11 Upper arm circumference (10cm proximal from olecranon)

		day0	day0post	day2	day2post	day4	day4post
RC 1week	Mean	26.16	27.08	26.76	27.16	27.10	27.23
	SD	2.25	2.46	2.65	2.40	2.29	2.29
RC 4week	Mean	26.24	26.84	26.55		26.70	
	SD	2.26	2.10	2.10		2.27	
SC 1week	Mean	26.49	27.24	27.01		27.05	
	SD	2.07	2.78	2.77		2.07	
SC 4week	Mean	26.64	27.15	26.79		26.84	
	SD	2.04	2.29	2.29		2.27	

Table 12 Summary of two-way ANOVA (upper arm circumference at 10cm proximal from olecranon)

Source	Comparison	P	Condition	Post hoc test
Condition	RC1-SC1	0.370	n.s.	
	RC4-SC4	0.666	n.s.	
	RC1-RC4	0.483	n.s.	
	SC1-SC4	0.750	n.s.	
Time(day)	RC1-SC1	0.007	* *	day0 < day2, day4, day0post day2 < day4
	RC4-SC4	0.088	n.s.	
	RC1-RC4	0.025	*	day0 < day0post, day4
	SC1-SC4	0.017	*	day0 < day0post
Condition×Time	RC1-SC1	0.434	n.s.	
	RC4-SC4	0.400	n.s.	
	RC1-RC4	0.487	n.s.	
	SC1-SC4	0.512	n.s.	

* p<0.05

RC1: RC 1week RC4: RC 4week SC1: SC 1week SC4: SC 4week

** p<0.01

		day0	day0post	day2	day2post	day4	day4post
RC 1week	Mean	28.26	28.43	28.09	28.44	28.39	28.69
	SD	3.15	2.98	2.80	2.82	3.07	2.80
RC 4week	Mean	27.96	28.20	27.98	/	28.18	/
	SD	2.84	2.67	2.33	/	2.73	/
SC 1week	Mean	28.31	28.85	28.68	/	28.48	/
	SD	2.43	2.64	2.50	/	2.32	/
SC 4week	Mean	28.36	28.79	28.73	/	28.64	/
	SD	2.72	2.74	2.90	/	2.69	/

Table 14 Summary of two-way ANOVA (upper arm circumference at 15cm proximal from olecranon)

Source	Comparison	P	Condition	Post hoc test
Condition	RC1-SC1	0.351	n.s.	
	RC4-SC4	0.483	n.s.	
	RC1-RC4	0.215	n.s.	
	SC1-SC4	0.304	n.s.	
Time (day)	RC1-SC1	0.226	n.s.	
	RC4-SC4	0.038	*	day0 < day0post
	RC1-RC4	0.033	*	day0 < day0post
	SC1-SC4	0.032	*	day0 < day0post, day4
Condition×Time	RC1-SC1	0.472	n.s.	
	RC4-SC4	0.574	n.s.	
	RC1-RC4	0.171	n.s.	
	SC1-SC4	0.553	n.s.	

RC1: RC 1week RC4: RC 4week SC1: SC 1week SC4: SC 4week

* p<0.05

** p<0.01

謝辞

本研究は，早稲田大学スポーツ科学学術院 岡田純一教授の指導の下実施されました．

岡田教授は修士一年の頃からマンツーマンで指導をしてくださり，初めの頃は何もかもがままならない私に厳しくご指導をしてくださいました．予備実験を含め，実験に関するアイデアや，論文の添削，さらには発表時の言葉選びまでご指導いただけたことに心から感謝致します．

同じ208研究室で作業を行っている広瀬研究室の院生の皆さまにもご協力いただきました．特に，峯田晋史郎さんからは，実験に必要となる知識や，アイデア，研究に対する姿勢など様々な事を学びました．また，まじめなことばかりではなく，時にはふざけあうことで常に気持ちに余裕を持って論文作成にあたれたと感じています．広瀬研究室で同学年の中村君，植木君，大河原さんにも大変お世話になりました．中村君の無限いじりに耐えたからこそ，今の強い自分がいるのだと確信しています．また，植木君の怒涛の実験ラッシュと論文作成の追い上げがあったからこそ、最後まで気を抜かずにできたのだと思います．大河原さんからは大人な考え方や振る舞いなど，中村君や植木君からは学べないことを沢山学びました．この三人の支え無しにはこの修士論文は作成できなかったと確信しております．本当にありがとうございました．加えて，実験の被験者をしてくださった院生ならびに学部生の皆様には，非常に過酷な作業課題ではありましたが，常に全力で取り組んでいただけたこと，深く感謝申し上げます．

最後に，私の意思を尊重し温かく見守ってくれる両親に感謝しつつ，本研究の謝辞とさせていただきます．