筋力トレーニング経験者と未経験者における徒手抵抗トレーニング時の発揮筋力と筋活動電位の比較

谷本 道哉¹⁾ 下野 俊哉¹⁾ 荒川 裕志²⁾

Michiya Tanimoto¹, Toshiya Shimono¹ and Hiroshi Arakawa²: Comparison of muscle force exertion and electromyographic activity level during manual resistance exercise between experts and non-experts in resistance training. Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci. 62: 145-154, June, 2017

Abstract : Background & Aim: Manual resistance training (MRT) is one form of resistance training (RT). MRT has some unique merits, such as the ability to apply a sufficient load in both the concentric and eccentric muscle activity phases. On the other hand, there is a possibility that sufficient muscle force cannot be exerted in some cases because muscle force exertion depends on the trainee's effort. It would be difficult for trainees without prior RT experience to exert sufficient force during MRT. In this study, we investigated the effect of RT experience on muscle force exertion patterns during MRT.

Methods: Six healthy men with more than 2 years of RT experience (trained group) and 6 healthy men who had no RT experience (untrained group) performed dominant arm cable elbow flexion exercise. They performed 8 repetitions of manual resistance exercise (MR) with maximum voluntary force exertion throughout all repetitions and 8RM isotonic resistance exercise (ISO), which is a popular RT method. Their elbow flexion muscle exertion force and biceps brachii electromyogram (EMG) signals were measured during exercise.

Results: In the trained group, the muscle exertion force during MR in the first 2 repetitions was significantly higher ($142 \pm 11\%$: vs ISO), and that in the last 2 repetitions tended to be higher ($109 \pm 13\%$) than that in ISO. In the untrained group, the muscle exertion force during MR in the first 2 repetitions was significantly higher ($119 \pm 19\%$), and that in the last 2 repetitions was significantly lower ($87\% \pm 14\%$) than that in ISO. Compared to those in ISO, the muscle exertion forces during MR in both the first 2 and the last 2 repetitions were significantly higher in the trained group than in the untrained group. There were no significant differences in electromyographic activity levels between the trained and untrained groups, or between MR and ISO, although some trends similar to those for the muscle exertion force were evident.

Conclusion: Subjects with no prior RT experience exert a lower muscle force in MR than subjects with RT experience. Prior RT experience is suggested to affect the degree of muscle exertion force in MR.

Key words : training experience, voluntary muscle force exertion, psychological limit

キーワード : トレーニング経験, 自発的筋力発揮, 心理的限界

1) 近畿大学生理工学部
〒649-6493 和歌山県紀の川市西三谷930
2) 国際武道大学体育学部
〒299-5295 千葉県勝浦市新官841
連絡先 谷本道哉

1. Faculty of Biology-Oriented Science and Technology,
Kinki University
930 Nishimitani, Kinokawa, Wakayama 649-6493
2. Department of Physical Education, International Budo
University
841, Shincan, Katsuura, Chiba 299-5295
Corresponding author ta.michiya@gmail.com

1. 緒 言

筋肥大・筋力増強を目的とした筋肉に抵抗をかけるトレーニングをレジスタンストレーニング（以下「RT」と略す）という（ACSM, 2013 ; Baechle et al., 2000 ; American College of Sports Medicine, 2009）. RTには筋肥大・筋力増強のほかに、耐糖能の改善効果（Smutok et al., 1994）や、安静時筋血流量の増大（Anton et al., 2006）、安静時代謝量（Lemmer et al., 2001）および高齢者においては1日の総エネルギー消費量の増大効果（Van Etten et al., 1997）などの副次的効果も認められている. RTには様々な方法があるが、その方法の1つに、パートナーの徒手で抵抗をかける徒手抵抗トレーニングという方法がある（健康体力づくり事業財団, 2016）.

徒手抵抗トレーニングは、パートナーがいれば特別な器具を必要としないこと、最初の1レップ目から最後のレップまで、またコンセントリック・エキセントリック両筋活動局面ともに十分な負荷を与えることができるなどの独自の特徴がある. 特にコンセントリック筋活動よりも2—3割ほど筋力の高い（動作速度による）エキセントリック筋活動局面（Hill, 1938）に合わせて高い負荷をかけられる点は大きなメリットといえる. 一方、RTとして最も一般的に行われるダンベルやマシン、自体重を用いて行う等張性（アイソトニック）トレーニングでは、エキセントリック筋活動局面ではコンセントリック筋活動局面と比べて2—3割の余力が生じることになる. アイソトニックトレーニングに、エキセントリック筋活動局面での負荷を加重させる方法を行うことで、筋力増強効果が増大することが報告されている（Doan et al., 2002）. エキセントリック筋活動運動は筋の微細な損傷による遅発性筋痛が強く生じること（Nosaka and Newton, 2002）、筋肥大率の高い速筋線維（Staron et al., 1991）の動員率が高いこと（Nardone et al., 1989）など筋発達の重要な要素を持つことから、エキセントリック筋活動局面に十分な負荷を与えられることの意義は

大きいと考えられる.

以上のような利点を持つ徒手抵抗トレーニングであるが、一方で発揮筋力がトレーニング者自身の努力量に依存することから、場合によっては十分な負荷をかけられない可能性がある. 特に強い筋力発揮に馴れていないRT未経験者においてその傾向が強まるのかもしれない. 発揮筋力には筋自体の持つ最大能力である生理的限界と、神経制御要因を含む心理的限界がある（矢部, 1980）. 徒手抵抗トレーニングでの発揮筋力はトレーニング実施者の心理的限界に委ねられることとなる. RTの実施により最大筋力発揮時の筋電図の振幅の増大が起こる（Hakkinen et al., 1998; Watanabe et al., 2015）. これは心理的限界と生理的限界の差の縮小を示唆していると考えられる.

本研究では、RT経験者と未経験者を用いて徒手抵抗トレーニング実施時の主働筋の発揮筋力、筋活動電位を測定した. 比較運動として、最も一般的なRTであるアイソトニックトレーニングを同一種目・同一動作形態で行った. アイソトニックトレーニングの筋力発揮様態との比較を行うことで、RT経験の有無と徒手抵抗トレーニング実施の際の筋力発揮様態との関係を評価するものとした.

2. 方 法

2.1 被験者

被験者は、2年以上のRT経験を有する成人男性6名（Trained群）とRT経験のない成人男性6名（Untrained群）とした. Trained群のRT経験年数は 5.0 ± 4.3 年（平均 $\pm$ 標準偏差）、年齢は 25.5 ± 6.9 歳、身長は 171.5 ± 2.9 cm、体重は 67.8 ± 4.0 kgであった. Untrained群の年齢は 22.2 ± 1.2 歳、身長は 170.0 ± 2.7 cm、体重は 69.8 ± 6.1 kgであった. 被験者に対しては、研究の目的、方法および危険性を説明し、研究に参加することへの同意を書面により得た後、以下の運動介入および測定を行った. なお、本研究は大学の設置する倫理委員会の承認を得て実施したものである（承認番号 H27-2-003）.

2.2 分析対象エクササイズ

Trained 群, Untrained 群共に最も一般的なアイソトニックトレーニングによるアームカールと徒手抵抗トレーニングによるアームカールの2条件の運動を利き腕で行い, 動作中の肘屈曲発揮筋力と上腕二頭筋長頭の筋活動電位を測定した. 2つの運動試技の順序は被験者によってランダムに行い, 試技の間には120分間の休息をとった. それぞれの運動条件の詳細は以下の通りである.

アイソトニックトレーニング (以下「ISO」と略す): ケーブル式筋力トレーニングマシン (DX ホームジム100, ファイティングロード, 日本) を用いた利き側片腕のアームカールをプリーチャーベンチに肘部分を固定して行った. ケーブルの角度は肘関節が90度となるときに地面とほぼ垂直となるように設定した (Fig. 1). 動作範囲は肘関節完全伸展位よりもやや屈曲した肘関節角度175°付近位置から完全屈曲位までとした. 動作速度はコンセントリック・エキセントリック両筋活動局面ともに1.5秒/回とし, 90 rpm のメトロノームのリズムに合わせて動作を行った. 使用負荷と回数は8回の反復が限界となる程度の負荷を用いて反復不可能になるまでの回数を行った. 実際の反復回数は7—10回の範囲であった. 負荷の設定は事前に8 RM となる負荷をトライ & エラーによって決定した.

徒手抵抗トレーニング (以下「MR」と略す): ISO と同一種目を同一の動作形態, 動作速度で, 同じケーブルマシン, プリーチャーベンチを用い

て徒手抵抗による負荷を加えて行った. 動作速度の誘導にはISOと同様にメトロノームを用いた. 反復回数は8回とし, 1レップ目から8レップ目まですべての反復をコンセントリック・エキセントリック両筋活動局面ともに自発的に全力を出して行った. 徒手抵抗は被験者の持つケーブルの延長部分を験者が引く形で負荷をかけた. 徒手抵抗を加える験者はトレーニング経験5年のRT熟練者であり, 被験者の発揮筋力と規定の動作速度に合わせて抵抗を加えた. この1名の験者がすべての被験者の試技の加負荷を担当した.

上記のそれぞれの運動条件は, 実際のRTの実施に近い方法であり, 2つの運動の動作形態, 動作速度を同一に規定できる方法で行う, という考えに基づいて設定した. なお, 上記各試技の実行はRT歴25年, RT歴5年の2名のRTに熟練した験者の指導のもとに行い, 規定通りの動作の再現をこの2名で確認できた試技を分析対象試技として採用した.

2.3 測定項目

2.3.1 肘屈曲発揮筋力

肘屈曲発揮筋力は, 被験者の引くケーブルの延長上に設置した動ひずみ測定器 (TU-18B, 共和電業, 日本) により計測した (Fig. 1). 張力の算出においては動ひずみ測定器で得られた値に動ひずみ測定器の重量を加算して算出した. 導出された動ひずみデータは高感度増幅器 (DPM-713B, 共和電業, 日本) により増幅し, データ

ISO: 8RM isotonic exercise

MR: 8 repetitions manual resistance exercise

Fig. 1 Exercise and measurement devices setting.

記録システム（PowerLab, ADInstruments 社, Australia）により 2 kHz で A/D 変換し、パーソナルコンピュータに取り込み、20 Hz でローパスフィルターにかけた。各試技の最初の 2 レップスの平均値、最後の 2 レップスの平均値、全レップスの平均値を評価の対象とした。

2.3.2 表面筋電図の整流平均値

双極差導出法により効き腕の上腕二頭筋長頭から表面筋電図（EMG：electromyogram）を導出した（Fig. 1）。電極には直径 12 mm の小型生体電極（Vitrode F, 日本光電工業社, 日本）を使用し、電極間距離は 30 mm とした。貼付位置は上腕二頭筋長頭筋腹部とした。電極貼付に先立ち、電極と皮膚との粘着性を高め、接触抵抗を下げるために、貼付部周囲のエタノールによる脱脂を施した。導出された EMG を高感度増幅器（DL-140, エスアンドエムイー社, 日本）により増幅し、データ記録システム（PowerLab, ADInstruments 社, Australia）により 2 kHz で A/D 変換し、パーソナルコンピュータに取り込み、30—1000 Hz でバンドパスフィルターにかけた。各試技における上腕二頭筋の筋活動電位の評価には表面筋電図の全波整流平均値を用いた。各値は被験筋の随意最大筋力発揮（MVC）時の 2 秒間の全波整流平均値で除すことで正規化した。各試技の最初の 2 レップスの平均値、最後の 2 レップスの平均値、全レップスの平均値を評価の対象とした。

2.3.3 矩形波出力による動作局面の同定

矩形波出力シンクロナイザー（PH-106, 株式会社ディケイエイチ, 日本）を用い、験者の目視によりコンセントリック筋活動局面でスイッチを押し、エキセントリック筋活動局面ではスイッチを離すことで矩形波信号をパーソナルコンピュータに出力した。スイッチの ON/OFF による矩形波信号から試技の反復回数、動作局面を見分けた。

2.3.4 MVC 測定

分析対象エクササイズで用いたケーブルマシンとプリーチャーベンチを用いて、肘関節 90 度の位置にてアイソメトリック最大肘屈曲筋力発揮（MVC：maximum voluntary contraction）を行った。その際の肘屈曲発揮筋力および上腕二頭筋の筋活動電位の測定を行った。上体を振るなどの代償行為を生じさせないように被験者に指示をし、験者 2 名で両肩と腰を押さえて動作を行った。試技は 3 回の練習を行ったのち、2 分間の休息をはさんで 3 度行った。そのうちの肘屈曲発揮筋力が最大となった試技を測定結果として採用した。

2.4 統計処理

各測定から得られたデータは平均値±標準偏差で表した。Trained 群と Untrained 群の MR の ISO と比べた測定項目の平均値の比較には 2 要因分散分析（2-way ANOVA）を用いた。2 要因は RT 経験の有無（Trained 群, Untrained 群）と測定試技（MR, ISO）とした。分散分析において有意差が認められた場合には Fisher's PLSD 法を用いて有意差検定を行った。同一運動群での MR と ISO における測定項目の平均値の差の検定には対応のある t 検定を用いた。Trained 群と Untrained 群の MVC における肘屈曲発揮筋力の平均値の差の検定には対応のない t 検定を用いた。Trained 群と Untrained 群の MR における値を ISO における値で除した比率（MR/ISO）も評価値として用いた。ただし、ISO と比べた MR の値の群間比較を 2 要因分散分析で行っているため、検定の重複を避けるためこの値の統計処理は行わなかった。いずれの場合も有意水準は危険率 5% 未満とした。なお、各測定項目の各群 $n=6$ の測定値は平均±標準偏差内に $n=4-5$ が分布、平均±2×標準偏差内に $n=5-6$ が分布していた。このことからいずれの測定項目も正規分布しているものとみなし、前記のパラメトリック検定を行うこととした。

3. 結 果

3.1 発揮筋力および表面筋電図の時系列変化

肘屈曲発揮筋力および上腕二頭筋の表面筋電図の全波整流波形の時系列変化の典型例を Fig. 2 に示す。ISO では、肘屈曲発揮筋力は Trained 群, Untrained 群ともに鉛直上向きの速度方向を正とした場合の加速局面であるエキセントリック筋活動局面終期からコンセントリック筋活動局面初期付近でやや増大し、減速局面であるコンセントリック筋活動終期からエキセントリック筋活動初期付近にかけてやや減少する様子が見られた。また、ケーブルマシンの摩擦抵抗分の負荷増大の生じるコンセントリック局面で摩擦抵抗分の負荷減少の生じるエキセントリック収縮局面よりも高くなる様子が見られた。上腕二頭筋の表面筋電図の全波整流波形は発揮筋力の増減に伴い変化する様子が見られた。

MR では Trained 群では肘屈曲発揮筋力がエキセントリック筋活動局面でコンセントリック筋

活動局面よりも増大する様子が見られた。上腕二頭筋の表面筋電図の全波整流波形はレップス全体を通しておおむね一定の振幅を示した。Untrained 群では肘屈曲発揮筋力がエキセントリック筋活動局面でコンセントリック筋活動局面よりも増大する様子が見られたが、その変化は Trained 群ほど明瞭ではなかった。上腕二頭筋の表面筋電図の全波整流波形の振幅は 1 レップ内で増減する様子が見られた。

3.2 発揮筋力

肘屈曲アイソメトリック最大筋力は、Trained 群で 36.1 ± 3.4 kgf (平均 $\pm$ 標準偏差), Untrained 群で各 20.9 ± 2.5 kgf (平均 $\pm$ 標準偏差) であり、Trained 群では Untrained 群の 1.7 倍程度で、有意に高値であった。

ISO における肘屈曲平均発揮筋力は両群とも全レップス間を通してほぼ一定であり、Trained 群においては MVC の 41% 程度、Untrained 群では MVC の 52% 程度であった。MR の肘屈曲平均発揮筋力は Trained 群では最初の 2 レップスで 57

Trained

Untrained

Fig. 2 Typical examples of elbow flexion force and biceps brachii muscle EMG signals during exercise. ISO: 8RM isotonic exercise. MR: 8repetitions manual resistance exercise.

$\pm 6\%$ MVC と ISO よりも有意に高く、最後の 2 レップスでは $45 \pm 3\%$ MVC と平均値は ISO よりやや高値を示したが有意差はなかった。全レップス通した平均は $50 \pm 2\%$ MVC と ISO よりも有意に高い値であった。Untrained 群の MR の肘屈曲平均発揮筋力は最初の 2 レップスで $54 \pm 7\%$ MVC と ISO より平均値の差はわずかであるが有意に高く、最後の 2 レップスでは $42 \pm 4\%$ MVC と ISO より有意に低値であった。全レップスを通した平均は $49 \pm 3\%$ MVC と ISO とほぼ同程度であった。ISO と比べた MR における肘屈曲平均発揮筋力の値は、最初の 2 レップス平均、最後の 2 レップス平均、全レップス平均いずれにおいても Trained 群は Untrained 群よりも有意に高値であった。(Fig. 3)

発揮筋力を MR/ISO の比で表すと、最初の 2 レップス平均は Trained 群で $142 \pm 11\%$ 、Untrained 群で $119 \pm 19\%$ 、最後の 2 レップス平均は Trained 群で $109 \pm 13\%$ 、Untrained 群で $87 \pm 14\%$ 、全レップス平均は Trained 群で $126 \pm 4\%$ は、Trained 群で $105 \pm 10\%$ であった。(Fig. 5)

3.3 表面筋電図の整流平均値

上腕二頭筋の表面筋電図の整流平均値の MVC に対する相対値は、ISO では Trained 群で最初の 2 レップスで $79 \pm 26\%$ MVC、最後の 2 レップ

スで $102 \pm 31\%$ MVC、全レップスで $120 \pm 39\%$ MVC、Untrained 群で最初の 2 レップスで $59 \pm 25\%$ MVC、最後の 2 レップスで $78 \pm 50\%$ MVC、全レップスで $66 \pm 24\%$ MVC であった。

MR の上腕二頭筋の表面筋電図の整流平均値の MVC に対する相対値は Trained 群では最初の 2 レップスは $105 \pm 27\%$ MVC で ISO の平均値の 133% 、最後の 2 レップスは $120 \pm 38\%$ MVC で ISO の平均値の 118% 、全レップスでは $120 \pm 39\%$ mMVC で ISO の平均の 133% であり、いずれも MR と ISO の間に有意差は認められなかった。Untrained 群では最初の 2 レップスは $66 \pm 25\%$ MVC で ISO の平均値の 118% 、最後の 2 レップスは $70 \pm 22\%$ MVC で ISO の平均値の 90% 、全レップスでは $70 \pm 24\%$ MVC で ISO の平均の 106% であり。いずれも MR と ISO の間に有意差は認められなかった。ISO と比べた MR における値は、最初の 2 レップス平均、最後の 2 レップス平均、全レップス平均いずれにおいても Trained 群と Untrained 群に有意差は認められなかった。(Fig. 4)

筋活動レベルを MR/ISO の比で表すと、最初の 2 レップス平均は Trained 群で $132 \pm 15\%$ 、Untrained 群で $113 \pm 32\%$ 、最後の 2 レップス平均は Trained 群で $118 \pm 30\%$ 、Untrained 群で $89 \pm 29\%$ 、全レップスでは Trained 群では $133 \pm$

Fig. 3 Muscle exertion force of elbow flexion during exercise. Means $\pm$ SD ($n=6$ for each group) are shown. *: significant difference between ISO and MR ($P<0.05$). \$: significant difference between Trained and Untrained Groups ($P<0.05$). ISO: 8RM Isotonic exercise. MR: 8 repetitions manual resistance exercise.

Fig. 4 Average rectified EMG from biceps brachii muscle during exercise. Means $\pm$ SD ($n=6$ for each group) are shown. ISO: 8RM isotonic exercise. MR: 8repetitions manual resistance exercise.

Fig. 5 Muscle exertion force of flbow flexion and average rectified EMG from biceps brachii muscle during exercise in MR divided by those in ISO. Means $\pm$ SD ($n=6$ for each group) are shown. ISO: 8RM isotonic exercise. MR: 8repetitions manual resistance exercise.

27%, Untrained 群で $105 \pm 33\%$ であった。(Fig. 5)

4. 考 察

本研究では RT 経験者と未経験者を用いて、RT 経験の有無が徒手抵抗トレーニング実施における筋力発揮様態に与える影響を検証することを目的とした。2 年以上の RT 経験を有する Trained 群においては、レップス全体を通して MR では ISO よりも高い肘屈曲発揮筋力を示した。MR で ISO よりも高値を示した主な理由は、MR では発揮筋力に余力のあるエキセントリック筋活動局面において十分な筋力発揮を行えた点にあると考えられる。一方、上腕二頭筋の表面筋電

図の整流平均値はレップス全体を通して MR で ISO よりも平均値は高い値であったが統計的有意差は認められなかった。肘屈曲発揮筋力、上腕二頭筋筋電図波形の経時の変化を観察すると、Trained 群の多くの被験者においてエキセントリック筋活動局面付近において MR で ISO を上回る様子が見てとれた。通常のアイソトニック負荷をかけて行う RT 法に、エキセントリック筋活動局面に負荷を追加して行う方法で、通常のアイソトニックトレーニングよりも筋力増大効果が高まることが知られている (Doan et al., 2002)。RT 経験者においては、徒手抵抗トレーニングでこの方法と類似した効果が得られる可能性が示唆されたものの、本研究で動作局面の判別に用いた目視による矩形波の出力法では、コンセントリック筋

活動局面とエキセントリック筋活動局面の区分ごとの定量分析に耐えられるほど明瞭に各曲面を区分けすることができず、経時的变化の典型例を示すという定性的評価にとどまらざるを得なかった。

一方、RT 経験のない Untrained 群においては、最初の 2 レップスでは MR の方が ISO よりも高い肘屈曲発揮筋力を示したが、最後の 2 レップスでは MR は ISO よりも低値を示した。また動作全般を通して ISO と比べた MR の肘屈曲発揮筋力が Trained 群に比べて有意に低かった。MR の上腕二頭筋の表面筋電図の整流平均値は最初の 2 レップスで ISO よりも平均値は高く、最後の 2 レップスと全レップスで ISO よりも平均値は低く、肘屈曲発揮筋力と類似した傾向がみられたが統計的有意差は認められなかった。Untrained 群では Trained 群のように MR で高い筋力発揮が行えず、特にその傾向は動作終盤で強く見られた。RT 未経験者では、RT 実施による最大筋力発揮時の筋電図の振幅の増大が観察される (Hakkinen et al., 1998 ; Watanabe et al., 2015) ことから、心理的限界と生理的限界の差が大きい可能性が考えられる。生理的限界と心理的限界の差は、運動の反復回数が多く疲労度が増すほどに大きくなる傾向がある (Ikai and Steinhaus, 1961)。つまり徒手抵抗トレーニングにおいては反復の終盤になるほどその差が大きくなる可能性があるが、Untrained 群ではその様子がより強く示される結果であった。

徒手抵抗トレーニングにおける筋力発揮様態には、RT 経験の有無が強く関係することが示唆された。RT 未経験者においては、MR の序盤のレップスで RT 経験者ほど ISO に比べて強い筋力発揮が見られず、動作終盤においては発揮筋力が大きく低下してしまうという特徴がみられた。RT 未経験者および初級者においては徒手抵抗トレーニングにおいて十分な筋力発揮を行にくい可能性が高いことを運動指導者は留意しておく必要がある。この問題を軽減する方法の 1 つに掛け声を出す方法が有効となるかもしれない。声を出して動作することで中枢神経系の興奮性を高めて (Yabe et al., 1998) 強い筋力を発揮できるこ

とが分かっている (Murakawa and Tokoro, 2007)。特にその効果は疲労時の動作終盤で効果が高い (Ikai and Steinhaus, 1961) ことから、終盤のレップスでの声出しは効果的となりうるだろう。

本研究では上腕二頭筋の表面筋電図の整流平均値の、ISO と比べた MR の平均値の変化の様相は肘屈曲発揮筋力の変化の様相と同傾向であった。しかしながら、いずれの比較においても統計的有意差は認められなかった。発揮筋力には、主働筋の筋活動の増減だけでなく拮抗筋の筋活動の増減も影響する。本研究においては肘屈曲動作と拮抗する肘伸展筋の筋電図測定を行っていないが、RT の実施により肘屈曲筋力発揮時に拮抗筋である上腕三頭筋の筋電図の振幅が減少したとする報告がある (Pearcey et al., 2014)。本研究においても Trained 群と Untrained 群の間で拮抗筋の筋電図の振幅に相違があった可能性がある。また、連続運動の疲労時には筋電図の周波数中央値の減少が見られることが知られる (Kattla and Lowery, 2010)。高周波成分を多く含む速筋線維の筋疲労による活動抑制がその一因と考えられるが、RT 経験の有無が筋電図の周波数分布に変化を与え、それが発揮筋力に影響したのかもしれない。また、本研究では各群の n 数が 6 名と少なく、各試技中の表面筋電図の整流平均値の被験者間のデータのばらつきが大きかったことが統計的な有意差が認められなかったことに影響している可能性もある。被験者数を増やすことで試技による表面筋電図の整流平均値の差が明らかになるかもしれない。

本研究で動作局面の判別に用いた目視による矩形波の出力は、細かい動作域に区分した分析を行うには精度を欠いていた。本研究では設備上の制限のため実施不可であったが、今後フレキシブルゴニオメータ DATA を同期させるなどの方法で詳細な局面認識のできる方法での検証が必要となる。それによりコンセントリック・エキセントリック筋活動局面、また加速・減速局面、ストレッチポジション・コントラクトポジションなどの詳細な区分ごとの特性を検証することができ、より

多くの知見を得ることができると予想される。ゴニオメータ DATA の取得により規定の運動動作の再現の確認も可能となる。また、徒手抵抗トレーニングには動作全般を通して脱力局面を作らずに持続的な筋力発揮を維持できるという特性もある。持続的筋力発揮は筋内圧上昇による血流制限 (Bonde-Petersen et al., 1975) により筋酸素化レベルが低下することが知られ、これが筋肥大を誘発する刺激の 1 つとされている (Tanimoto and Ishii, 2006)。筋酸素化レベルや低酸素状態の運動により反応する血中乳酸濃度やホルモン応答などの観察も今後の検証すべき課題といえる。

5. 結 言

徒手抵抗トレーニングにおける筋力発揮様態は RT 経験に強く影響を受けることが示唆された。RT 経験者の場合、徒手抵抗トレーニング時には通常のアイソトニックトレーニング時より大きい筋力発揮が行えるが、RT 未経験者の場合は徒手抵抗トレーニングの動作終盤においてアイソトニックトレーニングのときよりも発揮筋力が低下するという特徴が認められた。

文 献

- American College of Sports Medicine (2009) General principles of exercise prescription. In: Thompson, W. R. (ed.) ACSM's guidelines for exercise testing and prescription (8th ed.). Lippincott Williams & Wilkins, pp.152-182
- Anton, M. M., Cortez-Cooper, M. Y., DeVan, A. E., Neidre, D. B., Cook, J. N., and Tanaka, H. (2006) Resistance training increases basal limb blood flow and vascular conductance in aging humans. *J Appl Physiol.*, 101(5): 1351-1355.
- Baechle, T. R., Earle, R. W., and Wathen, D. (2000) Resistance Training. In: Baechle, T. R., and Earle, R. W. (eds.) Essentials of strength training and conditioning. Human Kinetics, pp. 395-425.
- Bonde-Petersen, F., Mork, A. L., and Nielsen, E. (1975) Local muscle blood flow and sustained contractions of human arm and back muscles. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.*, 34(1): 43-50.
- Doan, B. K., Newton, R. U., Marsit, J. L., Triplett-McBride, N. T., Koziris, L. P., Fry, A. C., and Kraemer, W. J. (2002) Effects of increased eccentric loading on bench press 1RM. *J Strength Cond Res.*, 16(1): 9-13.
- Hakkinen, K., Newton, R. U., Gordon, S. E., McCormick, M., Volek, J. S., Nindl, B. C., Gotshalk, L. A., Campbell, W. W., Evans, W. J., Hakkinen, A., Humphries, B. J., and Kraemer, W. J. (1998) Changes in muscle morphology, electromyographic activity, and force production characteristics during progressive strength training in young and older men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.*, 53(6): B415-423.
- Hill, A. V. (1938) The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proc R Soc Lond B Biol Sci* 1., 26: 136-195.
- Ikai, M. and Steinhaus, A. H. (1961) Some factors modifying the expression of human strength. *J Appl Physiol.*, 16: 157-163.
- Kattla, S. and Lowery, M. M. (2010) Fatigue related changes in electromyographic coherence between synergistic hand muscles. *Exp Brain Res.*, 202(1): 89-99.
- 健康体力づくり事業財団 (2016) レジスタンス運動. 川久保清ほか編, 健康運動指導士養成講習会テキスト (下). 南江堂, pp.491-498
- Lemmer, J. T., Ivey, F. M., Ryan, A. S., Martel, G. F., Hurlbut, D. E., Metter, J. E., Fozard, J. L., Fleg, J. L., and Hurley, B. F. (2001) Effect of strength training on resting metabolic rate and physical activity: age and gender comparisons. *Med Sci Sports Exerc.*, 33(4): 532-541.
- Murakawa, M. and Tokoro, M. (2007) Effects of vocalization on throwing. *Bull. Mukogawa Women's Univ. Nat. Sci.*, 55: 1-4.
- Nardone, A., Romano, C., and Schieppati, M. (1989) Selective recruitment of high-threshold human motor units during voluntary isotonic lengthening of active muscles. *J. Physiol.*, 409: 451-471.
- Nosaka, K. and Newton, M. (2002) Concentric or eccentric training effect on eccentric exercise-induced muscle damage. *Med Sci Sports Exerc.*, 34(1): 63-69.
- Pearcey, G. E., Power, K. E., and Button, D. C. (2014) Differences in supraspinal and spinal excitability during various force outputs of the biceps brachii in chronic- and non-resistance trained individuals. *PLoS*

- One., 9(5). e98468
- Smutok, M. A., Reece, C., Kokkinos, P. F., Farmer, C. M., Dawson, P. K., DeVane, J., Patterson, J. A., Goldberg, P., and Hurley, B. F. (1994) Effects of exercise training modality on glucose tolerance in men with abnormal glucose regulation. *Int. J. Sports Med.*, 15(6): 283–289.
- Staron, R. S., Leonardi, M. J., Karapondo, D. L., Malicky, E. S., Falkel, J. E., Hagerman, F. C., and Hikida, R. S. (1991) Strength and skeletal muscle adaptations in heavy-resistance-trained women after detraining and retraining. *J. Appl. Physiol.*, 70(2): 631–640.
- 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. *J. Appl. Physiol.*, 100(4): 1150–1157.
- Van Etten, L. M., Westerterp, K. R., Verstappen, F. T., Boon, B. J., and Saris, W. H. (1997) Effect of an 18-wk weight-training program on energy expenditure and physical activity. *J. Appl. Physiol.*, 82(1): 298–304.
- Yabe, K., Kawai, T., Wakita, H., Ikegami, Y., Sakurai, S., and Nunome, H. (1998) Effect of shouting on process exerting maximum strength. *Journal of sports medicine & science*, 11(1): 53–58.
- 矢部京之助 (1980) 人体筋出力の生理的限界と心理的限界. 杏林書院.
- Watanabe, K., Kouzaki, M., and Moritani, T. (2015) Spatial EMG potential distribution of biceps brachii muscle during resistance training and detraining. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 115: 2661–2670.

(2016年4月21日受付)
(2017年1月10日受理)

Advance Publication by J-STAGE
Published online 2017/5/18