



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	筋肥大および筋力増強を目的とした効率的なレジスタンストレーニング法の検証
Author(s)	柴田, 啓介
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(教育学)
Dissertation Number	甲第13624号
Issue Date	2019-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k13624
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/91720
Type	doctoral thesis
File Information	Keisuke_Shibata.pdf



筋肥大および筋力増強を目的とした
効率的なレジスタンストレーニング法の検証

博士論文

北海道大学大学院教育学院
健康教育論講座 体力科学

柴田 啓介

主査

北海道大学大学院教育学研究院
教授 水野 眞佐夫

副査

北海道大学大学院教育学研究院 准教授 柚木孝敬
北海道大学大学院保健科学院 准教授 寒川美奈
酪農学園大学農食環境学群食と健康学類 准教授 山口太一

2018 年度

目 次

第1章 緒言	・・・	1
第2章 先行研究のまとめ	・・・	5
2-1. 準備期前半に行う筋肥大を目的としたレジスタンストレーニング法	・・・	5
2-1-1. レジスタンストレーニングにおける疲労困憊までの反復が急性 の血中ホルモン応答および筋損傷に及ぼす影響	・・・	5
2-1-2. レジスタンストレーニングにおける短縮性筋活動と伸張性筋活 動の時間が急性の血中ホルモン応答および筋損傷に及ぼす影響	・・・	7
2-1-3. レジスタンストレーニングにおける伸張性筋活動の時間が筋肥 大に及ぼす影響	・・・	8
2-2. 準備期後半に行う筋力増強を目的としたレジスタンストレーニング法	・・・	9
2-2-1. レジスタンス運動の量が筋損傷に及ぼす影響	・・・	9
2-2-2. 低頻度レジスタンストレーニングが筋力に及ぼす効果	・・・	12
第3章 研究目的	・・・	14
第4章 筋肥大を目的としたレジスタンストレーニング法	・・・	16
研究1：レジスタンス運動における疲労困憊までの反復が血中ホルモン応答 および筋損傷に及ぼす影響	・・・	16
4-1-1. 緒言	・・・	16
4-1-2. 方法	・・・	17
4-1-2-1. 被験者	・・・	17
4-1-2-2. 実験デザイン	・・・	17
4-1-2-3. スクワット最大挙上重量測定	・・・	18
4-1-2-4. レジスタンス運動	・・・	19
4-1-2-5. 測定項目	・・・	19
4-1-2-6. 統計処理	・・・	22

4-1-3. 結果	・・・	22
4-1-4. 考察	・・・	24
4-1-5. 結語	・・・	27
研究 2：レジスタンス運動における短縮性筋活動と伸張性筋活動の時間が		
血中ホルモン応答および筋損傷に及ぼす影響	・・・	28
4-2-1. 緒言	・・・	28
4-2-2. 方法	・・・	29
4-2-2-1. 被験者	・・・	29
4-2-2-2. 実験デザイン	・・・	29
4-2-2-3. スクワット最大挙上重量測定	・・・	30
4-2-2-4. レジスタンス運動	・・・	30
4-2-2-5. 測定項目	・・・	31
4-2-2-6. 統計処理	・・・	33
4-2-3. 結果	・・・	33
4-2-4. 考察	・・・	34
4-2-5. 結語	・・・	38
研究 3：疲労困憊まで反復するレジスタンストレーニングにおいて伸張性		
筋活動の時間が筋量および筋力に及ぼす影響	・・・	39
4-3-1. 緒言	・・・	39
4-3-2. 方法	・・・	40
4-3-2-1. 被験者	・・・	40
4-3-2-2. 実験デザイン	・・・	40
4-3-2-3. レジスタンストレーニング	・・・	41
4-3-2-4. 測定項目	・・・	41
4-3-2-5. 統計処理	・・・	42
4-3-3. 結果	・・・	42
4-3-4. 考察	・・・	43
4-3-5. 結語	・・・	46

第5章 筋力増強を目的としたレジスタンストレーニング法	・・・	47
研究4：レジスタンス運動のセット数の違いが筋損傷に及ぼす影響	・・・	47
5-1-1. 緒言	・・・	47
5-1-2. 方法	・・・	48
5-1-2-1. 被験者	・・・	48
5-1-2-2. 実験デザイン	・・・	49
5-1-2-3. レジスタンス運動	・・・	49
5-1-2-4. 測定項目	・・・	50
5-1-2-5. 統計処理	・・・	50
5-1-3. 結果	・・・	51
5-1-4. 考察	・・・	52
5-1-5. 結語	・・・	53
研究5：トレーニング量を統一した週1回および週2回の頻度で行うレジスタンストレーニング法が筋力およびパワーに及ぼす影響	・・・	54
5-2-1. 緒言	・・・	54
5-2-2. 方法	・・・	55
5-2-2-1. 被験者	・・・	55
5-2-2-2. 実験デザイン	・・・	56
5-2-2-3. レジスタンス運動	・・・	56
5-2-2-4. 測定項目	・・・	56
5-2-2-5. 統計処理	・・・	57
5-2-3. 結果	・・・	57
5-2-4. 考察	・・・	58
5-2-5. 結語	・・・	59
第6章 総合討議	・・・	61
第7章 本研究のまとめとトレーニング現場への応用	・・・	65

7-1. 本研究のまとめ	・・・ 65
7-2. トレーニング現場への応用	・・・ 66
第8章 今後の課題	・・・ 69
謝辞	・・・ 70
副論文一覧	・・・ 72
参考文献	・・・ 74
図表一覧	・・・ 91
第4章	・・・ 91
研究1	・・・ 91
研究2	・・・ 96
研究3	・・・ 100
第5章	・・・ 104
研究4	・・・ 104
研究5	・・・ 108

第 1 章 緒言

スポーツ選手は試合で最高のパフォーマンスを発揮するために、シーズンを通して競技練習と並行してトレーニングを実施して体づくりに励む必要がある。トレーニングの 1 つにレジスタンストレーニングがある。レジスタンストレーニングは、ダンベルやバーベルといった器具および専用のマシン、またはパートナーから加えられる外力や、自体重による負荷に抵抗して運動することで、筋に負荷をかけるトレーニングの総称をさし、筋力トレーニングと呼ばれることも多い。

レジスタンストレーニングの継続的な実施によって、運動能力の向上 (Ratamess et al., 2004) や傷害リスクの低減 (Lauresen et al., 2014) が期待できる。競技練習に加えてレジスタンストレーニングを実施することで、スプリントタイムが短縮することや (Comfort et al., 2012, Seitz et al., 2014)、長距離走パフォーマンスが改善すること (Beattie et al., 2014) が報告されている。さらに、球技パフォーマンスの向上をもたらすことも報告されている。たとえば、テニスにおける打球速度 (Kraermer et al., 2000; Kraemer et al., 2003)、野球の投球速度 (Wooden et al., 1992)、女子ハンドボールの投球速度 (Hoff & Almåsbaek, 1995) を高める効果が報告されている。また、レジスタンストレーニングの実施による傷害リスクの低減について、Lauresen et al. (2014) によれば、習慣的にレジスタンストレーニングを実施しているスポーツ選手は、傷害予防として一般的とされるストレッチングを行っているスポーツ選手と比較して傷害発生リスクが 1/3 程度であったと報告されて

いる。

シーズンを通してレジスタンストレーニングに取り組む際に、時期を問わず一定のプログラムで行うよりも、シーズン中の時期に応じて目的の異なるプログラムで行う方が高いトレーニング効果の獲得やオーバートレーニングの防止に有効とされ、この考え方は期分け理論（ピリオダイゼーション）と呼ばれる（Bompa, 2009）。一定のプログラムで行うと、与えられた負荷に身体が適応することで徐々に効果が頭打ちになる一方で、プログラムに変化をつけて新たな刺激が加わることで、それに適応しようと身体の成長が促進されると考えられている。また、時期に応じてトレーニング量に変化をつけることによって、オーバートレーニングに陥るのを避ける効果も期待できる。

期分け理論に則れば、1 シーズンは準備期、試合期、移行期に分けられる（Bompa, 2009）。準備期は、試合期にむけて鍛錬を行う期間、試合期は重要な試合が行われる期間、移行期は試合期が終わり次のシーズンへの休養などを行う期間である。準備期は前半と後半に分けられる。準備期前半は、中等度負荷・高反復回数でのトレーニングによって筋肥大を狙い、準備期後半は高負荷・低反復回数でのトレーニングによって筋力増強、ひいてはパワー向上を狙うのが適切とされる。このように負荷を徐々に高めていくことは、トレーニングの漸進性の原則にも合致し、合理的である。これまでに、筋肥大および筋力増強を最大限獲得するための適切なレジスタンストレーニング法が研究されてきた。具体的には、負荷、反復回数、セット数、セット間休憩時間、頻度が挙げられる。

筋肥大のためには最大挙上重量の 67~85%の負荷で 6~12 回の反

復をセット間に 1~3 分の休憩を挟みながら 3~6 セット，週当たり 2~3 回の頻度で行うことが推奨されている (Rhea et al., 2003; Ratamess et al., 2009; Sheppard & Triplett, 2015; Schoenfeld, 2016; Grgic et al., 2017). 筋肥大はトレーニング開始 6 週間程度で確認される (福永, 1983). 筋肥大を目的としたトレーニングでは，筋活動の時間もトレーニング方法を決定する重要な要素の 1 つとされるが，時間に関する研究は少ない．特に，伸張性筋活動の時間を長くすると効果的であると経験的に考えられ広く普及しているものの，その根拠は明確でない．伸張性筋活動の時間を長くすることは，単に疲労困憊の状態に近づいているだけである可能性もあり，筋肥大効果に影響するかは明らかでない．そこで，伸張性筋活動の時間を長くするレジスタンストレーニング法が筋肥大に及ぼす影響を検証する必要がある．

筋力増強のためには最大挙上重量の 85~100%の負荷で 1~6 回の反復をセット間に 2~5 分の休憩を挟みながら 2~6 セット，週当たり 2~3 回の頻度で行うことが推奨されている (Rhea et al., 2003; Ratamess et al., 2009; Sheppard & Triplett, 2015; Schoenfeld, 2016; Grgic et al., 2017). 筋力増強はトレーニング開始 3 週間程度で確認される (福永, 1983). 筋力増強を目的としたトレーニングを行う準備期後半は，競技練習の強度が高まると同時に試合期に向けて練習試合，合宿などに時間が割かれ，トレーニング頻度が低下する傾向にある．よって，低頻度で効率的に筋力増強をもたらす方法の検討が望まれる．筋力増強効果はトレーニング量に影響を受けることから，1 回に行うトレーニングの量を高めることで筋力増強効果を得られる可能性がある．しかし，トレーニング量を増やすと運

動後の筋損傷も大きくなることが予想される。よって、レジスタンス運動後の筋損傷の程度を確認した上で、低頻度で行う筋力増強を目的としたレジスタンストレーニング法の効果を検証する必要がある。

準備期前半の筋肥大や、準備期後半の筋力増強を目的とした効率的なトレーニング法を検証することは、スポーツ選手に対するより良いトレーニング方法の提案につながることを期待される。

また、レジスタンストレーニングには健康の保持・増進や疾病予防効果があるとされ、老若男女様々な人々がレジスタンストレーニングに取り組んでいる。2016年時点でレジスタンストレーニングは我が国において週1回以上行われているスポーツ種目の第4位に位置し、1400万人以上の人々が取り組んでいると推定されており（笹川スポーツ財団，2016）、レジスタンストレーニングは多くの人にとって身近なものといえる。従って、効率的なレジスタンストレーニングに関する研究は、応用的にスポーツ選手以外の人たちの健康の保持増進や疾病予防を通して豊かな暮らしに役立つことが期待できる。

第 2 章 先行研究のまとめ

2-1. 準備期前半に行う筋肥大を目的としたレジスタンストレーニング法

2-1-1. レジスタンストレーニングにおける疲労困憊までの反復が急性の血中ホルモン応答および筋損傷に及ぼす影響

レジスタンストレーニングに関する研究では、実際にトレーニングを実施して効果を検討するだけでなく、1回のトレーニングの後の急性の生理学的応答からトレーニング効果を予想するという手法も用いられる。筋肥大に関係する要因として、機械的張力、筋損傷、代謝ストレスが挙げられている (Schoenfeld, 2010)。機械的張力は、レジスタンス運動による筋に対する機械的な刺激である (野坂, 1998)。筋損傷とは、運動によって引き起こされる筋原線維レベルでの構造の乱れとされ (野坂, 1998)、損傷を受けると衛星細胞という骨格筋細胞の前駆細胞の活動が刺激され、筋肥大につながるとされる。代謝ストレスとは、解糖系のエネルギー供給時に乳酸などの代謝産物の蓄積によって起きるストレスで、代謝ストレスによって分泌が増加する同化ホルモンが細胞におけるタンパク質合成を促進させると考えられている。よって、これらの応答が高まるトレーニング方法は、筋肥大に対する効果が高いと考えられる。

筋肥大を促す代表的なホルモンとして、成長ホルモン、テストステロン、インスリン様成長因子 (Insulin-like Growth Factor-1: IGF-1) が挙げられる (Schoenfeld, 2010)。その一方で、筋の分解に

働くホルモンに、コルチゾールがある。筋損傷は、直接的には筋細胞の組織学的な変化として観察されるが、間接的には筋力低下を指標として測定される (Nosaka et al., 2003)。

先述の通り、筋肥大を目的としたレジスタンストレーニングにおいて、伸張性筋活動の時間を延長させるという方法が効果的と考えられており、ごく一般的に行われている。収縮時間が長くなることで疲労困憊に近い状態となる。疲労困憊まで反復する方法はボディビルダーに好まれており、筋肥大に対する効果が高いものと経験的に考えられてきた (Willardson, 2010)。しかしながら、疲労困憊まで反復するトレーニングの効果は明らかでない。また、疲労困憊までの反復が、筋肥大に影響するとされる運動後の血中ホルモン応答や筋損傷に及ぼす急性の影響についての研究は限られている。

Pareja-Blanco et al. (2018) は 10 回反復可能な最大の重量を用いて、疲労困憊までの反復を 3 セット実施する条件と、同じ重量で 5 回反復を 3 セット実施する条件が運動後のホルモン応答および筋損傷に及ぼす影響を比較した結果、疲労困憊まで反復した条件において成長ホルモンと IGF-1 が疲労困憊まで反復しなかった条件と比較して高値を示した。一方で、テストステロンおよびコルチゾール濃度は疲労困憊まで反復した条件においても増加しなかった。ただし、Pareja-Blanco et al. (2018) は疲労困憊まで反復する条件と疲労困憊まで反復しない条件がともに 3 セット行われたため、疲労困憊まで反復する条件の方がトレーニング量が多かった。従って、疲労困憊まで反復した影響だけでなく、トレーニング量の影響も含まれた結果と考えることもできる。Goto et al. (2005) は、10 回挙上することができる最大の重量 (10 repetition maximum: 10RM) の負荷

で 10 回連続して反復する条件と、5 回目と 6 回目の間に 30 秒間の休憩を挟む条件を 3 セット、セット間休憩は 3 分で実施し、運動後の血中乳酸濃度、成長ホルモンおよびテストステロン濃度を比較した。その結果、各セットを 10 回連続して行う条件において血中乳酸濃度および成長ホルモン濃度が高値を示した。一方、テストステロン濃度は変化しなかった。しかしながら、Goto et al. (2005) では主観的強度を調査しておらず、両条件の疲労の程度が明らかでない。また、Goto et al. (2005) では運動後の筋損傷の程度を調査していない。これまでのところ、疲労困憊までの反復が血中ホルモン応答および筋損傷に及ぼす影響について、疲労困憊まで反復しない条件とトレーニング量を統一した場合の影響は明らかでない。

2-1-2. レジスタンストレーニングにおける短縮性筋活動と伸張性筋活動の時間が急性の血中ホルモン応答および筋損傷に及ぼす影響

伸張性筋活動の時間を長くする方法が血中ホルモン応答および筋損傷に及ぼす影響について、Goto et al. (2009) は、50%1RM という低負荷での膝伸展運動によるレジスタンストレーニングにおいて、短縮性筋活動の時間を長くした条件（短縮性筋活動：伸張性筋活動，5 秒：1 秒）と伸張性筋活動の時間を長くした条件（1 秒：5 秒）が血中ホルモン応答に及ぼす影響を検討した。その結果、成長ホルモンの応答に条件間で差はないものの、コルチゾールに関しては短縮性筋活動の時間を長くした条件の方が有意に高値となったと報告している。Sheikholeslami-Vatani et al. (2018) は、膝伸展運動、ベ

ンチプレス,ハムストリングスカール,ラットプルダウンを 65%1RM で 8 回反復を 3 セット (セット間休憩は 1 分) 実施した. その結果, 伸張性筋活動の時間を長くした条件 (短縮性筋活動: 伸張性筋活動, 4 秒: 2 秒) と伸張性筋活動の時間を長くした条件 (2 秒: 4 秒) の間で成長ホルモン, テストステロン, コルチゾール濃度に差は認められていない. しかしながら, Goto et al. (2009) においては, 筋肥大に最適とされる負荷 (67%~85%1RM) と比較して低い負荷 (50%1RM) でのトレーニングによる検討であったこと, Sheikholeslami-Vatani et al. (2018) においては予め反復回数が決められており疲労困憊に至っていなかったことから, 筋肥大に最適とされる負荷 (67~85%1RM) でのレジスタンストレーニングにおいて, 疲労困憊まで反復する条件において伸張性筋活動の時間を長くするプログラムが血中ホルモン応答および筋損傷に及ぼす影響は依然として明らかでない.

2-1-3. レジスタンストレーニングにおける伸張性筋活動の時間が筋肥大に及ぼす影響

伸張性筋活動の時間を長くするトレーニングの効果について, 実際にトレーニングを行って筋肥大効果を検討した研究も限られている. Pereira et al. (2016) によれば, 肘屈曲運動において伸張性筋活動の時間が短い群 (1 秒挙上/1 秒降下) と長い群 (1 秒挙上/4 秒降下) が 8 回挙上できる重量で 8 回の反復を 3 セット行うトレーニングを週 2 回・12 週間実施し, 伸張性筋活動の時間が長い群の方が筋肥大効果が高かったと報告されている. しかしながら, Pereira et

al. (2016) では、伸張性筋活動の時間の長い群と短い群がいずれも 1 セットあたり 8 回反復を 3 セット行っていたことから、1 回のトレーニングにおける張力発揮時間に 2.5 倍 (48 秒 vs. 120 秒) もの違いがあった。よって、Pereira et al. (2016) において報告された筋肥大効果の違いは、張力発揮時間が大幅に異なったことによる可能性も考えられる。これまでに、予め回数を規定せずに疲労困憊まで反復するプログラムにおいて伸張性筋活動の時間を長くした方法が筋肥大に与える効果は明らかでない。筋肥大を目的としたレジスタンストレーニングにおいて一般的に行われている、伸張性筋活動をゆっくり行う方法が効果的か否か、実際にトレーニングを行って効果を検討する必要がある。

2-2. 準備期後半に行う筋力増強を目的としたレジスタンストレーニング法

2-2-1. レジスタンス運動の量が筋損傷に及ぼす影響

筋力増強を目的としたプログラムに取り組む時期は準備期後半であり、試合期に向けて競技練習の強度が高まると同時に合宿や練習試合などが数多く行われ、レジスタンストレーニングに取り組む頻度が低下しがちとなる (Bompa, 2009)。従って、準備期後半を想定した、低頻度で効率的に筋力増強を目指すことが可能なプログラムの検討が求められる。

最大挙上重量の 85~100% の負荷で 1~6 回の反復を 2~6 セットという推奨されたトレーニング量のまま、頻度だけを少なくすると、

トレーニング量が少ないために筋力増強効果を得られない (Rønnestad et al., 2011). そこで, 1回に行うトレーニング量を増やす必要がある. しかしながら, トレーニング量を増やして実施すると筋損傷が起きる恐れがある. 筋損傷は直接的には筋細胞の組織学的な変化として観察されるが, 間接的には筋力低下を指標として測定される. 筋損傷を有しているとき, 筋力, パワー, 持久的運動などのパフォーマンス発揮が低下するとされる (Twist & Eston, 2007; Highton et al., 2009). 筋損傷はレジスタンス運動の筋活動様式 (Lavender & Nosaka, 2006), 強度 (Nosaka & Newton, 2002; Paschalis et al., 2005;) および量 (Nosaka et al., 2002; Nosaka et al., 2002; Uchida et al., 2009; Charro et al., 2012) に影響を受けることが示唆されている. Lavender & Nosaka (2006) は, 肘屈曲筋群において, 等尺性最大筋力の 50%の強度で 5回×6セットの短縮性筋活動もしくは伸張性筋活動を実施し, 運動後の筋力が伸張性筋活動後において有意に低値を示し, 筋痛が有意に高値を示したと報告している. Paschalis et al. (2005) は, 膝伸展筋群に対して伸張性筋活動のみの運動を角速度 60度で最大努力で 10回×12セット行う高負荷条件と, 高負荷条件の 50%のトルクで同様の回数を行う低負荷条件の間で筋損傷の程度を比較した. その結果, 筋痛の程度に条件間で差が認められなかったものの, 筋力低下の程度は高負荷条件で有意に大きかったと報告している. Nosaka & Newton (2002) は肘屈曲筋群に対して伸張性筋活動のみの運動を伸張性最大筋力の 100%の負荷で 10回×3セット行う高負荷条件と, 50%の負荷で同様の回数を行う低負荷条件の間で筋損傷の程度を比較した. その結果, 筋力低下の程度および筋痛の程度について, 高負荷条件

の方が高かったと報告している。Nosaka et al. (2002) は、肘屈曲筋群に対して伸張性筋活動のみの運動を伸張性最大筋力の 100%の負荷で 12 回反復する条件と 24 回反復する条件を行い、運動後の筋力低下および筋痛を比較した。その結果、24 回反復する条件の方が筋力低下の程度および筋痛が大きかったと報告している。一般的なトレーニングでは短縮性筋活動と伸張性筋活動を繰り返す運動が行われる。Uchida et al. (2009) は、総挙上重量を統一した負荷の異なるレジスタンス運動が筋損傷に及ぼす影響を検討した。短縮性筋活動と伸張性筋活動を繰り返すレジスタンス運動の代表的種目であるベンチプレスで最大挙上重量の 50%で 20 回、75%で 11 回、90%で 4 回、110%で 4 回の負荷で行った結果、筋痛の程度および筋損傷を示す血液指標に条件間で差が認められなかったとしている。Charro et al. (2012) は、総挙上重量を統一した負荷の異なるレジスタンス運動が筋損傷に及ぼす影響を検討した。ベンチプレスをはじめとした上半身のレジスタンストレーニングを最大挙上重量の 67%、74%、80%で最大限反復する条件と、75%で 3 セット最大限反復する条件を実施して運動後の筋損傷の程度を比較した。その結果、条件間で筋痛および筋損傷を示す血液指標に差が認められなかった。

一般的なトレーニングで行われる、短縮性筋活動と伸張性筋活動を繰り返す運動においてトレーニング量（セット数）の違いが筋損傷に及ぼす影響は明らかでない。筋力増強を目的として低頻度で 1 回に行うトレーニング量をも高めるレジスタンストレーニング法を検討する前に、トレーニング後の筋損傷の程度について検討する必要がある。

2-2-2. 低頻度レジスタンストレーニングが筋力に及ぼす効果

鍛錬者を対象とした研究において、週1回のトレーニングでは筋力増強効果を得られない (Rønnestad et al., 2011)、もしくは週3回のトレーニングと比較して筋力増強効果が大きく劣る (McLester et al., 2000) と報告されている。Rønnestad et al., (2011) はプロサッカー選手を対象に、週1回・12週間トレーニングを実施したところ、筋力は増加せず維持するにとどまったと報告している (Rønnestad et al., 2011)。McLester et al. (2000) では、レクリエーションレベルの鍛錬者を対象に、週1回・各セッション3セットのトレーニングと週3回・各セッション1セットのトレーニングが筋力増強に与える効果を比較し、週1回・各セッション3セットのトレーニングは週3回・各セッション1セットのトレーニングと比較して筋力増強効果が62%劣ると報告している。しかしながら、Rønnestad et al. (2011) において週1回行われたトレーニングは、4回挙上出来る重量で4回反復を3セットというものであった。また、McLester et al. (2000) において行われたのは週1回・各セッション3セットというものであった。いずれも、筋力増強を目的としたプログラムとしてはトレーニング量が少なかったことが、筋力増強効果が高められなかった原因と考えられる。これまで、鍛錬者を対象として筋力増強を目的とした方法として適切なトレーニング量 (週あたり8セット, Rhea et al., 2003) において、週1回のレジスタンストレーニングが筋力増強に与える効果は明らかでない。準備期後半に低頻度で効率的に筋力増強効果を狙ったレジスタンストレーニング法について検討することは、試合で最高のパフォ

パフォーマンスを発揮するための身体づくりにつながる知見を得るために
意義深いと考える。

第 3 章 研究目的

第 1 章および第 2 章を踏まえて，準備期前半に行う筋肥大を目的としたレジスタンストレーニング法と，準備期後半に行う筋力増強を目的としたレジスタンストレーニング法について，下記の研究目的を設定した．

準備期前半に行う筋肥大を目的としたレジスタンストレーニング法

研究 1：

レジスタンス運動における疲労困憊までの反復するトレーニング法が血中ホルモン応答および筋損傷に及ぼす影響を，疲労困憊まで反復しないトレーニング法と比較検討する．

研究 2：

疲労困憊まで反復するレジスタンス運動において短縮性筋活動の時間と伸張性筋活動の時間の異なるプログラムが血中ホルモン応答および筋損傷に及ぼす影響を比較検討する．

研究 3：

疲労困憊まで反復するレジスタンストレーニングにおいて伸張性筋活動の時間を長くしたプログラムが筋肥大および筋力増強に及ぼす影響を検証する．

準備期後半に行う筋力増強を目的としたレジスタンストレーニング法

研究 4 :

レジスタンス運動においてトレーニング量（セット数）の違いが筋損傷に及ぼす影響を検討する。

研究 5 :

鍛錬者を対象に，総挙上重量が同等となるように設定した週 1 回と週 2 回のレジスタンストレーニングが筋力およびパワーに及ぼす効果を比較する。

第 4 章 筋肥大を目的としたレジスタンストレーニング法

研究 1

レジスタンス運動における疲労困憊までの反復が血中ホルモン応答および筋損傷に及ぼす影響

4-1-1. 緒言

レジスタンストレーニングにおいて疲労困憊までの反復は、ボディビルダーにおいて重用される方法であり、筋肥大効果を高めるために重要であると経験的に考えられてきた (Willardson, 2010). 筋肥大に関係する要因として、機械的張力、筋損傷、代謝ストレスが挙げられているが (Schoenfeld, 2010), 疲労困憊まで反復すると代謝ストレスの増加によって同化ホルモンの分泌が高まると同時に筋損傷の程度も大きくなることが報告されている (Pareje-Blanco et al., 2018). しかしながら, Pareja-Blanco et al. (2018) では, 疲労困憊まで反復する条件の方が疲労困憊まで反復しない条件と比較してトレーニング量が多かった. また, 1 セット 10 回を連続して反復する方が, 1 セットの途中で休憩を挟むのと比較して同化ホルモンの分泌が高まることが報告されている (Goto et al., 2005). 連続して行った方が疲労困憊に近づくと思われるものの, 両条件における疲労度の程度は明らかでなく, 筋損傷の調査も行われていない. 以上から, 疲労困憊までの反復が血中ホルモン応答および筋損傷に及ぼす影響を, トレーニング量を統一して比較した研究は見当たらない.

そこで, 本研究は疲労困憊まで反復する条件と疲労困憊まで反復

しない条件のレジスタンス運動が運動後の血中ホルモン応答および筋損傷の間接的指標に及ぼす影響をトレーニング量を統一した条件間で比較することを目的とした。仮説として、疲労困憊まで反復した方が血中ホルモン濃度や筋損傷の程度が高まると考えた。

4-1-2. 方法

4-1-2-1. 被験者

レジスタンストレーニング経験を有する活動的な男子大学生 10 名が実験に参加した(年齢: 20.5 ± 1.1 歳, 身長: 174.0 ± 3.8 cm, 体重: 65.8 ± 4.5 kg)。被験者は本実験以前に最低 6 カ月以上のパラレルバックスクワットを含むレジスタンストレーニング経験を有していた。全ての被験者に対して本研究の方法, 目的および危険性について説明を行い, 被験者の同意を得た上で研究を実施した。なお, 本研究はヘルシンキ宣言に基づいた大学の倫理委員会の承認を得て実施された (承認番号 16-37)。

4-1-2-2. 実験デザイン

被験者は全 4 回の実験に参加した。初回および 2 回目にパラレルバックスクワットの最大挙上重量 (1 repetition maximum, 1RM) 測定および他の項目の測定練習を行った。2 回目の 1RM 測定の 1 週間後に疲労困憊まで反復する条件 (MF 条件) を実施し, さらにその 2 週間後に疲労困憊まで反復しない条件 (NMF 条件) を実施した。

1RM 測定および各条件の最初は 15 分間の安静を保持し, その後自転車エルゴメータを用いて 50W で 5 分間 (60 回転/分) のウォームアップを実施した。MF 条件および NMF 条件では, ウォーミング

アップ前（15 分間の安静後）およびスクワット運動 5 分後，15 分後，30 分後に採血を行い，成長ホルモン，テストステロン，IGF-1，コルチゾール濃度を測定した．また，スクワット運動前（Pre），運動直後（Post），24 時間後（24h）に膝伸展運動の等尺性最大筋力（MVC）を測定した．さらに，運動前（Pre）および 24 時間後（24h）に，筋痛を測定した（図 4-1-1）．

全ての条件は筋力および血中ホルモンの日内変動の影響を考慮して午前 8:00~11:00 の間に実施し，各被験者は毎回同じ時刻に実験をスタートした．被験者に対して，スクワット 1RM 測定および MF 条件，NMF 条件を行う前は 8 時間の絶食状態をとらせ，前々日および前日にウェイトトレーニングを含む激しい運動を避けるように指示するとともに，実験前日の食事は各条件で出来る限り同じになるよう留意させた．

4-1-2-3 スクワット最大挙上重量測定

被験者は実験室入室後 5 分間の自転車こぎ運動によるウォームアップを行った後，Sheppard & Triplett (2015) の方法に則って平行バックスクワットの 1RM 測定を実施した．被験者はシャフトを肩に担ぎ，ウォームアップとして 20kg で 10 回，50%1RM と推定される重量で 5 回，80%1RM と推定される重量で 3 回，90%1RM と推定される重量で 1 回のスクワット運動を行った．続いて，100%1RM と推定される重量で 1 回の試技を行った．挙上できた場合，5kg~10kg 重量を増加させて次の試技を行った．1RM 測定の試技は疲労の影響を考慮して 5 回以内で終了するよう重量の設定を行った．スクワット運動における沈み込みの深さは，大腿部上面が床

と平行になる高さとした。各被験者がその深さまでしゃがんだ際のシャフトの高さに、スクワットラックの柱間にチューブを巻き、しゃがみ込みの深さの基準とした。各試技間は3分以上のインターバルをとった。スクワット 1RM 測定は2回実施し、各被験者の平均値を 1RM として採用した。

4-1-2-4. レジスタンス運動

2回目のスクワット 1RM 測定の1週間後に MF 条件を行った。5分間の自転車こぎ運動によるウォームアップの後、スクワット運動を 20 kg の重量で 10 回、50%1RM で 5 回行った。続いて、75%1RM の負荷で各セット疲労困憊までの反復を 3 セット、セット間休息は 3 分で実施した。疲労困憊は、被験者が既定のテンポで動作を遂行できなくなったとき、もしくはバーベルを降下させた後に挙上できなくなったときとした。MF 条件の2週間後に、NMF 条件を実施した。NMF 条件では、MF 条件で反復できた回数を 6 セットに分け、被験者が疲労困憊に至っていないことを確認しながら実施した。スクワット運動中は 60bpm に設定したメトロノームの音を鳴らすとともに、験者がカウントして規定のテンポに従うよう留意した。スクワット運動の時間は、短縮性筋活動 2 秒・伸張性筋活動 2 秒とした。スクワット運動のしゃがみこみの深さの基準として、スクワット 1RM 測定と同様にパワーラックの柱の間にチューブを巻いた。

4-1-2-5. 測定項目

主観的疲労度 (RPE)

スクワット運動の各セット終了時（各セットの RPE）および運動

終了 30 分後 (Session RPE) に, Borg による category-ratio scale (CR-10: Borg et al., 1985) を用いて被験者に主観的な努力感を回答してもらった.

血液指標

スクワット運動前, 運動終了 5 分後, 10 分後, 15 分後に耳朶より採血を行い, 分析装置 (Lactate Pro, LT-1710, 京都) を用いて血中乳酸濃度の測定を行った.

血中ホルモンの分析に使用する血液の採集は運動前 (PRE) および運動終了 5 分後 (5-min), 15 分後 (15-min), 30 分後 (30-min) に実施した. 運動前の採血は, 被験者が実験室に入室後 15 分間座位にて安静状態を保持した後 (ウォームアップ前) に行った. 被験者の前腕肘静脈より穿刺し, 3 ml 程度の血液を採集した. 採血後, 真空採血管を常温環境下で保存した後, 成長ホルモン, IGF-1, テストステロン, コルチゾール濃度の分析を行った. 分析は専門業者 (札幌臨床検査センター株式会社, 札幌) に外注して実施した. 各ホルモンの分析に用いられた装置, 試薬および検査法は下記の通りである. 成長ホルモン濃度は, モジュラーアナリティクス (ロシュ・ダイアグノスティクス(株), 東京) を用いて, エクルーシス試薬 (ロシュダイアグノスティックス(株), 東京) を使用して, 電気化学発光免疫測定法 (ECLIA) によって測定した. IGF-1 濃度は, γ -カウンター (株)日立製作所, 東京) を用いて, IGF-1 IRMA 「第一」 を使用して免疫放射定量法 (IRMA 法) によって測定した. テストステロン濃度は, ARCHITECTi2000 (アボットジャパン(株), 東京) を用いて, アーキテクトテストステロン II (アボットジャパン(株), 東京) を使用

して、化学発光免疫測定法（CLIA法）によって測定した。コルチゾール濃度は、ユニセル DxI800（ベックマンコールター㈱，東京）を用いて、アクセス コルチゾール（ベックマンコールター㈱，東京）を使用して、化学発光酵素免疫測定法（CLEIA法）によって測定した。

膝伸展運動の等尺性最大筋力 (MVC)

トレーニング前 (Pre)、直後 (Post) および 24 時間後 (24h) に膝伸展運動の MVC を測定した。測定には多関節筋力測定装置 (Power Processor, VINE, 東京) を用いた。被験者を背もたれ付きの椅子に座らせ、ベルトで上半身および腰部、両脚大腿部を固定した。測定装置から伸びたワイヤーの先端にストラップを取り付け、それを被験者の利き脚 (全員右脚) の足首に装着し、膝関節角度が 90 度となるようワイヤーの長さを調節した。被験者に胸の前で腕を交差させた姿勢を保持させて 3 秒間の全力発揮を 2 回実施させ、高値を MVC として採用した。2 回の測定の間には 1 分の休憩を挟んだ。MVC の信頼性および再現性を確認するために、事前測定を行い、級内相関係数 (ICC) および変動係数 (CV) を確認した。ICC は 0.91、CV は 3.5% であり、高い再現性が認められた。

筋痛

運動前 (Pre) と 24 時間後 (24h) に、被験者に無負荷 (自体重) でパラレルスクワットの姿勢をとらせた際の大腿部前面の筋痛を Visual Analogue Scale (VAS) を用いて測定した。紙面上に 10 cm の直線を引き、直線の左端を「全く痛みが無い状態」、右端を「最大

の痛みを感じている状態」とし、現在の痛みが直線のどの位置にあたるかを被験者に記録させた。

4-1-2-6. 統計処理

Session RPE の条件間の比較に、対応のある t 検定を行った。

運動前および 5 分後、15 分後、30 分後の条件間における各血中ホルモン応答の比較に反復測定の実験設計分散分析（2 条件×4 時点）を用いた。有意な交互作用が認められた場合、下位検定として Tukey 法を用いて多重比較を行った。時間の主効果のみが認められた場合は、繰り返しのある一元配置分散分析を実施し、有意性が認められた場合、Bonferroni 法を用いて多重比較を行った。

運動前後の MVC、筋痛の条件間の比較に、反復測定の実験設計分散分析（MVC：2 条件×3 時点、筋痛：2 条件×2 時点）を行った。有意な交互作用が認められた場合、下位検定として Tukey 法を用いて多重比較を行った。時間の主効果のみが認められた場合は、繰り返しのある一元配置分散分析を実施し、有意性が認められた場合、Bonferroni 法を用いて多重比較を行った。データは平均値 ± 標準偏差で示す。有意水準は 5%未満とした。

4-1-3. 結果

反復回数および RPE

表 4-1-1 に MF 条件および NMF 条件における各セットでの反復回数および RPE、合計反復回数、Session RPE を示す。

MF 条件における反復回数は、1 セット目が 15.0 ± 1.1 回、2 セット目が 10.7 ± 1.7 回、 8.2 ± 1.2 回、合計 33.9 ± 2.7 回であった。

NMF 条件は，各被験者の合計反復回数を 6 セットに分けて行い，1~6 セット目にそれぞれ 6.1 ± 0.5 回， 5.9 ± 0.7 回， 5.6 ± 0.5 回， 5.6 ± 0.5 回， 5.4 ± 0.5 回， 5.3 ± 0.5 回の反復を行った。

MF 条件における 1~3 セット目の RPE は $7.0 \pm 1.0 \sim 8.6 \pm 1.2$ の範囲で，努力感が「とても強い」から「最大」に相当する程度であった。NMF 条件における 1~6 セット目の RPE は $3.4 \pm 0.7 \sim 5.5 \pm 1.4$ の範囲で，努力感は「適度にある」から「強い」に相当する程度であった。セッション RPE は MF 条件 (8.3 ± 1.2) が NMF 条件 (4.1 ± 1.4) と比較して有意に高値であった ($p < 0.01$)。

血中乳酸値および血中ホルモン濃度

血中乳酸値について，二元配置分散分析の結果，交互作用が認められ ($p < 0.01$)，運動後に MF 条件が NMF 条件と比較して高値となった (図 4-1-2)。成長ホルモンについて，二元配置分散分析の結果，交互作用が認められ ($p < 0.01$)，MF 条件は運動前と比較して 5 分後，15 分後，30 分後に高値となった。NMF 条件は運動後の変化が認められなかった (図 4-1-3a)。IGF-1 について，二元配置分散分析の結果，時間の主効果が認められ，5 分後に運動前と比較して有意に高値となった ($p < 0.01$) (図 4-1-3b)。テストステロンについて，二元配置分散分析の結果，時間の主効果が認められ，5 分後に運動前と比較して有意に高値となった ($p < 0.01$) (図 4-1-3c)。コルチゾールについて，二元配置分散分析の結果，交互作用が認められ ($p < 0.05$)，MF 条件は運動前と比較して 5 分後，15 分後，30 分後に高値となった。NMF 条件は運動後の変化が認められなかった (図 4-1-3d)。

筋損傷の間接的指標

MVC について，二元配置分散分析の結果，交互作用が認められた ($p < 0.01$)。運動直後に両条件とも低下した ($p < 0.01$)。24h では，NMF 条件は運動前と有意差が認められなかったが，MF 条件は運動前と比較して有意に低値であった ($p < 0.01$)。PRE に対する低下率は $6.1 \pm 8.8\%$ であった (図 4-1-4a)。筋痛について，二元配置分散分析の結果，時間の主効果が認められ，24h に運動前と比較して有意に高値となった ($p < 0.01$) (図 4-1-4b)。

4-1-4. 考察

本研究の目的は，筋肥大を目的とした中等度負荷でのスクワット運動において疲労困憊までの反復の有無が血中ホルモン応答および筋損傷の指標に及ぼす影響について，総挙上重量を統一した条件間で比較検討することであった。本研究の結果，MF 条件において NMF 条件と比較して運動後に成長ホルモン，コルチゾール濃度が高値となった。また，運動 24 時間後の MVC が MF 条件においてのみ Pre と比較して僅か ($-6.8 \pm 8.1\%$) ではあるが低値であった。従って，仮説が支持され，総挙上重量が等しい場合にも疲労困憊まで実施するプログラムの方が疲労困憊まで反復しないプログラムと比較して血中ホルモン濃度の上昇が大きく，筋損傷についても大きくなる傾向であることが明らかとなった。

スクワット運動後の成長ホルモンおよびコルチゾールの分泌について，MF 条件の方が NMF 条件と比較して高値となったことから，これらの分泌は疲労困憊までの反復の有無に影響を受けると考えら

れる。先行研究において、疲労困憊まで反復する条件において疲労困憊まで反復しない条件と比較して運動後の成長ホルモン (Pareja-Blanco et al, 2018) およびコルチゾール (Pareja-Blanco et al., 2016) の濃度が高値となった。しかしながら, Pareja-Blanco et al. (2018) および Pareja-Blanco et al. (2016) では, 疲労困憊まで反復する条件と疲労困憊まで反復しない条件が同じセット数 (3セット) で比較されていた。従って, 疲労困憊まで反復する条件の方が総反復回数 (= 総挙上重量) が多かった。先行研究において, 成長ホルモンおよびコルチゾールの分泌は総挙上重量に影響を受けることが報告されている (Leite et al., 2011; Smilios et al., 2003)。よって, Pareja-Blance et al. (2018) および Pareja-Blance et al. (2016) において疲労困憊まで反復する条件の方が成長ホルモンやコルチゾール濃度が高まったのは, 疲労困憊の影響ではなく総挙上重量の違いによる影響も考えられた。しかしながら, 総挙上重量を統一して比較した本研究から, 疲労困憊の有無が成長ホルモン濃度に影響を与えることが明らかとなった。成長ホルモン濃度は, pH の低下や乳酸濃度の上昇といった体内の酸性度の上昇によって分泌が増すとされている (Kraemer & Ratamess, 2005)。本研究でも MF 条件の方が NMF 条件と比較して運動後の血中乳酸が高値であった。レジスタンス運動後の急性の成長ホルモン分泌は筋線維の肥大割合と相関することが示され (McCall et al., 1999), 筋肥大に重要であると考えられている。一方, コルチゾールは筋タンパクの合成の抑制や, 分解の促進といった働きがあるとされ (Kraemer & Ratamess, 2005), 筋肥大に対してネガティブに働くおそれがある。疲労困憊まで反復するトレーニングを長期間実施すると安静時テストステロン

の低下や安静時コルチゾール濃度の増加といったオーバートレーニングの状態に陥ることが指摘されている (Izquierdo et al., 2006). よって, MF 条件のような疲労困憊まで反復するプログラムは期間限定で行うべきとされている (Willardson, 2010).

テストステロンと IGF-1 は疲労困憊の有無に関わらず運動 5 分後に有意に増加したものの, 条件間で有意差は認められなかった. 従って, テストステロンと IGF-1 については, 疲労困憊の有無に関わらず分泌させるに十分な刺激であったということが考えられる. これらの血中ホルモンに及ぼす影響について, Pareja-Blance et al. (2016) では, 運動後のテストステロンが疲労困憊まで反復しない条件でのみ運動前と比較して増加したこと, 運動後の IGF-1 が疲労困憊まで反復しない条件の方が疲労困憊まで反復した条件と比較して高値を示したことを報告している. 疲労困憊までの反復に影響を受けないという点で本研究は先行研究 (Pareja-Blanco et al., 2016) を支持する結果と言える.

MF 条件において, 運動 24 時間後に筋損傷の間接的指標として測定した MVC が運動前と比較して低値を示したことから, 疲労困憊までの反復の有無は筋損傷の程度に影響すると考えられる. 本研究と同様に筋損傷の間接的指標として筋力を測定した Pareja-Blanco et al. (2018) においても, 疲労困憊まで反復した方が翌日の筋力低下の程度が大きかったと報告されている. 本研究では, 運動 24 時間後に MVC について MF 条件が Pre と比較して有意に低値を示した. 従って, 総挙上重量が等しい場合にも疲労困憊の有無が筋損傷の程度に影響を与えると考えられる. ただし, MVC の低下率は $-6.1 \pm 8.8\%$ と, 本研究同様脚の筋損傷の間接的指標として MVC を測定

した先行研究で示されている低下率（約 15%）と比較して大きいものではない（Paschalis et al., 2005）. 運動後の筋痛に関しては，疲労困憊の有無に影響を受けなかった．これは，被験者が日頃からレジスタンストレーニングに取り組み，本研究のプロトコルに対する耐性があったためと考えられる．

筋損傷に関しては，繰り返し効果が指摘されている．繰り返し効果とは，同じ運動を繰り返すことで，その運動によって筋が受ける損傷が小さくなることを指す（Nosaka & Aoki, 2011）. 本研究では，MF 条件と NMF 条件の総挙上重量を統一させるために，MF 条件を先に行った．従って，NMF 条件においてレジスタンス運動の 24 時間後に MVC が Pre の値と同等まで回復していたのは繰り返し効果によるものである可能性も考えられる．ただし，MF 条件と NMF 条件の間で 24h に差が認められたのは MVC のみであり，MVC の低下率も比較的小さいもの（ $-6.8 \pm 8.1\%$ ）であったことから，そもそも本研究で行った両プログラムは，筋損傷に及ぼす影響が小さかったと考えられる．

最後に，トレーニングに要した時間は，MF 条件（ 495.6 ± 10.9 秒）が NMF 条件（ 1035.6 ± 10.9 秒）と比較して短かった．従って，MF 条件は時間効率にも優れていると言える．

4-1-5. 結語

総挙上重量の等しいレジスタンス運動において疲労困憊まで反復すると，疲労困憊まで反復しない場合と比較して運動後の成長ホルモン濃度が高まる．また，運動後の筋損傷は疲労困憊まで反復した場合の方が疲労困憊まで反復しない場合と比較して大きい．

研究 2

レジスタンス運動における短縮性筋活動と伸張性筋活動の時間が
血中ホルモン応答および筋損傷に及ぼす影響

4-2-1. 緒言

レジスタンス運動後の血中ホルモン分泌を高める方法として、筋活動の時間を長くする方法がある (Tanimoto et al., 2005). レジスタンス運動における動的な筋活動には伸張性筋活動と短縮性筋活動がある. 研究 1 を踏まえて、疲労困憊まで反復するトレーニングにおいて、短縮性筋活動と伸張性筋活動の時間の違いが血中ホルモン応答および筋損傷の程度に及ぼす影響を調査する必要がある.

レジスタンス運動において、短縮性筋活動の時間を長くした条件と伸張性筋活動の時間を長くした条件を比較した場合、血中の同化ホルモン（成長ホルモン）の応答に差は見られない一方で、伸張性筋活動の時間を長くした条件の方が血中の異化ホルモン（コルチゾール）の分泌が抑えられたと報告されている (Goto et al., 2009). よって、伸張性筋活動の時間を長くする方が筋肥大に好影響と予想される. しかしながら、Goto et al. (2009) では 50%1RM という低負荷で、単関節運動（膝伸展運動）で実施されていた. 他にも、レジスタンストレーニングにおいて収縮時間を延長させたプログラムが血中ホルモン応答に及ぼす影響を検討した研究は、低負荷プログラム (Goto et al., 2008) や、伸張性筋活動のみの運動 (Libardi et al., 2013; Calixto et al., 2014) で行われており、筋肥大を目的としたレジスタンストレーニングに最適な負荷である 67~85%1RM の負荷での検討や、短縮性筋活動と伸張性筋活動を繰り返す運動における

検討は見当たらない。

本研究は、筋肥大を目的とした最適な負荷でのスクワット運動において短縮性筋活動と伸張性筋活動の時間の違いがスクワット運動のパフォーマンス、血中ホルモン応答および筋損傷に与える影響を検討することを目的とした。仮説として、伸張性筋活動の時間が長い条件の方が短縮性筋活動の時間が長い条件と比較して総挙上重量が多くなることで、血中ホルモン応答および筋損傷の程度が大きくなると考えた。

4-2-2. 方法

4-2-2-1. 被験者

活動的な男子大学生 10 名が実験に参加した（年齢： 20.6 ± 1.1 歳，身長： 172.8 ± 3.5 cm，体重： 63.8 ± 3.8 kg）とした。被験者は本実験以前に最低 6 カ月以上のスクワット運動を含むレジスタンストレーニング経験を有していた。全ての被験者に対して本研究の方法、目的および危険性について説明を行い、被験者の同意を得た上で研究を実施した。なお、本研究はヘルシンキ宣言に基づいた大学の倫理委員会の承認を得て実施された（承認番号 16-37）。

4-2-2-2. 実験デザイン

被験者は全 4 回の実験に参加した。初回にパラレルバックスクワットの 1RM 測定を行い、その 1 週間後に練習セッション（短縮性筋活動 2 秒・伸張性筋活動 2 秒）を実施した。練習セッションから 2 日間以上の間隔を空けて、短縮性筋活動 2 秒・伸張性筋活動 4 秒（C2/E4）条件と短縮性筋活動 4 秒・伸張性筋活動 2 秒（C4/E2）条

件を 3 日間以上の間隔を空けてランダムな順序で実施した。

全ての条件は筋力および血中ホルモンの日内変動の影響を考慮して午前 8:00~11:00 の間に実施し、各被験者は毎回同じ時刻に実験をスタートした。1RM 測定および各条件の最初は 5 分間の安静を保持し、その後自転車エルゴメータを用いて 50W で 5 分間 (60 回転/分) のウォームアップを実施した。

C2/E4 および C4/E2 の運動前および 15 分後に採血を行い、成長ホルモン、テストステロン、IGF-1、コルチゾール濃度を測定した。

筋損傷の間接的指標として、運動前 (Pre)、直後 (0)、24 時間後 (24h) に膝伸展運動の等尺性最大筋力 (MVC)、運動前 (Pre) と 24 時間後 (24h) に筋痛を測定した (図 4-2-1)。

被験者に対して、スクワット 1RM 測定、練習セッション、本番セッション (C2/E4, C4/E2) を行う前は 8 時間の絶食状態をとらせ、前々日および前日ウェイトトレーニングを含む激しい運動を避けるように指示するとともに、実験前日の食事は各条件で出来る限り同じになるよう留意させた。

4-2-2-3 スクワット最大挙上重量測定

研究 1 の方法と同様に、スクワット最大挙上重量の測定を行った。

4-2-2-4. レジスタンス運動

スクワット 1RM 測定の 1 週間後に、練習セッションとしてパラレルバックスクワットを短縮性筋活動 2 秒・伸張性筋活動 2 秒で実施するセッションを行った。5 分間の自転車こぎ運動によるウォームアップの後、20kg で 10 回、50%1RM で 5 回のウォームアップを

行った．続いて，75%1RM の負荷で短縮性筋活動 2 秒・伸張性筋活動 2 秒で 3 セット，セット間のインターバルは 3 分とし，各セット疲労困憊まで実施した．スクワット運動中は 60bpm に設定したメトロノームの音を鳴らすとともに，同一験者がカウントして規定のテンポに従うよう留意した．しゃがみ込みの深さは，実験 1 と同様にパワーラックの柱の間にチューブを巻いて基準とした．練習セッションから 2 日間以上の間隔を空けて，下記に示す 2 条件を 3 日間以上の間隔を空けてランダムな順序で実施した．練習セッション同様平行バックスクワットを 75%1RM の負荷で各セット疲労困憊までの反復を 3 セット，セット間のインターバルを 3 分で実施した．疲労困憊は，被験者が既定のテンポで動作を遂行できなくなったとき，もしくはバーベルを降下させた後に挙上できなくなったときとした．スクワット運動は，短縮性筋活動 2 秒・伸張性筋活動 4 秒 (C2/E4) 条件と短縮性筋活動 4 秒・伸張性筋活動 2 秒 (C4/E2) 条件とし，両条件間は 3 日間以上の間隔を空けてランダムな順序で実施した．本研究で設定した筋活動の時間は，トレーニング現場で一般的に用いられている短縮性筋活動および伸張性筋活動がそれぞれ 4 秒以内とする見解をもとに採用した (Westcott et al., 2001; Headley et al., 2011; Keeler et al., 2001)．各セットにおいて反復できた回数および主観的強度を記録した．挙上重量と反復回数の積から総挙上重量を算出した．また，反復回数と 1 回の反復にかける収縮時間の積によって，張力発揮時間を算出した．全ての実験は筋力および血中ホルモンの日内変動を考慮して同一時刻に行った．

4-2-2-5. 測定項目

血液採集および分析

スクワット運動前，運動終了 5 分後，10 分後，15 分後に耳朶より採血を行い，研究 1 と同様に分析装置（Lactate Pro, LT-1710, 京都）を用いて血中乳酸濃度の測定を行った。

血中ホルモンの分析に使用する血液の採集は運動前（Pre）および運動終了 15 分後（15-min）に実施した。運動前の採血は，被験者が実験室に入室後 15 分間座位にて安静状態を保持した後（ウォームアップ前）に行った。被験者の前腕肘静脈より穿刺し，3 ml 程度の血液を採集した。採血後，真空採血管を常温環境下で保存した後，テストステロン，成長ホルモン，IGF-1，コルチゾール濃度の分析を行った。分析は専門業者（株式会社 SRL，札幌）に外注して実施した。各ホルモンの分析に用いられた装置，試薬および検査法は下記の通りである。テストステロン，成長ホルモン，コルチゾール濃度は，モジュラーアナリティクス(株)日立ハイテクノロジーズ，東京)を用いて，エクルーシス試薬(ロシュダイアグノスティックス(株)，東京)を使用して，電気化学発光免疫測定法(ECLIA)によって測定した。IGF-1 は， γ -カウンター(株)パーキンエルマー社，神奈川)を用いて，IGF-I（ソマトメジン C）IRMA「第一」を使用して RIA 固相法によって測定した。

膝伸展運動の等尺性最大筋力 (MVC)

トレーニング前 (PRE), 直後 (POST) および 24 時間後 (24h) に膝伸展運動の MVC を測定した。測定は研究 1 と同様に実施した。

筋痛

運動前 (PRE) と 24 時間後 (24h) に, 被験者に無負荷 (自体重) でパラレルスクワットの姿勢をとらせた際の大腿部前面の筋痛を Visual Analogue Scale (VAS) を用いて測定した. 測定は研究 1 と同様に実施した.

4-2-2-6. 統計処理

スクワット運動の総反復回数, 総挙上重量, 総張力発揮時間および主観的強度 (3 セットの平均値) について, 正規性の確認をした後, 条件間の比較に対応のある t 検定を用いた. 運動前および 15 分後の条件間における各血中ホルモン応答の比較に反復測定の二元配置分散分析を用いた. MVC, 筋痛の条件間での比較に, 反復測定の二元配置分散分析 (MVC; 2 条件×3 時点, 筋痛: 2 条件×2 時点) を行った. 交互作用が認められた場合, 単純主効果の有無を確認した後, Tukey 法により多重比較を行った. 時間の主効果が認められた場合, 繰り返しのある一元配置分散分析を実施した. 有意性が認められた場合, Bonferroni 法を用いて多重比較を行った. データは全て平均値 ± 標準偏差で示した. 有意水準は 5%未満とした.

4-2-3. 結果

スクワット運動のパフォーマンス

スクワット運動の各セット終了後の RPE の平均値は C2/E4 が 17.9 ± 0.7, C4/E2 が 17.8 ± 0.8 で同程度であった. 総反復回数 (C4/E2: 28.0 ± 5.3 回, C2/E4: 24.6 ± 5.1 回, $p < 0.01$), 総挙上重量 (C4/E2: 2,034 ± 491 kg, C2/E4: 1,780 ± 440 kg, $p < 0.05$), 張力発揮時間 (C4/E2: 165.2 ± 32.2 秒, C2/E4: 150.4 ± 30.2 秒,

p < 0.05) とともに C2/E4 と比較して C4/E2 が有意に高値であった。

血中乳酸値および血中ホルモン応答

血中乳酸値 (図 4-2-2) および成長ホルモン濃度 (図 4-2-3a) において, 時間の主効果のみが認められ両条件において有意に増加した (p < 0.01). IGF-1 (図 4-2-3b), テストステロン (図 4-2-3c), コルチゾール (図 4-2-3d) は変化が認められなかった。

筋損傷の間接的指標

MVC について, 時間の主効果のみが認められた (図 4-2-4a). MVC は運動後に 17%, 24h に 4%低下が認められた。筋痛の程度についても時間の主効果のみが認められた (図 4-2-4b)。また, 24h における筋痛度は 27 ± 16 mm と小さかった。

4-2-4. 考察

本研究の目的は, 疲労困憊まで反復するスクワット運動において 1 回の反復にかける時間が等しい (6 秒) 一方で短縮性筋活動と伸張性筋活動の時間が異なるプログラムがスクワット運動のパフォーマンス, 血中ホルモン応答および筋損傷の程度に及ぼす影響を検討することであった。本研究の結果, 短縮性筋活動の時間が長い条件 (C4/E2) の方が伸張性筋活動の時間が長い条件 (C2/E4) と比較して反復回数および総挙上重量, 張力発揮時間が高値となるものの, 条件間で血中ホルモン応答および筋損傷の程度には影響を与えないことが明らかとなった。従って, これらの応答は短縮性筋活動や伸張性筋活動の時間よりも, 疲労困憊までの反復に影響を受けるもの

と考えられる。

C2/E4 が C4/E2 と比較して反復回数および挙上重量，張力発揮時間が低値となり，50%1RM で膝伸展運動を疲労困憊まで反復した Goto et al. (2009) とは異なる結果となった。Goto et al. (2009) では，50%1RM の負荷で膝伸展運動を短縮性筋活動 1 秒，伸張性筋活動 5 秒 (C1/E5) と短縮性筋活動 5 秒，伸張性筋活動 1 秒 (C5/E1) で実施し，C1/E5 の方が多くの反復回数を実施できたことが報告されている。本研究との結果の違いを生じさせた原因は不明であるが，考えられる要因として，本研究と Goto et al. (2009) は種目 (Goto et al., 2009: 膝伸展運動 vs. 本研究: スクワット運動)，負荷 (50%1RM vs. 75%1RM)，収縮時間 (C1/E5, C5/E1 vs. C2/E4, C4/E2) の違いが挙げられる。また，伸張性筋活動の時間を長くすると伸張性筋活動から短縮性筋活動へ変わる際の弾性エネルギーが小さくなることも原因の 1 つかもしれない (Pryor et al., 2011)。伸張性筋活動の時間を長くするトレーニング法は，短縮性筋活動の時間を長くするトレーニング法と比較してやや時間効率に優れている。なぜなら，C2/E4 の方が C4/E2 と比較して疲労困憊に至るまでの時間が短い (C2/E4: 150.4 ± 30.2 秒, C4/E2: 165.2 ± 32.2 秒) 一方で，血中ホルモン応答および筋損傷の程度に違いが見られなかったためである。

血中乳酸濃度について条件間で差が認められなかったことから，中等度負荷でのスクワット運動において短縮性筋活動と伸張性筋活動の時間の違いが代謝ストレスに及ぼす影響は小さいものであると考えられる。収縮時間の影響に関して，ベンチプレスで伸張性筋活動のみで実施した場合において，張力発揮時間が長い条件の方が成

長ホルモンの応答が高まることが報告されている (Libardi et al., 2013; Calixto et al., 2014). 本研究では, C4/E2 (165.2 ± 32.2 秒)の方が C2/E4 (150.4 ± 30.2 秒)と比較して張力発揮時間が長かった. しかしながら, Libardi et al. (2013) および Calixto et al. (2014) が条件間で張力発揮時間が 6~7 倍異なったのと比較すると非常に僅かな差であった. 本研究において C2/E4 と C4/E2 間で成長ホルモンの応答に差が見られなかったのは, 張力発揮時間の違いが小さかったためと考えられる. 本研究と同様に短縮性筋活動と伸張性筋活動の時間の違いが血中ホルモン応答に及ぼす影響を検討した Goto et al. (2009) において, 血中の同化ホルモンの応答には条件間 (C1/E5 vs. C5/E1) で差が認められなかった一方で血中の異化ホルモン, すなわち, コルチゾールに関しては短縮性筋活動の時間が長い方が高値となったことが報告されている. 本研究において実施したスクワット運動においては両条件ともにコルチゾールも含めたすべての血中ホルモン応答に条件間で差が認められなかったことから, Goto et al. (2009) とは異なり 75% 1RM の負荷でのスクワット運動において伸張性筋活動の時間を長くするプログラムが血中ホルモン応答に及ぼす利点はないといえる.

本研究において両条件ともにテストステロン, IGF-1, コルチゾールに有意な変化が認められなかったことから, 本研究で実施したスクワット運動プログラムがそれらの血中ホルモンの分泌量を増加させるほどの刺激として十分ではなかった可能性がある. テストステロンに関して, 75~85%1RM の負荷で 60~80 回の反復によって運動 15 分後に増加が確認されている (Gotshalk et al., 1997; Ratamess et al. 2005). IGF-1 については, 75%1RM の負荷で合計 240 回反

復した場合に運動中から運動 5 分後にかけて増加したことが示されている (Kraemer et al., 1991). コルチゾールに関しては, 75~85%1RM の負荷で合計 80 回の反復によって運動直後に増加が確認されている (Mulligan et al., 1996; Gotshalk et al., 1997; Ratamess et al., 2005).

レジスタンス運動後の MVC および筋痛について C2/E4 と C4/E2 の間で差が認められなかったことから, 疲労困憊まで反復する場合に短縮性筋活動と伸張性筋活動の時間の違いが筋損傷の程度に及ぼす影響は小さいものと考えられる. C2/E4 と C4/E2 の間で筋損傷の間接的指標に有意差が認められなかったのは, 伸張性筋活動の時間の違いや総挙上重量の違いが小さかったためと考えられる. 伸張性筋活動の速度が速い方が筋損傷の程度が大きくなるとされているが (Chapman et al. 2006), 本研究における C2/E4 と C4/E2 の伸張性筋活動の時間の違いは 2 倍 (2 秒 vs. 4 秒) と先行研究 (Chapman et al., 2006, 7 倍) と比較して小さかった. また, 本研究における C2/E4 と C4/E2 の総挙上重量の違いは 15%程度と, 総挙上重量の違いが筋損傷の程度に影響することを示した先行研究 (Nosaka & Newton, 2002, 100%) と比較して小さかった. また, 本研究で確認された MVC の低下および筋痛は, 小さいものだった. これは, “繰り返し効果” (Nosaka & Aoki, 2011) によるものと考えられる. 被験者は 6 ヶ月以上のトレーニング経験を有しており, 本研究において実施したトレーニングにもある程度慣れていた可能性がある.

緒言で述べたとおり, レジスタンストレーニングによる血中ホルモン分泌の増加が筋肥大及び筋力増強に関与している (Schoenfeld et al., 2013). 本研究において, C2/E4 および C4/E2 の間で血中ホ

ルモン応答に有意差が認められなかったことから，トレーニングを継続した場合に同等程度の筋肥大効果があるのではないかと予想される．しかしながら，本研究は一過性の血中ホルモン応答を調査したに過ぎず，トレーニング効果に関しては予測の域を超えない．今後は収縮時間の異なるプログラムのトレーニング効果に関する研究が求められる．

4-2-5. 結語

本研究では，筋肥大を目的とした **75%1RM** の負荷のスクワット運動において短縮性筋活動と伸張性筋活動にかける時間の違いがスクワット運動のパフォーマンス，血中ホルモン応答および筋損傷に及ぼす影響を検討した．その結果，短縮性筋活動の時間を長くした条件 (**C4/E2**) の方が反復回数，総挙上重量，張力発揮時間が高値となったものの，短縮性筋活動と伸張性筋活動にかける収縮時間の違いが血中ホルモン応答および筋損傷の程度に及ぼす影響に違いは認められなかった．よって，筋肥大を目的として **75%1RM** の負荷で行うスクワット運動において短縮性筋活動と伸張性筋活動の時間の違いが血中ホルモン応答および筋損傷の程度に及ぼす影響は小さいものであると考えられる．

研究 3

疲労困憊まで反復するレジスタンストレーニングにおいて伸張性筋活動の時間が筋量および筋力に及ぼす影響

4-3-1. 緒言

レジスタンストレーニングにおいて、筋肥大効果を高めるために、伸張性筋活動の時間を長くする方法が推奨され (Aaberg, 2006; NSCA Certification Commission, 2008) 一般的に行われている。しかしながら、伸張性筋活動の時間を長くすることが筋肥大効果を高めることを示す明確な根拠は見当たらない。

伸張性筋活動の時間を長くする方法が筋肥大効果を高めることを報告した研究も見られるが (Pereira et al., 2016), Pereira et al. (2016) では伸張性筋活動の時間だけでなく、負荷も異なっていた。そして、伸張性筋活動の時間が長い群と短い群の張力発揮時間が大幅に異なっていた (伸張性筋活動の時間が長い群 : 短い群, 120 秒 : 48 秒)。伸張性筋活動の時間が長いトレーニング法と短いトレーニング法について、同じ相対負荷を用いて、疲労困憊まで反復するプログラムにおいてトレーニング効果を比較した研究は見当たらない。

本研究は伸張性筋活動の時間の異なる (2 秒 vs. 4 秒) スクワットトレーニングプログラムが筋肥大に及ぼす影響を比較することを目的とした。合わせて、筋力についても測定した。仮説として、研究 2 の結果を踏まえ、疲労困憊まで反復する場合、伸張性筋活動の時間が長い群 (4 秒) と短い群 (2 秒) の間でトレーニング効果に違いが認められないと考えた。

4-3-2. 方法

4-3-2-1. 被験者

大学サッカー部所属の男子学生 24 名が実験に参加した。被験者を短縮性筋活動 2 秒 / 伸張性筋活動 4 秒で実施する群 (C2/E4: n = 12) と短縮性筋活動 2 秒 / 伸張性筋活動 2 秒で実施する群 (C2/E2, n = 12) に分けた。実験を開始するにあたり、全ての被験者に対して本研究の方法、目的および危険性について説明を行い、被験者の同意を得た上で研究を実施した。なお、本研究はヘルシンキ宣言に基づいた大学の倫理委員会の承認を得て実施された (承認番号 15-29)。

各群 1 名ずつがサッカー練習中のケガおよびトレーニング期間後の測定日の体調不良によりドロップアウトした。そのため、各群 11 名 (C2/E4, n = 11, 年齢 19.9 ± 1.0 歳, 身長 173.6 ± 4.0 cm, 体重 66.6 ± 8.1 kg, C2/E2, n = 11, 年齢 19.8 ± 0.9 歳, 身長 170.7 ± 3.1 cm, 体重 65.6 ± 4.9 kg) を分析に採用した。

4-3-2-2. 実験デザイン

本研究では、疲労困憊まで反復するパラレルバックスクワットトレーニングにおいて伸張性筋活動の時間の違いがトレーニング効果に及ぼす影響を検討した。被験者は伸張性筋活動を 4 秒で行う群 (C2/E4) と 2 秒で行う群 (C2/E2) に分けられた。被験者はスクワットトレーニングを週 2 回 6 週間 (全 12 セッション) 実施した。トレーニング期間の前後に、核磁気共鳴画像法 (MRI) によって右脚大腿部の画像を撮像し、横断面積を算出した。また、トレーニング期間前、3 週間後、トレーニング期間後にスクワット最大挙上重

量を測定した。

4-3-2-3. レジスタンストレーニング

被験者は、週 2 回、6 週間（全 12 セッション）にわたり、パラレルバックスクワットトレーニングを 75%1RM の負荷で行った。トレーニングは、各セット疲労困憊までの反復を 3 セット、セット間インターバル 3 分で行った。3 週間後に 1RM を測り直し、負荷を再設定した。収縮にかける時間は、C2/E4 は、短縮性筋活動 2 秒・伸張性筋活動 4 秒とし、C2/E2 は、短縮性筋活動 2 秒・伸張性筋活動 2 秒とした。短縮性筋活動と伸張性筋活動の動作を設定時間通りに行うために、スクワット運動中、60 bpm に設定されたメトロノームを鳴らすとともに験者が収縮時間をカウントした。また、研究 1, 2 と同様にパワーラックの柱の間にゴムチューブを巻き、スクワットのしゃがみこみの深さの基準とした。

4-3-2-4. 測定項目

筋横断面積

筋横断面積の測定に、磁気共鳴映像法（Magnetic Resonance Imaging; MRI, RPISMA, 3.0T; SIEMENS Magnetom Vision Erlangen, Germany）を用いて被験者の利き脚（強くボールをキックする脚。全被験者が右脚であった）の大腿部の撮像を行った。MRI から得られた大腿部の縦断画像より大転子上端および外側顆下端を同定した後、横断面の画像を繰り返し時間 700 ms, エコー時間 8.6 ms, スライス厚 5 mm, スライス間隔 6 mm で連続的に撮像した。大転子から遠位 30%, 50%, 70%に相当する部位（順に CSA30,

CSA50, CSA70 とする) の画像を画像解析ソフト (Image J, National Institute of Health, Maryland) に取り込み, 大腿四頭筋 (外側広筋, 内側広筋, 中間広筋, 大腿直筋) をトレースし筋断面積を求めた (図 4-3-1). トレースは 2 度行い, 平均値を分析に採用した. 2 回行った CV は 2%未満であった.

スクワット最大挙上重量測定

スクワット最大挙上重量 (1RM) を, 研究 1,2 と同様に測定した.

4-3-2-5. 統計処理

スクワット運動の総反復回数, 総挙上重量, 総張力発揮時間の群間での比較に対応のない t 検定を行った. CSA30, CSA50, CSA70, スクワット 1RM の群×時間の比較に, 反復測定の二元配置分散分析を行った (CSA30, CSA50, CSA70: 2 群×2 時点, スクワット 1RM: 2 群×3 時点). 交互作用が認められた場合, Tukey HSD による多重比較を行った. 時間の主効果が認められた場合, 繰り返しのある一元配置分散分析を行った. 有意性が認められた場合, Bonferroni 法を用いて多重比較を行った.

データは全て平均値±標準偏差で示した. 有意水準は 5%未満とした.

4-3-3. 結果

トレーニングについて

スクワット運動における総反復回数, 総挙上重量は C2/E2 が C2/E4 と比較して有意に高値であった ($p < 0.01$) (表 4-3-1). 総張

力発揮時間に群間で有意差は認められなかった ($p > 0.05$) (表 4-3-1).

筋横断面積

CSA30, CSA50, CSA70 において, 時間の主効果のみが認められた ($p < 0.01$). 増加率は, CSA70 ($5.3 \pm 4.0\%$) が CSA30 ($2.0 \pm 3.4\%$, $p < 0.01$) および CSA50 ($3.5 \pm 2.8\%$, $p < 0.05$) と比較して有意に高値を示した (図 4-3-2).

スクワット 1RM

スクワット 1RM は両群ともに有意に増加した (図 4-3-3). 増加の程度は C2/E2 が C2/E4 と比較して有意に大きかった (C2/E2, Pre: 95.9 ± 12.2 kg, 3-wk: 108.2 ± 15.4 kg, 6-wk: 113.6 ± 14.8 kg, C2/E4, Pre: 95.5 ± 12.9 kg, 3-wk: 102.7 ± 15.6 kg, 6-wk: 105.5 ± 14.9 kg).

4-3-4. 考察

本研究は, 疲労困憊まで反復するパラレルバックスクワットトレーニングにおいて伸張性筋活動の時間を延長させたプログラムと通常の (伸張性筋活動と短縮性筋活動にかける時間が同じ) プログラムが若年男性サッカー選手における筋肥大に及ぼす影響を検討した. 合わせて筋力についても測定した. 本研究から得られた主要な知見は, パラレルバックスクワットトレーニングにおいて伸張性筋活動の時間を延長させたプログラムは, 通常のプログラムと比較して筋肥大および筋力に対して高い効果を与えないということである.

疲労困憊まで反復するレジスタンストレーニングにおいて、伸張性筋活動の時間の違いは筋横断面積に対するトレーニング効果に影響しないことが明らかとなった。伸張性筋活動の時間の長短が筋肥大に及ぼす影響を検討した **Pereira et al. (2016)** では、本研究とは逆に伸張性筋活動の時間が長い群（4秒）の方が短い群（1秒）と比較して筋肥大効果が高かったと報告している。しかしながら、反復回数が両群とも1セット当たり10回と予め決められていたことから、伸張性筋活動の時間が長い群の方が張力発揮時間が長かった。張力発揮時間の長い方が、筋タンパク合成を増加させ (**Burd et al., 2012**), 筋肥大効果を高める (**Tanimoto et al., 2006**) ことが報告されている。本研究においては、伸張性筋活動の時間が長い群 (C2/E4) と短い群 (C2/E2) とともに疲労困憊まで反復した結果、群間で張力発揮時間に違いが認められなかった。従って、伸張性筋活動の時間を長くすることよりも、疲労困憊まで反復して収縮時間を長くすることが、筋肥大にとって重要なのではないかと考えられる。

CSA50 および CSA70 が CSA30 と比較して増加率が大きかった。膝伸展運動において、近位よりも遠位の方で筋活動が高まること示されている (**Akima et al., 2004**)。また、スクワットトレーニング (**Usui et al., 2015**) において大腿四頭筋の近位部と比較して遠位部で筋量が大きく増加したことが示されている。従って、本研究において観察された筋肥大の部位間差は妥当な結果と言えるだろう。

本研究では、筋肥大と合わせて筋力も測定した。筋力は筋横断面積および神経系の要因に影響を受けるとされる C2/E2 において C2/E4 と比較して筋力増強効果が高かったことから、疲労困憊まで反復するレジスタンストレーニングにおいて伸張性筋活動の時間を

長くするプログラムは筋力増強効果を抑制させると考えられる。C2/E2においてC2/E4と比較して神経系の改善効果が大きかったものと考えられる。なぜなら、CSA30、CSA50、CSA70において、C2/E4とC2/E2の間で差が見られなかったためである。レジスタンストレーニング開始初期の筋力増強は、運動単位の増員増加や神経の発火頻度増加といった神経系の改善によるところが大きいとされる(Moritani, 1979)。伸張性筋活動の時間を長くすると、神経系の改善効果が損なわれるのかもしれない。

C2/E2においてC2/E4と比較して筋力増強効果が高まった原因として、総挙上重量の影響が考えられる。筋力増強効果は総挙上重量に影響を受けることが報告されている(Krieger et al., 2010)。本研究において、C2/E2の方がC2/E4と比較して総挙上重量が約36%多かった(表4-3-1)。先行研究において、本研究とは逆に、伸張性筋活動の時間が長い群と短い群で筋力増強効果に差が見られなかった(Dias et al., 2015; Fisher et al., 2016; Mike et al., 2017)、もしくは伸張性筋活動の時間が長い群の方が短い群と比較して筋力増強効果が高かった(Pereira et al., 2016)ことが報告されている。しかしながら、上記のうち3つの研究(Dias et al., 2015; Mike et al., 2017; Pereira et al., 2016)において総挙上重量が統一されており、伸張性筋活動の時間が短い群ではトレーニング効果が過小評価されていたおそれがある。また、Fisher et al. (2016)においては、伸張性筋活動の時間が短い群の方が長い群と比較して総挙上重量が多かったとされるものの、トレーニング効果に差が認められていない。その原因は明らかでないものの、Fisher et al. (2016)においては、トレーニング量が少なかったことが原因と考えられる。なぜなら、

鍛錬者が週 2 回，各 1 セットしか行っていないためである．いずれにしても，本研究は伸張性筋活動の時間を長くしても筋力増強効果は高まらないという点において，Fisher et al. (2016) の結果を支持するものである．

4-3-5. 結語

本研究の結果，疲労困憊まで反復するスクワットトレーニングにおいて伸張性筋活動の時間を延長させるプログラムは，通常の（意図的に収縮時間を延長させない）プログラムと比較して筋量に対して高いトレーニング効果を与えないことが明らかとなった．また，筋力に対しては増強効果を妨げる恐れがあることが示された．

第 5 章 筋力増強を目的としたレジスタンストレーニング法

研究 4

レジスタンス運動のセット数の違いが筋損傷に及ぼす影響

5-1-1. 緒言

運動競技に取り組む選手はシーズン中の時期に応じて適切なトレーニングプログラムを実施することで計画的に身体づくりを行っていく。シーズンは試合期に向けて鍛錬を行う準備期、重要な試合が行われる試合期、試合後の回復や次のシーズンへの準備を行う移行期に分けられる。準備期後半は、試合期に向けて神経・筋の動員能力を改善させるために筋力増強を目的とした高負荷でのレジスタンストレーニングが推奨されている。この時期は、競技練習の強度が高まると同時に練習試合や合宿などが組み込まれ、レジスタンストレーニングの頻度が低下する。レジスタンストレーニングによる筋力増強効果はトレーニング量、すなわち、総挙上重量に影響を受ける。従って、週当たりに実施できる頻度が低下するとトレーニング効果の低下は避けられない。それを補うために 1 回のセッションでトレーニング量の高いプログラムを実施する方法を選択する必要がある。

レジスタンス運動後には筋損傷が起きることが知られている (Cheung et al., 2003; Thiebaud, 2012)。筋損傷は伸張性筋活動を実施した場合に特に大きくなるとされている (Lavendor & Nosaka, 2006)。レジスタンストレーニングは一般的に、短縮性筋活動と伸張性筋活動を連続して繰り返す方法で行われる (Fleck & Kraemer,

2008). 伸張性筋活動を含むことから、筋損傷が起きる。一般的なレジスタンストレーニング後の筋損傷の程度を調査した研究は、総挙上重量に差がなければ筋損傷の程度にも差が見られないと報告され(Uchida et al., 2009; Charro et al., 2012), 筋損傷の程度は総挙上重量に依存すると考えられている。しかしながら、筋力増強を目的とした高負荷でのレジスタンストレーニングのトレーニング量(セット数)の違いが筋損傷の程度に及ぼす影響は明らかでない。

そこで、本研究はレジスタンストレーニングとして一般的に行われる、短縮性筋活動と伸張性筋活動を連続して繰り返す運動のトレーニング量の違いが筋損傷に及ぼす影響を検討することを目的とした。仮説として、トレーニング量が多い方が筋損傷の程度も高まると考えた。

5-1-2. 方法

5-1-2-1. 被験者

下肢に障害を抱えていない活動的な男子大学生 16 名が実験に参加した。被験者は右脚での膝伸展によるレジスタンス運動を、12セット実施する群(12SET; $n = 8$, 年齢: 21.0 ± 1.7 歳, 身長: 173.4 ± 4.7 cm, 体重: 64.2 ± 5.6 kg)と、6セット実施する群(6SET; $n = 8$, 年齢 19.9 ± 1.1 歳, 身長: 170.9 ± 7.4 cm, 体重: 67.2 ± 9.6 kg)に分けられた。彼らには、実験期間中に脚を酷使する運動(例: ランニング, レジスタンス運動)を避けるとともに、実験前日および当日にアルコールを摂取しないよう留意させた。実験を開始するにあたり、全ての被験者に対して本研究の方法、目的および危険性について説明を行い、被験者の同意を得た上で研究を実施した。な

お、本研究はヘルシンキ宣言に基づいた大学の倫理委員会の承認を得て実施された（承認番号 13-18）。

5-1-2-2. 実験デザイン

レジスタンス運動および測定の日程を図 5-1-1 に示す。被験者は、1 回目に右脚でのレッグエクステンションの最大挙上重量（1RM）を測定した。1RM は 12SET 群が 50.7 ± 9.6 kg, 6SET 群が 53.0 ± 5.2 kg であった。1 週間後に、6SET 群は 6 セット, 12SET 群は 12 セットのレッグエクステンションを実施した。レッグエクステンションの前後, 1 日後~7 日後に筋力測定装置（Kin-Com 500, Chattecx Inc., Chattanooga, USA）を使用して膝伸展運動の等尺性最大筋力（MVC）を測定した。また、運動前, 運動 1 日後~7 日後に筋痛を測定した。各測定および運動は、サーカディアンリズムの影響を考慮して毎回同じ時刻に行った。

5-1-2-3. レジスタンス運動

レジスタンス運動として、レッグエクステンションマシン（Senoh, 千葉）を用いてレッグエクステンションを実施した。負荷は 1 セット目は 90%1RM とし、最大限反復した。7 回以上反復できた場合には、重量を追加した。2 セット目以降は 4~6RM 程度となるように重量を調節した。セット間休憩は 3 分とした。各セット反復できなくなるまで繰り返す、反復回数を記録した。6SET 群は 6 セット, 12SET 群は 12 セット行った。筋力増強を目的としたプログラムでは、3~6 セット行うことが推奨されていることから（Sheppard & Troplett, 2015）、一般的なトレーニング量として 6 セ

ットを行い，高いトレーニング量を実施する群は 2 倍の 12 セットとした．

各セット終了時に，Borg's CR-10 scale (Borg et al., 1985) を使用して主観的運動強度を記録した．

5-1-2-4. 測定項目

等尺性最大筋力

膝伸展運動における MVC を，筋力測定装置 (Kin-Com 500, Chattecx, Inc., Chattanooga, USA) を用いて測定した．被験者を台座に座らせ，上半身および太ももをベルトで背もたれと座面に固定した．被験者は腕を体の前で交差させた状態を保持した．MVC は，膝角度 90 度の状態で全力での力発揮を 3 秒間，1 分間の休憩を挟んで 2 回測定し，高値を分析に採用した．

筋痛

膝伸展筋群の筋痛について，Visual Analog Scale (VAS) を用いて測定した．紙面に書かれた 100 mm の直線の左端が”全く痛みがない状態”，右端が”最大の痛み”として，被験者は立位の状態から右膝を屈曲させて踵に近づけるストレッチ姿勢をとったときの大腿部前面の筋痛を記入した．

5-1-2-5. 統計処理

MVC および筋痛の時間×群間の比較に反復測定の二元配置分散分析を用いた．交互作用が認められた場合，Tukey 法を用いて多重比較を行った．時間の主効果が認められた場合，繰り返しのある一元

配置分散分析を実施し，有意性が認められた場合，Bonferroni法を用いて多重比較を行った．データは全て平均値 ± 標準偏差で示した．有意水準は 5%未満とした．

5-1-3. 結果

反復回数および RPE について

12SET および 6SET の各セットにおける反復回数を表 5-1-1 に示す．1セット目は，12SET が 8.1 ± 3.5 回，6SET が 7.6 ± 2.0 回であった．2セット目以降は，12SET が 4.0 ± 0.8 回 ~ 6.6 ± 1.6 回，6SET が 4.8 ± 1.3 回 ~ 6.4 ± 1.2 回となった．合計反復回数は，12SET が 61.5 ± 5.1 回，6SET が 34.6 ± 3.3 回であった．

RPE は，12SET が 6.6 ± 1.9 ~ 8.3 ± 1.4 ，6SET が 5.6 ± 1.8 ~ 7.9 ± 1.2 であり，全てのセットで努力感が「強い」以上であった．12SET と 6SET の平均 RPE は，7 程度であり，努力感が「かなり強い」に該当するレベルであった (12SET: 7.5 ± 1.3 , 6SET: 7.0 ± 1.3)．

MVC について

時間の主効果のみが認められ，運動後において運動前と比較して有意に低値を示した ($p < 0.01$) (図 5-1-2)．1日後は運動前と比較して有意差が認められなかった．

筋痛について

交互作用が認められ，12SET 群においてのみ 1 日後に有意に増加した ($p < 0.01$) (図 5-1-3)．

5-1-4. 考察

本研究では，高負荷レジスタンストレーニングにおけるトレーニング量（セット数）の違いが運動後の筋損傷に及ぼす影響を検討した．本研究の結果，レッグエクステンションを12セット行った場合に，一般的に行われる6セットの運動と比較して運動後のMVCに差は認められなかった．MVCは運動後に運動前と比較して有意に低値となったものの，1日後には運動前の水準にまで回復した．筋痛に関しては，12セット行った群においてのみ運動1日後に有意に増加した．

当初は，筋損傷の程度はトレーニング量に依存すると考え（Uchida et al., 2009; Charro et al., 2012），トレーニング量の多い12SET群の方が6SET群と比較してMVCの低下が大きくなると予想していた．しかし，12SET群と6SET群の間でMVCの低下の程度に差は認められなかった．また，本研究において行われた短縮性筋活動と伸張性筋活動を繰り返す一般的なレジスタンス運動後の筋損傷は，6セット行った場合にも12セット行った場合にも非常に小さいものであった．なぜなら，運動後のMVCの低下度合い（約12%）が小さく，運動1日後には運動前の水準と有意差の認められない程度にまで回復していたためである．本研究で認められた筋損傷の程度は，先行研究（Nosaka et al., 2002）において伸張性筋活動のみによって行われた運動後のMVCの低下（約40~50%低下）と比較して小さいものであった．これは，運動様式と運動強度，部位の違いが関係していると考えられる．最も大きな違いは運動様式である．本研究では一般的なレジスタンス運動を想定して短縮性筋活動と伸張性筋活動を繰り返す運動を行った．短縮性筋活動の方が伸

張性筋活動と比較して最大筋力が低いことから、短縮性筋活動を含んだレジスタンス運動を行った本研究における強度（90%1RM, 4~6RM）では、伸張性筋活動のみを行った先行研究における強度（100%1RM）と比較して強度が低かった。レジスタンス運動における運動強度が高い方が筋損傷の程度も大きくなるとする見解も示されている（Nosaka & Newton, 2002）。また、本研究においては脚の運動を行ったが、脚は腕と比較して筋損傷を受けにくいことが示唆されている（Jamurtas et al., 2005）。これも、本研究における運動後の筋損傷の程度が小さかった原因と考えられる。

筋痛については、12セット行った群においてのみ1日後に有意に増加した。筋痛を感じている場合にドロップジャンプのパフォーマンスが低下することを示唆する研究もあることから（尾縣ほか, 2015）、高い運動パフォーマンスが求められる時期は注意が必要である。しかしながら、運動2日後には運動前と有意差の無い程度まで低下したことから、1度に多くのトレーニング量を課した場合にも次のトレーニングへの影響は小さいものと考えられる。

5-1-5. 結語

本研究から、レジスタンストレーニングとして一般的に行われる、短縮性筋活動と伸張性筋活動を連続して繰り返す運動におけるトレーニング量の違いが筋損傷に及ぼす影響は小さいものであることが明らかとなった。

研究 5

トレーニング量を統一した週 1 回および週 2 回の頻度で行うレジスタンストレーニング法が筋力およびパワーに及ぼす影響

5-2-1. 緒言

スプリントやジャンプといった運動競技の動作には、瞬発的な力発揮(パワー)が関連している (Kawamori & Haff, 2004). パワーは力と速度の積で表され、筋力が高い方がパワー発揮を高められることが示されている (Cormie et al., 2011). 従って、スポーツ選手は筋力増強を目的としてレジスタンストレーニングに取り組む必要がある。

鍛錬者において筋力増強を目的としたトレーニングにおける適切な頻度は各筋群につき週 2 回とされている (Rhea et al., 2003). しかしながら、筋力増強を目的としたレジスタンストレーニングが実施される準備期後半では、練習の強度が高まると同時に練習試合や合宿などが組まれることが多く、トレーニング頻度が低下する傾向にある。

鍛錬者を対象とした研究において、週 1 回という低頻度のレジスタンストレーニングでは筋力増強効果を得られない (Rønnestad et al., 2011), もしくは週 3 回と比較して筋力増強効果が約 60%も劣ると報告されている (McLester et al., 2000). 筋力増強効果を引き出すには、週 2 回・1 回 4 セット、すなわち週当たり 8 セットというトレーニング量が必要であるが (Rhea et al., 2003), 先に挙げた研究 (Rønnestad et al., 2011; McLester et al., 2000) で行われたのは週当たり 3 セットのみであった。

週 1 回という低頻度でも，各回 8 セット実施することで，推奨されたプログラム（週 2 回・各 4 セット）と総挙上重量を等しくしたプログラムが筋力・パワーに与える効果は明らかでない．

そこで，本研究は総挙上重量が同等となるように設定した週 1 回と週 2 回のレジスタンストレーニングが筋力およびパワーに及ぼす効果を比較することを目的とした．仮説として，総挙上重量が等しい場合，週 1 回と週 2 回のプログラムの間で効果に違いは示されないと考えた．

5-2-2. 方法

5-2-2-1. 被験者

大学テニス部に所属する男子学生 16 名が実験に参加した．被験者はレジスタンストレーニングを週 1 回実施する群と，週 2 回実施する群に 8 名ずつ分けられた．実験期間中のトレーニング以外でのケガにより 2 名がドロップアウトしたため，週 1 回実施する群（1-DAY group, $n = 7$, 年齢： 20.3 ± 0.5 歳，身長： 173.4 ± 5.3 cm, 体重： 68.4 ± 10.5 kg）と，週 2 回実施する群（2-DAY group, $n = 7$, 20.0 ± 0.8 歳，身長： 173.6 ± 6.0 cm, 体重： 68.3 ± 16.4 kg）の各群 7 名ずつを分析に採用した．全ての被験者は下肢に障害を抱えておらず，6 ヶ月以上のレジスタンストレーニング経験を有していた．実験を開始するにあたり，全ての被験者に対して本研究の方法，目的および危険性について説明を行い，被験者の同意を得た上で研究を実施した．なお，本研究はヘルシンキ宣言に基づいた大学の倫理委員会の承認を得て実施された（承認番号 13-18）．

5-2-2-2. 実験デザイン

本研究では，トレーニング量（総挙上重量）が等しくなるように設定された，週1回と週2回の筋力増強期を想定したレジスタンストレーニングが筋力およびパワーに及ぼす影響を検討した．各群の被験者は6週間のトレーニング期間の前後でスクワット最大挙上重量およびレッグプレスパワーを測定した．

5-2-2-3. レジスタンス運動

レジスタンストレーニングの種目は，パラレルバックスクワットとし，1セット目の負荷は90%1RMとし，2セット目以降は，反復回数が3回を下回った場合にはその次のセットにおける重量を5kg低下して実施させた．1-DAY groupは8セット，2-DAY groupは，4セット実施した．トレーニング期間は6週間とした．

5-2-2-4. 測定項目

スクワット 1RM

測定は，研究1,2,3と同様に実施した．

レッグプレスパワーの測定

脚伸展パワー測定器（COMBI社製 Anaero Press 3500）を用いてレッグプレスパワーを測定した．本機器ではフットプレートに各被験者の体重と同等の負荷がかかるよう設定されており，本機器での測定の際に発揮されるパワーは，垂直跳びなどのジャンプ動作におけるパワー発揮と似ている（伊藤&依田，1992）．被験者を座席に座らせ，膝角度が約90度となるように座面を前後に移動させた．被

験者には出来るだけ速く強く膝を伸展させてフットプレートを押し出すよう指示を出した。測定は15秒間隔で5回実施し、Yamaguchi & Ishii (2005)の方法に倣って高値2つを平均した値を分析に採用した。本機器において計測されるパワーは、先行研究 (Yamaguchi & Ishii, 2005)において再現性が確認されている。

5-2-2-5. 統計処理

1DAY群と2DAY群の総挙上重量の比較に対応のないt検定を行った。トレーニング期間前後での1DAY群と2DAY群のスクワット1RMおよびレッグプレスパワーの比較に反復測定の二元配置分散分析(2群×2時点)を行った。時間の主効果が認められた場合、期間の前後での比較に対応のあるt検定を行った。データは平均値±標準偏差で示す。統計学的有意水準は $p < 0.05$ とした。

5-2-3. 結果

トレーニングの回数と総挙上重量

6週間のトレーニング期間において、1-DAY群は 5.9 ± 0.9 回、2-DAY群は 11.6 ± 0.5 回トレーニングを行った(表5-2-1)。総挙上重量は、1-DAYが $16,403 \pm 2,813$ kg、2-DAYが $17,684 \pm 3,892$ kgであった。両群の間に有意差は認められなかった($p = 0.49$)。

スクワット1RM

スクワット1RMについて時間の主効果が認められた($p < 0.05$, 1-DAY, Pre: 107.1 ± 11.9 kg, Post: 114.3 ± 13.0 kg, 2-DAY, Pre: 110.7 ± 27.8 kg, Post: 117.9 ± 24.6 kg)(図5-2-1)。増加率は1-

DAY が $6.8 \pm 6.3\%$ ，2DAY が $7.2 \pm 5.1\%$ で，有意差は認められなかった。

レッグプレスパワー

レッグプレスパワーについて時間の主効果が認められた ($p < 0.05$ ，1-DAY, Pre: 1973 ± 389 W, Post: 2184 ± 369 W, 2-DAY, Pre: 1897 ± 238 W, Post: 2268 ± 294 W) (図 5-2-2)。増加率は 1-DAY が $11.7 \pm 11.3\%$ ，2DAY が $20.0 \pm 11.5\%$ で，有意差は認められなかった。

5-2-4. 考察

本研究では，総挙上重量に差が出ないように設定した週 1 回と週 2 回のレジスタンストレーニングが筋力およびパワーに与える効果を比較した。本研究の結果，筋力増強を目的とした 6 週間のトレーニングにおいて，総挙上重量に差の無い週 1 回と週 2 回のレジスタンストレーニングによって，スクワット 1RM と脚伸展パワーに対するトレーニング効果に違いは認められなかった。

本研究から，鍛錬者においても週 1 回のトレーニングによって，週 2 回のトレーニングと同等程度に筋力を増強させることは可能であることが明らかとなった。鍛錬者を対象に，週 1 回のトレーニングを実施した Rønnestad et al. (2011) では筋力増強効果は得られていなかった。また，McLester et al. (2000) では，週 1 回のトレーニングでは，週 3 回のトレーニングと比較して筋力増強効果が約 60% も劣ると報告されていることから，鍛錬者において週 1 回のトレーニングは効果的でないと考えられてきた。しかしながら，

Rønnestad et al. (2011) および McLester et al. (2000) において行われたのは週あたり 3 セットであり，筋力増強のために必要な週あたり 8 セットという指針 (Rhea et al., 2003) を満たしていなかった。

総挙上重量が同等のプログラム間で筋力とパワーに対する効果に違いが認められなかったことから，6 週間のプログラムのトレーニング効果は頻度よりも総挙上重量に依存すると考えられる。鍛錬者を対象に近年行われた総挙上重量の等しい頻度の異なるレジスタンス研究において，週 3 回のトレーニングと週 6 回のトレーニングで総挙上重量が等しくなるように設定したプログラムで，筋力増強効果が同様に増加したことが報告されている (Colquhoun et al., 2018; Saric et al., 2018)。本研究の結果は，これらの研究を支持するものといえる。

また，パワーについても筋力と同様に週 1 回のトレーニングによって増加させることが出来る。なぜなら，脚伸展パワーも両群で同等程度増加したことから，ジャンプ動作に対しても同等な効果が期待できるだろう。なぜなら，本研究で測定した脚伸展パワーはジャンプ動作（垂直跳び）と類似したパワー発揮とされているためである (伊藤 & 依田, 1992)。

5-2-5. 結語

本研究では，総挙上重量が同等となるよう設定した週 1 回と週 2 回のレジスタンストレーニングが筋力およびパワーに与える効果を比較した。本研究の結果から，6 週間のトレーニング期間において，週 1 回という低頻度でも，推奨されている週 2 回の頻度と総挙上重

量に差が無い場合に筋力および脚伸展パワーに対するトレーニング効果に違いは認められないことが明らかとなった。

第 6 章 総合討議

本研究では、スポーツ選手がシーズンを通したからだ作りを行う際に主として行われる、準備期前半に行う筋肥大を目的としたトレーニング法（研究 1, 2, 3）と、準備期後半に行う筋力増強を目的としたトレーニング法（研究 4, 5）のそれぞれについて、より効率的な方法を検証することを目的とした。

準備期前半に行う筋肥大を目的としたトレーニング法においては、疲労困憊まで反復することで同化ホルモンの応答および筋損傷の程度が高まるものの（研究 1）、伸張性筋活動の時間を延長させてもそれらが増大することは認められなかった（研究 2）。トレーニング効果としても、疲労困憊まで反復する場合に伸張性筋活動の時間を延ばしても筋肥大効果は高まらないことが明らかとなった（研究 3）。

準備期後半に行う筋力増強を目的としたトレーニング法では、1回のトレーニングで行うトレーニング量（セット数）を高めても筋損傷の程度は悪化しないことを確認し（研究 4）、週 1 回という低頻度でも 1 回に行うトレーニング量を高めることで推奨されている週 2 回の頻度でのトレーニングと同等の筋力・パワー増強効果が得られることが明らかとなった（研究 5）。

準備期前半に行う筋肥大を目的としたレジスタンストレーニング法

筋肥大を目的としたレジスタンストレーニングにおいて、伸張性筋活動の時間を長くするという方法が推奨され（Aagard, 2006;

NSCA, 2008), 広く行われてきたものの明確な根拠は見当たらなかった。一定の回数を反復する場合, 伸張性筋活動の時間が短い場合と比較して長い場合の方が張力発揮時間が長くなり, 疲労困憊に近くなる。疲労困憊まで反復する方法はボディビルダーに好まれる方法であり, 筋肥大効果を高めるために重要であると経験的に考えられてきた (Willardson, 2010)。一方, 筋肥大効果はトレーニング量に影響を受けるとの報告も見られ (Schoenfeld et al., 2018), 疲労困憊まで反復する方法が効果的か否かは不明確であった。そこで, 研究 1 として, 疲労困憊まで反復するレジスタンストレーニング法と, 疲労困憊まで反復しないトレーニング法が血中ホルモン応答および筋損傷の程度に及ぼす影響について検討した。その結果, 疲労困憊まで反復する方法の方がトレーニングに要する時間が短く, 成長ホルモンの分泌も高められることが明らかとなった。よって, 疲労困憊まで反復することで高い時間効率で筋肥大効果を高められることが予想された。研究 1 を踏まえて, 研究 2 において疲労困憊まで反復するトレーニング法において短縮性筋活動と伸張性筋活動の時間の違いが血中ホルモン応答に及ぼす影響を検討した。短縮性筋活動を 4 秒・伸張性筋活動を 2 秒で行う条件 (C4/E2) の方が, 短縮性筋活動を 2 秒・伸張性筋活動を 4 秒で行う条件 (C2/E4) と比較して疲労困憊に至るまでに多くの回数を反復することが出来るものの, C2/E4 と C4/E2 の間で血中ホルモン応答および筋損傷の程度に差は認められなかった。よって, 従来伸張性筋活動の時間を延長させることがトレーニング効果を高めるとされて推奨されてきたものの, 疲労困憊まで反復する場合にはトレーニング効果に差は生じないのではないかと予想された。

研究 1 と研究 2 を踏まえて、研究 3 として筋肥大を目的としたレジスタンストレーニング法において疲労困憊まで反復する場合に、伸張性筋活動の時間を長くする方法がトレーニング効果に及ぼす影響を検討した。短縮性筋活動を 2 秒・伸張性筋活動を 4 秒で行うトレーニング (C2/E4) と、短縮性筋活動を 2 秒・伸張性筋活動を 2 秒で行うトレーニング (C2/E2) を週 2 回・6 週間実施した。その結果、伸張性筋活動の時間は C2/E4 の方が C2/E2 と比較して長かったが、総張力発揮時間は C2/E4 と C2/E2 の間で差が認められなかった。また、C2/E4 と C2/E2 とともに筋横断面積が増加し、増加の程度に差は認められなかった。従って、伸張性筋活動の時間を長くしても、筋肥大効果を高めるには至らないことが示唆された。また、筋肥大効果は伸張性筋活動の時間よりも、総張力発揮時間に影響を受けるものと考えられる。

準備期後半に行う筋力増強を目的としたレジスタンストレーニング法

筋力増強を目的としたレジスタンストレーニング法については、低頻度のトレーニングの筋力増強効果を検証することを目的とした。トレーニング効果を検証する前に、研究 4 として 1 回のトレーニングで行うトレーニング量 (セット数) の違いが筋損傷に及ぼす影響を検討した。その結果、短縮性筋活動と伸張性筋活動を繰り返す一般的なレジスタンス運動を 12 セット行った群と 6 セット行った群の間で、筋損傷の間接的指標として運動後に測定した膝伸展運動の等尺性最大筋力の低下度合いに有意差は認められなかった。また、そもそも等尺性最大筋力の低下度合いは小さいものであり、運動 1

日後には運動前と有意差が認められない程度にまで回復していた。ただし、筋痛は 12 セット行った群にのみ認められた。以上を踏まえて、筋力増強を目的としたトレーニングにおいて、週 1 回というような低頻度で 1 回に行うトレーニング量をも高める方法も実施可能であると考えられた。

研究 4 を踏まえて、研究 5 として総挙上重量に差のない頻度の異なるトレーニングが筋力、パワーに及ぼす影響を検討した。スクワットを週 1 回・8 セット行う群（1DAY 群）と、週 2 回・4 セット行う群（2DAY 群）が、6 週間のトレーニングを実施した。その結果、1DAY 群と 2DAY 群ともに筋力増強、パワー向上効果が得られ、効果の程度に群間で有意差は認められなかった。従って、筋力増強を目的としたレジスタンストレーニングにおいて、6 週間の期間に週 1 回という低頻度のトレーニングでも週あたりのセット数が同一であれば、週 2 回という一般的な頻度でのトレーニングと同等のトレーニング効果を得られることが示唆された。また、筋力・パワー増強効果は頻度よりもトレーニング量に影響を受けるものと考えられる。

第 7 章 本研究のまとめとトレーニング現場への応用

7-1. 本研究のまとめ

スポーツ選手はシーズンを通して体づくりに励む必要がある。準備期前半に行う筋肥大を目的としたトレーニングにおいて、疲労困憊まで反復する方法は時間効率が低いと考えられる。ただし、疲労困憊まで反復する場合に、伸張性筋活動の時間を長くする方法は筋肥大効果を高めることはない。

準備期後半に行う筋力増強を目的としたトレーニングにおいて推奨されている頻度は週 2 回であるが、1 回に行うトレーニング量を高め、推奨量を満たせば、週 1 回という低頻度でも効率的に筋力増強効果が得られる。

7-2. トレーニング現場への応用

準備期前半に行う筋肥大を目的としたレジスタンストレーニング法

筋肥大を目的としたトレーニングにおいて、張力発揮時間を長くするために伸張性筋活動をゆっくりと行うことが推奨され(Aaberg, 2006; NSCA Certification Commission, 2008), ごく一般的に行われている。1セットを10回など、予め回数を決めて行う場合には、伸張性筋活動の時間を長くすることで張力発揮時間が延長され、トレーニング効果を高める効果があると考えられてきた。一方で、本研究から、予め回数を決めずに疲労困憊まで反復する場合には、伸張性筋活動の時間の長短に関わらず筋肥大効果に差は認められないことが明らかとなった。従って、伸張性筋活動の時間よりも疲労困憊まで反復することが重要と考えられ、伸張性筋活動の時間の長短に関わらず疲労困憊まで反復することが推奨される。ただし、動作をコントロールせずに伸張性筋活動をむやみに速く行うようなことは、トレーニングの際のフォームが崩れるおそれがあり、危険である。伸張性筋活動の時間を意図的に長くする必要はないと言えるものの、本研究における2秒のように適度にコントロールした収縮時間で行うことが適切と考える。

現在、健康増進や疾病予防を目的とした運動としてもレジスタンストレーニングが広く普及し、大人数が参加するトレーニング講習の場などでも行われている。大人数が参加する場や、低強度でのトレーニングが求められる場では、自体重を利用したトレーニングも行われ、伸張性筋活動の時間を長くする方法が多用される。自体重

トレーニングについて伸張性筋活動の時間の長短がトレーニング効果に及ぼす影響について本研究から直接的に言及することは難しいものの、本研究を応用させて考えると、疲労困憊まで反復する場合には伸張性筋活動の時間の長短は筋肥大効果に関係ないため、バリエーションとしてどちらを用いても問題ないと言えるだろう。ただし、伸張性筋活動の時間を長くせず、なるべく多くの回数を反復することを目指した方が筋力増強効果が高くなることから、推奨できるだろう。

準備期後半に行う筋力増強を目的としたレジスタンストレーニング法

スポーツ選手において準備期後半には競技練習の強度が高まると同時に試合期に向けて練習試合、合宿などに時間が割かれ、トレーニング頻度が低下する傾向にある。この期間にレジスタンストレーニングを行わない場合、筋力などの体力が低下し、運動能力の低下、ひいては競技力の低下を招く恐れがある。本研究から、低頻度でも1回に行うトレーニング量を増やし、推奨量を満たせば、筋力増強に適切とされる週2回のトレーニングと同等の筋力・パワー増強効果が認められたことから、週1回という低頻度でもトレーニングを継続することが望まれる。スポーツ選手は様々な事情を抱える人が含まれる。遠征、合宿、仕事、学業等の影響で、推奨された週2回の頻度を保てない時もあるだろう。週1回のみしかレジスタンストレーニングに取り組むことが出来ない時期にも筋力・パワー増強を目指す場合は、1回のセッションでトレーニング量を増やすことで筋力・パワー増加が見込める。しかしながら、トレーニング開始初

期には強い筋痛も伴うことから，その点は注意が必要である．

週あたりの頻度を低くせざるを得ない状況は，スポーツ選手以外にも，自宅やフィットネスクラブでレクリエーショナルなトレーニングに励む人，大学の体育授業におけるトレーニングなどが該当するだろう．これまでのガイドラインによれば，週 2~3 回の頻度が適切であることから，週 1 回しかトレーニングを行えない場合はトレーニング効果を得られずトレーニングに対する動機づけが弱くなっていた恐れがある．本研究を応用させて考えると，週 1 回という低頻度でも 1 回に行うトレーニング量を増やし，推奨量を満たすことで筋力増強効果が期待できるため，週あたり頻度を低くせざるを得ない対象にも推奨できるだろう．

第 8 章 今後の課題

筋肥大を目的としたレジスタンストレーニング法について、本研究では伸張性筋活動の時間が 2 秒の場合と 4 秒の場合で検討した。2 秒や 4 秒というのは一般的に用いられていることから本研究に採用したが (Westcott et al., 2001; Headley et al., 2011; Keeler et al., 2001), 伸張性筋活動の時間が 2 秒より短い場合や, 4 秒より長い場合のトレーニング効果は明らかでなく, 今後の検討課題である。

筋力増強を目的としたレジスタンストレーニング法について、本研究では週 1 回という低頻度のトレーニングの効果を 6 週間のトレーニング期間で検討した。スポーツ選手も, そうでない人も, 様々な事情によって低頻度でのトレーニングを余儀なくされる期間が長期化する場合もありうる。低頻度でのレジスタンストレーニングを 6 週間よりも長い期間にわたって行わなければならない状況において筋力増強効果を得られるか否かは明らかでなく, 今後の検討課題といえる。

それから, 本研究では全ての実験の対象を若年男性として行った。しかしながら, 若年男性によって得られた結果を女性や子ども, 高齢者に対してそのまま応用させることが可能か否かは不明確である。今後は, 対象者を考慮した検討も求められるだろう。

謝辞

大学院入学以後，修士課程，博士課程を通して多くの方々からご支援，ご助言を頂いたことで本論文をまとめることができました．ここに記して深謝の意を表します．

北海道大学大学院教育学研究院教授水野眞佐夫先生，大学院修士課程入学時から副指導教員として，博士課程の途中からは主指導教員としてご指導頂きました．研究に対する私の独断専行な姿勢を時に的確に導き，時に温かく見守って頂きました．本研究をまとめるにあたって多くのご助言や激励を頂きましたことに深謝致します．

北海道大学大学院教育学研究院准教授柚木孝敬先生，ご多忙中にも関わらず，本論文審査の副査をお引き受け頂きましたことに感謝申し上げます．また，本論文の執筆にあたりご指導・ご助言を頂きましたことを重ねて御礼申し上げます．

北海道大学大学院保健科学研究院准教授寒川美奈先生，ご多忙中にも関わらず，本論文審査の副査をお引き受け頂きましたことに感謝申し上げます．また，本論文の執筆にあたりご指導・ご助言を頂きましたことを重ねて御礼申し上げます．

酪農学園大学農食環境学群准教授山口太一先生，ご多忙中にも関わらず，本論文審査の副査をお引き受け頂きましたことに感謝申し上げます．また，本論文の執筆にあたりご指導・ご助言を頂きましたことを重ねて御礼申し上げます．さらに，大学院進学以後，日頃より研究に対する考え方についてご指導頂いたり，研究機器を貸与頂いたりと物心両面で様々なご支援を賜りましたことに深謝の意を表します．

一般社団法人身体開発研究機構代表理事瀧澤一騎先生，大学院進

学のきっかけを与えて頂き、博士課程の途中までは主指導教員としてご指導頂きました。先生からご教授頂いた研究者としての在り方、スポーツ現場における指導者としての在り方といった哲学的な部分は、私の思考の礎となっております。深謝申し上げます。

エディンコーワン大学教授野坂和則先生、2015年3月に先生のもとへ短期留学したことで本研究を発展させることが出来ました。あの3週間が私にとって大きなターニングポイントとなりました。その後今日に至るまでご指導頂きましたことに深謝の意を表します。

北翔大学生涯スポーツ学部講師黒田裕太先生、玉川大学脳科学研究所研究員石原暢先生、日本体育大学スポーツトレーニングセンター助教苫米地伸泰先生、同じ研究室で同時期に博士課程に在籍し共に研鑽に励んだ日々はかけがえのないものです。

本研究の被験者を引き受けてくれた皆さん、非常にきついレジスタンストレーニングの実験に耐えてやり通して頂いたお陰で本論文をまとめることができました。お礼申し上げます。

最後に、長年にわたる学生生活を支えてくれた両親、兄、親戚の皆さん、そして妻にお礼申し上げます。

皆様との出会い、関わりが私の財産です。

ありがとうございました。

副論文一覽

原著論文

Keisuke Shibata, Kazuki Takizawa, Nobuyasu Tomabechi, Kazunori Nosaka, Masao Mizuno. Effects of squat exercise with versus without momentary failure in the same volume on hormonal responses and indirect markers of muscle damage. 投稿中

Keisuke Shibata, Kazuki Takizawa, Kazunori Nosaka, Yuta Kuroda, Masao Mizuno. Similar responses in hormonal markers and muscle damage comparing two protocols with modulation of concentric/eccentric phase-duration during back squat exercise with volitional failure. 投稿中

Keisuke Shibata, Kazuki Takizawa, Kazunori Nosaka, & Masao Mizuno. Effects of prolonging eccentric phase-duration in parallel-back squat training to momentary failure on muscle cross sectional area, squat 1RM and performance tests in university soccer players. Journal of Strength and Conditioning Research. in press.

Keisuke Shibata, Kazuki Takizawa, & Masao Mizuno. (2015) Comparison between twelve and six sets of high load leg

extension on muscle strength. Movement, Health & Exercise, 4(1), 51-59

Keisuke Shibata, Kazuki Takizawa, Yuta Kuroda, Masao Mizuno
Effect of 6 weeks' low frequency resistance training in maximum strength phase on strength and power. 投稿中

研究助成

柴田啓介, 瀧澤一騎, 水野眞佐夫. 筋肥大や筋力・パワー増強を目的としたレジスタンス運動が運動後の筋機能に及ぼす影響. 2015 ミズノスポーツ学等研究助成, 97万4,000円

柴田啓介, 瀧澤一騎, 野坂和則, 苫米地伸泰, 水野眞佐夫. レジスタンストレーニングでは疲労困憊まで反復すべきか?～疲労困憊まで反復する/しない条件間でトレーニング量(総挙上重量)を統一したレジスタンス運動が主観的強度, ホルモン応答および筋損傷に及ぼす影響～ NSCA ジャパン 2016年度研究助成, 49万5,000円

総説

柴田啓介. (2014). 飽くなき向上を目指して: レジスタンストレーニングにおけるピリオダイゼーション(特集 ブレークスルーのために). Training journal, 36(2), 23-28.

参考文献

Aaberg, E. (2006) *Muscle mechanics*. Champaign, IL: Human Kinetics.

Akima, H., Takahashi, H., Kuno, S. Y., & Katsuta, S. (2004). Coactivation pattern in human quadriceps during isokinetic knee-extension by muscle functional MRI. *European Journal of Applied Physiology*, 91(1), 7-14.

Beattie, K., Kenny, I. C., Lyons, M., & Carson, B. P. (2014). The effect of strength training on performance in endurance athletes. *Sports Medicine*, 44(6), 845-865.

Bompa, T. O, & Haff, G. G. (2009) *Training Cycles*. In: *Periodization: Theory and Methodology of Training*. 5th edition, T.O. Bompa and G. G. Haff, eds. Champaign, IL: Human Kinetics, pp. 203 - 234

Borg, G., Ljunggren, G., & Ceci. R. (1985) The increase of perceived exertion, aches and pain in the legs, heart rate and blood lactate during exercise on a bicycle ergometer. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 54(4), 343-349.

Burd, N. A., Andrews, R. J., West, D. W., Little, J. P., Cochran, A. J., Hector, A. J., Cashaback, J. G. A., Gibala, M. J., Potvin, J. R., Baker, S. K., & Phillips, S. M. (2012). Muscle time under tension during resistance exercise stimulates differential muscle protein sub-fractional synthetic responses in men. *The Journal of physiology*, 590(2), 351-362.

Calixto, R. D., Verlengia, R., Crisp, A. H., Carvalho, T. B., Crepaldi, M. D., Pereira, A. A., Yamada, A. K., da Mota, G. R., & Lopes, C. R. (2014). Acute effects of movement velocity on blood lactate and growth hormone responses after eccentric bench press exercise in resistance-trained men. *Biology of Sport*, 31(4), 289-294.

Chapman, D., Newton, M., Sacco, P., & Nosaka, K. (2006). Greater muscle damage induced by fast versus slow velocity eccentric exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 27(8), 591-598.

Charro, M. A., Aoki, M. S., Nosaka, K., Foschini, D., Figueira Jr., A., & Bacurau, R. F. (2012) Comparison between multiple sets and half-pyramid resistance exercise bouts for muscle damage profile. *European Journal of Sport Science*, 12, 249-254.

Cheung, K., Hume, P. A., & Maxwell, L. (2003). Delayed onset muscle soreness. *Sports Medicine*, 33(2), 145-164.

Colquhoun, R. J., Gai, C. M., Aguilar, D., Bove, D., Dolan, J., Vargas, A., Couvillion, K., Jenkins, N. D. M, & Campbell, B. I. (2018). Training Volume, Not Frequency, Indicative of Maximal Strength Adaptations to Resistance Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(5), 1207–1213.

Comfort, P., Haigh, A., & Matthews, M. J. (2012). Are changes in maximal squat strength during preseason training reflected in changes in sprint performance in rugby league players? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(3), 772-776.

Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011). Developing Maximal Neuromuscular Power. *Sports Medicine*, 41(2), 125–146.

Dias, C. P., Toscan, R., de Camargo, M., Pereira, E. P., Griebler, N., Baroni, B. M., & Tiggemann, C. L. (2015). Effects of eccentric-focused and conventional resistance training on strength and functional capacity of older adults. *Age*, 37(5), 99.

Fisher, J. P., Carlson, L., & Steele, J. (2016). The effects of muscle action, repetition duration, and loading strategies of a whole-body, progressive resistance training programme on

muscular performance and body composition in trained males and females. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 41(10), 1064-1070.

Fleck, S. J. & Kraemer, W. J. (2008) Developing the individualized resistance training workout. In: *Designing Resistance Training Programs*. Ed: Fleck, S. J., Kraemer, W. J. 3rd edition. Champaign, IL: Human Kinetics. 151-186.

福永哲夫. (1983). 筋の活動性肥大と筋力. *Japanese Journal of Sports Sciences*, 2, 13-22.

Goto, K., Ishii, N., Kizuka, T., & Takamatsu, K. (2005). The impact of metabolic stress on hormonal responses and muscular adaptations. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(6), 955-963.

Goto, K., Takahashi, K., Yamamoto, M., & Takamatsu, K. (2008). Hormone and Recovery Responses to Resistance Exercise with Slow Movement. *The Journal of Physiological Sciences*, 58(1), 7-14.

Goto, K., Ishii, N., Kizuka, T., Kraemer, R. R., Honda, Y., & Takamatsu, K. (2009). Hormonal and metabolic responses to slow movement resistance exercise with different durations of

concentric and eccentric actions. *European Journal of Applied Physiology*, 106(5), 731-739.

Gotshalk, L. A., Loebel, C. C., Nindl, B. C., Putukian, M., Sebastianelli, W. J., Newton, R. U., Häkkinen, K., & Kraemer, W. J. (1997). Hormonal responses of multiset versus single-set heavy-resistance exercise protocols. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 22(3), 244-255.

Grgic, J., Lazinica, B., Mikulic, P., Krieger, J. W., & Schoenfeld, B. J. (2017). The effects of short versus long inter-set rest intervals in resistance training on measures of muscle hypertrophy: A systematic review. *European Journal of Sport Science*, 17(8), 983-993.

Headley, S. A., Henry, K., Nindl, B. C., Thompson, B. A., Kraemer, W. J., & Jones, M. T. (2011). Effects of lifting tempo on one repetition maximum and hormonal responses to a bench press protocol. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(2), 406-413.

Highton, J. M., Twist, C., & Eston, R. G. (2009) The effects of exercise-induced muscle damage on agility and sprint running performance. *Journal of Exercise Science and Fitness*, 7, 24-30.

Hoff, J., & Almåsbaek, B. (1995). The effects of maximum strength training on throwing velocity and muscle strength in female team-handball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 9(4), 255-258.

伊藤正男, & 依田裕子. (1992). 日常経験する負荷様式に近い脚伸展パワー測定器の開発. *Japanese Journal of Sports Sciences*, 11(11), 742-746.

Izquierdo, M., Ibanez, J., González-Badillo, J. J., Häkkinen, K., Ratamess, N. A., Kraemer, W. J., French, D. N., Eslava, J., Altadill, A., Asiain, X, & Gorostiaga, E. M. (2006). Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength, and muscle power gains. *Journal of Applied Physiology*, 100(5), 1647-1656.

Jamurtas, A. Z., Theocharis, V., Tofas, T., Tsiokanos, A., Yfanti, C., Paschalis, V., Koutedakis, Y., & Nosaka, K. (2005). Comparison between leg and arm eccentric exercises of the same relative intensity on indices of muscle damage. *European Journal of Applied Physiology*, 95(2-3), 179-185.

Kawamori, N., & Haff, G. G. (2004). The optimal training load for the development of muscular power. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(3), 675-684.

Keeler, L. K., Finkelstein, L. H., Miller, W., & Fernhall, B. O. (2001). Early-phase adaptations of traditional-speed vs. superslow resistance training on strength and aerobic capacity in sedentary individuals. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(3), 309-314.

Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2005). Hormonal Responses and Adaptations to Resistance Exercise and Training. *Sports Medicine*, 35(4), 339-361.

Kraemer, W. J., Gordon, S. E., Fleck, S. J., Marchitelli, L. J., Mello, R., Dziados, J. E., Friedl, K., Harman, E., Maresh, C., & Fry, A. C. (1991). Endogenous anabolic hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise in males and females. *International Journal of Sports Medicine*, 12(02), 228-235.

Kraemer, W. J., Ratamess, N., Fry, A. C., Triplett-McBride, T., Koziris, L. P., Bauer, J. A., Lynch, J. M., & Fleck, S. J. (2000). Influence of resistance training volume and periodization on physiological and performance adaptations in collegiate women tennis players. *American Journal of Sports Medicine*, 28(5), 626-633.

Kraemer, W. J., Hakkinen, K., Triplett-McBride, N. T., Fry, A. C., Koziris, L. P., Ratamess, N. A., Bauer, J. E., Volek, J. S., McConnell, T., Newton, R. U., Gordon, S. E., Cummings, D., Hauth, J., Pullo, F., Lynch, J. M., Mazzetti, S. A., & Knuttgen, H. G. (2003). Physiological changes with periodized resistance training in women tennis players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(1), 157-168.

Krieger, J. W. (2009). Single versus multiple sets of resistance exercise: a meta-regression. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(6), 1890-1901.

Lauersen, J. B., Bertelsen, D. M., & Andersen, L. B. (2014). The effectiveness of exercise interventions to prevent sports injuries: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *British Journal of Sports Medicine*, 48(11), 871-877.

Lavender, A. P. & Nosaka, K. (2006) Changes in fluctuation of isometric force following eccentric and concentric exercise of the elbow flexors. *European Journal of Applied Physiology*, 96(3), 235-240.

Leite, R. D., Prestes, J., Rosa, C., De Salles, B. F., Maior, A., Miranda, H., & Simao, R. (2011). Acute effect of resistance

training volume on hormonal responses in trained men. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 51, 322-328.

Libardi, C. A., Nogueira, F. R., Vechin, F. C., Conceição, M. S., Bonganha, V., & Chacon - Mikahil, M. P. T. (2013). Acute hormonal responses following different velocities of eccentric exercise. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 33(6), 450-454.

McCall, G. E., Byrnes, W. C., Fleck, S. J., Dickinson, A., & Kraemer, W. J. (1999). Acute and Chronic Hormonal Responses to Resistance Training Designed to Promote Muscle Hypertrophy. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 24(1), 96-107.

Mclester, J. R., Bishop, E., & Guilliams, M. E. (2000). Comparison of 1 day and 3 days per week of equal-volume resistance training in experienced subjects. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14(3), 273-281.

Mike, J. N., Cole, N., Herrera, C., VanDusseldorp, T., Kravitz, L., & Kerksick, C. M. (2017). The effects of eccentric contraction duration on muscle strength, power production, vertical jump, and soreness. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(3), 773-786.

Moritani, T. (1979). Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *American Journal of Physical Medicine*, 58(3), 115-130.

Mulligan, S. E., Fleck, S. J., Gordon, S. E., Koziris, L. P., Triplett-McBride, N. T., & Kraemer, W. J. (1996). Influence of resistance exercise volume on serum growth hormone and cortisol concentrations in women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 10(4), 256-262.

野坂和則. (1998) レジスタンス・トレーニングにおける筋損傷と筋肥大. *体育の科学*, 48(1),16-24

Nosaka, K., & Aoki, M. S. (2011). Repeated bout effect: research update and future perspective. *Brazilian Journal of Biomotricity*, 5(1), 5-15.

Nosaka, K., & Newton, M. (2002). Difference in the magnitude of muscle damage between maximal and submaximal eccentric loading. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(2), 202-208.

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, 337-346.

Nosaka, K., Lavender, A., Newton, M., & Sacco, P. (2003). Muscle damage in resistance training. *International Journal of Sport and Health Science*, 1(1), 1-8.

NSCA Certification Commission. (2008) Exercise technique manual for resistance training. Champaign, IL: Human Kinetics.

Ogasawara, R., Loenneke, J. P., Thiebaud, R. S., & Abe, T. (2013). Low-load bench press training to fatigue results in muscle hypertrophy similar to high-load bench press training. *International Journal of Clinical Medicine*, 4(02), 114-121.

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過程: 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.

Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Aagaard, P., Sánchez-Medina, L., Ribas-Serna, J., Mora-Custodio, R., Otero-Esquina, C., Yáñez-García, J. M., & González-Badillo, J. J. (2018). Time course of recovery from resistance exercise with different set configurations. *Journal of Strength and Conditioning Research*, in press.

Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Ribas-Serna, J., López-López, C., Mora-Custodio, R., Yáñez-García, J. M., & González-Badillo, J. J. (2016). Acute and delayed response to resistance exercise leading or not leading to muscle failure. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 37(6), 630–639.

Paschalis, V., Koutedakis, Y., Jamurtas, A. Z., Mougios, V., & Baltzopoulos, V. (2005). Equal volumes of high and low intensity of eccentric exercise in relation to muscle damage and performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19, 184-188

Pereira, P. E. A., Motoyama, Y. L., Esteves, G. J., Quinelato, W. C., Botter, L., Tanaka, K. H., & Azevedo, P. (2016). Resistance training with slow speed of movement is better for hypertrophy and muscle strength gains than fast speed of movement. *International Journal of Applied Exercise Physiology*, 5(2), 37-43.

Pryor, R. R., Sforzo, G. A., & King, D. L. (2011). Optimizing power output by varying repetition tempo. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(11), 3029-3034.

Ratamess, N. A., Alvar, B. A., Evetoch, T. E., Housh, T. J., Ben Kibler, W., Kraemer, W. J., & Triplett, N. T. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41, 687-708.

Ratamess, N. A., Kraemer, W. J., Volek, J. S., Maresh, C. M., VanHeest, J. L., Sharman, M. J., Rubin, M. R., French, D. N., Vescovi, J. D., Silvestre, R., Hatfield, D. L., Fleck, S. J., & Deschenes, M. R. (2005). Androgen receptor content following heavy resistance exercise in men. *Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*, 93(1), 35-42.

Rhea, M. R., Alvar, B. A., Burkett, L. N., Ball, S. D. (2003) A meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35, 456-464.

Rønnestad, B. R., Nymark, B. S., & Raastad, T. (2011). Effects of in-season strength maintenance training frequency in professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(10), 2653-2660.

Saric, J., Lisica, D., Orlic, I., Grgic, J., Krieger, J. W., Vuk, S., & Schoenfeld, B. J. (2018). Resistance Training Frequencies of 3

and 6 Times Per Week Produce Similar Muscular Adaptations in Resistance-Trained Men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, in press.

笹川スポーツ財団. (2016) スポーツライフ・データ 2016—スポーツライフに関する調査報告書—, P78, 笹川スポーツ財団.

Schoenfeld, B. J. (2013). Potential mechanisms for a role of metabolic stress in hypertrophic adaptations to resistance training. *Sports Medicine*, 43(3), 179-194.

Schoenfeld, B. J. (2010). The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(10), 2857-2872.

Schoenfeld, B. J., Ogborn, D., & Krieger, J. W. (2016). Effects of resistance training frequency on measures of muscle hypertrophy: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 46(11), 1689-1697.

Schoenfeld, B. J., Contreras, B., Krieger, J., Grgic, J., Delcastillo, K., Belliard, R., & Alto, A. (2019). Resistance training volume enhances muscle hypertrophy. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 51(1), 94-103.

Seitz, L. B., Reyes, A., Tran, T. T., de Villarreal, E. S., & Haff, G. G. (2014). Increases in lower-body strength transfer positively to sprint performance: a systematic review with meta-analysis. *Sports Medicine*, 44(12), 1693-1702.

Sheikholeslami-Vatani, D., Ahmadi, S., Chehri, B., & Tadibi, V. (2018). The effect of changes in concentric-eccentric contraction time ratio on hormonal response to resistance exercise in trained men. *Science & Sports*, 33(3), 164-168.

Sheppard, J. M., & Triplett, T. N. (2015). In: *Essentials of Strength training and conditioning*. 4th edition, Haff, G. G., & Triplett, N. T. eds,ampaign, IL: Human Kinetics, pp. 439-470.

Smilios, I., Pilianidis, T., Karamouzis, M., & Tokmakidis, S. P. (2003). Hormonal responses after various resistance exercise protocols. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35, 644-654.

Tanimoto, M., Madarame, H., & Ishii, N. (2005). Muscle oxygenation and plasma growth hormone concentration during and after resistance exercise: Comparison between "KAATSU" and other types of regimen. *International Journal of KAATSU Training Research*, 1(2), 51-56.

Tanimoto, M., and Ishii, N. (2006). Effects of low-intensity resistance exercise with slow movement and tonic force generation on muscular function in young men. *Journal of Applied Physiology*, 100, 1150-1157.

Thiebaud, R. S. (2012). Exercise-induced muscle damage: is it detrimental or beneficial? (2007) *Journal of Trainology*, 1(2), 36-44.

Twist, C., & Eston, R. G. (2007). The effect of muscle-damaging exercise on maximal intensity cycling and drop jump performance. *Journal of Exercise and Science Fitness*, 5, 79-87.

Uchida, M. C., Nosaka, K., Ugrinowitsch, C., Yamashita, A., Martins Jr., E., Moriscot, A. S., & Aoki, M. S. (2009) Effect of bench press exercise intensity on muscle soreness and inflammatory mediators. *Journal of Sports Sciences*, 27, 499-509.

Usui, S., Maeo, S., Tayashiki, K., Nakatani, M., & Kanehisa, H. (2016). Low-load slow movement squat training increases muscle size and strength but not power. *International Journal of Sports Medicine*, 37(04), 305-312.

Westcott, W. L., Winett, R. A., Anderson, E. S., & Wojcik, J. R. (2001). Effects of regular and slow speed resistance training on

muscle strength. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 41(2), 154-158.

Willardson, J. M., Norton, L., & Wilson, G. (2010). Training to failure and beyond in mainstream resistance exercise programs. *Strength and Conditioning Journal*, 32(3), 21-29.

Wooden, M. J., Greenfield, B., Johanson, M., Litzelman, L., Mundrane, M., & Donatelli, R. A. (1992). Effects of strength training on throwing velocity and shoulder muscle performance in teenage baseball players. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 15(5), 223-228

Yamaguchi, T., & Ishii, K. (2005). Effects of static stretching for 30 seconds and dynamic stretching on leg extension power. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(3), 677-683.

図表一覧

第 4 章

研究 1

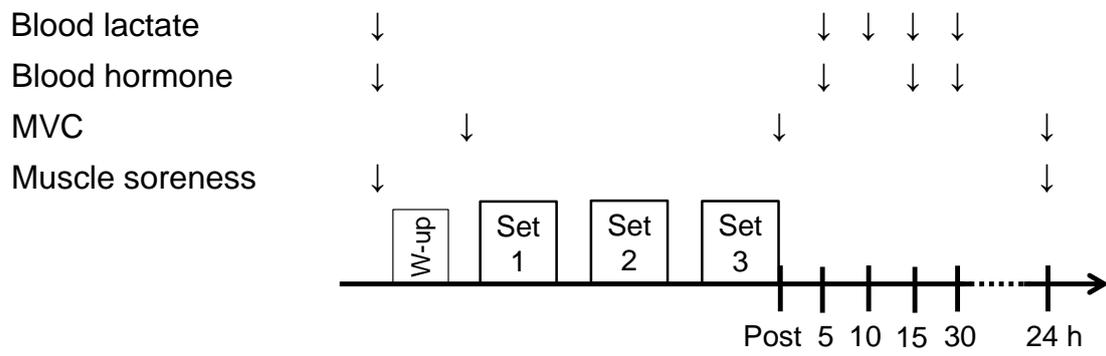


図 4-1-1. 実験プロトコル

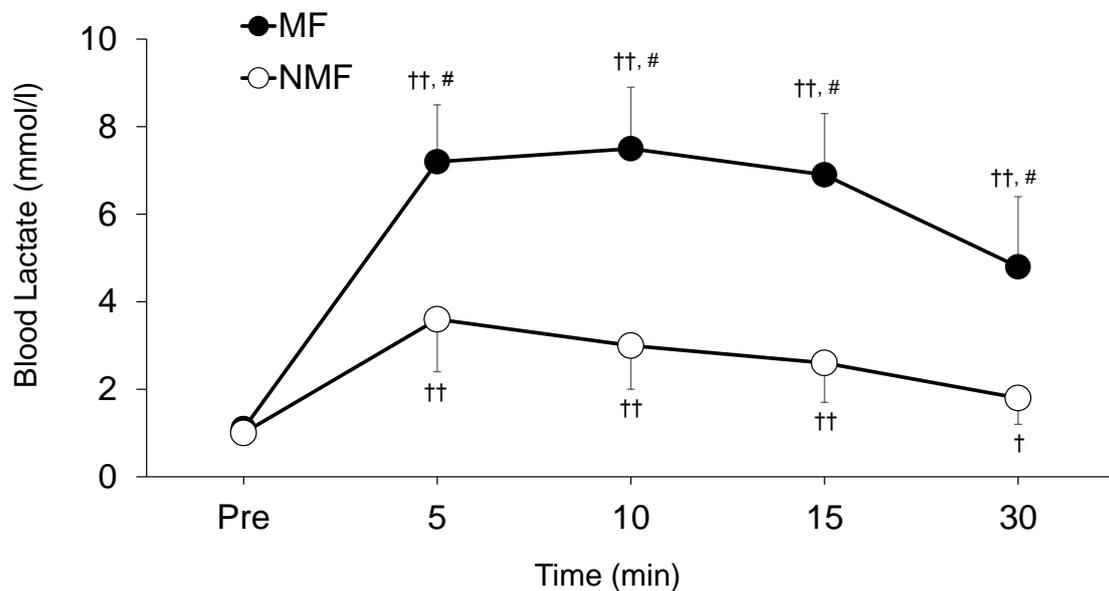


図 4-1-2. MF 条件と NMF 条件のスクワット運動の前 (Pre), 5 分後 (5), 10 分後 (10), 15 分後 (15), 30 分後 (30) における血中乳酸値. データは平均値 \pm 標準偏差. †† は運動前と比較して有意に ($p < 0.01$) 高値であることを示す. † は運動前と比較して有意に ($p < 0.05$) 高値であることを示す. # は NMF 条件と比較して有意に ($p < 0.01$) 高値であることを示す.

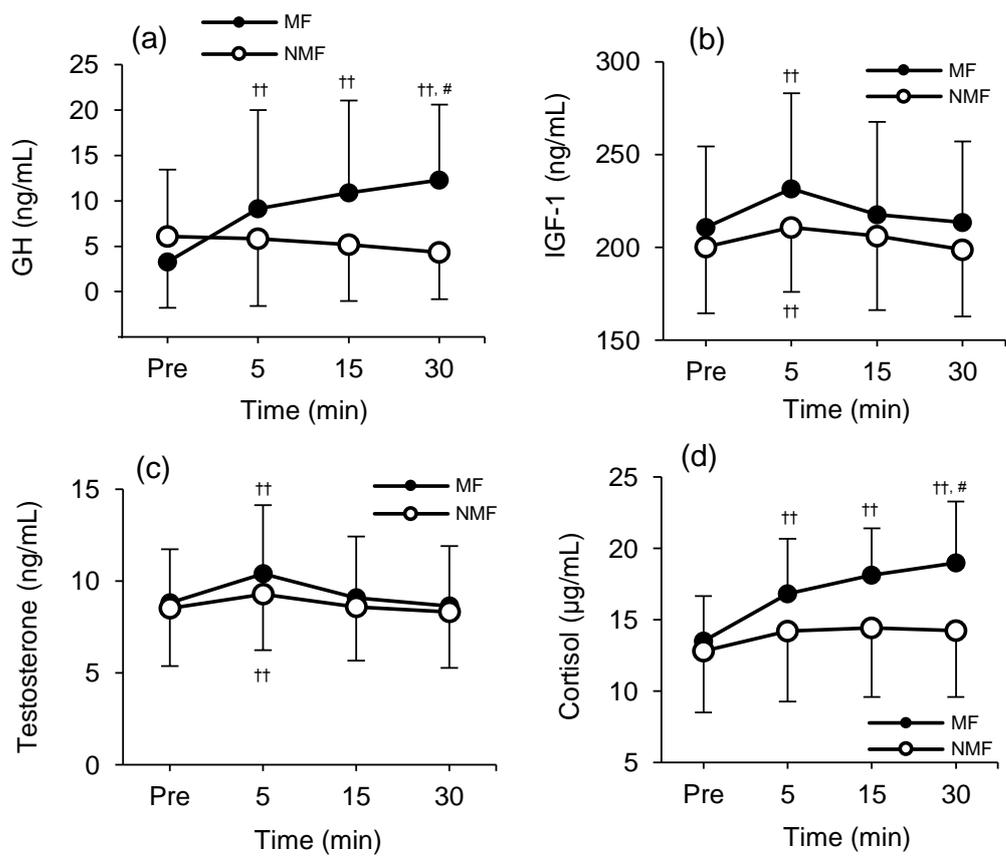


図 4-1-3. MF 条件と NMF 条件のスクワット運動の前 (Pre), 5 分後 (5), 15 分後 (15), 30 分後 (30) における血中の成長ホルモン (a), IGF-1 (b), テストステロン (c), コルチゾール (d) 濃度. データは平均値 \pm 標準偏差. †† は運動前と比較して有意に ($p < 0.01$) 高値であることを示す. # は NMF 条件と比較して有意に ($p < 0.01$) 高値であることを示す.

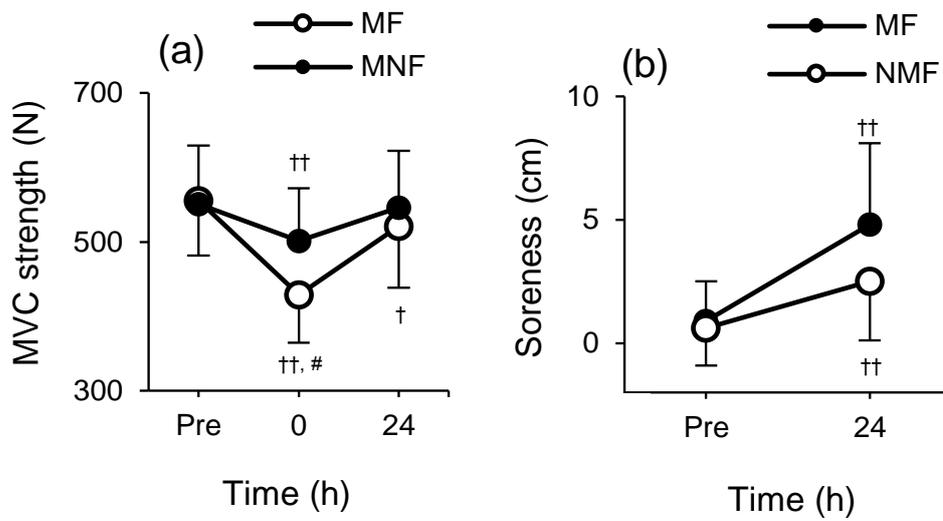


図 4-1-4. MF 条件と NMF 条件のスクワット運動前 (Pre), 運動後 (0), 24 時間後 (24) における MVC (a), 筋痛 (b). データは平均値 ±標準偏差. †† は運動前と比較して有意に ($p < 0.01$) 高値であることを示す. † は運動前と比較して有意に ($p < 0.05$) 高値であることを示す. # は NMF 条件と比較して有意に ($p < 0.01$) 高値であることを示す.

表 4-1-1. MF 条件および NMF 条件における反復回数と RPE

	The number of repetitions		R P E	
	MF	NMF	MF	NMF
Set 1	15.0±1.1	6.1±0.5	7.0±1.0	3.4±0.7
Set 2	10.7±1.7	5.9±0.7	7.7±1.1	3.7±0.8
Set 3	8.2±1.2	5.6±0.5	8.6±1.2	4.3±1.0
Set 4		5.6±0.5		4.7±1.0
Set 5		5.4±0.5		4.9±1.1
Set 6		5.3±0.5		5.5±1.4
Total	33.9±2.7	33.9±2.7	8.3±1.2*	4.1±1.4

Session
RPE

* : p < 0.01. vs. NMF condition.

研究 2

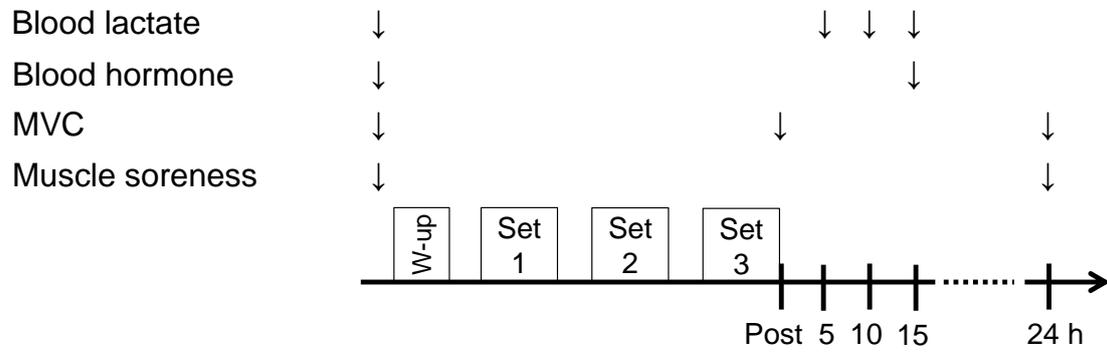


図 4-2-1. 実験プロトコル

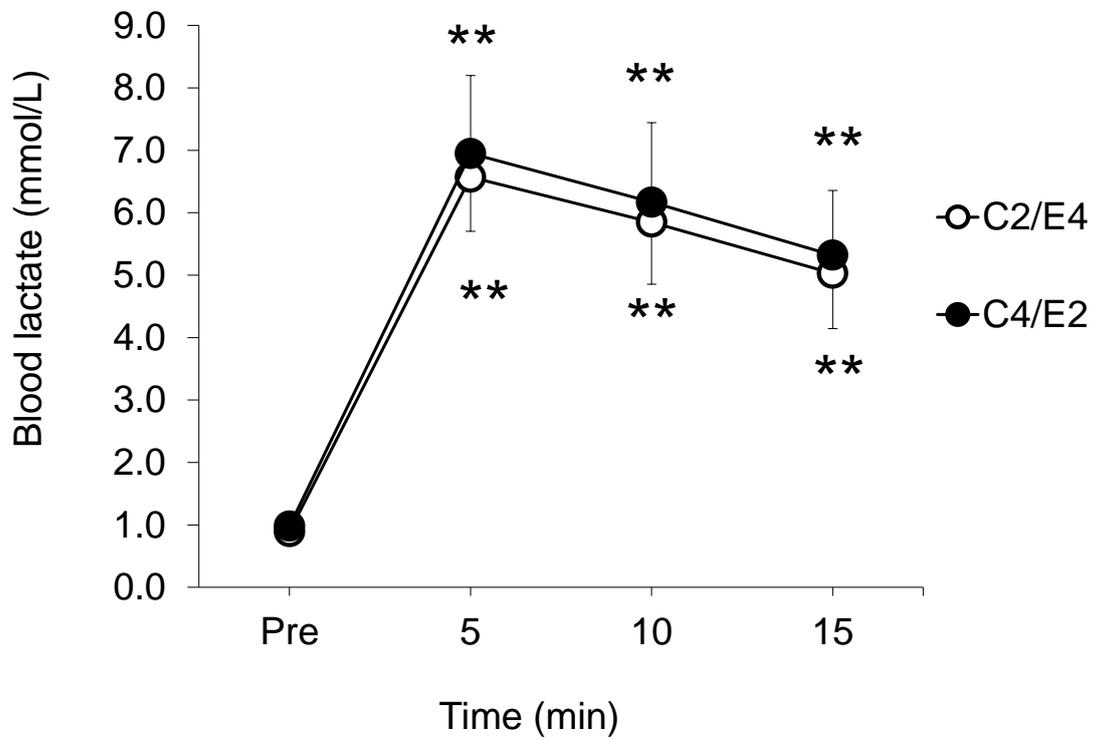


図 4-2-2. C2/E4 条件と C4/E2 条件スクワット運動前 (Pre), 運動 5 分後 (5), 10 分後 (10), 15 分後 (15) における血中乳酸値. データは平均値±標準偏差. **は運動前と比較して有意に ($p < 0.01$) 高値であることを示す.

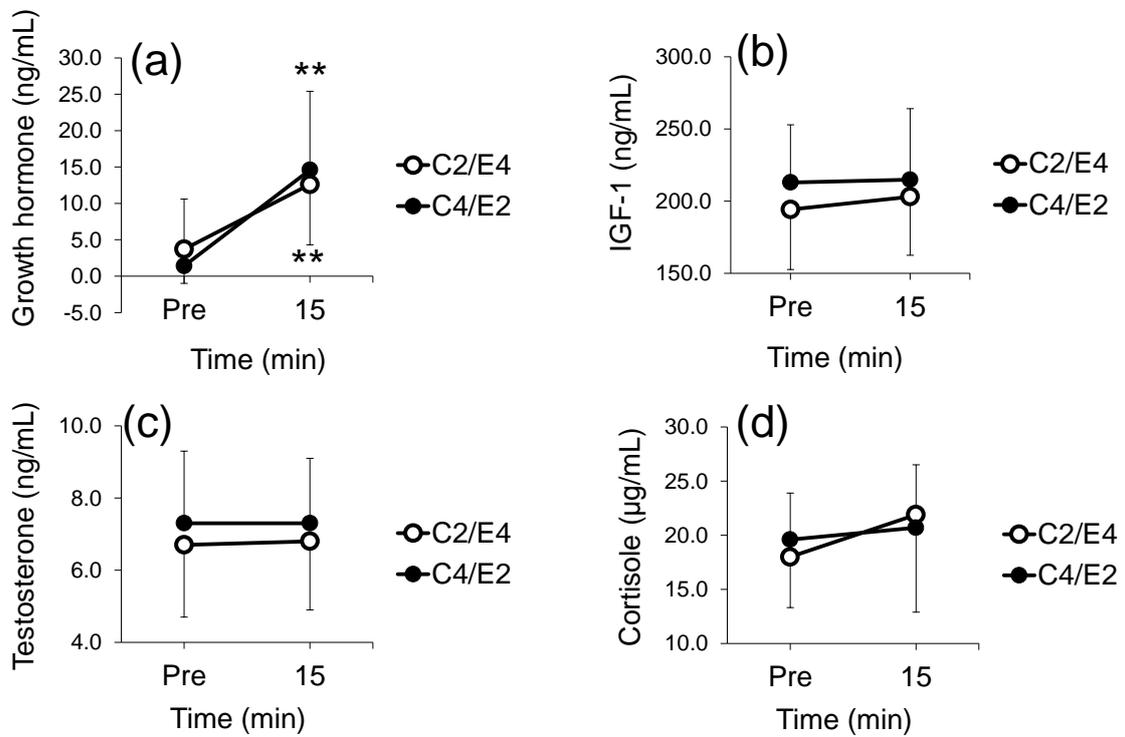


図 4-2-3. C2/E4 条件と C4/E2 条件スクワット運動前 (Pre), 運動 15 分後 (15) における成長ホルモン (a), IGF-1 (b), テストステロン (c), コルチゾール (d) 濃度. データは平均値±標準偏差. **は運動前と比較して有意に ($p < 0.01$) 高値であることを示す.

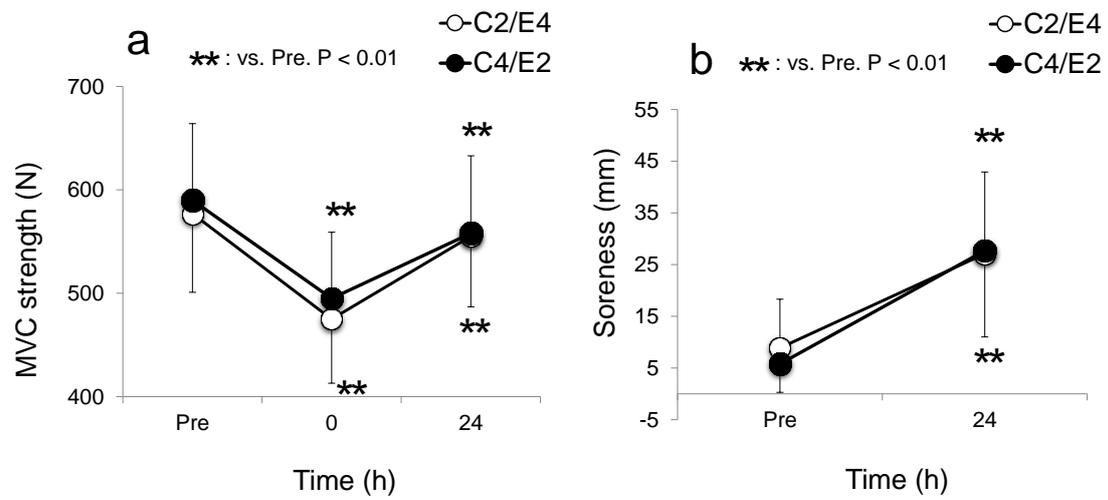


図 4-2-4. C2/E4 と C4/E2 のスクワット運動前 (Pre), 運動後 (0), 24 時間後 (24) における MVC (a), 筋痛 (b). データは平均値±標準偏差. ** は運動前と比較して有意に ($p < 0.01$) 高値であることを示す.

研究 3

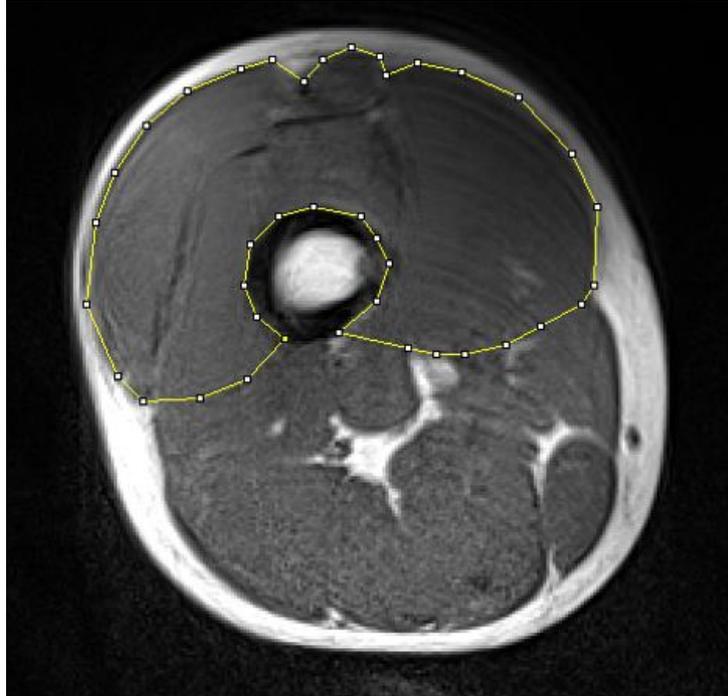


図 4-3-1. MRI を使用して撮像した右足大腿四頭筋の断面画像．画像解析ソフト (Image J) に取り込み，断面積を算出．

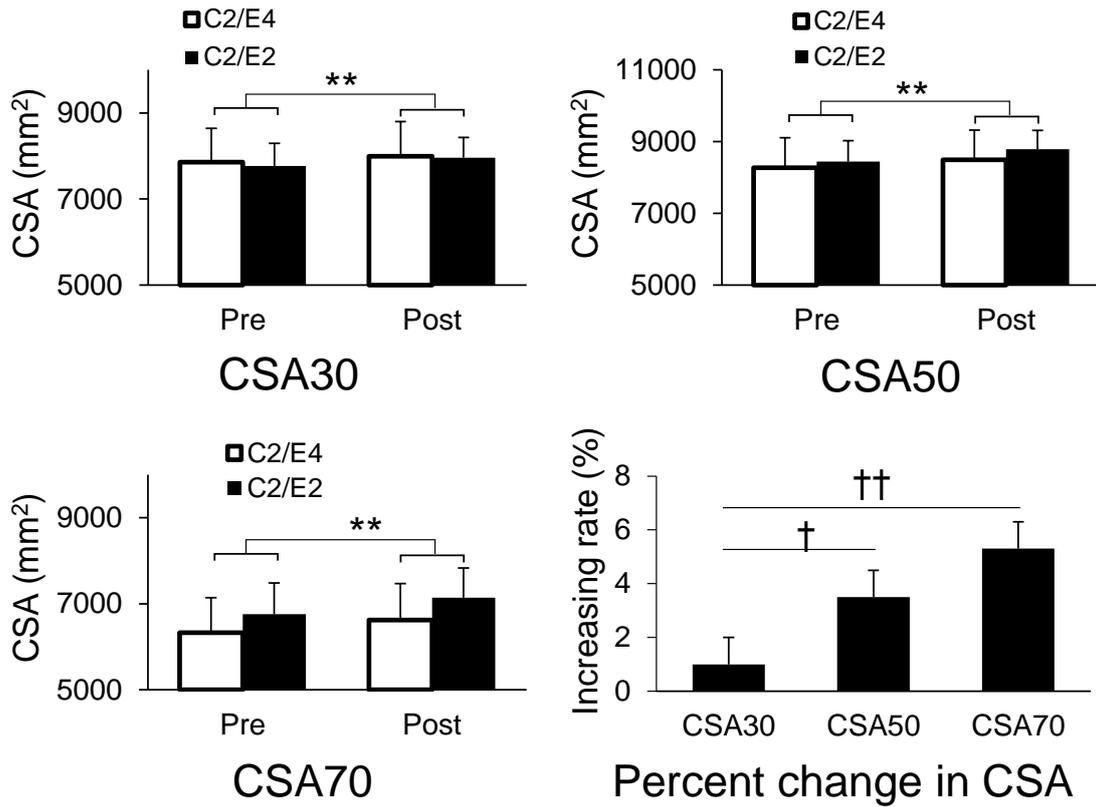


図 4-3-2. C2/E4 および C2/E2 のトレーニング期間前後の右脚大腿四頭筋の横断面積. 大転子から大腿骨外側顆までの 30% (CSA30), 50% (CSA50), 70% (CSA70) および各部位の変化率 (Percent change in CSA). データは平均値 + 標準偏差. **は Pre と比較して Post で有意に ($p < 0.01$) 増加したことを示す. †は有意差 ($p < 0.05$) があることを示す. ††は有意差 ($p < 0.01$) があることを示す.

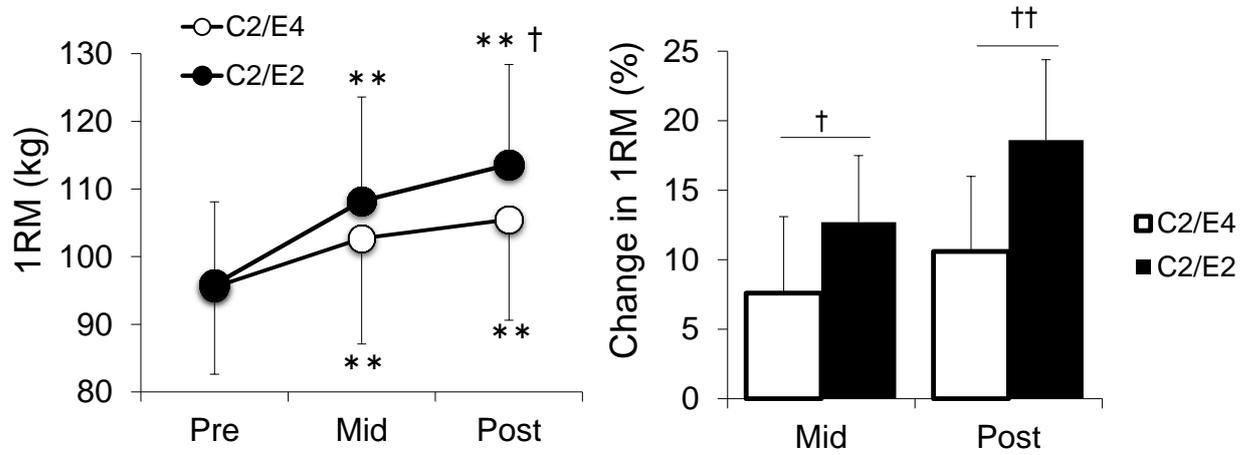


図 4-3-3. C2/E4 および C2/E2 のトレーニング期間前 (Pre), 3 週間後 (Mid), 6 週間後 (Post) のスクワット 1RM (左). 3 週間後 (Mid), 6 週間後 (Post) の変化率 (右). ** は Pre と比較して Post で有意に ($p < 0.01$) 増加したことを示す. † は群間で有意差 ($p < 0.05$) があることを示す. †† は群間で有意差 ($p < 0.01$) があることを示す.

表 4-3-1. C2/E4 および C2/E2 におけるスクワットトレーニングのパフォーマンス。データは平均値±標準偏差。**は C2/E4 と比較して有意差があることを示す。

			C2/E4	C2/E2
Load	(kg)	0-3	71.1 ± 9.6	71.6 ± 9.5
(75%1RM)	(kg)	4-6	76.6 ± 11.4	80.7 ± 11.6
	(reps)	Set	12.9 ± 3.9	16.7 ± 3.5
Squat	(reps)	Set	8.3 ± 1.6	11.5 ± 1.8
REPS	(reps)	Set	7.1 ± 1.2	9.9 ± 1.8
	(reps)	Total	338.7 ± 75.1	457.4 ± 71.8**
VOL-L	(kg)		25051.7 ± 6838.7	34287.0 ± 4955.5**
CON TUT	(sec.)		642.7 ± 144.5	887.6 ± 142.1**
ECC TUT	(sec.)		1425.1 ± 302.8	942.0 ± 145.5**
Total	(sec.)		2067.8 ± 447.2	1829.6 ± 287.3

第 5 章

研究 4

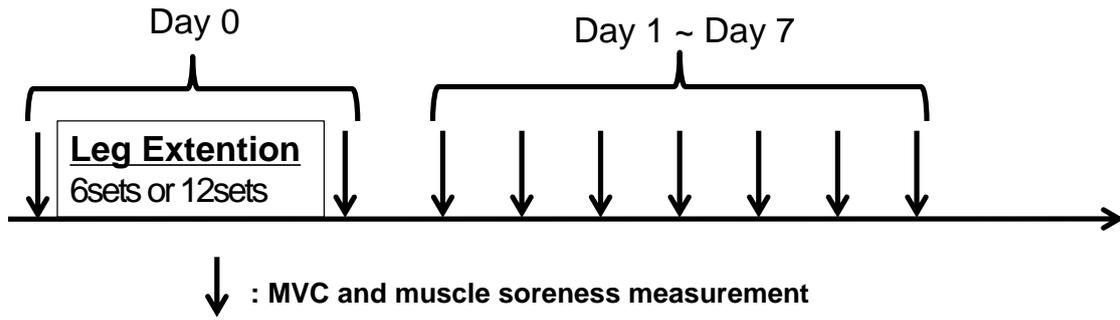


図 5-1-1. 実験デザイン

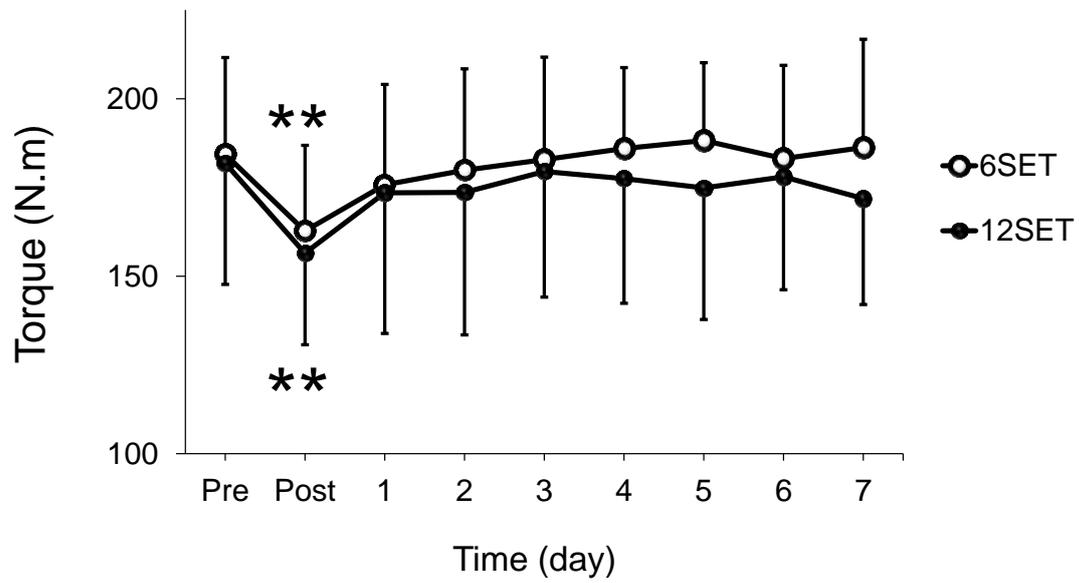


図 5-1-2. 12 セット群と 6 セット群における運動前 (Pre), 運動後 (Post), 1~7 日後の MVC. データは平均値±標準偏差. **は運動前と比較して有意に ($p < 0.01$) 低値であることを示す.

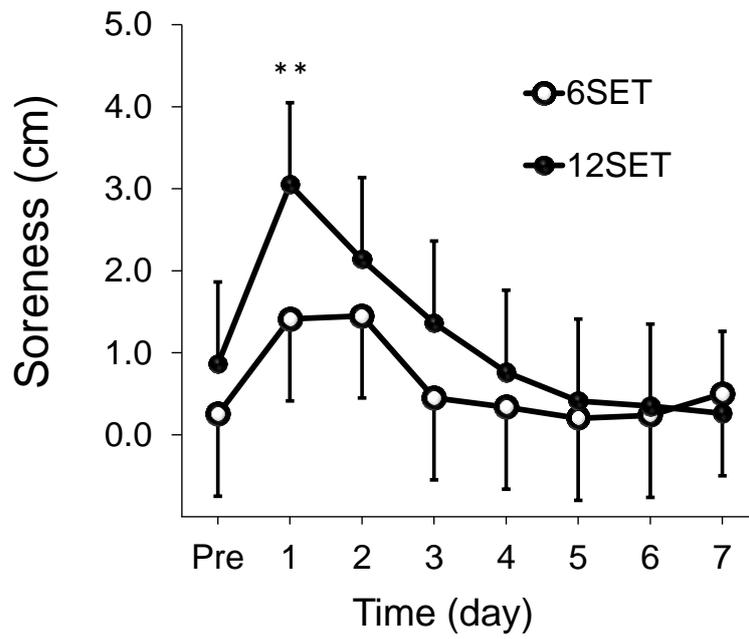


図 5-1-3. 12 セット群と 6 セット群における運動前 (Pre), 1~7 日後の筋痛. データは平均値±標準偏差. **は運動前と比較して有意に ($p < 0.01$) 高値であることを示す.

表 5-1-1. 12 セット群と 6 セット群における各セットの反復回数.
データは平均値±標準偏差.

	12SET	6SET
Set 1	8.1 ± 3.5	7.6 ± 2.0
Set 2	6.6 ± 1.6	6.4 ± 1.2
Set 3	5.9 ± 1.1	5.5 ± 0.8
Set 4	5.1 ± 1.6	4.8 ± 1.3
Set 5	5.6 ± 0.7	4.9 ± 0.6
Set 6	4.6 ± 1.3	5.5 ± 1.6
Set 7	4.0 ± 0.8	
Set 8	4.4 ± 0.9	
Set 9	4.1 ± 0.6	
Set 10	4.3 ± 0.5	
Set 11	4.5 ± 0.5	
Set 12	4.3 ± 0.9	

研究 5

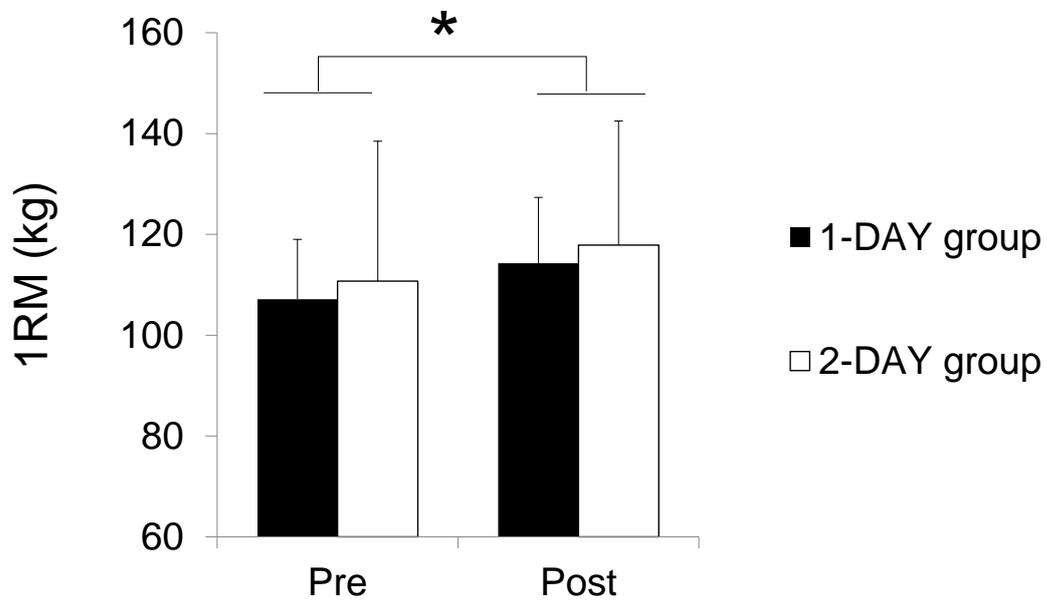


図 5-2-1. 1DAY 群と 2DAY 群のトレーニング期間前 (Pre) とトレーニング期間後 (Post) のスクワット 1RM. データは平均値 + 標準偏差. * はトレーニング期間前後で有意に ($p < 0.05$) 増加したことを示す.

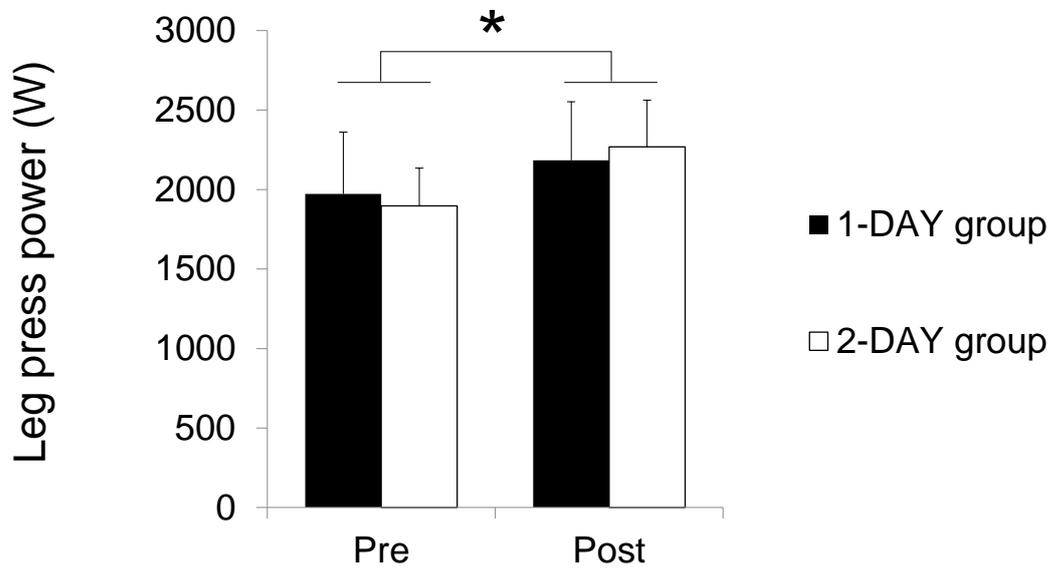


図 5-2-2. 1DAY 群と 2DAY 群のトレーニング期間前 (Pre) とトレーニング期間後 (Post) のレッグプレスパワー. データは平均値 + 標準偏差. * はトレーニング期間前後で有意に ($p < 0.05$) 増加したことを示す.

表 5-2-1. 1DAY 群と 2DAY 群におけるトレーニングセッション数および総挙上重量. データは平均値±標準偏差.

Group	The number of training session	Total volume load lifted (kg)
1DAY	5.9 ± 0.9	16,403 ± 2,813
2DAY	11.6 ± 0.5	17,684 ± 3,892