

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 18 日現在

機関番号：82632

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23700767

研究課題名(和文) 徒手抵抗トレーニングの効果に関する研究：動作特性・生理特性と介入による影響の検証

研究課題名(英文) Investigation into biomechanical and physiological characteristics of manual resistance training

研究代表者

荒川 裕志 (ARAKAWA, Hiroshi)

独立行政法人日本スポーツ振興センター国立スポーツ科学センター・スポーツ科学研究部・契約研究員

研究者番号：20591887

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では徒手抵抗トレーニング(MRT)と一般的高負荷トレーニング(WRT)の動作特性・生理特性の比較を行った。動作特性を比較した結果、MRTではWRTよりも大きな筋活動および筋出力を対象の筋に課すことができ、特に伸張性収縮局面においてMRTとWRTの差が顕著となることが明らかになった。さらに、生理特性については、MRTはWRTよりも筋損傷を誘発し、WRTと同程度の血中乳酸上昇・内分泌応答を引き起こすことが明らかになった。以上から、MRTでは対象の筋に対してWRTと同等以上の力学的・生理学的刺激を与えることができ、得られる効果が従来のトレーニング方法よりも潜在的に大きいことが推察される。

研究成果の概要(英文)：In this study, biomechanical and physiological aspects of the manual resistance training (MRT) were compared with those of the traditional weight resistance training (WRT). Subjects performed unilateral elbow extension exercises of MRT and WRT in the total of two experiments. It was found that MRT provides muscles with higher-intensity of muscle activity and mechanical load, and subsequent eccentric-induced muscle damage than high-load WRT. Besides, MRT elicits comparable levels of blood lactate and acute hormonal responses with WRT. The results of the two experiments suggest that MRT has a potential for improving greater degrees of strength than the traditional high-load WRT. The outcome of this study provides a scientific basis for the practical applicability of MRT.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学/スポーツ科学

キーワード：エクササイズ 筋電図 EMG 筋損傷 伸張性 筋力 筋肥大 マニュアルレジスタンス

1. 研究開始当初の背景

レジスタンストレーニングは筋肥大・筋力増強効果が高く、スポーツ競技力向上、加齢による筋萎縮抑制等に有効である。Fleckら(1987)のレビューによると、レジスタンストレーニングで筋肥大・筋力増強効果を得るためには、80%1RM程度以上の高負荷強度が必要となる。自体重を負荷とする方法等では相対負荷強度を調節しにくいいため、効果的にトレーニングを行うためには特別な器具や設備が必要とされる場合が多い。しかしながら、我が国においてフリーウエイトやマシン等の器具が完備されている施設は多くない。特別な器具を用いずに高負荷強度のエクササイズを行う方法があれば、場所を選ばずに効果的なレジスタンストレーニングを実施できるはずである。

以上の要件を満たす手法の一つが徒手抵抗トレーニングである。徒手抵抗トレーニングはパートナーの力を用いて筋を鍛える手法の一種であり、特別な器具を用いずに行える、器具等で抵抗を与えにくい筋にも適用可能である、などの利点がある。したがって、多くの運動・スポーツ場面で実施されてきているが、その動作特性・生理特性に関する研究例がなく、有効性に関する確固たるエビデンスが得られていない。以上の点が精査されることにより、「場所・施設・鍛える部位を選ばずに」行える徒手抵抗トレーニングが、信頼できるエクササイズ法の一つとして確立できる。

2. 研究の目的

徒手抵抗トレーニングの動作特性・生理特性について科学的手法を用いて検証し、その信頼性を明らかにするとともに、より有効な実施方法への示唆を得ること。

3. 研究の方法

徒手抵抗トレーニングの動作特性および生理特性を検証するために二つの実験を実施した。各方法は以下の通りである。

(1) 実験1：動作特性の検証

概要



8名の被験者に対し、右側の肘屈曲動作による徒手抵抗トレーニング(Manual Resistance Training: MRT条件)およびダンベルを用いた一般的高負荷トレーニング(Weight Resistance Training: WRT条件)を行わせ、動作中の関節角度変化、関節トルク、筋活動レベルを比較した。

被験者

日常的にレジスタンストレーニングを行っている健康な若年男性8名(年齢: 26.1 ± 2.2 y、身長: 173.1 ± 6.9 cm、体重: 70.0 ± 5.3 kg)を対象とした。

動作課題

肘屈曲運動用のベンチ台を用い、右腕によるMRT条件およびWRT条件をランダムな順序で実施した。MRT条件ではパートナーの負荷に対し全力で計10回反復させ、WRT条件では10RMに相当する重量を用いて限界の回数まで反復させた(表1)。反復運動のテンポは挙上および下降をそれぞれ1.5秒ずつとし、メトロノームを用いてタイミングをコントロールした。疲労の影響を避けるため、MRT条件とWRT条件の間には1時間以上のインターバルを設けた。

	WRT条件	MRT条件
条件		
左右	右腕	右腕
負荷	75%1RM(約10RM)	最大努力
回数	最大回数(約10回)	10回
計測項目	関節角度 筋電図	関節角度 手部反力 筋電図

計測項目

WRT条件では、ゴニオメータ(日本光電)による肘関節角度の計測を行い、二次元逆動力学モデルを構築することで肘関節屈曲トルクを算出した。前腕セグメントを水平にした状態でキャリブレーションすることにより、絶対座標系における同セグメントの位置情報を同定した。

MRT条件ではゴニオメータに加えて手部の圧力も計測することにより肘関節屈曲トルクを算出した。手部の圧力計測用装置として、小型圧縮型ロードセル(共和電業)を組み込んだアルミニウム製の特製パッドを用いた。計測された圧力および圧力中心点の位置情報を逆動力学モデルに組み込むことで、肘関節屈曲トルクの計算を行った。

さらに、WRT条件とMRT条件の両方において表面筋電図(Electromyography: EMG)を上腕二頭筋から計測した。

データ処理

各被験者の全反復回数を前半(2回目および3回目)、中盤(4回目および5回目)、後半(後ろから数えて2回目および3回目)の3つの局面に分けて、関節トルクおよび筋活動レベルをそれぞれ評価した。統計処理には二元配置分散分析およびBonferroniのpost-hocテストを用いた。

(2) 実験2：生理特性の検証

概要

8名の被験者に対し、片側性の肘屈曲動作による徒手抵抗トレーニング(MRT条件)お



よび一般的高負荷トレーニング（WRT 条件）を行わせ、前後の生理学的指標を比較した。筋損傷には“繰り返し効果”があり、一度損傷が起こるとその後数カ月間に亘り損傷が抑制される（Nosaka et al. 2001）ため、被験者の左右をそれぞれランダムに WRT と MRT に割り当てて実験を行った。筋損傷マーカーの回復には数日を要するため、両セッションは2週間以上の間隔を空けて実施した。

被験者

日常的なレジスタンストレーニング経験のない健康な若年男性8名（年齢：20.6 ± 1.8 y、身長：171.9 ± 6.1 cm、体重：64.8 ± 4.6 kg）を対象とした。実験の実施期間中は特別な運動を行わないよう各被験者に指示した。

動作課題

肘屈曲運動用のベンチ台を用い、(1)と同様の2条件（WRT および MRT）を3セットずつ行わせた。MRT 条件ではパートナーの負荷に対し全力で各セット10回ずつ反復させ、WRT 条件では10RMに相当する重量を用いて限界の回数まで反復させた（表1）。反復運動のテンポは拳上および下降をそれぞれ1.5秒ずつとし、メトロノームを用いてタイミングをコントロールした。セット間の休息時間は1分間とした。

	WRT 条件	MRT 条件
条件		
左右	左右ランダム	
負荷	65% ~ 75% 1RM (約 10RM)	最大努力
回数	最大回数 x 3 セット	10 回 x 3 セット

計測項目

トレーニング前（安静時）、直後、15分後、30分後、2日後、4日後のタイミングで採血を行い、血中乳酸、血漿カテコールアミン三分画、血清コルチゾール、血漿CK、血中ミオグロビンの各検査を行った。また、トレーニング前、2日後、4日後のタイミングで等尺性肘屈曲筋力および遅発性筋痛の主観的強度を測定した。

データ処理

統計処理には二元配置分散分析および Bonferroni の post-hoc テストを用いた。

4. 研究成果

(1) 実験1（動作特性の検証）の成果

中盤の局面（4回目および5回目）における肘関節角度、肘関節トルク、EMGの時系列

パターンの典型例を図1に示した。

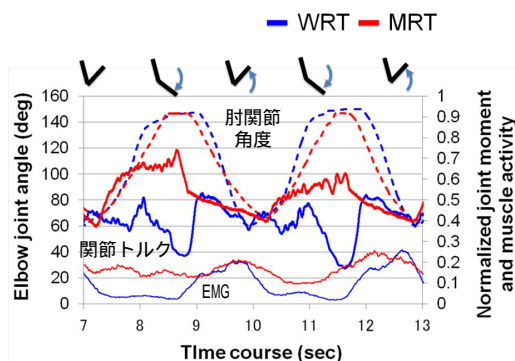


図1 中盤の局面における典型例

各関節トルクの全被験者平均値を、前半/中盤/後半の各局面および短縮性収縮/伸張性収縮に分けて示したのが図2である。短縮性収縮時の関節トルクは、前半局面において MRT 条件の方が有意に大きかった（WRT：28 Nm に対し MRT：36 Nm、 $P < 0.05$ ）。伸張性収縮時においては、全ての局面において MRT 条件の方が有意に関節トルクが大きかった（3局面の平均が WRT：28 Nm に対して MRT：50 Nm、3局面とも $P < 0.05$ ）。伸張性収縮局面の負の仕事量絶対値も MRT 条件の方が優位に大きかった（WRT：-45 J に対して MRT：-73 J、 $P < 0.05$ ）。

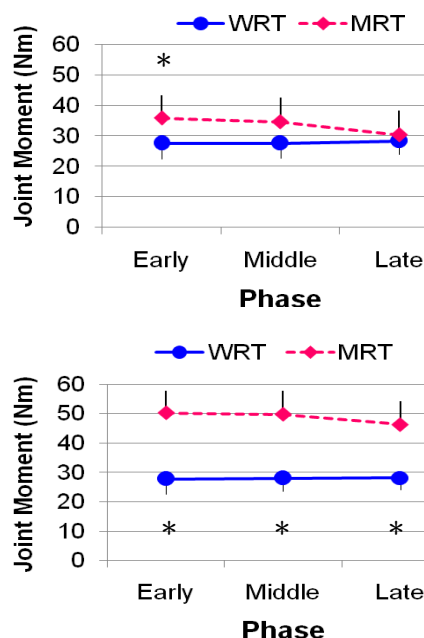


図2 短縮性収縮時（上段）および伸張性収縮時（下段）の関節トルク

(* Bonferroni's post-hoc test, $P < 0.05$)

さらに、図3では各局面における筋活動量（EMG）の結果を示した。局面と条件との間で有意な交互作用は認められず、伸張性収縮局面において MRT 条件 / WRT 条件間の有意な主効果が認められた（ $P < 0.05$ ）。

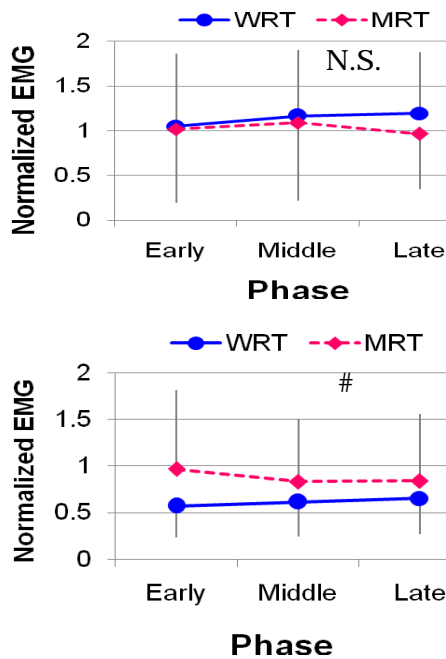


図3 短縮性収縮時(上段)および伸張性収縮時(下段)の筋活動
 (# Main effect of trainings, $P < 0.05$)

(2) 実験2 (生理特性の検証) の成果

データを取得した筋損傷マーカーのうち、血漿CK、血中ミオグロビン、等尺性肘関節屈曲筋力の結果を図4に示した。3つ全ての項目において、二元配置分散分析による有意な交互作用 ($P < 0.05$) が認められ、post-hocテストの結果、トレーニング2日後および4

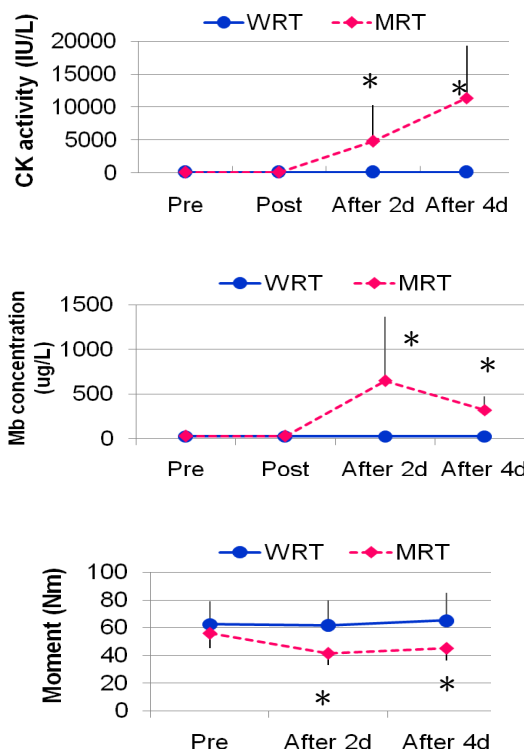


図4 筋損傷マーカー
 (* Bonferroni's post-hoc test, $P < 0.05$)

日後においてWRT条件とMRT条件の有意な差が認められた。

トレーニング実施前後における血中乳酸濃度(図5)および血清ノルアドレナリン濃度(図6)の変動に関しては、いずれも採血タイミングの主効果が認められたものの($P < 0.05$)、有意な交互作用は認められなかった($P = 0.55$)。

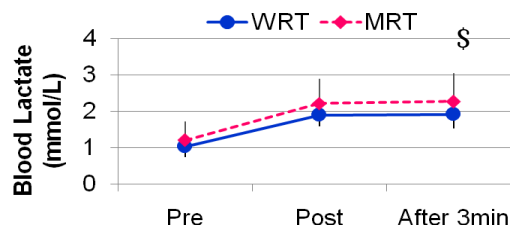


図5 運動前後の血中乳酸値

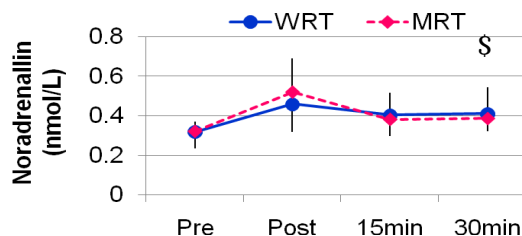


図6 運動前後のノルアドレナリン濃度
 (\$ Main effect of time, $P < 0.05$)

(3) まとめ

本研究で得られた知見をまとめると以下の通りである。

実験1 (動作特性の検証)

MRTでは、WRTよりも大きな筋活動および力学的筋出力を対象の筋に課することができる。特に伸張性収縮局面において、MRTによる力学的負荷が顕著に大きくなる。

実験2 (生理特性の検証)

MRTはWRTよりも筋損傷を誘発する。また、MRTではWRTと同程度の血中乳酸上昇・内分泌応答を引き起こす。

これらの知見は、徒手抵抗トレーニングでは一般的高負荷トレーニングと同等かそれ以上の力学的・生理学的刺激を対象の筋に与えることができることを示している。以上から、徒手抵抗トレーニングによって得られる筋肥大・筋力増強効果は、従来のトレーニング方法よりも潜在的に大きい可能性がある。

背景で述べたように、徒手抵抗トレーニングは他の方法にはない利点を持ちながら、その効果について調べた研究は少なかった。近年、徒手抵抗トレーニングの長期介入によってフリーウェイト種目の拳上重量や運動機能が向上することが報告された(Dorgoら2009a, 2009b)。しかしながら、これらの研究は、動作条件を厳密に規定して力学的・生理

学的検証を行ったものではない。したがって徒手抵抗トレーニングが身体に対してどのような影響を与えるのかについての学術的根拠が十分ではなかった。

本研究の特色は、世界中で広く行われているながらエビデンスが不十分であった徒手抵抗トレーニングに対して科学的手法を用いて検証した点である。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

H. Arakawa, A. Nagano, D.C. Hay, H. Kanehisa, The Effects of Ankle Restriction on the Multi-joint Coordination of Vertical Jumping, Journal of Applied Biomechanics, 査読有, vol. 29(4), 2013, 468-473

〔学会発表〕(計2件)

Arakawa H, Higa K, Tanimoto M, Comparisons of Mechanical Outputs, Electromyograms, Muscle Damages, and Physiological Responses between Manual and Weight Resistance Trainings, 18th annual congress of the European College of Sport Science, Barcelona, Spain, Jul 2, 2013.

Arakawa H, Oda T, Nagano A, Relative Importances of Changes in Muscle and Tendon Induced by Resistance Training to Changes in performance- Aa Simulation Stud, XXIV Congress of the International Society of Biomechanics, Natal, Brasil, Aug 6, 2013.

6 . 研究組織

(1)研究代表者

荒川 裕志 (ARAKAWA, Hiroshi)

独立行政法人日本スポーツ振興センター
国立スポーツ科学センター・スポーツ科学研究部・契約研究員

研究者番号：20591887

(2)研究協力者

谷本 道哉 (TANIMOTO, Michiya)

近畿大学・生物理工学部・准教授

比嘉 一雄 (HIGA, Kazuo)

東京大学大学院・総合文化研究科・博士課程