

博士論文

運動経験の有無を考慮したウェイトトレーニング

初心者の筋痛、筋疲労および筋力発揮値低下の

経時変化に関する研究

Studies on changes over time in muscle soreness,
muscle fatigue, and decreasing force value
in weight-training beginners considering the presence
or absence of exercise experience

2023年9月

福井工業大学大学院

李 忠 林

Zhonglin Li

目次

目次	i
図表一覧	v

第1章 序論	1
--------	---

第2章 文献研究	5
----------	---

第1節 レジスタンストレーニング

第1項 レジスタンストレーニング目的、定義

第2項 レジスタンストレーニングの原理

第3項 レジスタンストレーニングのプログラム

第2節 トレーニング後の変化

第3節 筋痛

第1項 筋痛の種類

第2項 筋痛のメカニズム

1) 運動中および運動中～運動後に発生する筋痛のメカニズム

2) 運動後に発生する筋痛のメカニズム

3) その他の筋痛のメカニズム

第3項 遅発性筋痛の特徴

第4項 遅発性筋痛に関連する研究

第4節 疲労

第5節 筋力低下

第6節 トレーニングの適応性

第3章 問題の所在および検討課題	41
------------------	----

第1節 問題の所在

第1項 肘関節の繰り返し運動後の筋痛における鍛錬者と非鍛錬者の比較に関する問題

第2項 肘関節の繰り返し運動後の筋疲労における鍛錬者と非鍛錬者の比較に関する問題

第3項 肘関節の繰り返し運動後の筋力発揮値における鍛錬者と非鍛錬者の比較に関する問題

第2節 検討課題

第3節 用語の定義

第4節 研究の限界

第1項 定義による限界

第2項 被験者による限界

第3項 測定方法および評価変数による限界

第4項 統計解析に伴う限界

第4章 研究手順および方法

52

第1節 研究手順および検討課題

第1項 研究手順

第2項 研究課題

第2節 測定方法

第1項 被験者

第2項 運動負荷条件

第3項 測定項目

1) 達成率の調査

2) 筋痛、筋疲労感の調査

3) 上腕二頭筋のアイソメトリック筋力発揮値の測定

第4項 評価変数

1) 筋痛、筋疲労感の調査

2) 達成率の調査

3) 上腕二頭筋のアイソメトリック筋力発揮値の測定

第3節 統計解析法

第5章 ウェイトトレーニング初心者における他のトレーニング実施経験が上肢のウェイトトレーニング後の筋痛および筋疲労感の回復過程におよぼす影響	62
--	----

第1節 緒言
第2節 方法
第3節 結果
第4節 考察
第5節 小括

第6章 ウェイトトレーニング初心者における他のトレーニング実施経験が上肢のウェイトトレーニング後の筋力回復過程におよぼす影響	76
--	----

第1節 緒言
第2節 方法
第3節 結果
第4節 考察
第5節 小括

第7章 総括	86
--------	----

第1節 研究結果の要約および結論

第2節 各研究課題の結果

第1項 ウェイトトレーニング初心者における他のトレーニング実施経験が上肢のウェイトトレーニング後の筋痛の回復過程におよぼす影響

第2項 ウェイトトレーニング初心者における他のトレーニング実施経験が上肢のウェイトトレーニング後の筋疲労感の回復過程におよぼす影響

第3項 ウェイトトレーニング初心者における他のトレーニング実施経験が上肢のウェイトトレーニング後の筋力回復過程におよぼす影響

第3節 結語

第4節 今後の課題

引用・参考文献	93
研究業績一覧	102
謝辞	104

図表一覧

第2章	文献研究	5
表 2-1	レジスタストレーニングのステータス分類法	10
表 2-2	トレーニング状態の分類例	10
表 2-3	レジスタストレーニング頻度のガイドライン	12
表 2-4	トレーニング状態に基づいた レジスタストレーニングの頻度	12
表 2-5	トレーニング目標に準じた負荷とレップ数の割り当て	13
表 2-6	トレーニング目標に基づく負荷と反復回数の設定	13
表 2-7	トレーニング目標に準じたトレーニング量の割り当て	14
表 2-8	トレーニング目標に基づくトレーニング量の設定	14
表 2-9	トレーニング目標に準じた休息時間の割り当て	15
表 2-10	トレーニング目標に基づく休息期間の設定	15
表 2-11	遅発性筋痛(DOMS)の特徴の抜粋	30
表 2-12	運動疲労の発生機構	33
表 2-13	先行研究における筋疲労の評価方法	35
第4章	研究手順および方法	52
図 4-1	研究手順	55
図 4-2	コンセントレーション・カール	57
図 4-3	visual analogue scale (VAS) の記録用紙	58
図 4-4	最大努力によるアイソメトリック筋力発揮値の測定	59
第5章	ウェイトトレーニング初心者における他のトレーニング実施経験が上肢のウェイトトレーニング後の筋痛および筋疲労感の回復過程におよぼす影響	62
図 5-1	鍛錬者および非鍛錬者条件における 1RM(N)の t-検定	64
図 5-2	鍛錬者および非鍛錬者条件における 運動負荷条件の達成率	65

図 5-3	肘関節伸展痛	66
図 5-4	肘関節屈曲痛	68
図 5-5	上腕筋群の疲労感	70
表 5-1	運動直後 (post) および運動後 24 時間後～96 時間後の伸展痛の変化	67
表 5-2	運動直後 (post) および運動後 24 時間後～96 時間後の屈曲痛の変化	69
表 5-3	運動直後 (post) および運動後 24 時間後～ 96 時間後の上腕筋群の疲労感の変化	71

第 6 章 ウェイトトレーニング初心者における他のトレーニング実施経験が上肢のウェイトトレーニング後の筋力回復過程におよぼす影響 76

図 6-1	上腕筋群の筋力発揮値	80
表 6-1	運動直後 (post) および運動後 24 時間後～96 時間後の 最大努力アイソメトリック筋力発揮値と 95%信頼区間	81

第 1 章

序論

一般的に、トレーニングの頻度はエクササイズの目的とエクササイズの疲労回復速度に応じて具体的に設計しなければならない(尾縣ら、2019)。特に、ウェイトトレーニングでは筋肉が破壊されてから回復するまでにかかる時間は48~72時間程度とされている(Bompa, 1994; Tsuchiya et al., 2020)ことから、ガイドラインとして、十分な回復を得るために、同じ筋群を強調するようなエクササイズ間の休息日は、少なくとも1日以上あけ、3日未満は空けない程度の頻度でトレーニングセッションを計画するべきであることが述べられている(Aura and Vitasalo, 1989; Bosco and Komi, 1979; Guyton and Hall, 1995; Newton et al., 1997)。

このような基本的ガイドラインでは、ウェイトトレーニングの上級者(以下、上級者)は、週に4回以上の頻度でウェイトトレーニングを計画することが推奨されている(Earle and Baechle, 2010; Sheppard and Triplett, 2018)。一方、ウェイトトレーニングステータスが初心者(以下、初心者)の場合は、上級者と同様の回復期間でウェイトトレーニングを実施することはせず、ウェイトトレーニング間の休息時間を多くとるため、均等な間隔を置いて週2回あるいは3回のセッションを設定する(Earle and Baechle, 2010; Sheppard and Triplett, 2018)。つまり、初心者の場合は72時間程度の回復期間を設けることが推奨されている。そして、十分な回復期間を保ちながら、段階的にウェイトトレーニング頻度を増やし(Newton et al., 1997)、上級者と同様のウェイトトレーニング頻度へと移行していくことが推奨されている。このようなウェイトトレーニングのガイドラインについては、数年ごとにアップデートされ、更新された情報が提示されるものの、一般人の筋力を強化するためのウェイトトレーニングに関しては週2回以上の実施という基本的な内容についてはほとんど変更がないまま現在に至る(門間ら、2021a)。

しかし、近年になって、レジスタンストレーニングの経験だけでなく、その他の運動歴も重要であることが述べられている。また、レジスタンストレーニングの初心者には、トレーニングストレス(レジスタンストレーニングプログラムに示される身体的な要求あるいは刺激の程度)がない、あるいは低い状態であることや、テクニック経験とスキルがない、あるいは最小限しかないといった、これまでのようなレジスタンストレーニングの経験の有無以外にもトレーニング状態の分類の項目が追加されはじめている(Sheppard and Triplett, 2018)。よって、これまでの運動経験はウェイトトレーニングの計画を検討する上で、無視できない要因であると考えられるが、実際に詳しい影響について詳細は明らかになっていない部分も多い。

ウェイトトレーニングの経験は無い初心者であっても、普段から他のトレーニングを実践している者（以下、鍛錬者）や、初心者のレベルにも到達していない、つまり、ウェイトトレーニングを含めまったくの運動を実施していない者（以下、非鍛錬者）のような対象では、筋痛や筋疲労、あるいは筋力発揮値の回復状況も異なることが推測される。

通常、ウェイトトレーニングを実施するときにはガイドラインに示された回復期間、自分自身が感じる疲労感の軽減度合によってトレーニング再開の時期を判断するが、十分回復していない状態でウェイトトレーニングをすることは安全面でも問題である。非鍛錬者は特にトレーニングに慣れていないため、1回目で目標設定をしたウェイトトレーニング内容に対して、筋力の回復が十分でない状態で2回目のウェイトトレーニングを実施すると、設定された負荷に耐えうるだけの筋力発揮ができず（目標値と現状で発揮できる筋力に乖離（差）が生じる）、危険を伴う、あるいはウェイトトレーニングメニューを十分にこなせない可能性が高まると推測される。また、筋力の回復が十分でない状態で2回目のウェイトトレーニングを実施すると、非鍛錬者は元々達成できた負荷をこなせなかったことに対して「失敗」感を感じ、以降のトレーニング継続の意欲を失う（トレーニングから離脱する）心理的要因の一つにもなりうる。

また、トレーニングに影響を与えるもう1つの要因である筋痛には、スプリント系競技のような高強度かつ高回転の激運動を実施中や直後に運動の継続が困難になる程度の痛みを発生し、いったん動作を終了すると痛みが消失する急性の激しい痛み（以下、急性筋痛）や、運動後数時間から数日経過してから生じる筋痛（以下、遅発性筋痛）等、様々な属性の痛みがある（青野ら、2013）。また、急性筋痛と異なり、運動中から運動後に発生し、場合によっては運動中よりも運動後の方が痛みが増加し、しばらく継続する筋痛（以下、即発性筋痛）（野坂、2002）も存在する。急性筋痛や即発性筋痛が、主に長時間の無酸素運動によって生じるのに対し、遅発性筋痛（delayed onset muscle soreness :DOMS）は運動中あるいは運動直後に痛みはなく、一般的に不慣れな運動や久しぶりの運動後に数時間から24時間程度かけて出現し、24～72時間後にピークに達し、5日～1週間程度で自然消失する（Cleak and Eston, 1992; Miles and Clarkson, 1994; Smith, 1991）といわれている。つまり、運動に普段から慣れ親しんでいない者は、運動後に発生する筋痛が、トレーニングを継続している者よりも遅れて発生する可能性が高いと推測される。言い換えれば、本格的な痛みが発生するまでに時間差があるため、運動翌日までの痛みが少ない時期に過度の運動を行ってしまい、怪我につながるリスクを高める可能性があると推測される。特

に、非鍛錬者は、不慣れな運動や久しぶりの運動を行った際に DOMS を発生しやすいといわれており(野坂、2002)、普段行わないウェイトトレーニングなどを実施すると DOMS が生じると考えられる。DOMS が発生した間は、筋力低下も伴うことが明らかにされている(Nosaka et al., 2002; 尾懸ら、2015)。つまり、非鍛錬者特有のトレーニング後の筋痛や筋力低下の症状を示すことから、非鍛錬者がトレーニングを開始しようとする際には、いわゆるガイドラインの初心者よりも更に慎重に 2 回目のウェイトトレーニングまでの回復期間をどの程度設けるかを検討する必要があるだろう。また、筋の疲労の感覚についても、ウェイトトレーニングの指導現場では、筋痛の程度同様、トレーニングの実施の可否を決定するための情報として利用されることが多い。また、運動中に発生する筋疲労については、トレーニングを行っていない者は中枢性疲労が原因となり運動の継続が困難になるが、ウェイトトレーニングを実施している者はトレーニングによって中枢性の疲労への耐性が強化されており、末梢性の疲労の影響が強いと報告されている(遠藤ら、2004)。あるいは、筋痛と筋疲労を混同してとらえがちであるが、疲労感は遅発性筋痛と関連がないという説もあり(Bar et al., 1994; Miles and Clarkson, 1994)、運動後の回復状況を確認する指標として利用する場合、筋痛と筋疲労は別々に確認する必要があるだろう。また、運動後の筋疲労について、鍛錬者と非鍛錬者の差についても、十分な見解が得られていない。

よって、本研究では上肢(肘関節)のウェイトトレーニング後の筋力、筋痛、および筋疲労感の回復過程について、鍛錬者と非鍛錬者で比較することを目的とした。

現在のガイドラインの期間で十分な回復ができないことが明らかになった場合は、非鍛錬者の導入期間用の回復期間を設定することで、トレーニングからのドロップアウトやケガの予防を考慮したトレーニングの計画を作成することが可能になり、本研究の結果はその計画を作成する上で有益な情報をもたらすことが期待される。

第 2 章

文献研究

第1節 レジスタンストレーニング

本節では、レジスタンストレーニングの目的、定義、原理とプログラムについて整理する。

第1項 レジスタンストレーニングの目的、定義

レジスタンストレーニングについて目的、定義されたものには、以下のような例が挙げられる。

Hermansen and Wachtlova (1971) は、「筋力トレーニングをすると筋サイズが増加、筋毛細血管の発達が促進される」と報告している。

Gollnick et al. (1972) は、「筋力トレーニングにより筋グリコーゲンと酵素活性が上がる」と報告している。

金子 (1997) は、「レジスタンストレーニングは、主にアスリートの競技力向上に焦点をあてて行われることが多い。しかし、その一方で非競技者の参加を容易にし、筋の形態と機能を良い状態に保つことが、健康で豊かな人生を育む基盤になるという認識が深まり、幅広い年齢層へ向けたトレーニングとしても行われるようになってきている」と述べている。

Powers and Howley (2020a) は、「レジスタンストレーニングは、神経系と筋量の両方の変化によって筋力を増加させる」と述べている。

門間ら (2021b) は、16 件のシステマティックレビューおよびメタ解析を実施し、「筋力トレーニングの実施により、総死亡、心血管疾患、全がん、糖尿病、肺がんのリスクは10～17%低い値を示した」と報告している。

また、レジスタンストレーニングにおいて、筋力、筋肥大、筋パワーを増加させ、また、最大筋力と筋パワーが正相関に上昇を示すと報告している (小原、1991 ; 関口ら、2008 ; Haff and Nimphius, 2013; 小網ら、2019)。このように、レジスタンストレーニングの目

的は、筋機能の向上であり、対象者の特性によって競技力の向上から健康機能の保持増進まで幅広い効果がもたらされる。

福永（2007）は「レジスタンストレーニングとは、筋力、筋肥大、筋持久力などを向上させるために、筋に抵抗負荷をかけるトレーニングの総称である。通常はフリーウェイト（バーベル、ダンベルなど）やトレーニングマシンを用いるが、プッシュアップ（腕立て伏せ）のように自体重を負荷にして行うトレーニングなども含まれる。また、フリーウェイトやトレーニングマシンなどで行うものを『ウェイトトレーニング』といて、プッシュアップや徒手抵抗で行うアイソメトリックトレーニングなどと分けていたが、現在では筋を発達させる抵抗運動全般を指して、『レジスタンストレーニング』あるいは『レジスタンスエクササイズ』というのが一般的になってきた」と述べている。

宮口（2011）は、「レジスタンストレーニングというのは包括的な表現で、『筋力トレーニング』あるいは『ウェイトトレーニング』としてもなんら問題はない。『ウェイトトレーニング』というのは使用する『道具』に着目した表現で、一方、『筋力トレーニング』は最大筋力を高めるという『目的』に着目した表現である」と述べている。

出村と村瀬（2010）は、レジスタンストレーニングは筋の収縮様式に基づき、「等尺性収縮（アイソメトリックトレーニング）、等張性収縮（アイソトニックトレーニング）、等速性収縮（アイソキネティックトレーニング）」の3つに分類できると述べている。

以上より、レジスタンストレーニングはウェイトトレーニングと筋力トレーニングが含まれている。また、レジスタンストレーニングには複数の筋の収縮様式が存在する。

第2項 レジスタンストレーニングの原理

原理とは根本的な法則や規則のことであり、本節では、レジスタンストレーニングの3つの原理について整理する。

DeLorme (1945) は、最初に提示したレジスタンストレーニング原理のうち最も基本的なものの1つが「特異性」であり、「ある選手を、特定の手法を用いることで、その手法による特殊な適応または特殊なトレーニング成果が得られるよう訓練する方法をいう」と述べている。

市橋 (2015) は、「過負荷の原則とは、トレーニング強度が通常用いているものよりも強くなければ、効果は期待できないという原則である」と定義した。

出村と村瀬 (2010) は、漸進性の原則について、「トレーニング実施による体力あるいは競技力の向上に伴い、運動強度などを次第に高めていくことが重要である。トレーニングにより機能が高まるため各個人の運動強度は相対的に低くなっていく。定期的にトレーニング効果を確認し運動負荷を再検討し徐々に増加させていくべきである」と述べている。

つまり、効果的なエクササイズプログラムはすべて、「特異性」、「過負荷」、「漸進性」という3つのトレーニング原理に基づいて作成される(Earle and Baechle, 2010)。この3つの原則のうちどれが欠けても期待したほどのレジスタンストレーニングの効果が得られない、また、トレーニングによって傷害を招くリスクの可能性はある。

第3項 レジスタンストレーニングのプログラム

Sheppard and Triplett (2018) は、「トレーニング頻度とは、ある期間内に実施するトレーニングセッションの回数のことである。レジスタンストレーニングのプログラムでは、一般に1週間を区切りとする」と述べている。

尾縣ら (2019) は、トレーニング頻度について「一定の期間内におけるトレーニング回数を言う。通常、特定のエクササイズやプログラムを週あたりで実施する回数によって設定する。複数の異なるプログラムを並行して実施する場合、プログラムに含まれるエクササイズによって頻度は異なる。個々のエクササイズの疲労回復に要する時間や目的に応じて個別に頻度を検討することが必要となる」と述べている。

McBurnie et al. (2019) は、「最大挙上重量 (1RM) は、あるエクササイズにおいて1回のみ挙上できる最大負荷と定義され、動的筋力の最も妥当性の高い指標とされており、レジスタンストレーニングの基準点として、1RM 測定後のウェイトルームにおけるトレーニング強度を決定する根拠に用いることができる」と述べている。

トレーニング頻度と1RM はレジスタンストレーニングのプログラムデザインを設定する際に重要な情報である。また、挙上される負荷、および実施することができる反復回数 (レップ数) は、レジスタンストレーニングの目標 (筋力、筋肥大、筋持久力) によって影響を受け、さらに負荷とレップ数とは互いに影響し合う。あるエクササイズのために設定された負荷が軽いほど、実施できるレップ数は多くなる。反対に、負荷がより重くなると、実施できるレップ数はより少なくなる。この関係は、%1RM-レップ数関係と呼ばれる (Earle and Baechle, 2010)。

以下に、レジスタンストレーニングのステータス分類法を示す。

表 2-1 レジスタンストレーニングのステータス分類法 (Earle and Baechle, 2010)

質問 1 現在、レジスタンストレーニングを行っているか？	質問 2 どれくらいの期間、通常(週当たり1回以上)のレジスタンストレーニングプログラムを実施しているか？	質問 3 1週間に何回レジスタンストレーニングを行っているか？	質問 4 あなたのレジスタンストレーニングのワークアウトにおける難易度と強度の程度は？	質問 5 あなたが正確なテクニックで実施できるレジスタンストレーニングのタイプとその数は？	レジスタンストレーニングのステータスの評価
いいえ はい はい	2カ月以下 4~6カ月	1~2回 2~3回	低い 低い~中程度	なし 3~5種目のマシンエクササイズマシンによる6~10種目のコアおよび補助エクササイズ、フリーウェイトでの3~5種目の補助エクササイズ	初心者
はい はい	8~10カ月 1年	3回 4回	中程度 中程度~高い	マシンによる11~15種目のコアおよび補助エクササイズ、フリーウェイトでの6~10種目の補助エクササイズ、フリーウェイトでの3~5種目のコアエクササイズ マシンおよびフリーウェイトでの15種目以上のコアおよび補助エクササイズ	中級 レベル
はい はい	1~1.5年 2年以上	4回 5回	高い 非常に高い	マシンおよびフリーウェイトでの15種目以上のコアおよび補助エクササイズ、3~5種目のパワー/爆発的エクササイズ マシンおよびフリーウェイトでの15種目以上のコアおよび補助エクササイズ、ほとんどのパワー/爆発的エクササイズ	上級 レベル

表 2-2 トレーニング状態の分類例 (Sheppard and Triplett, 2018)

レジスタンス トレーニング状態	レジスタンストレーニングの背景				
	現在のプログラム	トレーニング歴	頻度 (週あたり)	トレーニング ストレス*	テクニクス経験 とスキル
初心者 (未トレーニング)	トレーニングしていない、あるいはトレーニングを始めたばかりである	<2カ月	≤1~2	なし、あるいは低い	なし、あるいは最小限
中級者 (レジスタンストレーニングの中程度を行っている)	現在トレーニングしている	2~6カ月	≤2~3	中程度	基礎的
上級者 (レジスタンストレーニングの十分に行っている)	現在トレーニングしている	≥1年	≥3~4	高い	高い

*この例における「トレーニングストレス」とは、レジスタンストレーニングプログラムに示された身体的な要求あるいは刺激の程度を表している。

表 2-1 と表 2-2 に示すように、レジスタンストレーニングのステータスの分類の標準に変化が生じている。

1) トレーニング歴

過去には初心者はトレーニング歴が「ない」～「4～6 か月」と比較的幅広い期間まで含まれていたが、新しいガイドラインのトレーニング歴には、初心者は2 か月以下と期間が減らされている。一方、中級者は元々「8～10 か月」～「1 年」までとされていたが、新しいガイドラインでは「2～6 か月」と、これまで初心者の期間に含まれていた2～6 か月のトレーニング歴が採択されている。また、上級者は元々「1～1.5 年」～「2 年以上」の期間であったが、新しいガイドラインでは「1 年以上」に変更された。

2) 頻度（これまでにレジスタンストレーニングを週何回実施しているか）

初心者は頻度が元々の「週 1～3 回」から新しいガイドラインで「週 1～2 回以下」に減らされている。一方、中級者は元々の「週 3～4 回」から「週 2～3 回以下」に変更されている。また、上級者は元々の「週 4～5 回」から「週 3～4 回以上」に変更された。

3) トレーニングストレス

過去には初心者は「なし」～「中程度」と比較的幅広い程度まで含まれていたが、新しいガイドラインのトレーニングストレスには、初心者は「なし」あるいは「低い」と程度が減らされている。一方、中級者は元々「中程度」、「中程度～高い」までとされていたが、新しいガイドラインでは「中程度」に限定されるように変更された。また、上級者は元々「高い」、「非常に高い」の程度であったが、新しいガイドラインでは「高い」に変更された。

つまり、トレーニング歴の分類の基準は従来よりも経験期間が全体的に短くなり、トレーニングの頻度はどの区分も1 回程度減少、また強度についてはこれまで中程度や高いといった表現が重複している箇所があったが、それらが整理され、初級者はなし～低い、中級者は中程度、上級者は高いと、区分が明確化された。

以上より、レジスタンストレーニングは、対象の特性によってプログラムの内容を分ける必要がある。特に、初心者に対して行われるトレーニングストレスの確認項目については、レジスタンストレーニングに含まれる内容と同様のプログラムの実施が「なし」あるいは「低い」といった曖昧な確認項目となっており、競技特有の練習のような負荷が含ま

れるか否かは不明な点も多い（例：剣道、サッカー、水泳、ジョギングなど）。そのため、多くの競技選手において、レジスタンストレーニングストレスは「なし」あるいは「低い」ととらえられるケースが多く、レジスタンストレーニングの初心者の部類と考えられている可能性が高い。

以下に、レジスタンストレーニング頻度を決定する際の従うべきガイドラインを示す。

表 2-3 レジスタンストレーニング頻度のガイドライン

(Earle and Baechle, 2010)

レジスタンス トレーニングのステータス	推奨される週当たりの セッション数
初心者	2~3
中級レベル	3~4
上級レベル	4回以上

表 2-4 トレーニング状態に基づいたレジスタンストレーニングの

頻度 (Sheppard and Triplett, 2018)

トレーニング状態	頻度のガイドライン (セッション数/週)
初心者	2~3
中級者	3~4
上級者	4~7

以下に、レジスタンストレーニング目標に準じた負荷、反復回数（レップ数）を示す。

表 2-5 トレーニング目標に準じた負荷とレップ数の割り当て

(Earle and Baechle, 2010)

トレーニング目標	負荷 (% 1RM)	目標レップ数
筋持久力	≤ 67	≥ 12
筋肥大	67~85	6~12
筋力*	≥ 85	≤ 6

*筋力を目標とした%1RM はコアエクササイズのみ適用する。補助エクササイズは 8RM、もしくはそれ以上に制限すべきである（つまり 8RM の負荷、もしくはそれよりも軽くする）。

表 2-6 トレーニング目標に基づく負荷と反復回数の設定

(Sheppard and Triplett, 2018)

トレーニング目標	負荷 (% 1RM)	反復回数
筋持久力	≤ 67	≥ 12
筋肥大	67~85	6~12
筋力*	≥ 85	≤ 6

*これらの筋力のためのトレーニングに設定された RM 負荷は、中心的エクササイズのみ適用される。すなわち、補助的エクササイズは 8RM 以下に負荷を制限すべきである。

以下に、レジスタンストレーニング目標に準じたトレーニング量を示す。

表 2-7 トレーニング目標に準じたトレーニング量の割り当て

(Earle and Baechle, 2010)

トレーニング目標	目標レップ数	セット数*
筋持久力	≥ 12	2~3
筋肥大	6~12	3~6
筋力	≤ 6	2~6

*この割り当てにはウォームアップのためのセットは含まない。

また、通常はコアエクササイズのみ適用する。

表 2-8 トレーニング目標に基づくトレーニング量の設定

(Sheppard and Triplett, 2018)

トレーニング目標	目標反復回数	セット*
筋持久力	≥ 12	2~3
筋肥大	6~12	3~6
筋力	≤ 6	2~6

*これらの設定はウォームアップを含めておらず、通常は中心的

エクササイズのみ適用される。

以下に、レジスタンストレーニング目標に準じた休息期間を示す。

表 2-9 トレーニング目標に準じた休息時間の割り当て

(Earle and Baechle, 2010)

トレーニング目標*	休息時間の長さ
筋持久力	30 秒以下
筋肥大	30~90 秒
筋力	2~5 分

*的確かつ目標に対して特異的なレジスタンストレーニングのストレスを与えるために、クライアントが目標レップ数通りにトレーニング負荷を挙上できるよう、パーソナルトレーナーは、セットおよびエクササイズ間に十分な休息を与えなければならない。全面的なトレーニングの目標よりもむしろ、各エクササイズの実際の%1RM あるいは RM 負荷が休息時間の長さの根拠であることに着目してほしい。例えば、筋力向上のためのトレーニングプログラム内で実施される補助エクササイズでは 8RM 負荷より重い負荷は割り当てられない。従って、休息時間は筋力のためのガイドラインより短くなる(つまり 30~90 秒となる。これは、8RM 負荷は筋肥大のためのトレーニングプログラムに関係するからである)。

表 2-10 トレーニング目標に基づく休息時間の設定

(Sheppard and Triplett, 2018)

トレーニング目標*	休息時間の長さ
筋持久力	≤30
筋肥大	30~1.5 分
筋力	2~5 分

*補助的エクササイズに設定された 1RM のパーセンテージがトレーニング目標の範囲を外れてしまう場合があるので(例: ≥8RM の負荷が筋力のストレングストレーニングプログラムの一部として推奨されることがある)、ストレングス&コンディショニング専門職は休息期間を設定する際に、トレーニング目標に基づくガイドラインの適用を考えるより、各エクササイズで用いられる負荷に着目して検討すべきである。

過去と新しいレジスタンストレーニングのガイドラインを比較すると、レジスタンストレーニングの状態に準じた頻度（週あたり）およびレジスタンストレーニングの目標に基づく負荷、レップ数、トレーニング量、休息期間の変化は認められなかった。

以上より、レジスタンストレーニングのプログラムデザインは特異性、過負荷および漸進性を考慮したうえで、どのようにレジスタンストレーニングの頻度、負荷、量および休息時間を設定するかを決定する必要がある。その際、対象者の状態はプログラムデザインに大きな影響を及ぼす項目となっており、特に初心者の扱いについては注意する必要がある。

第2節 トレーニング後の変化

本節では、トレーニング実施後から数日の間に生じる変化について文書をまとめる。

Clarkson, et al. (1992) は、「最大努力のエキセントリックアクションを連続的に繰り返すと、筋損傷の相関に特徴的な変化が生じる。痛み的高峰は運動後 2~3 日で、腫れ的高峰は運動後 5 日程度である。最大筋力と腕の屈曲能力は運動直後に最も低下し、その後 10 日間かけて直線的に回復する。クレアチンキナーゼ(CK)の血中濃度は運動後 2 日まで急激に上昇しないが、これは自然筋短縮が最も顕著になる時期である。これらの反応の時間的経過が類似していることから、これらの反応が類似の要因によって引き起こされたものであるかどうかは、まだ解明されていない」状態であると述べている。

Murayama et al. (2000) 上腕屈伸筋について、「健康な男子学生 11 名が、非利き腕で肘関節屈筋の最大エキセントリック動作を 24 回行った。最大等尺力は運動直後には運動前の約 40%まで低下し、運動 5 日後には運動前の 60%まで回復していた。肘関節の弛緩角は、運動 2 日後までに運動前より約 20°減少し、運動 4 日後まで回復しなかった。筋肉痛は運動 1 日後に発生し、運動 3 日後まで維持された。運動 2 日後に触診および伸展時の筋肉痛はピークになった。上腕周径囲は、すべての部位で運動後に有意に増加した。超音波画像では、運動後の筋厚の肥大が確認された。皮下脂肪の厚さは運動後 5 日間変化しなかった。運動後 5 日目に筋厚の最大肥大が確認された。血漿 CK 活性は運動 4 日後にピークを迎えた。筋肉硬度は運動 3 日後に運動前の約 2 倍まで上昇した。」と報告している。

鈴木ら (2013) は、上腕の運動において、コンセントリック運動 5 秒、エキセントリック運動 5 秒を 10 回実施した結果、「運動終了直後には、筋厚、筋硬度、上腕周径囲が増加し、最大随意筋力 (MVC) が減少した。一方、筋痛 (伸張運動時および屈曲運動時) は、1 日後に発生した」と報告している。

Matsuo et al. (2015) は、膝屈筋偏心収縮運動後について、「12 名の若年男性が片脚の最大膝屈筋偏心収縮を 60 回行い、エキセントリックな運動により、最大随意等尺性収縮トルク (MVC-ISO)、等速性同心性収縮トルク (MVC-CON)、膝伸展時の可動域 (ROM)、受動トルク (PT) が減少し、受動的硬さと視覚的アナログスケール (VAS) が増加した」

と報告している。

Coutts and Cormack (2016) は、「高強度で不慣れな遠心性運動は、運動誘発性筋損傷 (exercise-induced muscle damage : EIMD) を引き起こす。高強度の遠心性運動では、筋損傷を反映する CK、ミオグロビン、トロポニン、尿素、尿酸、アンモニアなどの酸素や血中マーカーが活性化することが示されている」と述べている。

Tiidus and Ianuzzo (1983) は、トレーニングを受けていない男性と女性を対象にした伸張性膝関節屈曲運動の実験において、「血清酵素活性は運動後 8-24 時間で最高値となり、運動後 48 時間までに低下する傾向があった。血清 CK 活性は、運動後 8-24 時間で運動前の 300%を超えた。筋肉痛の初期知覚は運動後 8-24 時間の間に起こり、運動後 48 時間に最高レベルに達した。したがって、筋肉痛の感覚が最も高くなるのは、血清酵素活性が最も高くなる約 24 時間後である」と報告している。

Newham et al. (1983a) は「エキセントリック筋収縮は、筋の収縮特性や筋力発生能力に著しい影響を及ぼし、遅発性疼痛をもたらすのである。これらの知見は、比較的少数の筋繊維によって発生する大きな力、およびこれらの不均一な力が非収縮組織に伝達され、結果として機械的損傷をもたらすという観点から説明可能であり、収縮の代謝エネルギーコストとは無関係であると考えられる。これらの現象の異なる時間経過は、筋腱部における炎症プロセスや、両組織の代謝回転速度の違いを反映していると考えられる」と述べている。

Newham et al. (1983b) は、健常者 13 名 (平均年齢 28 歳、範囲 21~54 歳) に 20 分間のステップテストを実施した、「すべての被験者が運動直後に小さな CK 上昇を示し、その後 24 時間以内に活性は上昇し続け、初期値の 2~3 倍に達した。その後、7 人の被験者では、血漿 CK は次の 24 時間以内に運動前の値に戻った。他の 5 人の被験者には、血漿 CK 活性の予想外の遅延上昇が見られ、それは 24 時間後に見られた上昇よりも 1~2 桁大きいものであった。このような大きな上昇は運動後 2~3 日目には始まらず、4~5 日目にピークに達し、運動後 7~9 日目に正常値に戻る」と述べている。

Bar et al. (1994) は、「血清中の CK 活性は、しばしば筋損傷のマーカーとして使用される。厳密に言えば、CK 活性は測定値ではなく、骨格筋（または心筋）が影響を受けていることを示す指標に過ぎない。筋損傷の程度と CK 活性の正確な関係は明らかではない」と述べている。

佐藤 (2001) は「スポーツには必ず疲労が伴う。トレーニングをすれば疲労するし、疲労を生じさせない強度でのトレーニングは、過負荷の原理を引き合いに出すまでもなく、トレーニング効果を期待することはできない」と述べている。

Bompa (2006) は、「トレーニングをすると疲労する。疲労が激しければ激しいほど、トレーニング効果は大きくなる。疲労は、回復の遅れ、調整力の低下、筋収縮のスピード・パワーの低下などといった形で表れてくる。そして、強い精神的な疲労は、生理的な疲労をいっそうひどくする。試合後の強い疲労は、精神的疲労が増長された例である」と述べている。

本節でトレーニング後について研究を整理した結果、痛み、疲労、腫れ、筋硬度、関節可動域低下、周径増大、筋力低下、血清酵素活性低下などの変化が生じることや、CK などの酵素や血中マーカーが活性化することがこれまでに報告されていることが明らかになった。これらの変化は、トレーニング後に生じる一時的なパフォーマンス低下の直接的な要因、あるいはパフォーマンス低下につながる状態を間接的にとらえられる要因であることから、その状態を把握することは次のトレーニング実施のタイミングを検討する際にも有効であると考えられる。

トレーニング後に生じる様々な変化のうち、痛み、疲労感、腫脹感、こわばり感などは、主観的な感覚としてトレーニング実施者が自分自身で把握できるものである。一方、血清酵素、CK などの活性状況もトレーニング後の筋損傷などの影響を把握することができるものの、血液の採取が必要であることなど、日常的な観察方法として利用するには限界があると考えられる。それに比べれば、関節可動域、周径増大、筋力発揮値の測定は測定器具さえあれば比較的簡易に測定が可能であるが、器具が用意できない場合や測定する検者がいない場合は測定値を得ることは難しい。

よって、普段のトレーニングでは自身の主観的な情報をもとにトレーニングの間隔を決

定しがちであるが、筋痛や筋疲労の感覚は曖昧で個人差もある。そのため、トレーニング後の状態を把握する基準とするためには、筋力発揮値等の具体的な数値との関連性を明らかにする必要がある。よって、本研究ではトレーニング後の変化について、筋痛、疲労感の主観的な程度および客観的な筋力発揮値に着目して検討する。

第3節 筋痛

本節では、筋痛の種類、メカニズム、特徴および関連研究について整理する。

第1項 筋痛の種類

Hough (1902) は、筋肉痛の観察から「運動に伴う筋肉痛には運動中に起こる痛み（老廃物の蓄積により、直接または浸透圧の上昇による圧力で神経終末を刺激する可能性がある）と運動後に起こる痛み（筋の収縮性および結合組織要素の破裂による修復過程で形成された癒着の破壊により起こる可能性がある）の2種類の異なるタイプがあるとした」と述べている。

このように、筋痛は運動中だけでなく、運動後に発生するものがあることは100年以上前から研究報告がなされている。その後、様々な筋痛の研究が進み、以下のような分類や発生機序が明らかにされている。

Miles and Clarkson (1994) は、運動による筋肉痛、コリ、痙攣についてのレビューの中で様々な文献を整理した結果、「非病的・非受傷者の運動による筋肉痛は、1) 運動中または運動直後に起こる痛みや不快感、2) 運動後翌日から数日間続く遅発性筋痛 (DOMS)、3) 突然起こり、数秒間続く不随意筋収縮による痛み（筋痙攣）3つのカテゴリーに分類されることがある」と述べている。

野坂 (2002) は、筋肉痛の種類について「運動中に生じる筋肉痛、運動中から運動後しばらく継続する筋肉痛、筋痙攣、コリ、および運動後数時間から数日経過してから生じる筋肉痛（遅発性筋痛）がある」と述べている。

以上より、筋痛にはいくつかの種類があり、運動中に発生するものだけでなく、運動中から運動後しばらく継続する筋肉痛や運動後数時間から数日経過してから生じる筋肉痛（遅発性筋痛）など、時間経過ごとに筋痛の種類が分類されている。

第2項 筋痛のメカニズム

1) 運動中および運動中～運動後に発生する筋痛のメカニズム

野坂（2002）は、筋肉痛のメカニズムについてレビューの中で様々な文献を整理した結果、「虚血状態が生じ疲労している筋では、筋ポンプ作用が低下し、静脈血やリンパ液が貯留しやすい状況となり、筋内圧が高まり、発痛物質の除去もされにくくなっていると推察される。血流減少が虚血状態を招くことで増加する代謝物質が、ある一定のレベル以上に達し、C線維を刺激することによって痛みの原因となる可能性がある。発痛作用のある代謝物質としては、疲労した筋から遊離するカリウムイオン、無機リン酸、ヌクレオチドなどが考えられる」として運動中に生じる筋肉痛の機序を述べている。

青野ら（2013）は、「激運動誘発性急性筋痛の程度が高い被験者は、大腿筋における速筋の比率が高く、無酸素的エネルギー供給系の依存度が高かったため、30秒間の全力ペダリング運動により、乳酸、水素イオン、アンモニアなどの多くの代謝産物が生成され、それらが痛み発現のきっかけとなっている可能性が考えられる。大腿筋群の筋内圧が上昇し、筋内自由神経終末などの痛み関連受容器が活動に伴うGIIIやGIV求心性線維活動が急性筋痛を発現させた可能性が考えられる」として、急性筋痛の機序を報告している。

以上は、運動中の筋痛の原因、あるいはメカニズムについての報告である。一方、筋痛には運動中から運動後しばらく継続する筋痛もある。

野坂（2002）は、筋肉痛のメカニズムについてのレビューの中で様々な文献を整理した結果、「運動中から運動後しばらく継続する筋肉痛の痛みは運動中から運動後へと継続していくが、運動中の痛みと運動後の痛みの要因が同一であるとは限らない。運動中に生じてくる筋肉痛には、筋グリコーゲンが枯渇してきたり、筋が取り込むグルコースの量が減少することによって、筋収縮のエネルギー源であるATPが減少し、筋細胞膜や筋小胞体のナトリウム-カリウムポンプ（Na⁺-K⁺ pump）やカルシウムポンプ（Ca²⁺ pump）の機能が低下することによる筋細胞の内外の環境変化が関係しているかもしれない。また、筋疲労によって筋紡錘やゴルジ腱器官の機能が低下することも知られており、筋活動の制御が円滑にいかなくなることで、筋肉痛とかかわっている可能性も考えられる。運動中から

運動後しばらく継続する筋肉痛は、いくつかの要因が重なって発現していると推察されると述べている。

2) 運動後に発生する筋痛のメカニズム

Asmussen (1956) は、「慣れない激しい運動をした後、12～24 時間後に現れる筋肉痛は、運動した筋肉の代謝が大幅に増加したためなのか、それとも筋肉の機械的緊張によって引き起こされる損傷によるものなのかを調べるために、コンセントリック作業とエキセントリック作業を使った一連の実験が行われた。この 2 種類の作業で生じる緊張はどちらも同じであったが、代謝はコンセントリック作業ではエキセントリック作業より数倍大きくなることが知られている」また、「筋肉痛は、代謝性老廃物ではなく、筋肉内結合組織への機械的ストレスによって引き起こされると結論づけられた」と報告している。

De Vries (1961, 1966) は、最初の DOMS の痙攣理論を提出し、「運動によって活動筋に虚血が生じ、その結果、痛み物質が生成され、この物質が過剰に蓄積されると、痛みの末端が刺激される。その結果、痛みはさらに反射的な痙攣を引き起こし、虚血状態を長引かせ、悪循環に陥るといっているのである。このような提案は、DOMS を発症した被験者が表面筋電図によって記録された筋肉の電氣的活動が高いことを観察した実験からなされた」と述べている。

Abraham et al. (1977) は、「運動後 24～48 時間に生じる遅発性筋肉痛の原因について、既存の仮説を検証するために、3 つの異なるアプローチで検討した。表面筋電図を用いて筋スパズム説を評価し、ミオグロビン尿の存在によって実際の筋細胞損傷の可能性を監視し、24 時間尿中のヒドロキシプロリン/クレアチニン (OHP/Cr) 比を結合組織関与のマーカーとして使用した。最初の研究では、すべてのボランティアが運動後 24 時間および 48 時間後に筋肉痛を起こしたが、痛んだ筋肉の EMG 活動に変化は見られなかった。ミオグロビンの排泄は、筋肉痛を発症した被験者の 88% で確認された。しかし、2 回目の実験では、中程度の運動と激しい運動を行ったが筋肉痛にならなかった被験者の 92% にミオグロビン尿が認められた。一方、3 回目の実験では、ゼラチンフリー食を摂取した被験者が、コントロール (0.020 ± 0.001) と運動後 48 時間 (0.022 ± 0.001) の間で OHP/Cr の増加

($p < 0.1$) を示した。すべての症例で痛みは生じた。痛覚が最大になった日の OHP/Cr 値をとると、運動後の平均値は 0.024 ± 0.001 となり、有意水準は上昇した ($p < 0.005$)。これらの観察結果は、運動によって誘発される痛みは、筋肉および/またはその付着部の結合組織要素の破壊に関連している可能性があるという概念を支持するものである」と報告している。

Davies and White (1981) は、「エキセントリック収縮では、力はより小さな筋断面積に分散され、すなわち、活動断面積あたりの張力はより大きくなる。この単位面積当たりの張力の増大は、筋繊維自体や収縮要素に直列する結合組織の構造要素の機械的破壊を引き起こす可能性が高いと考えられる。」と述べている。

Armstrong (1984) は、運動誘発性遅発性筋肉痛のメカニズムを簡単なレビューで様々な文献を整理した結果、「特定の運動に対してトレーニングされていない筋肉に構造的な損傷が起こることは明らかである。筋損傷の検証は、組織学的、電子顕微鏡的、血漿酵素、生化学的、および代謝物の排泄分析を採用した研究によって行われる。損傷は、筋繊維の周囲、筋の結合組織要素、またはその両方で起こる可能性がある。しかし、筋細胞や結合組織の損傷が DOMS の原因因子であることは証明されていない。

代謝性廃棄物の蓄積は、DOMS の主な原因として引き続き提案されており、運動によって代謝障害が起こり、繊維の壊死につながる可能性を示唆している。しかし、この代謝仮説に反論するデータも数多く存在する。最も説得力のある証拠は、最も大きな痛みを引き起こす筋収縮、すなわち偏心収縮は、比較的低いエネルギー消費で済むということである。エキセントリック収縮を伴う運動は、同じ出力でコンセントリック収縮を伴う運動よりも、酸素消費量が少なく、乳酸の生成量も少ない。さらに、筋肉の単位面積当たりのエネルギー消費量は、同程度のコンセントリック運動よりもエキセントリック運動の方が少ないようである。この代謝仮説は、被験者に傾斜したトレッドミルの下りと水平なトレッドミルの上を同じ速度で同じ時間、2 回走らせて直接検証した。下り坂では、平地よりも最大酸素摂取量が低く、乳酸の発生も少なかったが、DOMS が多く発生した。

運動による筋肉内の温度上昇は、筋肉内の構造要素を損傷し、筋繊維の壊死や結合組織の破壊をもたらすことが考えられる。さらに、III 型、IV 型の神経終末は $38 \sim 48^{\circ}\text{C}$ の温度に敏感であるため、炎症プロセスに伴う局所温度の上昇が関与している可能性がある。ま

た、DOMS を引き起こすのに特に有効なエキセントリック筋運動は、コンセントリック収縮よりも高い局所温度を発生させる可能性がある。最後に、横紋筋融解症は、訓練を受けていない被験者が暑い中で運動する際に多く見られ、高体温から生じる筋障害は、DOMS の際に見られるものと似ている。

先行研究では、筋肉痛で筋電図 (EMG) 活動の上昇を測定した一連の実験を報告している。筋肉痛は、強直性局所筋痙攣につながる正のフィードバックサイクルを開始し、それがさらに痛みを引き起こすという、おそらく局所虚血による仮説である。この仮説によれば、痙攣は痛みをもたらす、痛みの大きさは関与する運動単位の数に依存する。他の研究者は、筋肉痛の電気活動の増加を検出することができなかった。また、皮膚に設置するバイポーラ電極や筋肉に挿入する針電極は、筋肉痛の電気活動を記録するのに十分な感度を持たなかったが、皮膚のユニポーラ電極は記録できたという報告もある。しかし、ユニポーラ電極を使用し、痛んだ筋肉で電気刺激の増加を観察しない報告もある。一部の研究者は、「エキセントリック運動後の筋肉の EMG 活動の増加を発見したが、活動の大きさは痛覚と関連しなかった」と述べている。

Bobbert et al. (1986) は、遅発性筋肉痛の要因についてのレビューの中で様々な文献を整理した結果、「水腫の形成を説明するために、炎症状態に見られるような毛細血管の高分子に対する透過性の増加が原因であることが示唆されている。ラットの低強度運動やダウンヒル走行を長時間行った場合、筋肉の炎症を示す変化が報告されている。しかし、先行研究でも本研究でも、DOMS を起こしたヒトにおいて、炎症状態を示唆する末梢白血球数の増加は認められなかった。さらに、フルルビプロフェン (抗炎症剤) の投与によっても、筋肉痛は影響を受けなかった」と述べている。

Jones et al. (1987) は、「筋硬直は結合組織の損傷によるものであり、その結果、筋受容体の機械的感度が高まり、圧迫や伸張によってそれらが活性化されたときに痛みを感じるようになることが示唆された」と報告している。

Smith (1991) は、レビューの中で様々な文献を整理した結果、「痛覚の発生は、筋肉や結合組織の損傷により、循環する好中球が増加し、これらの好中球が傷害部位に移動したのち、白血球の成分の一つである単球がそれに続く」と仮定している。単球は、運動後 48 時

間の痛覚が最大になるころにその数がピークに達する。この単球は、大量のプロスタグランジン（PGE₂）を合成する。PGE_iは、筋の求心性神経終末を感作し、それによって痛覚が生じる」と述べている。また、「現在のところ、DOMSの根本的なメカニズムは不明である。当初は、急性炎症がそのメカニズムであると提唱されたが、その後、実証されていない。しかし、本稿では、この2つの事象に以下のような共通点があることを示唆している：1) 急性炎症の兆候である痛み、腫れ、機能低下の3つが、DOMSの際に観察される。2) 類似した細胞浸潤が見られる。特に、炎症プロセスの重要な構成要素であるマクロファージは、損傷部位で優勢である。両者とも、組織破壊が始まってから24時間後と48時間後に発生する。3) 繊維芽細胞は、両方の事象に関連して見られている。4) リソソーム活性の亢進は、両方の事象に関連して起こる。5) 病変の大きさの進行は、両者とも約48時間まで起こる。6) インターロイキン-Iと急性期タンパク質の増加は、両者のイベント後に起こる。7) 約72時間後に治癒の兆しが観察される。以上の考察から、DOMSに関連する大部分の事象の時間枠は、急性炎症について説明した時間枠とよく一致している。しかし、この類似性が成立しない場合もある」と述べている。

Cleak and Eston (1992) は、レビューの中で様々な文献を整理した結果、「痙攣説や乳酸説が遅延性疼痛と因果関係がある可能性を示す重要な証拠はなく、激しい偏心運動後に起こることが分かっている筋肉や結合組織の損傷が直接的な因果関係を持つという証拠もほとんどない。いくつかの研究では、損傷後の炎症がDOMSとより密接に関連している可能性が示唆されており、この点についてはさらなる研究が必要であろうと思われる」と述べている。

Clarkson et al. (1992) は、運動による筋損傷と急速な適応後の筋機能について、「最初の筋力低下が、疲労によるものなのか、筋の損傷によるものなのか、あるいはその両方の組み合わせによるものなのかは、まだ解明されていない。さらに、筋力低下を抑制し、回復を促進するために神経系が関与していることを否定することはできない。神経系の活性化パターンに変化が生じ、より深刻な損傷を受けた繊維を迂回する可能性がある。EMGパターンは、エキセントリックエクササイズ直後から48時間後まで変化することを示すエビデンスが存在する」と述べている。

Croisier et al. (1999) は、運動誘発性筋損傷とインターロイキン 6 (IL-6) 産生に対するトレーニングの効果について、「トレーニング後、運動後の DOMS と血清ミオグロビン濃度の値は、トレーニング前に測定した値よりも有意に低い値を示した。トレーニング前後の同じ時点で測定された血漿 IL-6 レベルには、有意な差はなかった。運動による筋損傷と運動後の循環 IL-6 レベルの上昇との間の仮説的な関係は、今回の結果では立証されないと結論付けた」と報告している。

Carrasco et al. (1999) は、「短時間の最大下コンセントリック動作は、エキセントリック動作よりも大きな心血管および筋交感神経活動 (MSNA) の反応を引き起こすことを実証した。しかし、同程度の努力 (例えば、疲労状態) で行った場合、コンセントリックとエキセントリックのアームカールは、同様の心血管系および MSNA の反応を引き起こすことがわかった。これらの結果は、典型的な最大下運動中の MSNA の増加は、主にコンセントリックの動作中に生成される代謝物によって刺激される筋代謝反射によって媒介されることを示すものである」と報告している。

Cheung et al.(2003) は、「DOMS は、エリートや初心者のアスリートにとって身近な体験である。症状は、筋肉の圧痛から激しい衰弱痛まで様々である。DOMS の発生率は高いものの、そのメカニズム、治療戦略、運動能力への影響については、未だ不明な点が多い。DOMS が最も多く見られるのは、スポーツシーズンの始まりで、運動量が減少していた選手がトレーニングに復帰する時期である。また、DOMS は、時期に関係なく、アスリートがある種の活動を初めて行うときにもよく見られる。偏心運動は、他のタイプの筋運動よりも高い頻度で、かつ深刻な微小損傷を誘発する。また、運動強度と運動時間も DOMS 発症の重要な要因である。DOMS のメカニズムについては、乳酸、筋スパズム、結合組織損傷、筋損傷、炎症、酵素流出説の 6 つの仮説が提唱されている。しかし、2 つ以上の理論を統合することで、筋肉痛を説明できる可能性が高い。DOMS は、関節可動域の減少、衝撃の減衰、ピークトルクの減少を引き起こすことで、運動能力に影響を与える可能性がある。また、筋肉のシークエンスやリクルートメントパターンに変化が生じ、筋肉の靭帯や腱に慣れないストレスがかかることもある。これらの代償機構は、スポーツへの早期復帰を試みた場合、さらなる傷害のリスクを増大させる可能性がある」と述べている。

Al-Nakhli et al. (2012) は、遅発性筋肉痛を検出するための熱赤外線イメージングの使用について「赤外線画像から得られた皮膚温度と、VAS による痛覚レベルとの相関分析を行った。その結果、運動 24 時間以降の VAS 測定値と運動 24 時間以降の皮膚温測定値の間に有意な相関がある」また、「人体の温度変化は常に機能不全の指標であり、熱の上昇は主に何らかの炎症や感染に関連している。そのため、運動後 24 時間にすべての被験者で見られた皮膚温度の上昇は、炎症による筋肉の血流増加や組織の損傷修復の結果である可能性がある」と報告している。

Hotfiel et al. (2018) は、「DOMS は、超構造的な筋損傷の一種である。DOMS の発現は、エキセントリックな運動や慣れない形態の運動によって引き起こされる。臨床症状としては、筋力発揮能力の低下、痛みを伴う運動制限の増加、硬直、腫脹、隣接する関節の機能障害などがある。DOMS は軽度の傷害と考えられているが、スポーツ競技のパフォーマンスを低下させる最も一般的な理由の 1 つである。過去数十年の間に、DOMS の病因を説明するために多くの仮説が立てられてきた。正確な病態生理学的経路はまだ不明であるが、現在のところ、主なメカニズムは、慣れないスポーツ活動やエキセントリック運動による筋細胞の超微細な損傷であり、これがさらなるタンパク質の分解、アポトーシス、局所炎症反応につながると考えられている。臨床症状の発現は、局所のおよび全身的な生理学的反応の複雑なシーケンスの結果として、一般的に遅延する（運動後 48～72 時間に痛みのピークが生じる）」と述べている。

3) その他の筋痛のメカニズム

Miles and Clarkson (1994) は、運動による筋肉痛、コリ、痙攣についてのレビューの中で様々な文献を整理した結果、「筋痙攣が頻繁に起こりやすい病態がいくつかある。これらの病態は、痙攣を引き起こす可能性のある原因因子を解明する上で興味深いものである。解糖系経路に影響を及ぼす代謝異常のある人は、特に運動時に筋痙攣を起こしやすいと言われている。このことは、痙攣がエネルギー不足と関連している可能性を示唆している。神経疾患、特に下部運動ニューロン疾患では、筋痙攣の発生率が高いという特徴があり、神経因子がこの現象に関与している可能性も示唆される。また、腎臓透析患者の筋痙攣の発生率は極めて高く、電解質バランスと血液濃縮が原因因子として支持される。電解質バ

ランスと血液濃縮は、熱中症に伴う筋肉痛の発生率が高いことから、さらに支持されている。痙攣を起こさないことが確定している疾患としては、上部運動ニューロン疾患、錐体外路疾患、筋疾患などが考えられる」と述べている。

先行文献から、運動中に生じる筋肉痛は、筋内圧の上昇により血流が減少し、発痛物質が多く蓄積されることが原因であると考えられる。運動中から運動後しばらく継続する筋肉痛については、運動中に生じる筋肉痛と異なるメカニズムを示唆するものではなく、運動中の痛みが継続するものであると考えられる。これに対して、運動後に発生する筋痛である DOMS の発生機序については、様々な仮説があるが、今のところその生理的なメカニズムの詳細について、十分な解明がなされていないのが現状である。したがって、DOMS の影響を早期に排除するような適切なコントロール方法はなく、その状態を見極めながら次のトレーニングの実施タイミングを検討する必要がある。

第3項 遅発性筋痛の特徴

Armstrong (1984) は、レビューの中で様々な文献を整理した結果、「遅発性筋痛とは、慣れない筋肉運動後に生じる骨格筋の不快感や痛み感覚である。通常、運動後 24 時間以内に痛みが強くなり、24～72 時間後にピークに達し、その後、運動後 5～7 日後に痛みがなくなるように落ち着く。筋肉痛は、しばしば "静止 "または "圧痛 "と表現される。可動性や柔軟性が低下し、筋肉が敏感で、特に触診や運動時に痛みを感じるからである。その感覚は、日常生活の動作ですぐに消えるわずかな筋肉のこわばりから、動作に支障をきたすような激しい痛みまで様々である」と述べている。

Miles and Clarkson (1994) は、表 2-11 に示すように、遅発性筋痛の特徴をまとめた。

表 2-11 遅発性筋痛(DOMS)の特徴の抜粋. (Miles and Clarkson1994)

-
- ・運動後 8～24 時間から発症
 - ・運動後 24～96 時間で強度がピークに達し、7～10 日で回復する
 - ・エキセントリックな筋肉動作に偏った激しい運動が続いたときに発現する
 - ・慣れない運動の後、反応が最も大きくなる
 - ・筋の超微細構造の損傷と細胞内タンパク質の放出に関連する
 - ・筋力低下や筋短縮に伴い発生する可能性がある
 - ・主に IV 型自由神経終末の活性化によって引き起こされるが、III 型自由神経終末も関与することがある
-

Mueller-Wohlfahrt et al. (2013) は、「DOMS の臨床症状としては、浮腫性腫脹、筋肉が硬い、隣接する関節の可動域が制限され、等尺性収縮時に痛みを感じ、治療的ストレッチングにより緩和される」と報告している。

Powers and Howley (2020b) は、「激しい運動や不慣れた運動の 24～48 時間後に現れる DOMS は、初心者のアスリートはもちろんのこと、ときにはベテランのアスリートでさえも経験することがある」と述べている。

以上より、DOMS とは慣れない運動や激しい運動をした後の数時間から数日間に筋肉に感じる痛みや筋硬直のことであると定義できる。特に、運動の初心者に発生しやすいと考えられる。

第4項 遅発性筋痛に関連する研究

Talag (1973) は、「活動に関わる筋肉は、コンセントリック収縮、エキセントリック収縮、静的収縮を行う際に残存筋肉痛が生じる可能性がある。提供されたデータによると、エキセントリック収縮が最も高いレベルの筋肉痛を生じ、48 時間後に筋肉痛のピークを迎えることが示唆されている。」と報告している。

Armstrong (1984) は、「DOMS が筋肉の長期的な損傷や機能低下と関連していることを示す証拠はない。動物実験によると、傷ついた筋肉は運動後の期間に再生し、そのプロセスは 2 週間以内に完了することが示されている。」と述べている。

Smith (1991) は、「DOMS は運動時や筋肉と接触した時にのみ感じられ、休憩中にはほとんど感じられない」と述べている。

Rodrigues et al. (2022) は、先行研究のレビューの中で様々な文献を整理した結果、「DOMS の過程には 3 つの段階があり、自生期（運動後 3 時間後に起こり、損傷構造の分解の始まりに相当）、貪食期（筋肉の圧力と内部温度の進行、侵害受容器の自然放電の増大と P 物質の放出、炎症反応の増幅と自己維持およびグローバル痛覚過敏に有利）、最後に 4～6 日目に再生期が存在する。臨床症状の発現は、生理的、局所的、全身的な反応の複雑な連続の結果として遅れ、通常 24 時間後、運動後 48～72 時間の間にピークを迎え、5～7 日間続くことがある。したがってこの期間の傷害のリスクが高まる」と述べている。

つまり、DOMS はエキセントリック収縮運動において発生しやすく、運動時や筋肉と接触した時に痛みが感じられ、長期的な損傷や機能は低下しないが、回復の再生期に傷害のリスクがある。

第4節 疲労

本節では、疲労について研究を整理する。

猪飼 (1973) は、「疲労とは、作業、あるいは運動をしていくことによって、身体各部の器官や組織のエネルギーの消耗、あるいは調整の低下によって機能の減退がおり、これが全体として作業や運動の成果 (performance) を低下させるようになったときの状態をいい、このとき多くの場合に疲労感を伴うものである。つまり、疲労は成果の減少 (performance の減少) と疲労感 (sensation of fatigue) とが合計されたものである」と述べている。

片山ら (1994) は「筋疲労とは生理学的には筋収縮時の筋張力が急激に低下する時期をいう。随意運動においては、中枢神経系から筋にいたる多くの過程の関与があり、それぞれの過程に疲労が生じる」と定義している。また、疲労を中枢神経性、末梢神経性および筋性疲労に分けた (表 2-12)。

表 2-12 運動疲労の発生機構

中枢神経性疲労

活動に参加する運動単位の減少

各運動単位における興奮の頻度の減少

末梢神経性疲労

神経筋伝達の機能低下

筋性疲労

筋繊維膜における興奮性の低下

細胞外カリウムイオン(K+)の蓄積

興奮収縮連関機能の低下

収縮エネルギー源の減少

代謝産物の蓄積

a)とくに乳酸に由来する細胞内水素イオン(H+)

b)細胞内無機リン酸

他にも、多くの研究者（石田ら、1992；和田ら、2006；小宮ら、2012）が、「筋疲労は、筋肉の pH が酸性に傾くこと、筋肉を収縮するためのエネルギー源となる筋グリコーゲン（糖の一種）が枯渇する。あるいは、高強度の運動時にリン酸がカルシウムと結合してカルシウムの放出が阻害されることによって筋疲労が起こる」などの様々な説がある。

松浦（2016）は、「大脳皮質の運動野から運動指令と呼ばれる電気活動が発生した後、運動指令は皮質脊髄ニューロンを下行し、脊髄にある α 運動ニューロンから神経筋接合部へと到達する。神経筋接合部では、化学的伝達物質によって脱分極が引き起こされ、筋線維膜にインパルスが生じる。その後、興奮収縮連関が起こり、クロスブリッジによって筋活動が引き起こされる。この経路のいずれかの場所が何らかの要因により活動を制限されれば、筋力または筋パワーを生み出す能力の低下、つまり筋疲労が引き起こされる。上述した遠心性の経路のうち、神経筋接合部以下の活動が制限されることによって生じる筋疲労は、末梢筋性疲労（peripheral fatigue）に分類されている。これに対して、神経筋接合部より上位の活動が制限されることによって生じる筋疲労は、中枢性疲労（central fatigue）と呼ばれている」と述べている。

Bigland-Ritchie（1981）は、「大脳皮質から運動軸索を含めた脊髄運動ニューロンレベルで生じる筋疲労を中枢性疲労、神経筋接合部より末梢側で生じる筋疲労を末梢性疲労と定義している」と述べている。

松村ら（2013）は、「精神的な活動によって脳が特に疲労を感じる場合を中枢性疲労と呼ぶこととする。また、肉体的な活動により、中枢性疲労も生じているが、より身体の一部にも疲労を感じているものを中枢以外の末梢での疲労という意味で末梢性疲労と呼ぶこととする」と述べている。

遠藤ら（2004）は、「発揮トルクの低下に対して、普段レジスタンストレーニングを全く行っていない群は中枢性疲労、レジスタンストレーニングを行っている群は末梢性疲労が大きな影響を与えていることが示唆された。また、皮質運動野に対する抑制性入力中枢性疲労の発現に大きな影響を与えており、トレーニングはこれらの機序を変化させる可能性が示唆された」と報告している。

Bar et al. (1994) は、レビューの中で様々の文献を整理した結果、「遅発性筋痛 (DOMS) は疲労とは関係なく、圧痛や硬さを伴う鈍い痛みと表現される」と述べている。

McCully and Faulkner (1986) は、マウスの長母指伸筋の遠位腱を用いた電気刺激の実験結果について、「筋損傷は、伸張収縮の 3 日後に組織学的外観と最大力の発現によって評価された。損傷は 5 分までは持続時間と共に増加した。5 分後には、疲労によりそれ以上の傷害が生じない」と報告している。

表 2-13 に示すように、様々な筋疲労の測定方法がある。

表 2-13 先行研究における筋疲労の評価方法

発表者	測定評価
猪飼 (1968)	電気刺激
石田ら (1992)	電気刺激
片山ら (1994)	筋エネルギー代謝や細胞内 pH を測定するシステム
坂上と大倉 (2000)	筋柔軟性、血中乳酸値、自転車エルゴメーターの値、アンケート
大畑と市橋 (2006)	筋電図測定

小枝ら (2016) は、「肘関節屈伸運動時の疼痛・つっぱり感・疲労感の程度を、Visual Analog Scale(VAS)を用いて調査した。VAS はそれぞれ、0.0mmを『まったく痛みはない』『まったくつっぱり感 (疲労感) はない』、100.0mmを『これ以上ない痛み』『これ以上ないつっぱり感 (疲労感)』としたものを作成し、対象者が感じる痛みの程度に該当する位置に印を記入してもらった」と述べている。

以上より、疲労には中枢神経性、末梢神経性、および筋性の疲労が存在する。筋疲労の分類では、大脳皮質から神経筋接合部へと到達の過程において活動に参加する運動単位の減少、あるいは各運動単位における興奮の頻度の減少で生じる筋疲労を中枢性筋疲労、神経筋接合部以下の神経筋伝達の機能低下を末梢神経性疲労といい、K⁺、代謝物の蓄積、エネルギー源の減少などの原因による筋活動が制限されることを筋性疲労といい、後者 2 つを合わせて、末梢性筋疲労とまとめることができる。

レジスタンストレーニング経験がない人は中枢性疲労が原因となり運動の継続が困難になるが、レジスタンストレーニング経験がある人はトレーニングによって中枢性の疲労への耐性が強化されており、末梢性の疲労の影響が強いと考えられる。このことから、運動後に発生する筋疲労については中枢性、末梢性相互の関与によって発生するが、レジスタンストレーニングの経験の有無によってその影響の程度は異なることが考えられる。しかしながら、レジスタンストレーニングの経験がない人にも、他の運動を実施している鍛錬者と、まったく何も行わない非鍛錬者が存在する。そのため、鍛錬者と非鍛錬者のウェイトトレーニング後の筋疲労の状態が同じかどうかは不明である。したがって、鍛錬者と非鍛錬者の筋疲労を比較することは重要である。

また、筋疲労の程度を把握するためには、表 2-13 にまとめたような実験室的検査も各種実施されているが、実際のトレーニングの現場で実施することは困難であることから、実用性に乏しい。よって、本研究では、指導現場での実用性を考慮し、筋疲労の状態を自身の主観的な感覚として把握することが可能な VAS スケールの調査を用いて研究を進めることとする。

第5節 筋力低下

本節では、筋力低下について研究を整理する。

Clarkson et al. (1992) は、「高負荷エキセントリック運動後には前腕屈筋の等尺性筋力が変化する。運動直後は50%以上の劇的な筋力低下が見られる。筋力は徐々に回復するが、運動後10日目にはまだ欠損が残っている」と報告している。

Brown et al. (1999) は、「コンセントリック動作は最大随意等尺性収縮力(MVC)に変化をもたらさない。一方、エキセントリック動作では、運動直後のMVCが $23.5 \pm 19.0\%$ 低下した($p < 0.05$)」と報告している。

以上より、高負荷の運動後、主に高負荷のエキセントリックな筋力発揮を求められる動作後には筋力低下が発生することが明らかにされている。

Murayama et al. (2000) は、エキセントリック収縮の筋力増強運動の前後および1~5日後までの筋力の経時変化を分析し、「筋力は運動直後に運動前の筋力の約40%まで低下し、運動5日後でもトレーニング前の60%しか回復しないことを示した」と報告している。

Clarkson et al. (1992) は、「一般的に言われているのは、筋肉のコリや痛みによって、被験者が自発的に最大限の力を発揮することができなくなるというものである。しかし、筋肉痛がなくなっても筋力は低下しているため、筋肉痛を筋力低下の説明として用いることはできない。筋肉痛の発生と筋力の低下・回復の時間経過は大きく異なる。筋力低下の原因が痛みであることを否定する重要なポイントは、電気刺激による収縮も、自発的な努力を回避するため、力の発生が減少することである」と述べている。

Bar et al. (1994) は、レビューの中で様々の文献を整理した結果、「運動直後から可動域が損なわれることがある。エキセントリック運動直後に前腕を完全に屈曲させる能力が低下し、その影響は10日後でも明らかであることが報告されている。筋力の低下と筋短縮不能の両方は、伸張性収縮による筋節の過剰伸張の結果であると考えられる。筋節が最適な長さ以上に引き伸ばされると、アクチンフィラメントとミオシンフィラメントの重な

りが減少し、形成できるクロスブリッジの数が少なくなる。筋の長さを長くして運動すると、より大きな筋力低下が生じることから、この説を支持する証拠がいくつかある」と述べている。

以上より、筋力低下についてはその発生のメカニズムはすべて解明されているわけではないが、筋節が最適な長さ以上に引き伸ばされると、アクチンフィラメントとミオシンフィラメントの重なりが減少し、形成できるクロスブリッジの数が少なくなるため発生することなどが仮説として考えられている。また、筋力低下はトレーニング後に、直ぐに発生し、時間経過にともない徐々に回復するが、運動後に同じく発生する筋痛と筋力低下には関係がないことが報告している。しかしながら、トレーニング実施の際には筋痛と筋力低下は混同されがちであり、筋痛が減少すると筋力が回復したと誤って判断されるケースもあると考えられるため、両者の関係性についても明らかにする必要がある。

第6節 トレーニングの適応性

Newham et al. (1987) は、高強度のエキシセントリックな運動の繰り返しについて、「運動の効果は、主観的な報告や、痛みや筋損傷の客観的な測定から、非常に明らかであった。2回目、3回目の運動では、1回目に比べて筋肉痛やこわばりがかなり軽減された」と報告している。

Clarkson and Tremblay (1988) は、「片方の腕は70回の最大収縮（70-MAX条件）を行い、もう片方の腕は24回の最大収縮（24-MAX）を行い、2週間後に70回の最大収縮（70-MAX2）を行った場合、70-MAX条件ではCK反応がなく、筋痛が少なく、筋力低下が小さいことを発見した」と報告している。

Clarkson et al. (1992) は、「2つのグループの被験者が、同じ高強度のエキシセントリックエクササイズを2回実施した。一方のグループは6週間間隔で、もう一方のグループは10週間間隔でエクササイズを行った。6週間後に2回目の運動を行ったグループでは、2回目の運動で1回目の運動と比較して有意に小さい反応がみられた。これは、筋肉痛の程度と腕の曲げ角度についても同様であった。10週間後に2回目の運動を実施した群では、1回目の運動と比較して、2回目の運動におけるリラックスした腕の角度が有意に小さかった。しかし、筋肉痛レベル、腕の曲げ角度、等尺性筋力は、1回目と2回目で同様の反応パターンを示した。CKについては、6週間群、10週間群ともに、2回目の運動後の増加はほとんど見られなかった。このように、CKの適応効果は劇的であった。これらの被験者の一部が6ヵ月後に実験室に戻り、再び運動を行ったところ、CKの反応はやはり低下していた。このとき、他のすべての指標は、最初の運動と同様の反応を示した。」と報告している。

Bar et al. (1994) は、「トレーニングによって、コンセントリック運動とエキセントリック運動の両方の後に、筋肉の損傷を防ぐことができることはよく知られている。1回の激しい偏心運動の保護効果は、最大で数ヶ月続く可能性がある。このような適応をもたらす1回の運動後の筋の変化は、ほとんどわかっていない。適応の一部は筋の外にあり、神経適応、例えば運動単位の使用方法に見られるかもしれない。中枢神経系は、1回のトレ

ーニングでその出力を劇的に適応させることが可能であり、特にその条件が非常に恐ろしいものであったり、ダメージを与えるものであったりする場合には、その適応が顕著になる。従って、最初の有害な運動は、受動的回避テストに匹敵する 1 回限りの学習セッションとみなすことができる」と述べている。

Cleary et al. (2002) は、エキセントリックな運動が DOMS に及ぼす反復運動効果の時間的パターンについて「運動プログラムを開始する 6、7、8、9 週間前に同様の運動を行うことで、エキセントリック運動摂動に伴う知覚痛や筋圧痛を軽減することができる」と報告している。

また、不慣れな運動を行うと筋損傷や DOMS を起こすことがある。これは不慣れな運動が筋の伸張性活動を伴う場合に特に多い。興味深いことに、DOMS からの回復後、同じ運動を行っても筋損傷や痛みの症状が出ることは少ない。これは「繰り返し効果 (repeated bout effect) と呼んでいる (McHugh et al., 1999)。

以上より、一般的にトレーニング後には筋痛や筋力低下が発生し、これは第 2 章 3 節でまとめた遅発性筋痛 (DOMS) によるものと考えられる。この筋痛や筋力低下は、特に不慣れなトレーニング後に強く発生するが、同様の運動を再実施した際には、その程度が改善される。つまり、トレーニングの適応性 (繰り返し効果) が発生することが明らかになっている。この効果は 2 回目のトレーニング実施までの間隔が 6 ヶ月まで持続するともいわれている。

つまり、DOMS の影響は、運動の初心者の中で初めてウェイトトレーニングの際に、筋痛と筋力低下などが強くなると考えられる。しかし、ウェイトトレーニングの初心者の中に、鍛錬者と非鍛錬者が存在する。鍛錬者と非鍛錬者では、共にウェイトトレーニングの初心者であり、一般的に不慣れな運動をした後にこの適応性がないと考えられるが、鍛錬者のように同部位に対し、異なる運動経験がある場合には、適応性が生じ、筋痛や筋力低下が抑制される可能性があるかもしれない。すなわち、鍛錬者において運動後に適応性が生じる場合には、非鍛錬者とは筋痛および筋力低下の発生のメカニズムや回復過程が異なることがあると考えられる。よって、鍛錬者と非鍛錬者で、初めてのウェイトトレーニング後の筋痛、筋疲労感、および筋力発揮値の比較をする必要がある。

第3章

問題の所在および検討課題

第1節 問題の所在

現行のウェイトトレーニングのガイドラインについて、第2章の先行研究を通して明らかになった問題点を以下に示す。

ウェイトトレーニングの計画をたてる際に、上級者か初心者かによってガイドラインが分けられている。この際の初心者とは、初めてウェイトトレーニングをする人のことである。しかしながら、ウェイトトレーニングの経験の有無のみで上級者、初心者を区分することには、下記のような問題がある。

- ・初心者の中にも、他のトレーニング経験がある人（鍛錬者）およびトレーニング経験がまったくない人（非鍛錬者）が含まれている。
- ・鍛錬者と非鍛錬者では同様の運動を行った後の筋痛や筋疲労、筋力低下の発生のメカニズムや回復過程が異なる可能性が報告されているものの、その詳細が十分明らかにされていない、あるいは、ウェイトトレーニングを初めて実施する際に、他の運動実施状況が上述した3つの回復過程に及ぼす影響の違いについては十分検討されていない。

第1項 肘関節の繰り返し運動後の筋痛における鍛錬者と非鍛錬者の比較に関する問題

筋痛については多くの研究がなされており、特に DOMS において、今のところどのようなメカニズムなのかは判明していない。この痛みは長期的なものではなく、しばらくすると消失する。また、DOMS について現在明らかになっていることは、同じ部位に同じ運動を行うことで筋痛が大幅に軽減される適応効果がある。しかし、ウェイトトレーニングの初心者には、日ごろ別の運動を実施している鍛錬者と、何も行っていない非鍛錬者が存在するが、DOMS への耐性に違いが生じるかなど、詳細については明らかにされていない。DOMS はその後のトレーニングに影響を与えるものであり、この痛みの回復過程が鍛錬者と非鍛錬者でどのように異なるかを明らかにする必要がある。

第2項 肘関節の繰り返し運動後の筋疲労における鍛錬者と非鍛錬者の比較に関する問題

トレーニングの際に、筋痛のほかにも筋疲労が発生する。筋疲労と筋痛は同時に発生するものの、両者は同じ現象ではないため、同一の回復過程を示すとは限らない。また、実

験的な測定を行わない限り、トレーニングの現場では筋疲労の状態は自身の感覚に基づく「筋疲労感」として把握するケースが多く、同じく主観的な感覚に基づき痛みの程度を把握する筋痛との関連の程度を把握することが必要であり、また、鍛錬者と非鍛錬者の筋疲労感の回復過程にも違いがあるかなど、詳細について検討した研究は認められない。

第3項 肘関節の繰り返し運動後の筋力発揮値における鍛錬者と非鍛錬者の比較に関する問題

運動後に DOMS が発生し、筋力低下を伴うことを示す研究は多くある。筋力低下は筋痛と関係があるという説もあるが、Clarkson (1992) らは、筋痛がなくなっても筋力は低下しているため、筋痛を筋力低下の説明として用いることはできず、筋痛の発生と筋力の低下・回復の時間経過は大きく異なると述べている。したがって、筋痛や筋疲労感と筋力低下についてや、運動後の筋力回復過程については別途検討が必要である。また、他の問題と同様、鍛錬者と非鍛錬者の筋力回復時間や回復程度を比較することが必要であると考えられる。

第2節 検討課題

前節において、先行研究の内容や問題点を整理した結果、ウェイトトレーニングの初心者を検討するためには、筋力、筋痛および筋疲労において、鍛錬者と非鍛錬者の運動後の回復過程を比較することが必要であると考えられる。

したがって、本節ではこれらの問題点をまとめて、検討が必要である課題を選定した。これらの課題を整理し、本研究で解決すべき検討課題を2つ設定した。検討課題1、2の内容と検討課題は以下に示す通りである。

検討課題1

ウェイトトレーニング初心者における他のトレーニング実施経験が上肢のウェイトトレーニング後の筋痛および筋疲労感の回復過程におよぼす影響【第5章】

運動直後及びその後に遅発性筋痛が発生した際の疼痛の程度と筋疲労の主観的感覚を比較し検討することで、鍛錬者と非鍛錬者それぞれの特徴を明らかにする。鍛錬者と非鍛錬者に肘関節の繰り返し運動を実施させ、その後に発生する筋痛および筋疲労について、両者の比較を行うことを目的とした。

検討項目

1. 鍛錬者と非鍛錬者の筋痛の程度および回復程度の検討
2. 鍛錬者と非鍛錬者の筋疲労の程度および回復程度の検討

検討課題2

ウェイトトレーニング初心者における他のトレーニング実施経験が上肢のウェイトトレーニング後の筋力回復過程におよぼす影響【第6章】

検討課題2では、運動負荷条件の達成率を算出して、運動前（PRE）の筋力発揮値を基準（100%）として、運動後各時点の筋力発揮相対値を算出した。上肢（肘関節）のウェイトトレーニング後の筋力の回復過程について、鍛錬者と非鍛錬者で比較することを目的とした。

検討項目

1. 運動負荷条件の達成率の検討

2. 鍛錬者と非鍛錬者の筋力回復程度の差の検討

第3節 用語の定義

本節では、本研究において使用している主な用語および概念について定義する。

初心者

一般的な定義では、初心者はその道に入ったばかりで、まだ未熟な者、あるいは習い始め、覚えてたての人の意味をさすが、本研究では、ウェイトトレーニングの経験が無く、初めて行う人と定義する。

鍛錬者

本研究では、ウェイトトレーニングの初心者の中にも、ウェイトトレーニングは行っていないが、競技特有のトレーニングを継続的に実施している（例：クラブ活動など経験がある）人と定義する。

非鍛錬者

トレーニング経験が無い人。つまり、本研究では、ウェイトトレーニングを実施しておらず、また、その他にも継続的に実施している運動がない人と定義する。

遅発性筋痛（DOMS）

運動中あるいは運動直後に痛みはなく、一般的に不慣れな運動や久しぶりの運動後に数時間から24時間程度かけて出現し、24～72時間後にピークに達し、5日～1週間程度で自然消失する（Cleak and Eston, 1992; Miles and Clarkson, 1994; Smith, 1991）痛みである。

1 RM（Repetition Maximum）

1 RMとは「1回に挙上が可能な最大の重量」のことを指す。

運動負荷

運動負荷は様々な方式があるが、本研究では、ダンベルを肘伸展位（肘関節角度：約170～180°）から肘屈曲位（肘関節角度：約50～60°）まで動かすコンセントレーション・カールの1RMの85%に相当する負荷にて、1セットあたりの目標反復回数は6回、セッ

ト間の休息時間の長さは 3 分間で計 6 セット実施する条件と定義した。

コンセントレーション・カール

コンセントレーション・カールはダンベルカールの一種で、とくに上腕二頭筋の短頭（内側）を集中的に鍛えることに向いているウェイトトレーニングの種目である。

筋痛

筋肉痛、筋痛と先行研究では様々な呼称があるが、本研究では筋痛に統一する。また、筋痛は運動中から発生するものも存在するが、本研究では、トレーニング後に数日間にわたって生じる筋痛を VAS（visual analogue scale）による主観的情報からとらえられる値によって評価できると定義した。

筋疲労感

疲労の原因には中枢性、末梢性、および筋性のものがあるが、本研究では、上腕二頭筋の局所の筋疲労に着目し、末梢神経性疲労と筋性疲労は総合的な筋疲労の程度として VAS（visual analogue scale）による主観的情報からとらえられる値によって評価できると定義した。

達成率

本研究では、実験で行わせた負荷試験の達成度合いを達成率として定義した。つまり、被験者が肘関節繰り返し運動実施の際に、1 セット毎に実施できたレップ数を数え、6 セット分の合計値を算出し、総レップ数 36 回（6 回×6 セット）で割った値とした。

上腕二頭筋のアイソメトリック筋力発揮値

上腕肘関節が動かない状態で筋肉が収縮するような筋収縮のことで、本研究では、測定時には被験者を椅子に座らせ、上体を軽く前傾し、肘が動かないように固定するため、計測する利き手側の肘を同側の大腿部の内側に押し付け、利き手側の肘関節が 90°になる状態で手関節にテンションメーターのベルトを固定した状態で測定した筋力発揮値と定義した。

筋の回復過程

通常、人間の体では、運動後に疲労や痛み、あるいは生理的な変化によって筋力の低下など様々な筋機能低下が生じる。その状態から、元の状態に戻る過程を筋の回復過程といい、様々な生理的な変化が筋内で生じているが、本研究では運動直後から 24 時間ごとに最大 96 時間までの間に生じた自覚的な筋痛、筋疲労、および筋力発揮値の回復状況を、筋の回復過程と定義した。

第4節 研究の限界

本研究では、研究課題を検討するために、様々な仮説と作業仮説が必要である。また、用語の定義、サンプルの特性、実験項目や測定方法、統計解析方法など、様々な条件によって結果の一般性が制限される。そこで、本節では、本研究の結論を制限する条件について紹介する。

第1項 定義による限界

一般的に初心者向けのウェイトトレーニングのガイドラインは、トレーニング経験別に分かれておらず、ウェイトトレーニング全般の初心者を指しているに過ぎない。しかしながら、初心者には、ウェイトトレーニング以外のトレーニング経験の有無による違いがある。よって、本研究では鍛錬者とは一般的なトレーニング経験がある人、非鍛錬者とはトレーニング経験がない人と定義する。一般的なトレーニングには様々なものが含まれるが、本研究では剣道のトレーニングに限定された。

また、本研究では筋の回復過程について様々な検討課題を検討する。筋の回復過程については、筋機能に関連する様々な生理的変化が関与しており、本来、CK (Creatine Kinase) 活性値、筋硬度の変化なども含まれるが、本研究では、第3章3節で定義した内容に従い、筋痛の程度、筋疲労の程度および筋力発揮値がその回復過程を示す要素として構成されると仮定した。また、本研究における筋痛、筋疲労の程度はVAS (visual analogue scale) を利用し、測定された値によって評価できると仮定した。

第2項 被験者による限界

初心者のウェイトトレーニングにおける鍛錬者と非鍛錬者の回復力を比較することため、この研究では、鍛錬者10名(年齢: 18.4 ± 0.9 歳、身長: 172.1 ± 3.9 cm、体重: 68.9 ± 11.5 kg、競技歴 10.8 ± 2.9 年)と非鍛錬者10名(年齢: 22.1 ± 1.4 歳、身長: 174.9 ± 3.3 cm、体重: 72.0 ± 17.9 kg、途中で1名が離脱し、実際の有効実験数は9名となった)の計20名が別々に実験に参加した。被験者はこれまでウェイトトレーニングを行っていない者であった。また、鍛錬者が行うウェイトトレーニング以外のトレーニングの種類には様々なものがあり、被験者の属性も多岐にわたるため、本研究の鍛錬者とは、上肢の技術動作のトレーニングを主とする剣道部の男子学生に限定された。

また、全ての被験者は、本研究の主旨や目的を十分に理解し、適切な状態で実験に参加

し、いずれの課題においても、被験者は最大努力でテストを実施させた。

第3項 測定方法および評価変数による限界

本研究では、既存の筋力を向上させる目的で実施するウェイトトレーニングのガイドラインに基づき、実用性、合理性および実験効果を考慮し、運動負荷条件において1RMの85%相当負荷重量、6セット×6回までで十分な運動負荷が与えられると仮定した。筋痛、筋疲労、筋力発揮値の回復過程の測定は visual analogue scale (VAS) およびアイソメトリック筋力発揮値によって捉えられると仮定した。本研究では、運動後の回復過程については、運動前および運動直後から24時間ごとに最大96時間までの間に筋痛、筋疲労の程度、および筋力発揮値の測定結果によって捉えられると仮定した。これらの方法や評価変数は、測定順序や方法、測定間隔の設定、目標値の設定、評価する時間帯の範囲、試行数などが異なると、結果も異なる可能性があるが、本研究で選択した評価変数は妥当と判断した。

本研究では、先行研究の結果を整理した上で、第4章2節に記載した方法で各時点の筋力、筋痛および筋疲労の回復過程を測定できると仮定した。

また、被験者のモチベーションや体調の変動の影響が入る可能性が示唆されるが、本研究では可能な限りこれらの要因を除去するように努力し、純粹に運動負荷条件を実施した影響を検証できると仮定した。

従って、本研究で得られた結果は、これらの測定項目および方法による制約を受ける。

第4項 統計解析に伴う限界

本研究では、各研究課題において妥当と考えられる解析方法を選択し、採用する。その中でも主要な統計解析法の限界について以下に述べる。

級内相関係数 (Intraclass correlation coefficient: ICC (1, 1)) は、検者1名で繰り返し測定した際の信頼性を検討するために算出した。これらの結果も一次関係を仮定する限り、得られた結果はこれらの限界の範囲内で解釈される。

Tukey の HSD (HSD: Honestly Significant Difference) 法は、対比較による多重比較検定の一つである。LSD (LSD: Least Significant Difference) 法などに比べ、第1種の

過誤を犯す危険性が少ない、つまり有意差がないにも関わらず有意差ありと判定される可能性が少ない。本研究では、Tukey の HSD 法による多重比較検定の結果、有意差が認められた場合、群間に差があると解釈した。

いずれの統計解析においても、統計的な有意水準は 5% に設定した。すなわち、帰無仮説が正しいにも関わらず、棄却してしまう第 1 種の過誤を犯す確率は 5% まで認めた。

第 4 章

研究手順および方法

第1節 研究手順および検討課題

本研究では、ウェイトトレーニング初心者における、他のトレーニング経験の有無が運動後の筋機能の回復過程に及ぼす影響について鍛錬者と非鍛錬者で比較することを主たる目的とした。よって、鍛錬者と非鍛錬者の筋機能の回復過程を、上肢（肘関節）のウェイトトレーニング後の筋痛、筋疲労感および筋力の回復過程から検討するために、測定手順を十分に検討したうえで、以下の手順にそって明らかにする。

第1項 研究手順

先行研究のレビューに基づき、本研究で扱うべき研究課題を設定し、次に、実験対象の選択、測定の手順および方法などを決定する（図 4-1）。

第2項 検討課題

本研究で検討する研究課題は以下の通りである。

検討課題 1

ウェイトトレーニング初心者における他のトレーニング実施経験が上肢のウェイトトレーニング後の筋痛および筋疲労の回復過程におよぼす影響【第5章】

他のトレーニング実施経験が上肢のウェイトトレーニング後の筋痛および筋疲労の回復過程におよぼす影響について、鍛錬者と非鍛錬者に同一の運動負荷試験を課した後の筋痛および筋疲労について Tukey HSD 法による多重比較検定を用いて検討する。

検討課題 1 では、上腕二頭筋群に対するコンセントレーション・カールを用いた運動負荷条件後の筋痛および筋疲労の VAS スケールテストを実施し、その測定値の変化について Tukey HSD 法による多重比較検定を用いて鍛錬者と非鍛錬者の回復過程の比較検討を行う。

検討課題 2

ウェイトトレーニング初心者における他のトレーニング実施経験が上肢のウェイトトレーニング後の筋力回復過程におよぼす影響【第6章】

他のトレーニング実施経験が上肢のウェイトトレーニング後の筋力回復過程におよぼす影響について、鍛錬者と非鍛錬者に同一の運動負荷試験を課した後の筋力発揮値について Tukey HSD 法による多重比較検定を用いて検討する。

検討課題 2 では、上腕二頭筋群に対するコンセントレーション・カールを用いた運動負荷条件後の筋力発揮値のテストを実施し、その測定値の変化について Tukey HSD 法による多重比較検定を用いて鍛錬者と非鍛錬者の回復過程の比較検討をする。

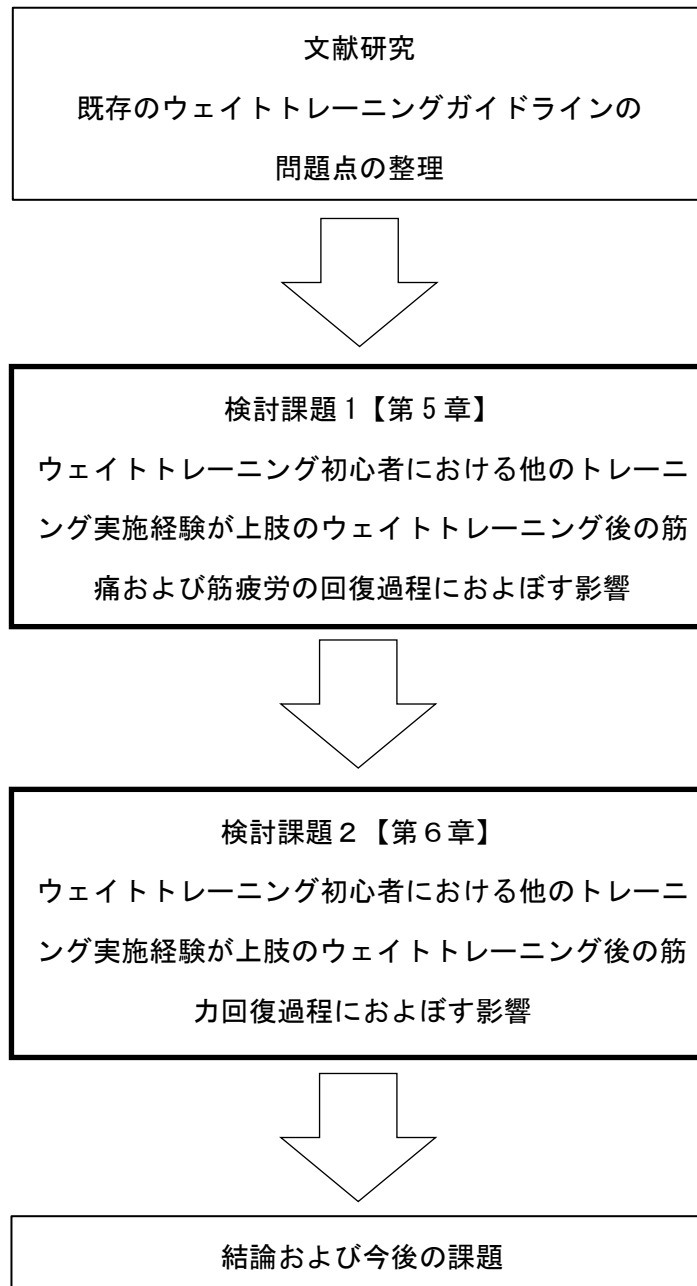


図4-1 研究手順

第2節 測定方法

本節では、本研究で用いた測定器具および方法の選択の根拠と、既存のウェイトトレーニングガイドラインに従って設計した運動負荷条件について説明する。後述する検討課題1、2では、これらの測定項目および方法を用いて各検討課題を検討する。

第1項 被験者

本研究では、ウェイトトレーニングは行っていないが、週に5回以上、専門競技のトレーニングを実施している剣道部の男子学生10名（年齢： 18.4 ± 0.9 歳、身長： 172.1 ± 3.9 cm、体重： 68.9 ± 11.5 kg、競技歴 10.8 ± 2.9 年）を鍛錬者群とし、普段、ウェイトトレーニングやその他の継続的なトレーニングを実施していない男子学生10名のうち、途中で離脱した1名を除く9名（年齢： 22.1 ± 1.4 歳、身長： 174.9 ± 3.3 cm、体重： 72.0 ± 17.9 kg）を非鍛錬者群として実験を行った。本研究の実験計画については、福井工業大学における人を対象とする研究倫理審査による承認を得て実施しており、被験者には、事前に実験の趣旨と手順を説明したのち、インフォームドコンセントにそって注意説明を行った。なお、実験参加承認は署名により確認した。両群ともに実験期間中、激しいスポーツや慣れない運動は行わないよう指示した。

第2項 運動負荷条件

全対象者の利き手側の上腕二頭筋群に対し、以下の手順にて運動負荷条件を実施した。まず、被験者の最大挙上重量(1RM)(田中ら、2019)を測定し、1RMの85%(McBurnie et al., 2019)に相当する重量のダンベルを肘屈曲位(肘関節角度:約 $50\sim 60^\circ$)から肘伸展位(肘関節角度:約 $170\sim 180^\circ$)までコンセントレーション・カール(図4-2)を実施した。1セットあたりの目標レップ数は6回とし、最大6セット実施した(Earle and Baechle, 2010; Sheppard and Triplett, 2018)。ただし、途中で継続が困難になった場合は、可能な限り実施できた最大限のセット数までとした、セット間の休息時間の長さは3分間に設定した。

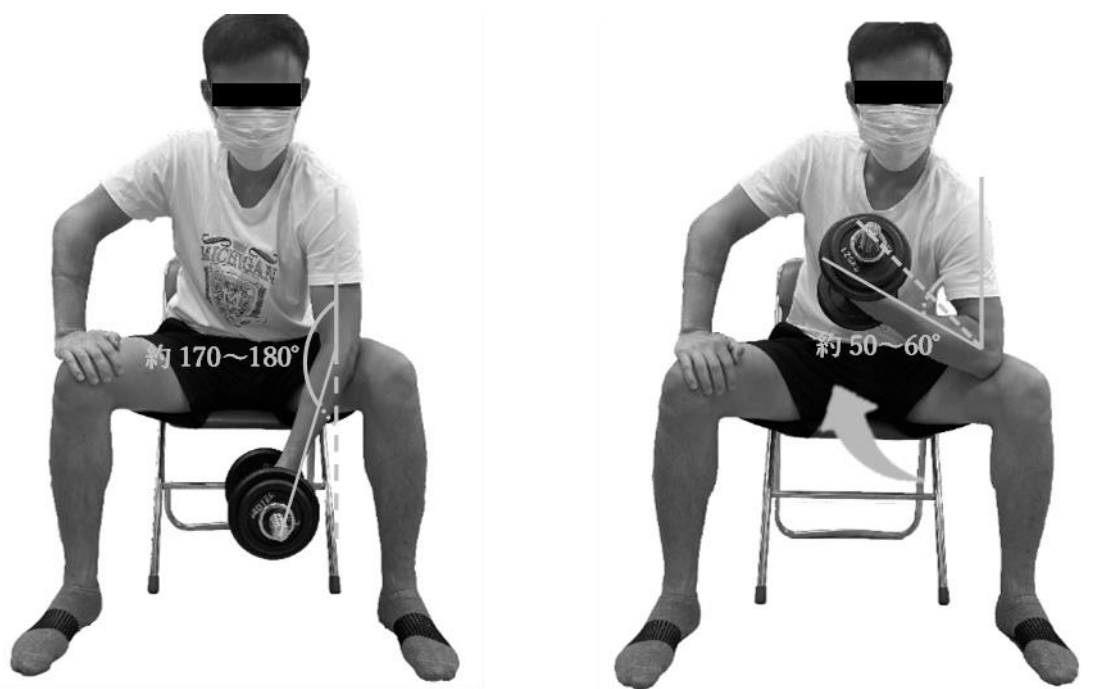


図4-2 コンセントレーション・カール

第3項 測定項目

1) 達成率の調査

被験者が肘関節繰り返し運動実施の際に、1 セットあたりに実施できたレップ数を記録した。1 セット毎に実施できたレップ数を数え、6 セット分の合計値を算出し、総レップ数 36 回 (6 回×6 セット) で割り、鍛錬者と非鍛錬者の達成率を算出した。

2) 筋痛、筋疲労感の調査

筋痛の程度は、visual analogue scale (VAS) (濱口、2011 ; 小枝ら、2016) により評価した (図 4-3)。肘関節の運動に伴い使用する上腕の筋群に対し、調査用紙に示された 10cm の直線の一方を 0 「全く痛みなし」とし、もう一方を 100 「最大の痛み」として、その時点での痛みの程度を回答させた。同様に、筋疲労は 10cm の直線の一方を 0 「全く疲労感なし」とし、もう一方を 100 「最大の疲労感」とした。被験者には、伸展したときと屈曲したときの 2 つの条件に対し、それぞれの痛みの程度および筋の筋疲労を VAS の表に記録させた。測定前を基準 (0) として、測定の時点は、運動直後 (POST)、24 時間後、48 時間後、72 時間後、96 時間後に実施した。

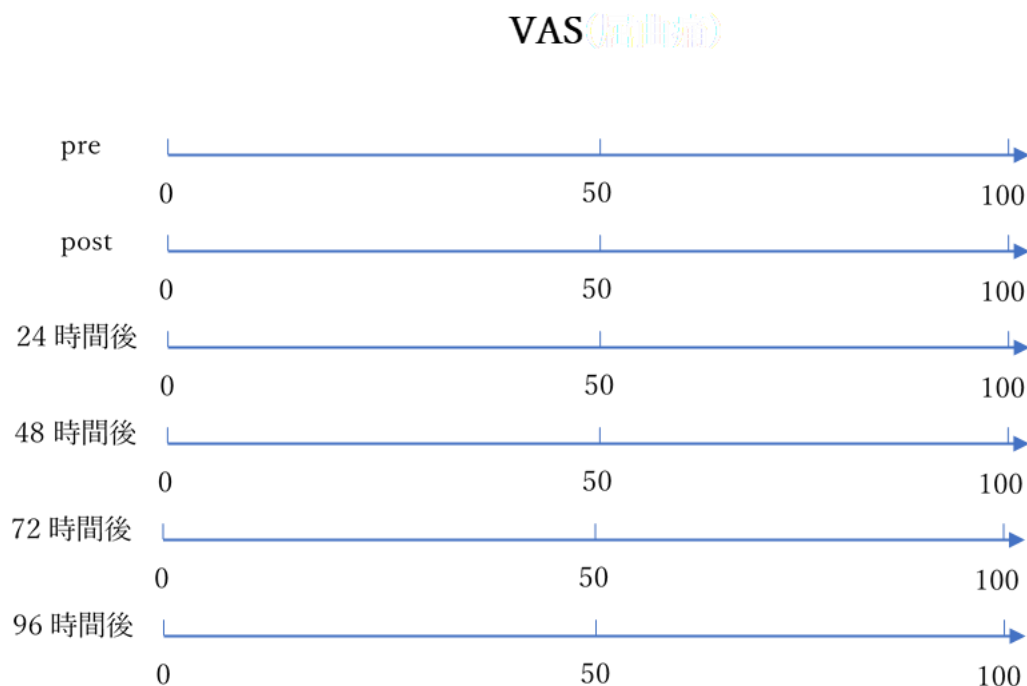


図 4-3 visual analogue scale (VAS) の記録用紙

3) 上腕二頭筋のアイソメトリック筋力発揮値の測定

テンションメーター（竹井機器工業株式会社製 T.K.K.5710e）を用いて最大努力による肘関節屈曲時の上腕二頭筋のアイソメトリック筋力発揮値を2試行測定した。測定時には被験者を椅子に座らせ、上体を軽く前傾し、肘が動かないように固定するため、計測する利き手側の肘を同側の大腿部の内側に押し付け、利き手側の肘関節が 90° になる状態で手関節にテンションメーターのベルトを固定した（図 4-4）。この際、逆の手は反対側の膝に置いて支え、最大努力にて 3~5 秒間のアイソメトリック筋力発揮を運動前、運動直後、24 時間後、48 時間後、72 時間後、および 96 時間後にそれぞれ実施した。

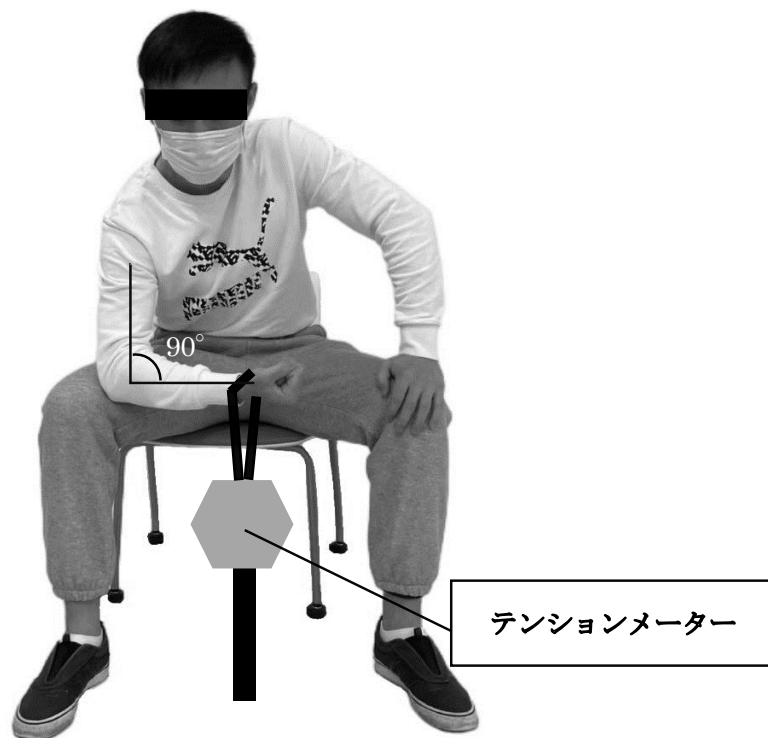


図 4-4 最大努力によるアイソメトリック筋力発揮値の測定

第4項 評価変数

1) 筋痛、筋疲労感の調査

筋痛と筋疲労の調査は、10 cmの目盛の中でどの位置に印をつけたか、その距離を測定し、相対的な筋痛や筋疲労の状態を表す評価変数とした。つまり、数値が大きいほど、筋痛および筋疲労の程度が高いと判断した。

2) 達成率の調査

達成率の調査は、総レップ数 36 回（6 回×6 セット）における、実施できたレップ数を評価変数とした。36 回に近づくほど、達成率が高いと判断した。

3) 上腕二頭筋のアイソメトリック筋力発揮値の測定

上腕二頭筋のアイソメトリック筋力発揮値は最大努力による肘関節屈曲時の上腕二頭筋のアイソメトリック筋力発揮値を 2 試行測定し、平均値を算出した。その値を用いて PRE（100%）を基準とし、POST、24 時間後、48 時間後、72 時間後、96 時間後の筋力発揮値を相対値に変換し、評価変数とした。相対値の大きさによって、筋力発揮値の回復の程度を評価した。

第3節 統計解析法

本研究では、1RM および達成率について鍛錬者と非鍛錬者の差を対応のない t-検定を用いて比較した。また、筋力発揮値の試行間信頼性を検討するために、級内相関係数 (ICC (1, 1)) を算出した。

筋痛、筋疲労および筋力発揮値について、鍛錬者、非鍛錬者および試行間の差の検定には、一要因のみ対応のある二要因分散分析 (鍛錬群・非鍛錬群×経過時間) を実施し、有意な主効果もしくは交互作用が認められた場合には、Tukey の HSD 法による多重比較検定を実施した。また、筋力発揮相対値について、95%信頼区間を算出して検討した。

統計解析の有意水準は全て 5%とした。

第 5 章

ウェイトトレーニング初心者における 他のトレーニング実施経験が上肢の ウェイトトレーニング後の筋痛および筋疲労感 の回復過程におよぼす影響

【関連論文】

李忠林, 野口雄慶, 山田孝禎 :

肘関節の繰り返し運動後の筋痛および筋疲労における鍛錬者と非鍛錬者の比較

北陸スポーツ・体育学研究, 第 4 号, pp. 37-47. 令和 5 年 3 月 (査読あり)

第1節 緒言

本研究では鍛錬者と非鍛錬者に肘関節の繰り返し運動を実施させ、その後に発生する筋痛および筋疲労について、両者の比較を行うことを目的とした。すなわち、運動直後及びその後に遅発性筋痛が発生した疼痛と筋疲労の主観的感覚を比較し検討することで、鍛錬者と非鍛錬者それぞれの特徴を明らかにする。

第2節 方法

第1項 被験者

被験者は、第4章2節1項に示したとおりである。

第2項 実験手順

1) 運動負荷条件

運動負荷条件は、第4章2節2項に示したとおりである。

2) 達成率の調査

達成率の調査は、第4章2節3項に示したとおりである。

3) 筋痛、筋疲労感の調査

筋痛および筋疲労感は、第4章2節3項に示したとおりである。

第3項 統計処理

1RM および達成率について鍛錬者と非鍛錬者の差を対応のない t-検定を用いて比較した。筋痛と筋疲労のデータは、測定前(PRE)の無痛状態を基準(100%)とし、POST以降の痛みの状態を VAS スケールの結果をもとに相対値にして解析を行った(例: VAS の結果が 2.3 cm→123%)。

屈曲時、伸展時それぞれの状態での筋痛および筋疲労について、一要因のみ対応のある二要因分散分析(鍛錬群・非鍛錬群×経過時間)を実施し、要因ごとの効果の大きさを偏 η^2 により求めた。分散分析の結果、有意な主効果あるいは交互作用が認められた場合、Tukey HSD 法による多重比較検定を実施した。なお、本研究の有意水準は 5%未満とした。

第3節 結果

第1項 最大挙上重量(1RM)

図 5-1 は、最大挙上重量(1RM)について鍛錬者と非鍛錬者の比較を対応のある t 検定で比較した結果を示している。検定の結果、鍛錬者の 1RM は 128.9 ± 17.5 N であり、非鍛錬者 95.3 ± 21.2 N に比べて有意に高かった($t = -3.57$ 、 $p < 0.05$)。

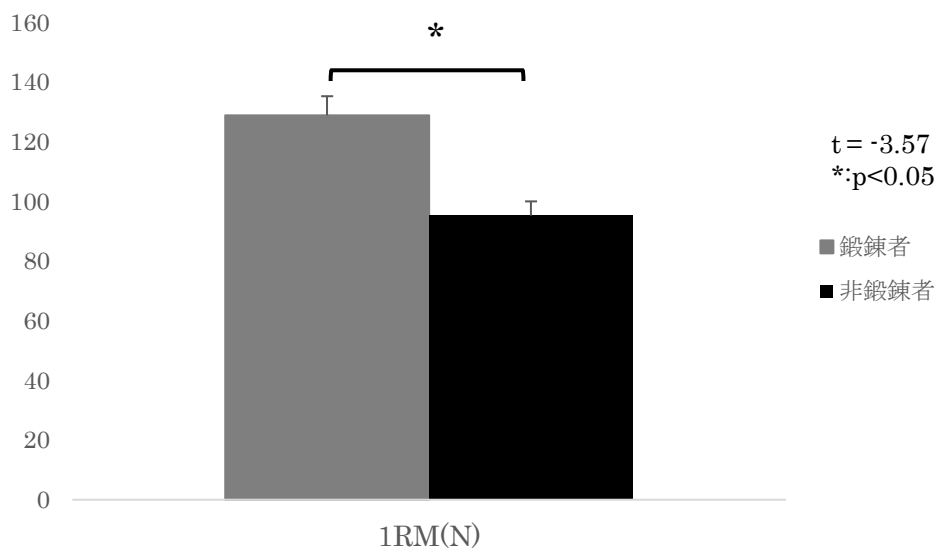


図 5-1 鍛錬者および非鍛錬者群における 1RM (N)

第2項 運動負荷条件の達成率

図 5-2 は、運動負荷条件の達成率について鍛錬者と非鍛錬者の比較を対応のない t-検定で比較した結果を示している。検定の結果、鍛錬者の達成率は、非鍛錬者の達成率に比べて有意に高かった($t = -4.12$, $p < 0.05$)。

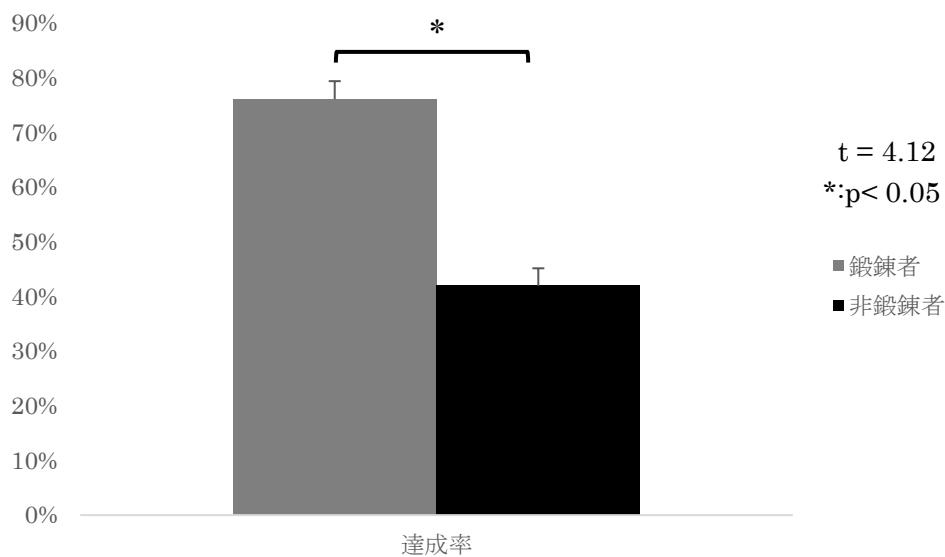


図 5-2 鍛錬者および非鍛錬者群における運動負荷条件の達成率

注：達成率 (%) = 実施できた回数の合計値 / 36 回 (6 回 × 6 セット) × 100

第3項 肘関節伸展時の痛み

図5-3および表5-1は、運動直後から96時間後までの肘関節の伸展痛における平均値、標準偏差、二要因分散分析と多重比較検定の結果を示している。二要因分散分析の結果、有意な交互作用が認められた。偏 η^2 は0.38であり、大きな差を示していた。多重比較検定の結果、非鍛錬者の伸展痛は、24時間後～72時間後が運動直後よりも有意に上昇し、96時間後が24時間後～72時間後よりも有意に低下し、24時間後にピークに達した。一方、鍛錬者は測定直後から96時間経過後まで全ての値に有意な差は認められなかった。

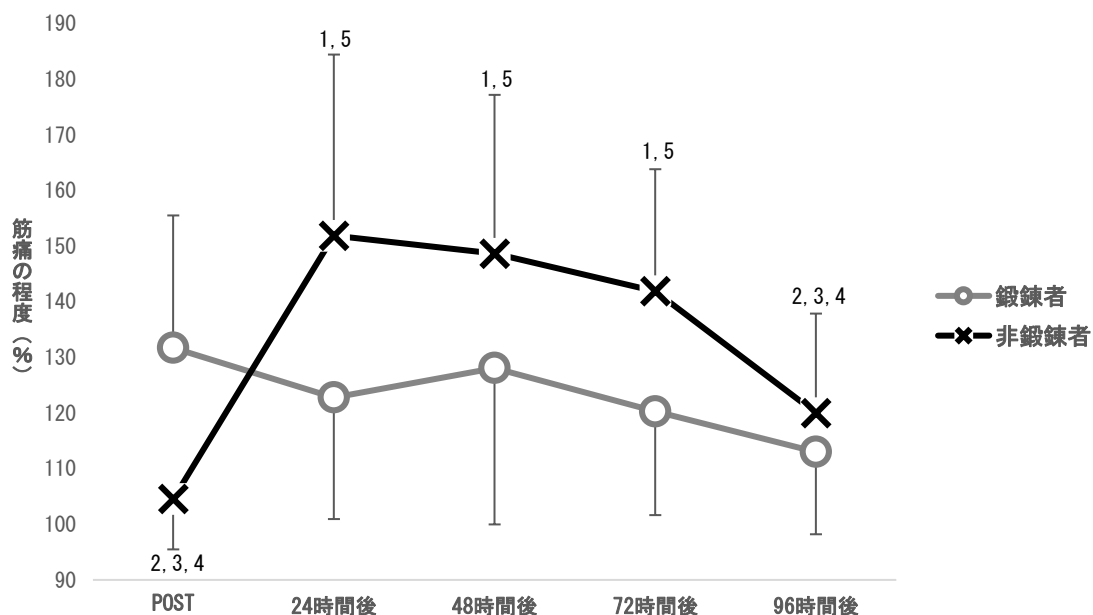


図 5-3 肘関節伸展痛

鍛錬者および非鍛錬者群における運動直後 (POST) および運動後 24 時間後～96 時間後の伸展痛の変化。値は平均 ± SD。(1 : POST ; 2 : 24 時間後 ; 3 : 48 時間後 ; 4 : 72 時間後 ; 5 : 96 時間後) 図中の数字は、多重比較検定の結果、有意差があった個所を示している。

表 5-1 運動直後 (POST) および運動後24時間後～96時間後の伸展痛の変化

	非鍛錬者		鍛錬者		F値	p値	偏 η^2	多重比較
	平均値 (%)	標準偏差	平均値 (%)	標準偏差				
1 POST	104.6	9.07	131.7	23.82	要因A 1.42	0.25	ns	0.08 非鍛錬者 : 1, 5 < 2, 3, 4
2 24時間後	151.9	32.55	122.8	21.86	要因B 7.67	0.00	*	0.32
3 48時間後	148.7	28.53	128.1	28.13	交互作用 9.62	0.00	*	0.38
4 72時間後	141.9	21.94	120.3	18.66				
5 96時間後	120.0	17.87	113.0	14.79				

要因A : 鍛錬者と非鍛錬者. 要因B : 時間. *: p < 0.05, ns : 有意差なし.

運動前 (PRE) の無痛状態を基準 (100%) とし, POST以降の痛みの状態を相対値で表示.

第4項 肘関節屈曲時の痛み

図5-4および表5-2は、運動直後から96時間後までの肘関節の屈曲痛における平均値、標準偏差、二要因分散分析と多重比較検定の結果を示している。二要因分散分析の結果、有意な交互作用が認められた。偏 η^2 は0.39であり、大きな差を示していた。多重比較検定の結果、運動直後の屈曲痛は、鍛錬群と非鍛錬群の間に有意差が認められ、鍛錬群の方が痛みは大きかった。また、鍛錬群の屈曲痛は、96時間後が運動直後および24時間後、48時間後よりも有意に低下し、運動直後にピークに達したのに対し、非鍛錬者群の屈曲痛は、24時間後～72時間後が運動直後よりも有意に高く、96時間後は24時間後および48時間後よりも有意に低かった。

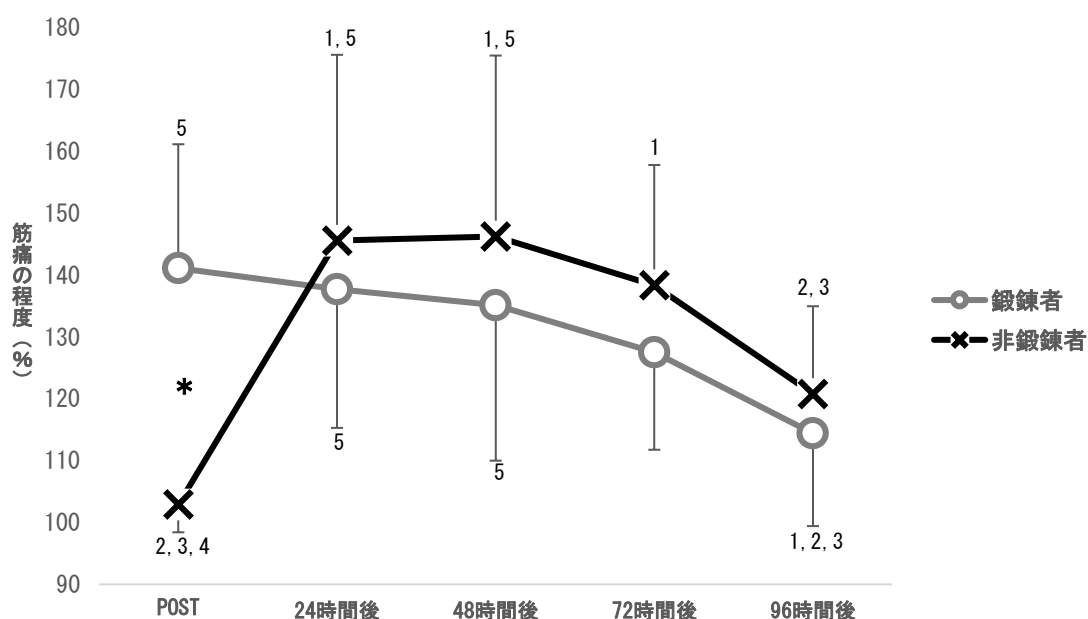


図 5-4 肘関節屈曲痛

鍛錬者および非鍛錬者群における運動直後 (POST) および運動後 24 時間後～96 時間後の屈曲痛の変化。値は平均 ± SD。(*:両群間有意差あり；1：POST；2：24 時間後；3：48 時間後；4：72 時間後；5：96 時間後) 図中の数字は、多重比較検定の結果、有意差があった個所を示している。

表 5-2 運動直後 (POST) および運動後24時間後～96時間後の屈曲痛の変化

	非鍛錬者		鍛錬者		F値	p値	偏 η^2	多重比較	
	平均値 (%)	標準偏差	平均値 (%)	標準偏差					
1 POST	102.9	4.48	141.1	20.04	要因A 0.00	0.96	ns	0.00	POST : 非鍛錬者<鍛錬者
2 24時間後	145.6	30.04	137.7	22.41	要因B 10.04	0.00	*	0.39	非鍛錬者 : 1<2, 3, 4 5<2, 3
3 48時間後	146.2	29.25	135.1	25.11	交互作用 10.08	0.00	*	0.39	鍛錬者 : 5<1, 2, 3
4 72時間後	138.3	19.45	127.5	15.74					
5 96時間後	120.8	14.18	114.4	14.98					

要因A : 鍛錬者と非鍛錬者. 要因B : 時間.

*: p<0.05, ns:有意差なし.

運動前 (PRE) の無痛状態を基準 (100%) とし, POST以降の痛みの状態を相対値で表示.

第5項 上腕筋群の疲労感

図 5-5 および表 5-3 は、運動直後から 96 時間後までの上腕筋群の疲労感における平均値、標準偏差、二要因分散分析と多重比較検定の結果を示している。分散分析の結果、時間の要因にのみ有意な主効果が認められた。偏 η^2 は 0.57 であり、大きな差を示していた。多重比較検定の結果、両群ともに運動直後は 48 時間後～96 時間後よりも有意に高かった。また、96 時間後は 24 時間後よりも有意に低下した。

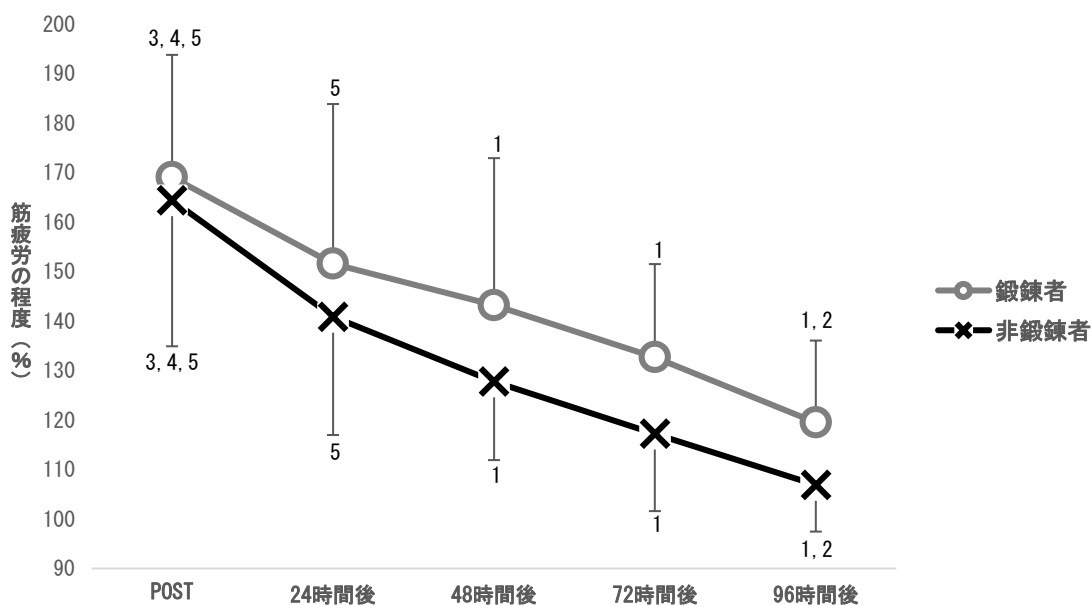


図 5-5 上腕筋群の疲労感

鍛錬者および非鍛錬者群における運動直後 (POST) および運動後 24 時間後～96 時間後の疲労感の変化。値は平均 ± SD。(1 : POST ; 2 : 24 時間後 ; 3 : 48 時間後 ; 4 : 72 時間後 ; 5 : 96 時間後) 図中の数字は、多重比較検定の結果、有意差があった個所を示している。

表 5-3 運動直後 (POST) および運動後24時間後～96時間後の上腕筋群の疲労感の変化

	非鍛錬者		鍛錬者		F値	p値	偏 η^2	多重比較
	平均値 (%)	標準偏差	平均値 (%)	標準偏差				
1 POST	164.4	29.53	169.1	24.71	要因A 2.53	0.13	ns	0.14 非鍛錬者 : 3, 4, 5<1 5<2
2 24時間後	140.9	23.90	151.6	32.28	要因B 21.19	0.00	*	0.57 鍛錬者 : 3, 4, 5<1 5<2
3 48時間後	127.8	15.86	143.2	29.74	交互作用 0.25	0.91	ns	0.02
4 72時間後	117.2	15.62	132.7	18.83				
5 96時間後	106.9	9.43	119.5	16.57				

要因A : 鍛錬者と非鍛錬者. 要因B : 時間.

*: p<0.05, ns: 有意差なし.

運動前 (PRE) の無痛状態を基準 (100%) とし, POST以降の痛みの状態を相対値で表示.

第4節 考察

第1項 筋痛

肘関節の繰り返し運動後の筋痛については、肘関節伸展時は運動直後から 96 時間経過するまで、各測定時の鍛錬者と非鍛錬者間に差は認められなかった。しかしながら、時間経過に伴う筋痛の変化については鍛錬者と非鍛錬者間で異なる傾向を示した。運動前を 100%とすると、鍛錬者は運動直後から約 131%で軽度の痛みの程度となり、その後 96 時間経過時点まで有意な差がない状態で変化がほとんどなかったのに対し、非鍛錬者は運動直後の痛みは平均で 105%程度であり、運動前の状態と同程度で痛みがほとんどない状態であったが、24 時間経過すると約 152%で中程度の痛みの強さまで上昇し、その後、緩やかに低下し、96 時間後には約 120%で軽度の痛みまで軽減する傾向を示した。また、偏 η^2 の結果から、これらの差は大きな差であったと推測される。

また、肘関節屈曲時の筋痛は、運動直後に鍛錬者は約 141%で軽度から中程度の痛みの程度を訴えていたのに対し、非鍛錬者は約 103%で伸展時と同様に運動前の状態と同程度で痛みがほとんどない状態であり、鍛錬者と明らかに異なる状態を示した。また、非鍛錬者は 24 時間後から 48 時間後まで経過すると約 146%で中程度の痛みを生じ、その後、緩やかに低下し、96 時間後には約 120%で軽度の痛みまで軽減する傾向を示した。一方で、鍛錬者は運動直後の急激な筋痛が発生したのちは、時間経過とともに緩やかに低下し、96 時間後には約 114%で軽度の痛みまで軽減していた。また、鍛錬者同様、偏 η^2 の結果から、これらの差は大きな差であったと推測される。

つまり、非鍛錬者は伸展時、屈曲時ともに運動直後の筋痛はほとんど発生しないが、その後に痛みが上昇する傾向を示すのに対し、鍛錬者は運動直後から軽度～中程度の筋痛を訴え、その後は現状維持または軽減していく傾向を示すことが明らかになった。この違いの原因は、非鍛錬者は運動負荷条件の 42%の達成率であったのに対し、鍛錬者は 76%であり、より高い負荷で運動条件を実施できた違いによるものと推測される。

本研究では、鍛錬者と非鍛錬者は共に各個人ごとの最大筋力を考慮した相対的負荷かつ同一回数、セットでコンセントレーション・カール、つまり肘関節の屈曲動作（短縮性収縮による運動）をメインとする運動負荷条件を実施した。しかしながら、鍛錬者と非鍛錬者の筋痛の発生状況に異なる傾向を示した原因として、発生する筋痛のメカニズムが異なることが示唆される。運動直後から 24 時間の間で、非鍛錬者の痛みの出現の傾向が鍛錬者と異なった原因として、不慣れな運動に伴う遅発性筋痛の出現の影響が考えられる。遅

発性筋痛は、不慣れな運動や久しぶりに運動を行った後に現れる筋痛であり(野坂、2002)、運動中あるいは運動直後に痛みはまったくなく、痛みは運動後8~24時間あたりで出現し、運動後2~3日でピークに達することが報告されている(Cleak and Eston, 1992; Dolezal et al., 2000; Thompson et al., 1999)。遅発性筋痛については筋損傷説などいくつかの仮説があり、明確な原因は明らかになっていない点も多いが、繰り返し運動を行うようになると顕著に軽減されることは明らかにされており(野坂、2002)、本研究で普段まったく運動を行っていない非鍛錬者には運動直後ではなく24時間以降に筋痛が発生した一方で、鍛錬者に現れる運動直後から筋痛が出現し時間経過とともに軽減していく傾向と一致する。

本来、遅発性筋痛はエキセントリック運動、つまり伸張性の負荷がかかる場合にのみ出現するといわれている(Kellis and Baltzopoulos, 1995; 野坂、2001)。よって、本研究で行ったコンセントレーション・カールのような短縮性の運動を主体とするトレーニング時には遅発性筋痛は発生しにくいと考えられる。実際、鍛錬者の群においては肘伸展時、屈曲時ともに運動直後からの痛みを生じており、遅発性筋痛ではなく、即発性筋痛が痛みの主たる原因と推測される。しかしながら、同じ相対的な負荷の条件で行った非鍛錬者のみコンセントレーション・カールによって遅発性筋痛が出現した理由として、不慣れな運動を実施したことによる影響であると考えられる。遅発性筋痛は不慣れな運動や久しぶりの運動を行った際に発生するといわれており(野坂、2002)、非鍛錬者は普段行わない強度でのトレーニングを実施したことで遅発性筋痛が生じたと推測される。また、コンセントレーション・カール自体は屈曲動作をメインとしたトレーニングであるが、実際には、ダンベルを挙げた後、降ろす動作(伸展動作)も伴う。本研究で実施した最大筋力の85%程度の負荷は、鍛錬者にとっては、適度な強度であったとしても、非鍛錬者にとってはダンベルをおろす伸展動作時の負荷としても強度が高すぎた可能性も示唆される。つまり、遅発性筋痛の原因とされるエキセントリックな運動時に慣れない強い負荷がかかったことで、非鍛錬者は遅発性筋痛が生じたと推測される。一方、普段ウェイトトレーニングを実施していなくても、その部位を動かすトレーニングの頻度が高い鍛錬者の場合、筋痛の発生や回復の状態はウェイトトレーニングの実施者と類似した傾向を示すことが明らかになった。

第2項 筋疲労

本研究の結果より、筋の疲労感については、鍛錬者と非鍛錬者で同様の傾向を示すことが明らかになった、つまり、運動直後に、鍛錬者、非鍛錬者共に筋疲労は最大値を示し、

その後、両群ともに時間経過に伴い徐々に筋疲労は低下していった。筋疲労は、筋肉の pH が酸性に傾くこと、筋肉を収縮するためのエネルギー源となる筋グリコーゲン(糖の一種)が枯渇する、あるいは、高強度の運動時にリン酸がカルシウムと結合してカルシウムの放出が阻害されることによって筋疲労が起こる(小宮ら、2012; 片山ら、1994; 和田ら、2006)などの様々な説があるが、筋の疲労感には鍛錬者と非鍛錬者には違いがないことが明らかになった。今回は局所のトレーニングに対する主観的な疲労感の調査であったため、全身運動のようなエネルギーの枯渇などに由来する疲労感とは異なり、作業中に生じる筋疲労感が最も強く、その後時間経過とともに減少するのは鍛錬者も非鍛錬者も同様であったと考えられる。しかし、原因となる疲労物質の影響や、主観的な筋疲労感ではなく実際に筋力がどの程度低下していたのかについての詳細は、今回の研究では検査できていないため、今後の検討課題とする。

よって、ウェイトトレーニング自体の実施経験が無く、ガイドラインでいえば共に初心者のカテゴリーに属する状態である鍛錬者と非鍛錬者であるが、非鍛錬者のトレーニング計画を作成する際には、運動直後の筋痛の様子を確認した際に、痛みが無い、あるいは少ないという発言から、トレーニングの負荷が低すぎると判断しないように注意する必要がある。また、ガイドラインで定められた週 2~3 回程度の頻度(Earle and Baechle, 2010; Sheppard and Triplett, 2018)で計画すると、遅発性筋痛の影響により筋痛が持続している期間中にトレーニングを実施しなければならない可能性が高い。遅発性筋痛発生時は、軽い負荷での運動であれば痛みが軽減し回復過程にも影響しないとする報告もあるが、一方で、負荷が大きい場合の影響や痛みの程度と損傷の程度に関する詳細については不明な点も多い(野坂、2001)。つまり、非鍛錬者の場合、運動直後の様子や筋疲労感でなく、遅発性筋痛が現れる 24 時間以降、特に 72 時間前後の筋痛の状況を注意して確認し、次のトレーニングを実施するまでの期間を短く設定しすぎないことや、高すぎない負荷の設定を検討する必要があることが本研究の結果から明らかになった。一方、鍛錬者は同部位を普段から別のトレーニングで使用していることから、遅発性筋痛の出現も認められず、ウェイトトレーニングの経験者と類似した傾向を示すことが明らかになった。よって、通常通りのガイドラインに従ったトレーニング計画で問題ないと考えられる。以上より、ウェイトトレーニングの初心者に対するトレーニング計画を作成する際には、これまでのガイドラインの指標を参考にしつつも普段から別の運動を実施している鍛錬者か非鍛錬者かでも遅発性筋痛の影響を考慮したうえでそれぞれの計画を立てる必要があろう。

第5節 小括

本研究の結果より、以下のことが明らかになった。

1. 伸展時の筋痛は、鍛錬者は時間経過に伴う変化がなかったが、非鍛錬者は、運動直後は低く、24時間以降に上昇した。
2. 非鍛錬者の屈曲時の筋痛は、運動直後、鍛錬者よりも低かったが、24時間後に上昇した。
3. 筋の疲労感については、鍛錬者と非鍛錬者に差はなく、運動直後に最大値を示し、その後、徐々に低下した。

第6章

ウェイトトレーニング初心者における 他のトレーニング実施経験が上肢のウェイト トレーニング後の筋力回復過程におよぼす影響

【関連論文】

李忠林, 野口雄慶, 山田孝禎 :

ウェイトトレーニング初心者の筋力回復過程におよぼす他のトレーニング経験の影響
—上肢のウェイトトレーニングを対象として—

北陸スポーツ・体育学研究, 第5号, 印刷中. 令和6年3月発刊予定 (査読あり)

第1節 緒言

第5章において、非鍛錬者は、鍛錬者に比べて、同じ運動負荷条件を課した際の達成率が低くても運動直後の筋痛の程度が小さいが、運動24時間後からは筋痛の程度が大きくなることが明らかになった。一方、筋疲労感は鍛錬者と非鍛錬者で同じ傾向を示した。

本章では、第5章の筋痛や筋疲労感といった被験者の主観的な感覚情報による比較の結果を受け、鍛錬者と非鍛錬者において、実際に筋力発揮の回復程度の違いについて更に検討を進める。非鍛錬者はトレーニングの導入期間に十分な回復をまたずに2回目以降のトレーニングを実施すると、負荷に耐えられずケガが発生したり、モチベーションの低下が生じるなどの原因によって、トレーニングからのドロップアウトにつながる事が予測される。

よって、本研究では上肢（肘関節）のウェイトトレーニング後の筋力の回復過程について、鍛錬者と非鍛錬者で比較することを目的とした。

第2節 方法

第1項 被験者

被験者は、第4章2節1項に示したとおりである。

第2項 実験手順

1) 運動負荷条件

運動負荷条件は、第4章2節2項に示したとおりである。

2) 達成率の調査

達成率の調査は、第4章2節3項に示したとおりである。

3) 上腕二頭筋のアイソメトリック筋力発揮値の測定

上腕二頭筋のアイソメトリック筋力発揮値の測定は、第4章2節3項に示したとおりである。

第3項 統計処理

筋力発揮値の試行間信頼性を検討するために、級内相関係数 (ICC (1, 1)) を算出した。鍛錬者と非鍛錬者の運動負荷条件の達成率の比較ために、対応のない t-検定を用いた。運動前の筋力発揮値を基準 (100%) として、運動負荷条件後の各時点の筋力発揮相対値を以下の計算式により算出した。

$$(式) \quad \text{筋力発揮相対値 (\%)} = (\text{各時点筋力発揮値} / \text{運動前筋力発揮値}) \times 100$$

筋力発揮相対値について、95%信頼区間の算出、および一要因のみ対応のある二要因分散分析 (鍛錬群・非鍛錬群×経過時間) を実施し、要因ごとの効果の大きさを偏 η^2 により求めた。分散分析の結果、有意な主効果あるいは交互作用が認められた場合、Tukey HSD 法による多重比較検定を実施した。なお、本研究の有意水準は 5%とした。

第3節 結果

第1項 運動負荷条件の達成率

図5-2（第5章）は、運動負荷条件の達成率について鍛錬者と非鍛錬者の比較を対応のないt検定で比較した結果を示している。検定の結果、鍛錬者の達成率は、非鍛錬者の達成率に比べて有意に高かった($t = -4.12, p < 0.05$)。

第 2 項 上腕二頭筋のアイソメトリック筋力発揮値の試行間信頼性、相対値および 95%信頼区間

筋力発揮値の試行間信頼性を検討した結果、運動直後から 96 時間後までの ICC はすべて 0.98 以上の高い値を示した。

図 6-1 および表 6-1 は、運動直後から 96 時間後までの上腕二頭筋のアイソメトリック筋力発揮相対値における平均値、標準偏差、95%信頼区間、および二要因分散分析、多重比較検定の結果を示している。非鍛錬者群は運動直後から 96 時間後まで全て、鍛錬者群においては、運動直後から 24 時間後までの期間において、筋力発揮相対値の 95%信頼区間は最大値、最小値共に 100%を下回っていた。二要因分散分析の結果、有意な交互作用が認められなかった。多重比較検定の結果、筋力発揮相対値は鍛錬者群よりも非鍛錬者群の方が有意に高かった。また、運動直後および 24 時間後の筋力発揮相対値は 48 時間後～96 時間後の値よりも有意に低かった。

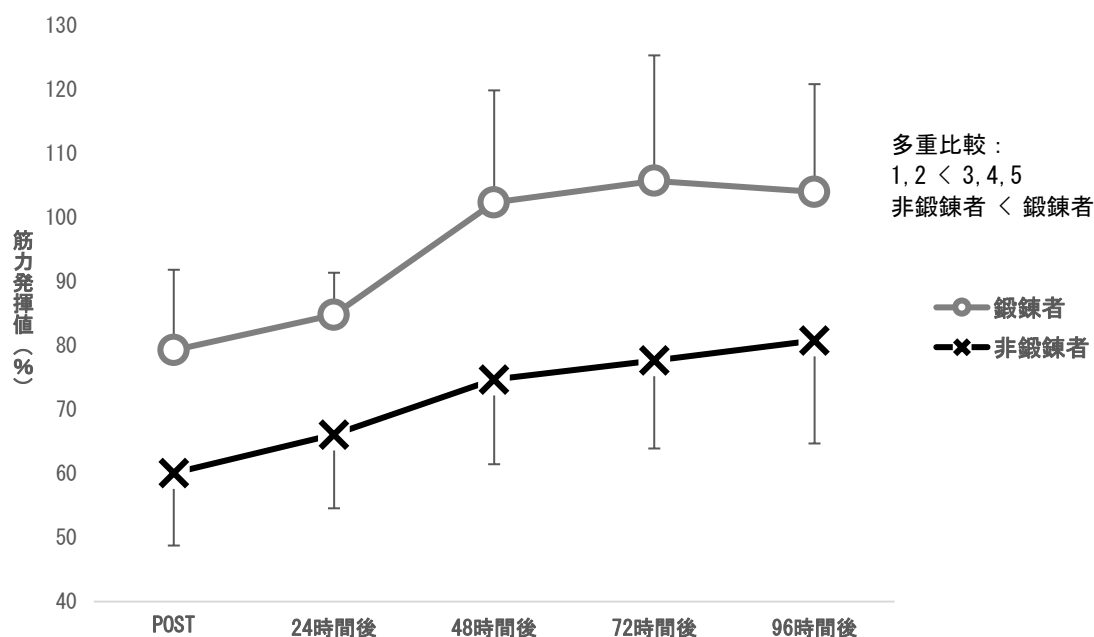


図 6-1 上腕筋群の筋力発揮値

鍛錬者および非鍛錬者群における運動直後 (POST) および運動後 24 時間後～96 時間後の筋力発揮値の変化。値は平均 ± SD。(1 : POST ; 2 : 24 時間後 ; 3 : 48 時間後 ; 4 : 72 時間後 ; 5 : 96 時間後)

表 6-1 運動直後 (POST) および運動後24時間後～96時間後の最大努力アイソメトリック筋力発揮値と95%信頼区間

	鍛錬者				非鍛錬者				F値	p値	偏 η^2	多重比較
	平均値 (%)	標準偏差	95%信頼区間	平均値 (%)	標準偏差	95%信頼区間						
1 POST	79.2	12.55	69.8 - 88.7	60.1	11.32	50.8 - 69.3	要因A	15.64	0.00 *	0.49	非鍛錬者<鍛錬者	
2 24時間後	84.8	6.56	79.8 - 89.7	66.1	11.52	56.7 - 75.5	要因B	20.40	0.00 *	0.56	1, 2<3, 4, 5	
3 48時間後	102.3	17.49	89.1 - 115.5	74.7	13.23	63.9 - 85.5	交互作用	0.93	0.45 ns	0.05		
4 72時間後	105.7	19.59	90.9 - 120.4	77.6	13.73	66.4 - 88.8						
5 96時間後	103.9	16.81	91.3 - 116.6	80.7	16.07	67.7 - 93.9						

要因A：鍛錬者と非鍛錬者， 要因B：時間。

*:p<0.05, ns:有意差なし。

運動前の筋力発揮値を100%とし， 運動前の変化に応じて運動直後 (POST) ， 24時間後， 48時間後， 72時間後， 96時間後の相対値を算出した。

第4節 考察

本研究では、トレーニング計画として1RMの85%の相対重量で6回を6セットのプログラムを設定した。この負荷設定値は本来、一般的な筋力向上のためのトレーニング負荷の推奨値として示されている基準を参考に設定した（目的：筋力向上、負荷：1RMの85%以上、目標レップ数：6回以下、セット数：2～6セット）（Earle and Baechle, 2010; Sheppard and Triplett, 2018）。ただし、今回の被験者はウェイトトレーニングの経験が無いが、専門競技（剣道）のトレーニングの経験の有無の違いがあり、個々人の能力の差が大きい可能性が高いことから、負荷については最小負荷の85%に設定し、レップ数、セット数については最大数、つまり6回×6セットを目標値として提示し、実際には、各被験者が最大限実施できるところまでを負荷条件とした。この負荷条件にて、疲労困憊まで肘屈曲運動を繰り返し行わせることができたかを確認するため、達成率を確認した結果、鍛錬者は8割程度、非鍛錬者は4割程度の達成率であった。

運動前を基準（100%）とした場合、筋力発揮相対値は鍛錬者の方が非鍛錬者よりも高かったことから、運動後の筋力低下は全体的に非鍛錬者の方が著しいことが明らかになった。また、運動直後から24時間後の間の筋力発揮相対値はそれぞれ約15～20%（鍛錬者）、約34～40%（非鍛錬者）程度低下しており、ともに48時間以降と比較して筋力の低下が大きかったことが明らかになった。その後、48時間以降には筋力発揮相対値は鍛錬者、非鍛錬者ともに上昇し、鍛錬者は48時間後、72時間後、96時間後に平均値で102.29%、105.66%、103.95%になり、また、95%信頼区間の範囲も最大値が100%を超える状態になっていることから、運動前の100%の状態に近い値になることが明らかになった。それに対して、非鍛錬者の場合は48時間後、72時間後、96時間後に平均値では元の状態の74.67%、77.63%、80.75%程度に留まり、運動後4日間経過しても運動前よりも20%近く低い状態であること、また95%信頼区間の最大値も100%以下の状態であることが明らかになった。

よって、鍛錬者はウェイトトレーニング後2日間程度の期間で筋力が回復する。つまり、ウェイトトレーニングについては初心者であっても、鍛錬者が普段からトレーニングで使用している部位を対象にウェイトトレーニングを行う際には、上級者のガイドラインとして提示されている週4回以上のウェイトトレーニングの頻度（Earle and Baechle, 2010; Sheppard and Triplett, 2018）と同様の間隔でも筋力が十分に回復し、問題ないことが明らかになった。

一方、非鍛錬者は96時間後になっても運動前の状態まで筋力が十分に回復しておらず、

同じウェイトトレーニングの初心者である鍛錬者とは異なる傾向を示した。この原因として、不慣れな運動や久しぶりの運動を行った際に発生する DOMS (野坂、2002) が影響していることが考えられる。この DOMS の根本的なメカニズム (Davies and White, 1981; Bobbert et al., 1986; Armstrong, 1984; Smith, 1991; Cleak and Eston, 1992; Al-Nakhli et al., 2012) が何であるかは明らかになっていないことも多いものの、少なくとも DOMS は、運動後の「疲労」にも影響をもたらすこと (Talag, 1973; Armstrong, 1984; Miles and Clarkson, 1994) や、DOMS の発生に伴って、筋力低下が持続することが推測されている (Nosaka et al., 2002)。また、筋損傷の程度の指標である CK 活性値 (Moghadam-Kia et al., 2016) について、Dolezal et al. (2000) は、レジスタンストレーニング後、ウェイトトレーニング経験がある人とウェイトトレーニング経験が無い人の CK 活性値は両者とも 2~3 日後に上昇したが、それらの値はウェイトトレーニング経験が無い人がウェイトトレーニング経験がある人に比べて有意に高かったことを報告している。また、同様の運動を実施した後に、ウェイトトレーニング経験がある人はウェイトトレーニング経験が無い人に比べて筋痛が軽減され、CK 活性の増加が弱まり、ウェイトトレーニング経験がある人の筋肉損傷の程度も軽い可能性があることが示されている (Clarkson and Tremblay, 1988; Ebbeling and Clarkon, 1989; Hather et al., 1991; Nosaka and Clarkson, 1995)。つまり、DOMS には適応性 (Clarkson et al., 1992; Bar et al., 1994; Cleary et al., 2002) があり、同じ部位をトレーニングした後、次のトレーニングでは DOMS の発生を抑えることができる。よって、鍛錬者はウェイトトレーニング経験が無いが、同じ部位のトレーニング経験があることから、先行研究の事例 (Clarkson and Tremblay, 1988; Ebbeling and Clarkon, 1989; Hather et al., 1991; Nosaka and Clarkson, 1995) と同様に DOMS への適応性が働き、非鍛錬者より回復期間が短くなったと考えられた。

つまり、非鍛錬者はこのような DOMS や筋の損傷が鍛錬者よりも強いことが影響して、4 日間 (96 時間) 経過しても元の状態にまで筋力が戻らなかったと推測される。本研究では、96 時間以上の期間まで測定を継続していないことから、96 時間以降の状態についての詳細は今後更に研究を進める必要があるが、少なくとも、初心者に推奨されている週 2 回のトレーニング頻度 (Earle and Baechle, 2010; Sheppard and Triplett, 2018) では 3~4 日間の間隔での実施が求められる。よって、この期間では非鍛錬者の筋力が完全に回復しない期間内でのトレーニング再開になってしまうため、十分なトレーニングの効果が得られないことにつながる、あるいは安全管理上でも問題があると推測される。

実施頻度については、これまでウェイトトレーニング自体の初心者か上級者かに焦点が当てられ決定していたが、初心者の中にも、ウェイトトレーニング以外の一般的なトレーニングを実施している鍛錬者と非鍛錬者が存在しており、両者を同等に扱うことが適切かについて検討する必要がある。そのため、ウェイトトレーニング後の両者の回復状況が同じか否かを明らかにする必要がある。本研究の結果より、鍛錬者は、普段使用している部位に対してウェイトトレーニングを初めて行う際でも、非鍛錬者よりもレップ数やセット数を多く実施することが可能であり、筋力低下の度合いや元の状態までの回復も早いことが明らかになった。これは、異なる種類のトレーニングの実施であっても、上級者に近い状態でウェイトトレーニングのプログラムに適応できることを示していることから、トレーニング強度は従来のガイドラインと同程度のままで、目標とするレップ数やセット数、あるいは頻度を高く設定することが可能であることが示唆された。一方、トレーニング経験が無い非鍛錬者の場合は、運動負荷条件の達成率が平均で40%と低いにも関わらず、4日間経過しても元の状態に筋力が回復しないことから、初回にはトレーニング強度、レップ数やセット数は最小限に止め、開始からしばらくの期間は、初心者用の週2回のウェイトトレーニングの頻度でも多すぎる可能性があることから、週1回またはそれ以上の期間を取り、安全面を最優先したトレーニング頻度で計画を立てることが望ましいと考えられる。ただし、非鍛錬者のトレーニング強度の具体的な数値目標については本研究の結果からは明らかにすることができないため、今後更に詳細を検討する必要がある。

以上より、単にウェイトトレーニングの初心者か否かだけでなく、他のトレーニングの経験も初期の計画作成時に影響を及ぼす要因であることが本研究の結果より明らかになった。具体的には、トレーニングの経験がまったく無い人（非鍛錬者）は、初回のウェイトトレーニング後、少なくとも5日間以上の休養を取り、その後、個人差（回復状況）に応じて2回目のトレーニングの実施計画を立てることが必要であることが明らかになった。

ただし、本研究で得られた結論については、鍛錬者を特定の競技種目（剣道）の男性に絞った点、上肢（上腕二頭筋）に部位が限定された中での結論であることから、一般化にあたり今後の課題として他の競技種目や部位について、あるいは女性や他の年代など幅広い対象について検討を進めていく必要がある。

第5節 小括

本研究の結果より、以下のことが明らかになった。

- 1.運動負荷条件後の筋力発揮相対値は鍛錬者群よりも非鍛錬者群の方が有意に低い。
- 2.運動直後および24時間後の筋力発揮相対値は48時間後～96時間後の値よりも有意に低い。
- 3.鍛錬者群は運動負荷条件後、48時間で筋力発揮相対値が100%程度になるが、非鍛錬者群は48時間経過後も100%以下の状態を示す。

第7章

総括

第1節 研究結果の要約および結論

ウェイトトレーニングのガイドラインについては、数年ごとにアップデートされ、更新された情報が提示されるものの、一般人の筋力を強化するためのウェイトトレーニングに関しては週2回以上の実施という基本的な内容についてはほとんど変更がないまま現在に至る（門間ら、2021a）。基本的ガイドラインでは、ウェイトトレーニングステータスが初心者（以下、初心者）の場合は、上級者と同様の回復期間でウェイトトレーニングを実施することはせず、ウェイトトレーニング間の休息時間を多くとるため、均等な間隔を置いて週2回あるいは3回のセッションを設定する（Earle and Baechle, 2010; Sheppard and Triplett, 2018）。

しかし、ウェイトトレーニングの経験は無い初心者であっても、普段から他のトレーニングを実践している者（以下、鍛錬者）や、初心者のレベルにも到達していない、つまり、ウェイトトレーニングを含めまったくの運動を実施していない者（以下、非鍛錬者）のような対象では、筋痛や筋疲労、あるいは筋力発揮値の回復状況も異なることが推測される。よって、初心者、特に鍛錬者と非鍛錬者の違いに留意しながらウェイトトレーニング後の回復状況を筋痛や筋疲労のような主に主観的指標にもとづく情報と、筋力発揮値のように測定機器を用いて客観的に測定できる情報（データ）を総合的に判断していくことが重要であると考えられる。

現在のガイドラインの期間で十分な回復ができないことが明らかになった場合は、非鍛錬者の導入期間用の回復期間を設定することで、トレーニングからのドロップアウトやケガの予防を考慮したトレーニングの計画を作成することが可能になり、本研究の結果はその計画を作成する上で有益な情報をもたらすことが期待される。

以上のことから、本研究ではまず、

- 1) ウェイトトレーニング初心者における他のトレーニング実施経験が上肢のウェイトトレーニング後の筋痛および筋疲労感の回復過程におよぼす影響
- 2) ウェイトトレーニング初心者における他のトレーニング実施経験が上肢のウェイトトレーニング後の筋力回復過程におよぼす影響

を検討課題として設定した。

本研究における研究課題を検証するために、課題ごとに提示した被験者を対象に種々の測定を実施した。図4-1の研究手順に従い、本研究で設定した2つの検討課題を実施した。

定義された用語、本研究で選択した被験者、テスト手順および測定方法、あるいは統計解析法、等の限界の下で、各章で得られた知見を以下に要約する。

第2節 各研究課題の結果

第1項 ウェイトトレーニング初心者における他のトレーニング実施経験が上肢のウェイトトレーニング後の筋痛の回復過程におよぼす影響

1. 伸展時の筋痛は、鍛錬者は時間経過に伴う変化がなかったが、非鍛錬者は、運動直後には低く、24時間以降に上昇した。
2. 非鍛錬者の屈曲時の筋痛は、運動直後、鍛錬者よりも低かったが、24時間後に上昇した。
3. 鍛錬者の屈曲時の筋痛は96時間後より運動直後、24時間後、48時間後において低かった。

以上、伸展時筋痛および屈曲時筋痛の変化に基づき、鍛錬者は運動直後にピークに達し、24時間後以降下降した。一方、非鍛錬者は運動直後に鍛錬者よりも低く、24時間後及び48時間後にピークに達し、96時間後に回復が始まることが明らかになった。

第2項 ウェイトトレーニング初心者における他のトレーニング実施経験が上肢のウェイトトレーニング後の筋疲労感の回復過程におよぼす影響

1. 筋の疲労感については、鍛錬者と非鍛錬者に差はない。
2. 筋の疲労感については、運動直後に最大値を示し、その後、徐々に低下した。

以上、筋の疲労感の変化に基づき、鍛錬者と非鍛錬者の間に同じ傾向があることが明らかになった。両者とも、運動直後に最大疲労感が生じ、その後、徐々に回復することが明らかになった。

第3項 ウェイトトレーニング初心者における他のトレーニング実施経験が上肢のウェイトトレーニング後の筋力回復過程におよぼす影響

1. 運動負荷条件後の筋力発揮相対値は鍛錬者群よりも非鍛錬者群の方が有意に低い。
2. 運動直後および24時間後の筋力発揮相対値は48時間後～96時間後の値よりも有意

に低い。

3. 鍛錬者群は運動負荷条件後、48 時間で筋力発揮相対値が 100%程度になるが、非鍛錬者は 48 時間経過後も 100%以下の状態を示す。

以上、鍛錬者では、48 時間後から筋力発揮の回復が始まることが明らかになった。また、鍛錬者群は運動負荷条件後、48 時間で筋力発揮相対値が 100%程度を示す。非鍛錬者では、96 時間後に筋力発揮の回復が始まることが明らかになった。また、非鍛錬者は 96 時間経過後も 100%以下の状態を示す。

第3節 結語

鍛錬者のウェイトトレーニング後の筋の状態は、屈曲時の筋痛、筋疲労の程度および筋力発揮値のすべての項目において、48 時間後に回復する傾向があることが明らかになった。また、伸展時の筋痛に関しては運動後には生じないことが明らかになった。一方、非鍛錬者では、筋疲労の回復傾向は鍛錬者と同様の傾向を示し、48 時間以降に回復したが、屈曲時、伸展時ともに筋痛は運動直後には低いと 24 時間後に上昇し、その後、96 時間以降で回復する傾向にあり、鍛錬者と比較して運動直後の痛みが発生しにくいことや、回復には 2 倍近く期間を要することが明らかになった。また、運動前と比較した筋力発揮値（相対値）は鍛錬者に比べ全体的に低い傾向を示し、96 時間の時点でも 100%の状態まで回復しないことも明らかになった。

本研究で取り上げた筋痛、筋疲労、筋力発揮値はいずれもトレーニングの際に筋の状態を把握するための指標となりうる情報であるが、鍛錬者の場合は 3 つの項目とも同様の傾向を示すことから、ウェイトトレーニングを初めて行う際にも、その 3 つのいずれかで筋の回復状況を把握しても問題ないと考えられる。つまり、専用の測定器具が必要な筋力発揮値を測定せずとも、筋痛や筋疲労といった簡易の測定結果をもとに回復状況を判断し、次のトレーニングの実施が可能かを判断することができると考えられる。また、その期間の目安としては、本研究の結果から 48 時間程度であることも明らかになった。

一方で、非鍛錬者は、3 つの項目では、回復の傾向にばらつきがあり、客観的な指標である筋力発揮値は 96 時間後でも 100%の状態まで回復していないにも関わらず、筋痛や筋疲労といった主観的情報に基づく指標では、早い段階で回復を示す状態となっている。よって、鍛錬者のようにいずれの項目でも回復状況が把握できるわけではなく、主観的な筋痛や筋疲労の情報でなく、実際の筋力発揮値を参考に回復状況を確かめる方が望ましいと考えられる。また、今回の研究では 96 時間まで測定したが、非鍛錬者の筋力発揮値の回復が 100%に戻る時点が明らかにできなかったため、鍛錬者よりも回復のための期間を設ける必要があることは明らかになったものの、どの程度必要かについては、今後の検討課題として、更に観察時間を長く設定することが必要である。つまり、今後、非鍛錬者を対象としたウェイトトレーニング計画を開発する際には、現存の初心者用のガイドラインよりも回復（休息）期間の延長を検討する必要があることが明らかになった。

第4節 今後の課題

鍛錬者と非鍛錬者について、肘関節の繰り返し運動後の筋痛、筋疲労の程度および筋力発揮値の比較の検討を通して、今後さらに検討が必要と考えられる具体的研究課題は以下に示すとおりである。

1. 筋機能の回復過程における性別の検討

男女の筋機能の差に関する研究は多く、性別の差があることが明らかになっている。しかし、運動後の筋機能の回復過程に関する研究は珍しく、筋機能の回復は筋パフォーマンスとは異なるため、運動後の筋に対する負の影響の発生について、筋機能の回復過程に関する男女間の研究が必要であると考えられる。

2. 筋機能の回復過程の発育発達学的変化（児童、成人、高齢者の比較）の検討

現在、筋機能の年代差は明らかになっており、回復能力も年齢によって異なる可能性がある。特に、初心者の筋の回復については不明な点も多いため年齢ごとの筋機能の回復能力の差について今後検討する必要があると考えられる。

3. 競技種目における筋機能の回復過程の比較の検討

本研究を通じて、鍛錬者と非鍛錬者では、筋機能の回復能力に差があることが明らかになった。しかし、本研究の鍛錬者は剣道選手に限定された結果である。よって、他の競技種目（例：野球、バドミントン、水泳などの選手）、あるいは日常生活や労働で多用する筋の部位でも、同様の筋機能の回復過程を示すかについては検討が必要であると考えられる。

4. 運動部位の違いにおける鍛錬者と非鍛錬者の筋機能の回復過程の比較の検討

今回の研究では、上肢のトレーニング経験がある被験者を対象に、実験のエクササイズを上肢の課題にて実施した。しかしながら、下肢のトレーニング経験のある人（例：サッカー、走り高跳び、走り幅跳びなど）を対象に、下肢をターゲットとして実験を行った場合、同様の傾向を示すかについては、今後検討を進める必要があると考えられる。

引用・参考文献

- Abraham W. M. (1977) Factors in delayed muscle soreness. *Medicine and Science in Sports*, 9(1): 11-20.
- Al-Nakhli H. H., Petrofsky J. S., Laymon M. S., Berk L. S. (2012) The Use of Thermal Infra-Red Imaging to Detect Delayed Onset Muscle Soreness. *Journal of Visualized Experiments*, (59):3551.
- 青野杏子・鈴木伸弥・大塚裕之・二橋元紀・笹田周作・小宮山伴与志 (2013) 全力ペダリング運動後に誘発される大腿部の急性痛について. *千葉体育学研究*, 35: 9-16.
- 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.
- Asmussen E. (1956) Observations on experimental muscular soreness. *Acta Rheumatologica Scandinavica*, 2: 109-116.
- Aura O., and Vitasalo J.T. (1989) Biomechanical characteristics of jumping. *International Journal of Sport Biomechanics*, 5(1): 89-97.
- Bar D. P. R., Anne J. B. R, Radboud W. K. and Hans G. J. A. (1994) Exercise-induced muscle damage: recent development. *Basic and Applied Myology*, 4(1): 5-16.
- Bigland-Ritchie B. (1981) EMG/Force relations and fatigue of human voluntary contractions. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 9: 75-117.
- Bobbert M. F., Hollander A. P., Huijing P. A. (1986) Factors in delayed onset muscular soreness of man. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 18(1): 75-81.
- Bompa T. O. (1994) *PERIODIZATION OF STRENGTH*. VERITAS PUBLISHING. ING, Tronto, 218-219.
- Bompa T. O. (2006) 休息と回復. 尾縣貢・青山清英 (訳) 競技力向上のトレーニング戦略. 大修館書店, pp.66-104.
- Bosco C., and Komi P.V. (1979) Potentiation of the mechanical behavior of the human skeletal muscle through prestretching. *Acta Physiologica Scandinavica*, 106: 467-472.

- Brown S., Day S. and Donnelly A. (1999) Indirect evidence of human skeletal muscle damage and collagen breakdown after eccentric muscle actions. *Journal of Sports Sciences*, 17(5): 397-402.
- Carrasco D. I., Delp M. D., Ray C. A. (1999) Effect of concentric and eccentric muscle actions on muscle sympathetic nerve activity. *Journal of Applied Physiology*, 86: 558-563.
- Cheung K., Hume P. A., Maxwell L. (2003) Delayed Onset Muscle Soreness. *Sports Medicine*, 33: 145–164.
- Cleak M. J. and Eston R. G. (1992) Delayed onset muscle soreness: mechanisms and management. *Journal of Sports Sciences*, 10(4): 325-341.
- Clarkson P. M., Nosaka K., Braun B. (1992) Muscle function after exercise-induced muscle damage and rapid adaptation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(5): 512-520.
- Clarkson P. M. and Tremblay I. (1988) Exercise-induced muscle damage, repair, and adaptation in humans. *Journal of Applied Physiology*, 65: 1-6.
- Cleary M. A., Kimura I. F., Sitler M. R., Kendrick Z. V. (2002) Temporal pattern of the repeated bout effect of eccentric exercise on delayed-onset muscle soreness. *Journal of Athletic Training*, 37(1): 32-36.
- Coutts A. J. and Cormack S. (2016) トレーニングに対する反応のモニタリング. Joyce D. and Lewindon D. (編) 野坂和則・沼澤秀雄 (訳) ハイパフォーマンスの科学—トップアスリートをめざすトレーニングガイド—. 有限会社ナップ, pp. 71-85.
- Croisier J. L., Camus G., Venneman I., Deby-Dupont G., Junchmes-Ferir A., Lamy M., Crielaer J. M., Deby C., and Duchateau J. (1999) Effects of training on exercise-induced muscle damage and interleukin 6 production. *Muscle and Nerve*, 22: 208-212.
- Davies C. T. M. and White M. J. (1981) Muscle weakness following eccentric work in man. *Pflügers Archiv*, 392: 168-171.
- DeLorme T. L. (1945) Restoration of muscle power by heavy-resistance exercises. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 27(4): 645-667.

- De Vries H. A. (1961) Electromyographic observations of the effects of static stretching upon muscular distress. *Research Quarterly*, 32: 468-479.
- De Vries H. A. (1966) Quantitative EMG investigation of the spasm theory of muscle pain. *American Journal of Physical Medicine*, 45: 119-134.
- 出村慎一・村瀬智彦 (2010) トレーニング論の基礎. 出村慎一・村瀬智彦 (編) 健康・スポーツ科学入門 (改訂版). 大修館書店, pp. 116-128.
- Dolezal B. A., Potteiger J. A., Jacobsen D. J. and Benedict S. H. (2000) Muscle damage and resting metabolic rate after acute resistance exercise with an eccentric overload. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(7): 1202-1207.
- Earle R. W. and Baechle T. R. (2010) レジスタンストレーニングのプログラムデザイン. Earle R. W. and Baechle T. R. (編), 福永哲夫 (監) パーソナルトレーナーのための基礎知識. 森永製菓株式会社, pp. 373-410.
- Ebbeling C. B. and Clarkson P. M. (1989) Exercise-induced muscle damage and adaptation. *Journal of Applied Physiology*, 7: 207-234.
- 遠藤隆志・三田村将史・中島剛・高橋麗・小宮山伴与志 (2004) 鍛錬者と非鍛錬者における持続的な最大筋力発揮中の中枢性および末梢性疲労の発現. *体力科学*, 53: 211-220.
- 福永哲夫 (2007) 新トレーニング用語辞典, 森永製菓株式会社, pp. 602.
- Gollnick P. D., Armstrong R. B., Saubert IV C. W., Piehl K. and Saltin B. (1972) Enzyme activity and fiber composition in skeletal muscle of trained and untrained men. *Journal of applied physiology*, 33: 312-319.
- Guyton A.C. and Hall J.E. (1995) *Textbook of Medical Physiology*, 9th ed. Philadelphia: Saunders.
- Haff G. G. and Nimphius S. (2013) パワーのためのトレーニング原理. *National Strength and Conditioning Association Japan*, 20(4): 16-26.
- 濱口眞輔 (2011) 痛みの評価法. *日臨麻会誌*, 31(4): 560-569.
- Hather B. M., Tesch P. A., Buchanan P. and Dudley G. A. (1991) Influence of eccentric actions on skeletal muscle adaptations to resistance training. *Acta Physiologica Scandinavica*, 143: 177-185.

- Hermansen L. and Wachtlova M. (1971) Capillary density of skeletal muscle in well-trained and untrained men. *Journal of applied physiology*, 30: 860-863.
- Hotfiel T., Freiwald J., Hoppe W. M., Lutter C., Forst R., Grim C., Bloch W., Hüttel M., Heiss R. (2018) Advances in Delayed-Onset Muscle Soreness (DOMS): Part I: Pathogenesis and Diagnostics. *Sportverletz Sportschaden*, 32(4): 243-250.
- Hough T. (1902) Ergographic studies in muscular soreness. *American Journal of Physiology*, 7: 76-92.
- 猪飼道夫 (1968) 筋疲労の生理学. 日本リハビリテーション医学会総会特別講演, 5(3): 157-164.
- 猪飼道夫 (1973) 体力と疲労. 猪飼道夫 (編) 身体運動の生理学. 杏林書院, pp.334-354.
- 石田浩司・高石鉄雄・宮村実晴 (1992) 筋疲労回復にはどのような方法が最も効果的か? *デサントスポーツ科学*, 13:176-184.
- 市橋則明 (2015) 臨床理学療法領域におけるコア・パラダイム —筋力トレーニングにおけるパラダイムシフト—. *理学療法学*, 42(8): 695-696.
- Jones, D. A., Newham, D. J., Obletter, G. and Giamberardino, M. A. (1987) Nature of Exercise-Induced Muscle Pain. *Advances in Pain Research and Therapy* vol.10, Raven Press, pp. 207-218.
- 金子博昭 (1997) 筋力のトレーナビリティ, *バイオメカニクス研究*, 1(2): 148-163.
- 片山憲史・田中忠蔵・西川弘恭・平澤泰介 (1994) 筋疲労. *体力科学*, 43: 309-317.
- Kellis E. and Baltzopoulos V. (1995) Isokinetic eccentric exercise. *Sports Medicine*, 19(3): 202-222.
- 小網暢彦・渡辺淳也・中嶋隆行・森篤志・中島剛・前谷祐亮・齋藤友佑・勝股美里・大野和香奈・高橋法子・坂井上之・能勢毅一・越智茂博・青木保親 (2019) 大腿四頭筋のレジスタンストレーニング前後における膝関節伸展発揮トルク変化と筋体積変化の相関—健常者における予備的研究—. *徒手理学療法*, 19(2): 45-48.

- 小枝周平・澄川幸志・佐藤ちひろ・佐藤速太・齋藤峻・白坂真妃・小山内隆生
(2016) 遅発性筋痛に対する超音波療法の経時的・即時的効果. 理学療法科学, 31(5): 655-660.
- 小宮秀明・手塚博之・鈴木正寛 (2012) 筋硬度からみた局所筋運動後の疲労軽減に及ぼすマッサージの効果. 臨床スポーツ医学, 29(4): 447-451.
- Matsuo S., Suzuki S., Iwata M., Hatano G., Nosaka K. (2015) Changes in force and stiffness after static stretching of eccentrically-damaged hamstrings. *European Journal of Applied Physiology*, 115: 981-991.
- 松村寿枝・辻郁奈・谷口尚美・河村絵美 (2013) 末梢性疲労および中枢性疲労の測定と評価. 奈良工業高等専門学校研究紀要, 49: 16-19.
- 松浦亮太 (2016) 筋疲労を再定義する. 北海道大学大学院教育学研究院紀要, 125: 91-109.
- McBurnie J. A., Allen K. P., Garry M., M., Martin M., Thomas D., Jones P. A., Comfort P. and McMahon J. J. (2019) The Benefits and Limitations of Predicting One Repetition Maximum Using the Load-Velocity Relationship. *Strength and Conditioning Journal*, 41(6): 28-40.
- McCully K. K., Faulkner J. A. (1986) Characteristics of lengthening contractions associated with injury to skeletal muscle fibers. *Journal of Applied Physiology*, 61: 293-299.
- McHugh M. P., Connolly D. A., Eston R. G. and Gleim G. W. (1999) Exercise-induced muscle damage and potential mechanisms. *Scandinavian Journal of Medicine and Sciences in Sports*, 20: 169-181.
- Miles M. P. and Clarkson P. M. (1994) Exercise-induced muscle pain, soreness, and cramps. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 34(3): 203-216.
- 宮口和義 (2011) トレーニング方法. 出村慎一 (監), 健康・スポーツ科学講義 (第2版). 杏林書院, pp. 105-124.
- Moghadam-Kia S., Oddis C. V., Aggarwal R. (2016). Approach to asymptomatic creatine kinase elevation. *Cleveland Clinic Journal of Medicine*, 83 (1): 37-42.

- 門間陽樹・川上諒子・山田綾・澤田亨（2021a）“筋トレ”の疫学： Muscle-strengthening exercise に関するナラティブレビュー．運動疫学研究，23(2): 129-142.
- 門間陽樹・川上諒子・本田貴紀（2021b）健康づくりを目指した筋力トレーニング（筋トレ）の基準値案の作成．澤田亨（代表者），最新研究のレビューに基づく「健康づくりのための身体活動基準 2013」及び「身体活動指針（アクティブガイド）」改定案と新たな基準及び指針案の作成.<https://mhlw-grants.niph.go.jp/project/156710>
- Mueller-Wohlfahrt, H.-W., Haensel L., Mithoefer K., Ekstrand J., English B., McNally S., Orchard J., van Dijk C. N., Kerkhoffs G. M., Schamasch P., et al. (2013) Terminology and classification of muscle injuries in sport: The Munich consensus statement. *British Journal of Sports Medicine*, 47: 342–350.
- Murayama M., Nosaka K., Yoneda T., Minamitani K. (2000) Changes in hardness of the human elbow flexor muscles after eccentric exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 82: 361–367.
- Newham D. J., Mills K. R., Quigley B. M., Edwards R. H. (1983a) Pain and fatigue after concentric and eccentric muscle contractions. *Clinical Science*, 64(1):55-62.
- Newham D. J., Jones D. A., Edwards R. H. (1983b) Large delayed plasma creatine kinase changes after stepping exercise. *Muscle and Nerve*, 6: 380-385.
- Newham D. J., Jones D. A., Clarkson P. M. (1987) Repeated high-force eccentric exercise: effects on muscle pain and damage. *Journal of Applied Physiology*, 63: 1381-1386.
- Newton R.U., Murphy A.J., Humphries B.J., Wilson G.J., Kramer W.J. and Häkkinen K. (1997) Influence of load and stretch shortening cycle on the kinematics, kinetics and muscle activation that occurs during explosive upper-body movements. *European Journal of Applied Physiology*, 75: 333-342.
- 野坂和則（2001）遅発性筋痛の病態生理学．理学療法，18(5): 476-484.
- 野坂和則（2002）筋肉痛のメカニズム．福永哲夫編，筋の科学事典．朝倉書店，pp. 445-471.

- 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: 1263-1269.
- Nosaka K., Newton M., Sacco P. (2002) Delayed-onset muscle soreness does not reflect the magnitude of eccentric exercise-induced muscle damage. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 12 (6): 337-346.
- 尾縣貢・平野裕一・岡澤祥訓・田口素子・松本恵・亀井明子・川原貴・宮川俊平 (2019) 体力のトレーニング. *Reference Book*. 公益財団法人日本スポーツ協会, pp. 156-181.
- 尾縣貢・木越清信・遠藤俊典・森健一 (2015) 高強度ジャンプエクササイズ後の回復：筋肉痛とパフォーマンスとの関連に焦点を当てて. *体力科学*, 64(1): 117-124.
- 小原達朗 (1991) 筋力トレーニングが筋活動電位におよぼす影響. *長崎大学教育学部自然科学研究報*, 45: 49-56.
- 大畑光司・市橋則明 (2016) 大腿四頭筋の筋疲労による筋活動比の変化について. *京都大学医学部保健学科紀要：健康科学*, 2: 15-19.
- Powers S. K. and Howley E. T. (2020a) 尾崎隼朗・町田修一 (訳) トレーニングの生理学：最大酸素摂取量、パフォーマンス、筋力への効果. 内藤久士・柳谷登志雄・小林裕幸・高澤祐治 (日本語版・監) *パワーズ運動生理学—体力と競技力向上のための理論と応用—*. 株式会社メディカル・サイエンス・インタナショナル, pp. 302-340.
- Powers S. K. and Howley E. T. (2020b) 須永美歌子 (訳) パフォーマンス向上のためのトレーニング. 内藤久士・柳谷登志雄・小林裕幸・高澤祐治 (日本語版・監) *パワーズ運動生理学—体力と競技力向上のための理論と応用—*. 株式会社メディカル・サイエンス・インタナショナル, pp. 507-535.
- Rodrigues S., Forte P., Dewaele E., Branquinho L., Teixeira J. E., Ferraz R., Barbosa T. M., Monteiro A. M. (2022) Effect of Blood Flow Restriction Technique on Delayed Onset Muscle Soreness: A Systematic Review. *Medicina*, 58(9): 1154.
- 坂上昇・大倉三洋 (2000) ストレッチングの筋疲労回復に関する研究. *高知リハビリテーション学院紀要*, 2: 1-7.

- 佐藤佑 (2001) 疲労と疲労回復の整理学. 青木純一郎・佐藤佑・村岡功 (編) スポーツ生理学. 市村出版, pp. 80-87.
- 関口愛子・若吉浩二・佃文子・大西史晃 (2008) レジスタンストレーニングにおける挙上重量と反復回数, 動作速度の関係. びわこ成蹊スポーツ大学研究紀要, 5: 95-100.
- Sheppard J. M. and Triplett N. T. (2018) レジスタンストレーニングのためのプログラムデザイン. Haff G. G. and Triplett N. T. (編), 篠田邦彦 (訳), ストレングストレーニング&コンディショニング (第4版). 東京 ブックハウス・エイチディ, pp. 479-512.
- Smith L. L. (1991) Acute inflammation: the underlying mechanism in delayed onset muscle soreness? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23(5): 542-551.
- 鈴木正寛・佐藤崇・小宮秀明 (2013) 上腕筋群における局所運動後の骨格筋の硬化と筋肉痛との関係. *理学療法科学*, 28(3): 389-393.
- Talag T. S. (1973) Residual muscular soreness as influenced by concentric, eccentric, and static contractions. *Research Quarterly*, 44(4): 458-469.
- 田中淳・小玉京士朗・國友亮佑・簀戸崇史 (2019) 負荷-速度関係を用いたスクワット 1RM の推定についての検討. *環太平洋大学研究紀要*, 14: 51-56.
- Thompson D., Nicholas C.W. and Williams C. (1999) Muscular soreness following prolonged intermittent high-intensity shuttle running. *Journal of sports sciences*, 17(5): 387-395.
- Tiidus P. M., Ianuzzo C. D. (1983) Effects of intensity and duration of muscular exercise on delayed soreness and serum enzyme activities. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 15(6): 461-465.
- Tsuchiya Y., Kitajima Y., Masumoto H. and Ono Y. (2020) Damaged Myofiber-Derived Metabolic Enzymes Act as Activators of Muscle Satellite Cells. *Stem Cell Reports*, 15(4): 926-940.
- 和田正信・三島隆章・山田崇史 (2006) 筋収縮における乳酸の役割. *体育学研究*, 51: 229-239.

研究業績一覽

主論文に関する研究業績

【原著論文】

1. 李忠林、野口雄慶、山田孝禎
肘関節の繰り返し運動後の筋痛および筋疲労における鍛錬者と非鍛錬者の比較。
北陸スポーツ・体育学研究 第4号 pp.37-47 令和5年3月（査読あり）
2. 李忠林、野口雄慶、山田孝禎
ウェイトトレーニング初心者における他のトレーニング実施経験が上肢のウェイトトレーニング後の筋力回復過程におよぼす影響
北陸スポーツ・体育学研究 第5号 印刷中 令和6年3月発刊予定（査読あり）

【国内学会発表】

1. 李忠林、野口雄慶
伸張性肘関節屈曲運動後のホットパック処置が遅発性筋痛および筋力の回復に及ぼす影響
第75回日本体力医学会大学（オンライン開催）2020年9月24日
2. 李忠林、野口雄慶、山田孝禎
運動後の筋痛および最大筋力の利き腕、非利き腕間の関係
—速効性、遅発性の2つの観点より—
第20回日本体育測定評価学会大会（オンライン開催）2021年2月8日
3. 李忠林、野口雄慶、山田孝禎
伸張性肘関節屈曲運動直後のホットパック処置が肘関節可動域に及ぼす効果
第76回日本体力医学会大学（オンライン開催）2021年9月17日

謝 辞

私の博士論文作成にあたり、公私にわたり多大なご尽力を賜りいただきました主任指導教官である福井工業大学スポーツ健康科学科 野口雄慶教授に心より御礼申し上げます。私の博士期間は、新型コロナウイルスが猛威を振るった3年間と重なり、肉体的にも精神的にも大きな負担を強いられた時期であり、野口教授の親切で丁寧な指導と援助がなければ、この論文を作成することは難しかったと思います。また、杉浦宏季先生、辻本典央先生には、副指導教官として論文全体を通して助言とご指導を頂きましたことを感謝いたします。

加えて、ご多忙にも関わらず、快く被験者にご協力頂いた福井工業大学の剣道部、三寺研究室、杉浦研究室および中国の留学生のメンバーに感謝致します。皆様のご協力のおかげで本論文を完成させることができました。この場を借りて改めてお礼を申し上げます。

更に、福井大学教育学部 山田孝禎教授には修士課程の最初から指導して頂き、野口研究室への入室のきっかけを与えて頂きました。山田教授は私にとって恩師であり、友人でもあり、学問的な指導者であっただけでなく、博士課程の低迷期に大きな励ましと助けを与えてくださいました。ここまでたどり着くことが出来たのも、福井大学大学院での山田先生からのご指導、また、山田研究室の学生の皆様との出会いがあったからです。本当にありがとうございました。

最後に、叔母 高松さんと両親には、温かい支援と生活面でのサポートをしてくださったことに感謝いたします。特に、叔母には、日本滞在中に、生活面でも経済面でも大変お世話になりました。自分の意思を尊重して頂き、貴重な期間を与えて頂きましたことに、深謝の意を表します。

令和5年8月

李 忠林