

高頻度・伸張性収縮トレーニング負荷量の下限の検討

西九州大学 中村 雅俊
(共同研究者) Edith Cowan University Kazunori Nosaka

Investigation of The Minimum Intensity of High-Frequency Eccentric Contractions Training

by

Masatoshi Nakamura
*Faculty of Rehabilitation, Sciences,
Nishi Kyushu University*
Kazunori Nosaka
*Centre for Human Performance,
School of Medical and Health Sciences,
Edith Cowan University*

ABSTRACT

We have previously shown that high-frequency (daily six maximal eccentric contractions x 5 times per week) training at maximal load and eccentric contraction training could increase muscle strength and muscle thickness of elbow flexors. In the present study, we aimed to extend this knowledge and clarify the effects of high-frequency training using a submaximal load, i.e., 2/3 and 1/3 of the maximal eccentric contraction strength. Thirty-six healthy university students were randomly divided into three groups: 2/3 group (n=12), 1/3 group (n=12), and control group (n=12) : The 2/3 and 1/3 groups that performed six eccentric contractions with 2/3 or 1/3 maximal eccentric contraction torque using a dumbbell 5 days a week for 4 weeks or control

group that did not perform any training. We measured muscle strength and muscle thickness of elbow flexors before and after the 4 weeks intervention period. The results showed a significant ($p < 0.05$) increase in muscle strength and thickness in only the 2/3 group but no significant change in the 1/3 group nor the control group. Also, there were no significant differences in muscle strength and thickness increases between the 2/3 group and maximal eccentric contraction training group shown in the previous study. Therefore, using more than 2/3 of the maximal eccentric contraction torque for high-frequency, eccentric contraction resistance training is necessary.

キーワード

伸張性収縮, 等尺性収縮, 短縮性収縮, 筋厚, 超音波画像診断装置

Keyword

Eccentric contraction, isometric contraction, eccentric contraction, muscle thickness, ultrasound

要 旨

我々はこれまで最大負荷を用いた高頻度(週5回)・伸張性収縮トレーニングを行うことで筋力増加・筋肥大効果が生じることを明らかにしてきた。本研究ではこの知見を拡大し、最大下の負荷量、つまり全力2/3および1/3の負荷量を用いた場合での高頻度・伸張性収縮トレーニングの効果を明らかにすることを目的とした。対象は健常成人大学生36名を無作為に2/3の負荷量でトレーニングを行う2/3群、1/3の負荷量でトレーニングを行う1/3群、トレーニングを行わないコントロール群にそれぞれ12名ずつ群わけを行った。2/3群および1/3群はそれぞれの最大伸張性収縮筋力の2/3および1/3の負荷量のダンベルを用いて1日6回、週5回、4週間のトレーニングを実施した。コントロール群はトレーニングを行わなかった。4週間の介入期間の前後で肘関節屈曲筋力および筋厚を測定した。その結果、2/3群では筋力および筋厚の有意な増加が認められたが、1/3群およびコントロール群では有意な変化は認められなかった。2/3群の筋力増加および筋肥大効果は、先行

研究における最大負荷を用いた群と同程度であったため、高頻度・伸張性収縮トレーニングでは最大筋力の2/3以上の負荷量を用いる必要があることが示唆された。

緒 言

加齢および不活動、様々な疾患により筋力低下や筋萎縮が進行することが周知の事実であり、これらの諸問題に対する対応策として筋力トレーニング(レジスタンストレーニング)が重要である。レジスタンストレーニングの効果を規定する因子として様々な因子の重要性が述べられているが、その中で近年、収縮様式による効果の違いが着目されている。具体的には、伸張性収縮を用いたレジスタンストレーニングは他の収縮様式である短縮性収縮や等尺性収縮を用いたトレーニングよりも大きな筋力増加や筋肥大効果などがあることが示されている^{1,2)}。また我々は健常若年大学生の肘屈曲筋群を対象に以下の3つのレジスタンストレーニングの効果を比較した³⁾。1つ目の群は短縮性収縮と伸張性収縮を組み合わせた通常のレジスタンストレーニングを実施した群、2つ目の群は

伸張性収縮のみを行った群、3つ目は短縮性収縮のみを行った群で比較を行った。その結果、短縮性収縮と伸張性収縮を行った群と伸張性収縮のみを行った群で大きな筋力増加および筋肥大効果が認められた。この結果より、レジスタンストレーニングによる筋力増加および筋肥大効果は短縮性収縮よりも伸張性収縮を強調することが重要であることが示唆された。

興味深いことに伸張性収縮を用いたトレーニングの場合、1日のトレーニング(収縮)回数が少ない場合においても高頻度で行うことで筋力増加効果が期待できることが明らかになっている。具体的には、1日3秒間の全力の伸張性収縮を週5回(月曜日から金曜日)、4週間実施することで肘屈曲筋群の最大等尺性収縮筋力(maximal voluntary isometric contraction torque, MVC-ISO)は $10.2 \pm 6.4\%$ 、最大短縮性筋力(maximal voluntary concentric contraction torque, MVC-CON)は $12.8 \pm 9.6\%$ 、最大伸張性収縮筋力(maximal voluntary eccentric contraction torque, MVC-ECC)は $12.2 \pm 7.8\%$ 増加した⁴⁾。一方、肘関節屈曲筋群の筋肉量の指標である筋厚には有意な変化は認められなかった。また、Yoshidaら⁵⁾は、同様に健康若年者の肘屈曲筋群を対象に1日3秒間の全力の伸張性収縮を1日6回、週5回(合計30回)実施する群と週に1回だけ6回もしくは30回の全力の伸張性収縮を行う群で筋力及び筋厚の変化を検討した。その結果、週1回6回のみ全力の伸張性収縮を行う群では有意な筋力および筋厚の変化は認められなかった。一方、週1回30回のみ全力の伸張性収縮を行う群では筋力に有意な変化は認め等なかったものの、筋厚は有意に増加した。また、1日6回、週5回、全力の伸張性収縮を行う群では有意な筋力増加及び筋肥大効果を認めた。以上より、伸張性収縮をレジスタンストレーニングとして用いた場合、1日で行う回数は少なくとも、高頻度で行うことで筋力増加・筋肥大効果が期待

できることが明らかとなった。

一方、これらの知見を社会実装する際の大きな障壁として、最大での伸張性収縮を行っている点が挙げられる。実際にこれらの先行研究では等速性の筋力測定装置を用いているため、全力での伸張性収縮が可能であるが、実際にトレーニングを行う現場では、この方法は不可能である。そのため、最大ではなく、より負荷を下げた状態においても全力で伸張性収縮を行ったものと同じ効果があるか否かを明らかにすることは、トレーニング処方において重要な情報となる。そこで本研究の目的は、最大下の負荷量、つまり全力2/3および1/3の負荷量を用いた場合における高頻度・伸張性収縮トレーニングの効果を検討し、その効果が先行研究⁵⁾で明らかにした全力での伸張性収縮トレーニングにおける効果との差異を比較することである。また、実際のトレーニング処方を見据えて、本研究では等速性筋力測定装置ではなくダンベルを用いたトレーニングでの効果を検討することで、より現場への還元性の高い情報となると考えた。

1. 方法

1.1 対象および実験プロトコル

対象は上肢に整形外科的な疾患及び神経学的疾患を有さず、ここ半年間、定期的なレジスタンストレーニングを行っていない健康若年男女36名の利き腕側の肘関節屈曲筋群とした。図1に示すように初期評価の1週間前に筋力測定の練習を行い、その後、初期評価(PRE)を実施した。その後、無作為に最大伸張性収縮筋力の2/3の負荷量でレジスタンストレーニングを行う2/3 MVC-ECC群(n=12)と1/3の負荷量でレジスタンストレーニングを行う1/3 MVC-ECC群(n=12)、トレーニングを行わないコントロール群(n=12)に無作為に群分けを行った。なお、2/3 MVC-ECC群と1/3 MVC-ECC群は1日6回の伸張性収縮を週5回、4

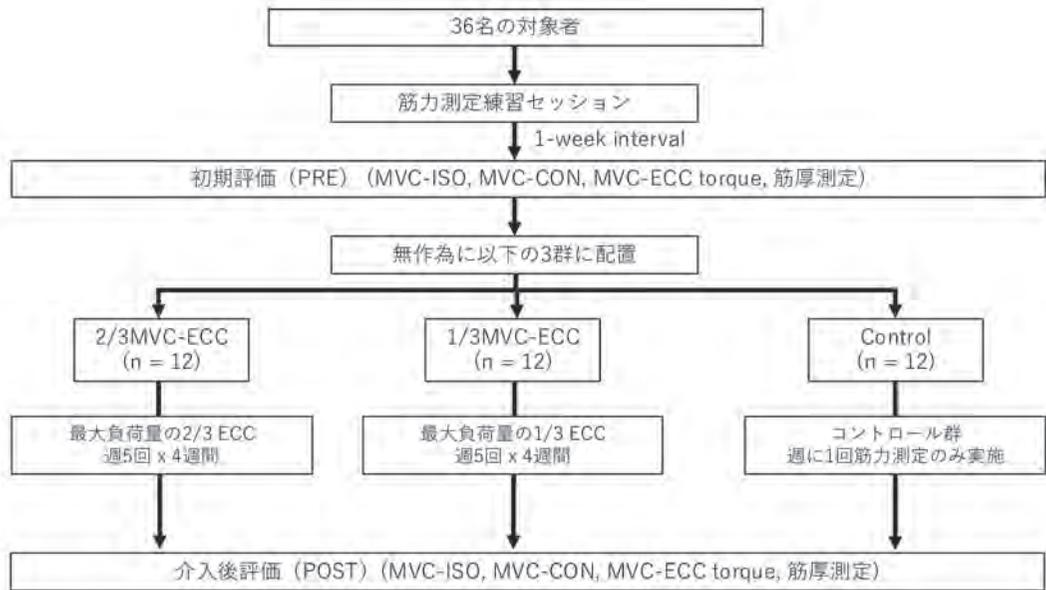


図1 実験プロトコル

週間実施した。なお、これらの負荷量の設定に用いる MVC-ECC 測定は週の最初に行い、トレーニングで用いる重量の調整を行った。なお、コントロール群は週に1回の MVC-ECC 測定のみ実施した。初期評価後、4週目に介入後の測定 (POST) を実施した。なお、これら3群間の身体属性において一元配置分散分析の結果、有意な差は認められなかった。なお、本研究は所属機関の倫理審査の承認を得て、ヘルシンキ宣言に則り研究の説明を行い、書面にて実験の同意を得て実施した。

1. 2 筋力測定

先行研究^{4,5)}と同様に等速性筋力測定装置 (Biodex system 3.0, Biodex Medical Systems Inc., Shirley, NY, USA) を用いて、体幹および骨盤をベルクロテープにて強固に固定し、肩関節45°屈曲位における肘屈曲筋力を測定した。MVC-ISO 筋力は3つの角度 (肘関節屈曲20°, 55°, 90°, それぞれ MVC-ISO₂₀, MVC-ISO₅₅, MVC-ISO₉₀) を無作為な順番で測定した。なお、それぞれの角度で45秒間の休憩を挟み、2回ずつ3秒間の最

大等尺性収縮を実施した。また MVI-ISO 全体の筋力変化を検討するために、MVC-ISO₂₀, MVC-ISO₅₅, MVC-ISO₉₀ の平均値を MVC-ISO_{AVE} とした。

なお、解析にはこれら2回測定した値の大きな方を採用した。その後、MVC-CON および MVC-ECC の順番で測定を実施した。MVC-CON および MVC-ECC は肘関節10°から100°の範囲で、角速度30°/秒 (MVC-CON₃₀ および MVC-ECC₃₀) および180°/秒 (MVC-CON₁₈₀ および MVC-ECC₁₈₀) の2つの速度で測定した。なお、それぞれの速度で3回ずつ、測定し、最大値を解析に用いた。MVC-ISO と同様に MVC-CON および MVC-ECC の筋力の平均値をそれぞれ MVC-CON_{AVE} および MVC-ECC_{AVE} とした。

1. 3 筋厚測定

先行研究^{4,5)}と同様に超音波画像診断装置 (LOGIQ e V2; GE Healthcare Japan, Tokyo, Japan) を用いて、上腕二頭筋と上腕筋の合計の筋厚を測定した。測定は熟練した理学療法士1名が実施し、測定部位は肩峰から外側上顆を結ぶ線の50%

60%, 70%の部位で測定をした (MT_{50} , MT_{60} , MT_{70} と表記). またこれら全ての筋厚の平均値を MT_{AVE} とした.

1. 4 トレーニング方法

前述のMVC-ECCを参考に2/3 MVC-ECC群および1/3 MVC-ECC群の負荷量を設定した. なお, 両群ともにそれぞれの週の最初にMVC-ECCの数値を測定し, トレーニング負荷量を再設定した. トレーニング方法は図2に示す通り, プリーチャーカール台を用いて, 肩関節 45° 屈曲位, 肘関節 90° 屈曲位から3秒かけて肘関節 0° 位まで肘関節屈曲筋群の伸張性収縮を実施した. なお, 短縮性収縮のフェーズ, つまり肘関節 0° 位から肘関節 90° 屈曲位まで戻る際には測定者がダンベルを持ち上げて, 被験者には重力以外の外部の負荷がかからないようにした.



図2 ダンベルを用いたトレーニング風景

1. 5 統計処理

統計処理にはSPSS 28.0 (IBM Japan, Inc., Tokyo, Japan)を用いた. Shapiro-Wilk検定により正規性を確認後, PREにおける筋力及び筋厚の比較を一元配置分散分析を用いて比較した. また, 2/3MVC-ECC群および1/3 MVC-ECC群それぞれにおいて, トレーニングで用いたダンベルの重量の経時的な変化を明らかにするために1週目の値と2, 3, 4週目の比較をBonferroni補正を用いた対応のあるt検定を用いた. またトレーニング介入による筋力増加および筋肥大効果を明らかにするために, 各筋力指標および $MVC-ISO_{AVE}$, $MVC-CON_{AVE}$, $MVC-ECC_{AVE}$ および MT_{AVE} について, 分割プロット分散分析(時期 [PRE] vs [POST] × 群 [2/3 MVC-ECC群 vs 1/3 MVC-ECC群 vs Control群])を用いて比較した. なお, 有意な交互作用が認められた項目においては, 各群における介入前後の比較を対応のあるt検定を用いて検討した. また, これら介入前後の変化の効果量についてはCohenのdを用いて算出した.

また, 介入前後において筋力増加が認められ群のみにおいて, $MVC-ISO_{AVE}$, $MVC-CON_{AVE}$, $MVC-ECC_{AVE}$ および MT_{AVE} の介入前後の変化率同士の関係性および1週目から4週目までのトレーニング重量の増加率 (Δ training weight) と関係性の検討をSpearmanの順位相関係数を用いて検討した. なお, 有意水準は5%未満とした.

2. 結果

一元配置分散分析の結果, PREの値において全ての筋力および筋厚の値において群間に有意な差は認められなかった. またトレーニングで用いたダンベルの重量の経時的変化に関して図3に示す. 統計処理の結果, Aの2/3 MVC-ECC群では1週目に対して3および4週目において有意に高値を示したのに対して, Bの1/3 MVC-ECC群では4週目のみ1週目に対して有意に高値を示した.

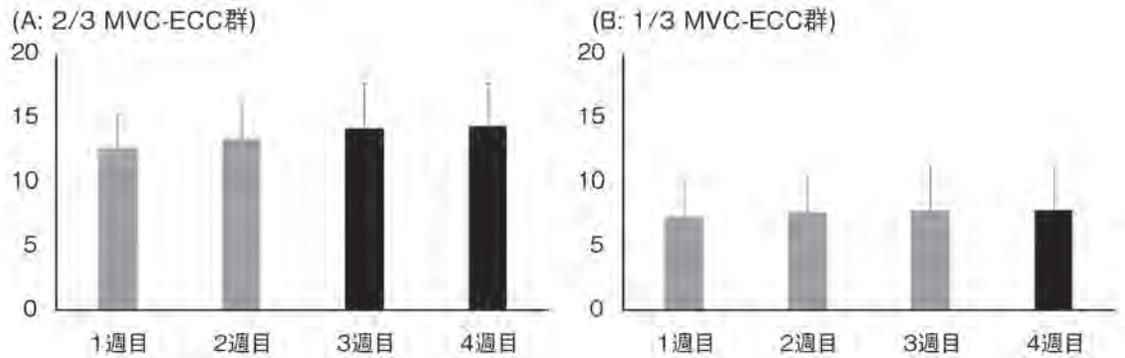


図3 トレーニングに用いたダンベルの経時的な変化について

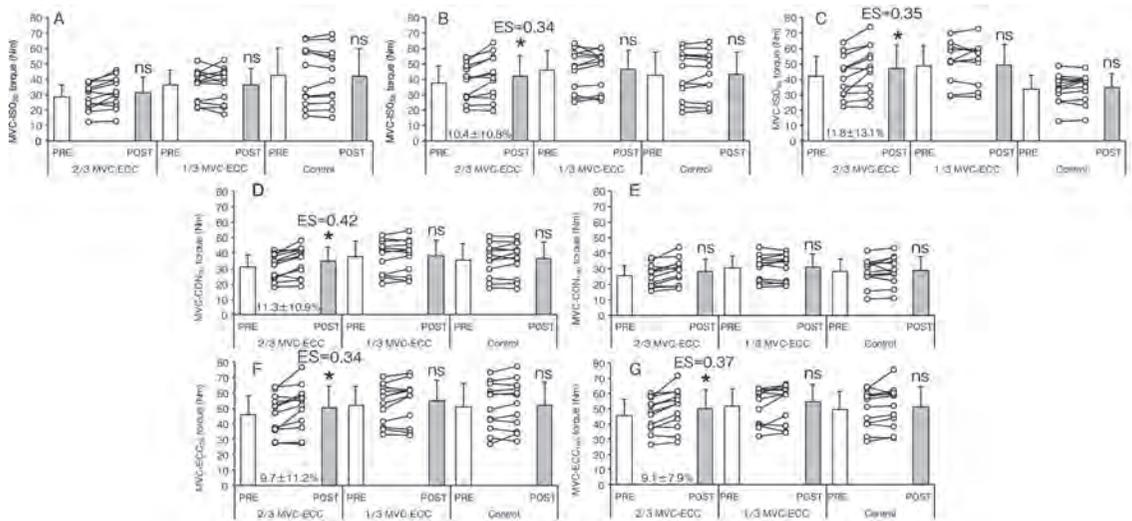


図4 介入前後における最大等尺性収縮筋力 (MVC-ISO) および短縮性収縮筋力 (MVC-CON), 伸張性収縮筋力 (MVC-ECC) の変化
*: $p < 0.05$, ES=効果量

また、図4に介入前後におけるMVC-ISO、MVC-CONおよびMVC-ECCの測定結果を示す。分割プロット分散分析の結果、MVC-ISO₂₀およびMVC-CON₁₈₀では有意な交互作用は認められなかったが(それぞれ $F=2.48, p=0.099, F=2.69, p=0.082$)、その他の項目においては有意な交互作用を認めた。事後検定の結果、2/3 MVC-ECC群のみにおいて有意な筋力増加効果が認められた。

また図5にはMTの変化を示す。MT₅₀、MT₆₀、MT₇₀の全てにおいて有意な交互作用を認め、2/3 MVC-ECC群のみ有意な筋厚の増加効果を認めた。

また、図6には各群における介入前後のMVC-ISO_{AVE}、MVC-CON_{AVE}、MVC-ECC_{AVE}およびMT_{AVE}の変化率(%)の比較を示す。統計処理の結果、全ての項目において有意な交互作用を認め、2/3 MVC-ECC群のみ介入後に有意な増加を示した(Δ MVC-ISO_{AVE}: $10.3 \pm 11.4\%$, Δ MVC-CON_{AVE}: $10.9 \pm 9.5\%$, Δ MVC-ECC_{AVE}: $9.3 \pm 8.8\%$, Δ MT_{AVE}: $10.1 \pm 9.2\%$)。また2/3 MVC-ECC群におけるこれら変化率同士の相関分析の結果、 Δ MVC-ISO_{AVE}と Δ MVC-ECC_{AVE}、 Δ MVC-CON_{AVE}と Δ MVC-ECC_{AVE}にはそれぞれ有意な相関関

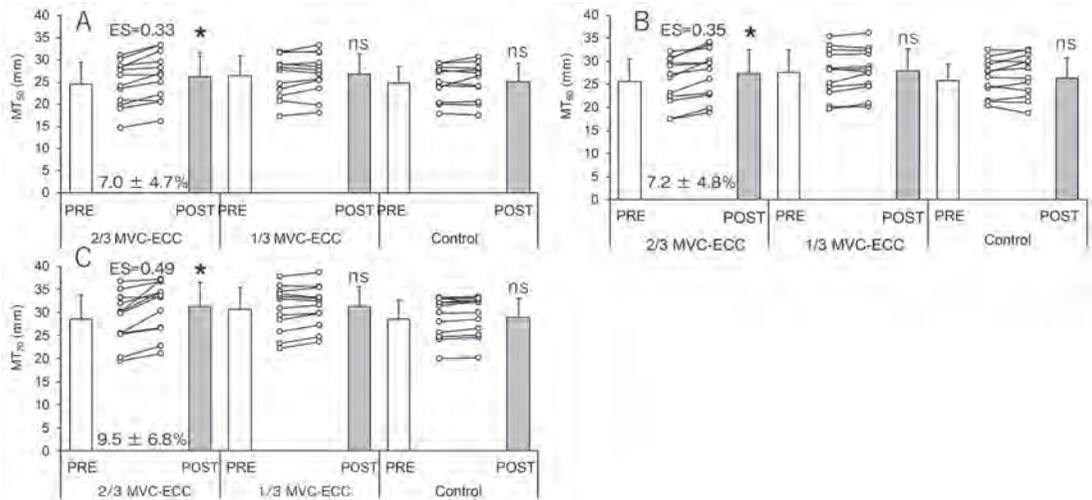


図5 介入前後における筋厚 (MT) の変化

*: $p < 0.05$, ES=効果量

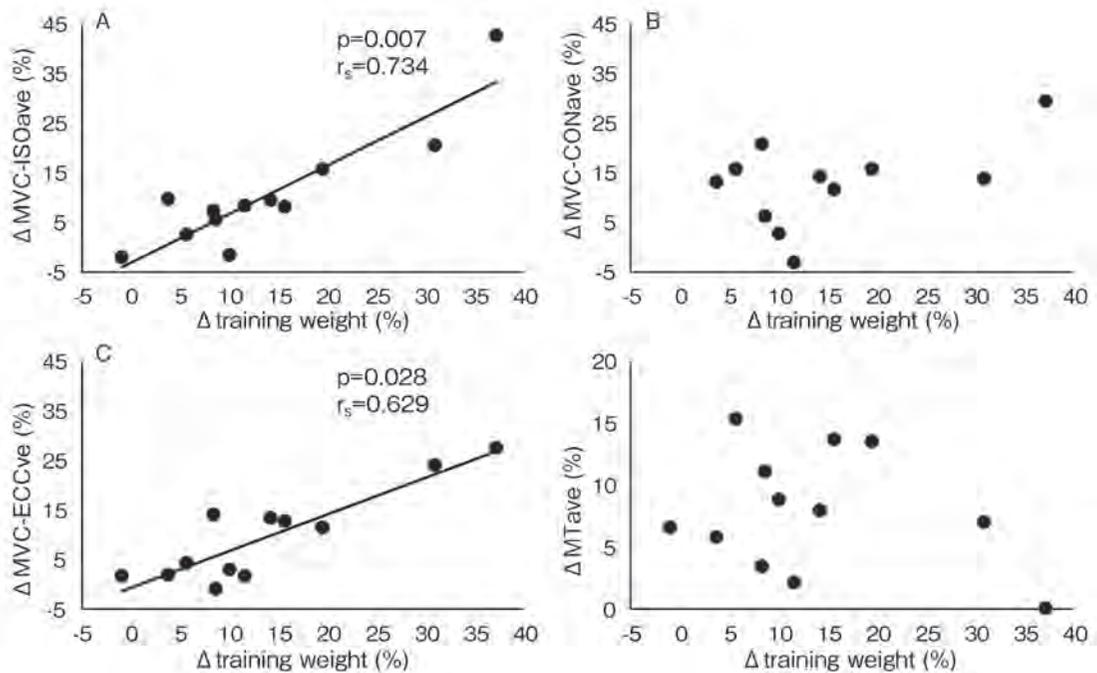


図6 1から4週目のトレーニング重量の変化率と筋力の変化率の関係性

係が認められた (それぞれ $r_s=0.580$, $p=0.048$, $r_s=0.769$, $p=0.003$). なお, Δ MVC-ISO_{AVE} と Δ MVC-ECC_{AVE} には有意な相関傾向が認められた ($r_s=0.566$, $p=0.055$). 一方, MT_{AVE} とは全ての項目と有意な相関関係は認められなかった

(Δ MVC-ISO_{AVE} : $r_s=0.343$, $p=0.276$, Δ MVC-CON_{AVE} : $r_s=0.056$, $p=0.863$, Δ MVC-ECC_{AVE} : $r_s=0.154$, $p=0.633$)

また, 2/3 MVC-ECC群における介入前後の MVC-ISO_{AVE}, MVC-CON_{AVE}, MVC-ECC_{AVE}

および MT_{AVE} の変化率(%)と1週目から4週目にかけてのトレーニング重量の変化率との相関分析の結果を図6に示す。統計処理の結果、 $\Delta MVC-ISO_{AVE}$ ($r_s=0.734, p=0.007$) および $\Delta MVC-ECC_{AVE}$ ($r_s=0.629, p=0.028$) とは有意な正の相関関係を認め、 $\Delta MVC-CON_{AVE}$ ($r_s=0.413, p=0.183$) および ΔMT_{AVE} ($r_s=-0.042, p=0.897$) とは有意な相関関係を認めなかった。

3. 考 察

本研究では、4週間の一日6回、週5回(合計30回/週)の伸張性収縮トレーニングの効果について、最大下の負荷量で検討した。その結果、最大伸張性収縮筋力の1/3の重量でトレーニングを行った場合、筋力増加および筋肥大効果は生じなかったが、2/3の重量でトレーニングを行った場合は有意な筋力増加および筋肥大効果が生じた。興味深いことに、この筋力増加および筋肥大効果は、先行研究⁵⁾で最大伸張性収縮を用いたトレーニングの結果と比較すると、 $\Delta MVC-ISO_{AVE}$ において、2/3 MVC-ECC群は $10.3 \pm 11.4\%$ に対してMVC-ECC群： $8.3 \pm 4.9\%$ 、 $\Delta MVC-CON_{AVE}$ において2/3 MVC-ECCは： $10.9 \pm 9.5\%$ に対して、MVC-ECC群： $11.1 \pm 7.4\%$ 、 $\Delta MVC-ECC_{AVE}$ において2/3 MVC-ECC群では $9.3 \pm 8.8\%$ 、MVC-ECC群は $13.5 \pm 11.5\%$ 、 ΔMT_{AVE} では $10.1 \pm 9.2\%$ に対して、MVC-ECC群は $10.6 \pm 5.1\%$ であった。すべての項目において統計的に有意な差は認められなかった。この結果より、高頻度・伸張性収縮トレーニングを行う場合、最大筋力の2/3以上の負荷量を用いることが筋力増加および筋肥大には必要なことが明らかとなった。

本研究では1/3 MVC-ECC群では筋力増加および筋肥大効果は認められなかった。Chenら⁶⁾は、本研究と同様に上腕屈筋群を対象にMVC-ISOの10%のダンベルを用いて6回の伸張性収縮トレ

ニングを5セット、週2回の頻度で実施した結果、4週間で16%のMVC-ISO筋力が増加することが報告されている。本研究では、1/3 MVC-ECC群ではこの先行研究より負荷量が大きかったが、1セッションのトレーニング数が少なかったことが筋力増加を引き起こせなかった可能性がある。また、1週間あたりのトレーニング数も本研究では30回であるのに対して、先行研究では60回であった。一方、同じトレーニング回数である2/3 MVC-ECC群では有意に筋力増加および筋肥大効果が認められた。これらの結果より、1日6回の収縮しか行わない場合、最大筋力の2/3以上の負荷が必要であることが明らかとなった。しかし、トレーニング重量とトレーニング頻度が筋力増加および筋肥大効果に及ぼす影響については十分明らかではないため、今後、さらなる研究が期待される。

また興味深いことに、筋力増加および筋肥大効果が認められた2/3 MVC-ECC群においてこれらの変化率の相関分析の結果、全ての収縮様式の増加率と筋厚の増加率に有意な相関関係は認められなかった。この結果は筋力増加に筋肥大の要素の影響が少ない可能性が示されている。レジスタンストレーニングの初期における筋力増強には運動単位の動員や発火頻度の増加などに代表される神経筋機能の変化が関連していると報告されている⁶⁾。また伸張性収縮を用いたレジスタンストレーニングは運動野や脊髄レベルでの興奮性の変化を引き起こす可能性が示されている^{7,8)}。そのため、本研究では特に、2/3 MVC-ECC群ではこれらのメカニズムにより筋力が増加した可能性がある。また、代表的なトレーニングの原則として特異性の原則があり、本研究では伸張性収縮のみを用いたトレーニングであるため、MVC-ECCのみが増加する可能性もあった。しかし、本研究の結果から、全ての収縮様式で同程度の筋力増加効果を認めた。この結果は伸張性収縮トレーニングの効果

を検討した先行研究結果^{4,5)}を支持するものであり、伸張性収縮を用いたトレーニングの場合、特異性の原則に従わず、様々な収縮様式の筋力を増加させることが明らかとなった。

またそれぞれの筋力増加率およびトレーニング負荷量の増加率と筋力増加率との相関分析の結果、個人間のばらつきは多く、4週間の介入期間で筋力増加が大きい対象者ほど、筋力が増加し、その筋力増加は全ての収縮様式で生じているということが考えられる。レジスタンストレーニングの効果については効果の出やすいresponderと出にくいnon-responderがいることが知られている。この個人差についての要因は本研究では明らかにできていないため、今後、この個人差に関連する要因の検討を行っていく必要がある。

本研究では全力の2/3の負荷量を用いた伸張性収縮を行うことで1日6回、週5回という頻度で筋力増加および筋肥大効果が生じることが明らかとなった。実際のトレーニング場面を想定すると、両腕でダンベルを持ち上げて、片腕で伸張性収縮を行うことで応用が可能である。また本研究では下肢の筋肉での検討ができていないため、同様の効果が生じるかは議論の予定が残るが、スクワットやカーフレイズ動作において伸張性収縮の局面のみ片脚で実施し、短縮性収縮の局面は両足で行うなどの応用が可能である。今後は、下肢や高齢者、有患者などでの検討を進め、より実現可能な伸張性収縮トレーニングプログラムの立案につなげていきたい。

4. 結 論

1日6回、週5回の伸張性収縮トレーニングを行う場合、最大伸張性収縮の2/3の負荷量を用いることで、全力でのトレーニングと同程度の筋力増加・筋肥大効果が期待できることが明らかとなった。

謝 辞

本研究の実施にあたり、研究助成を賜りました公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に心より御礼申し上げます。また本研究へ参加協力を快諾してくださった被験者の皆様にも感謝を申し上げます。

文 献

- 1) Roig M., O'Brien K., Kirk G., Murray R., McKinnon P., Shadgan B., Reid W.D., The effects of eccentric versus concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: a systematic review with meta-analysis., *Br. J. Sports Med.*, 43 (8) :556-68(2009)
- 2) Chen T.C., Tseng W.C., Huang G.L., Chen H.L., Tseng K.W., Nosaka K., Superior Effects of Eccentric to Concentric Knee Extensor Resistance Training on Physical Fitness, Insulin Sensitivity and Lipid Profiles of Elderly Men., *Front Physiol.*, 10;8:209(2017)
- 3) Sato S., Yoshida R., Murakoshi F., Sasaki Y., Yahata K., Kasahara K., Nunes J.P., Nosaka K., Nakamura M., Comparison between concentric-only, eccentric-only, and concentric-eccentric resistance training of the elbow flexors for their effects on muscle strength and hypertrophy., *Eur. J. Appl. Physiol.*, 122 (12) :2607-2614(2022)
- 4) Sato S., Yoshida R., Murakoshi F., Sasaki Y., Yahata K., Nosaka K., Nakamura M., Effect of daily 3-s maximum voluntary isometric, concentric, or eccentric contraction on elbow flexor strength., *Scand. J. Med. Sci. Sports.*, 32 (5) :833-843(2022)
- 5) Yoshida R., Sato S., Kasahara K., Murakami Y., Murakoshi F., Aizawa K., Koizumi R., Nosaka K., Nakamura M., Greater effects by performing a small number of eccentric contractions daily than a larger number of them once a week., *Scand. J. Med. Sci. Sports.*, 32 (11) :1602-1614(2022)
- 6) Chen T.C., Tseng W.C., Chen H.L., Tseng K.W., Chou T.Y., Huang Y.C., Nosaka K., Striking muscle adaptations induced by volume-dependent repeated bouts of low-intensity eccentric exercise of the elbow flexors., *Appl. Physiol. Nutr. Metab.*, 46 (8) :897-905(2021)

- 7) Pearcey G.E.P., Alizedah S., Power K.E., Button D.C., Chronic resistance training: is it time to rethink the time course of neural contributions to strength gain? *Eur. J. Appl. Physiol.*, 121 (9) :2413-2422(2021)
- 8) Duchateau J., Baudry S., Insights into the neural control of eccentric contractions., *J. Appl. Physiol.* (1985), 1;116 (11) :1418-25(2014)
- 9) Aagaard P., Spinal and supraspinal control of motor function during maximal eccentric muscle contraction: Effects of resistance training., *J. Sport Health Sci.*, 7 (3) :282-293(2018)