

# 柔道競技を想定したサーキットウエイトトレーニング 「クロスフィット」形式プロトコルにおける運動時の生理応答

イオアニス ヨルギオス フダラキス<sup>1)</sup>, 山口大貴<sup>1)</sup>, 小原侑己<sup>1)</sup>, 小山田和行<sup>2)</sup>, 山本正嘉<sup>3)</sup>

## Physiological response during a novel circuit weight training “CrossFit-style” protocol for Judo competitors

Ioannis-Georgios CHOUDALAKIS<sup>1)</sup>, Hiroki YAMAGUCHI<sup>1)</sup>, Yuki OHARA<sup>1)</sup>,  
Katsuyuki OYAMADA<sup>2)</sup>, Masayoshi YAMAMOTO<sup>3)</sup>

### Abstract

This study’s purpose was to elucidate the physiological response during a novel circuit weight training “CrossFit-style” protocol (CFT-J) aiming to improve the specific physical abilities and training needs of Judo competitors. The authors examined 7 female Judo competitors for heart rate, oxygen consumption, blood lactate and muscle activation while performing 3 exercise tasks. The 3 tasks were performed as follows: 1) performing the CFT-J protocol, 2) performing the exercises of CFT-J separately, without rest until voluntary exhaustion (AO) and 3) performing exercises of CFT-J separately in the style of traditional resistance training (RT) with an added rest interval between each set. The results of these tests showed that the CFT-J protocol can induce greater physiological stimuli on the aerobic energy system and the anaerobic glycolytic energy system than AO or RT ( $84.3 \pm 7.9\% \dot{V}O_{2max}$ ,  $76.4 \pm 4.1\%HRR$ ,  $10.1 \pm 4.0\text{mmol/L}$ ) of the Judo competitors. Regarding the stimulus to the muscle system, although we found no statistically difference between the 3 exercise tasks, we observed that all exercise tasks met or exceeded the standard level of muscle activation ( $>40\%MVC$ ) for improving strength capacity and we speculated that the protocol provided sufficient stimuli for improving strength capacity of the aimed primary muscle groups of every exercise. From these results we can surmise that the CFT-J protocol may provide an alternative training option for improving the unique strength and conditioning needs of Judo competitors.

**Keywords:** judo, crossfit, physiological effects, training

### I. 研究目的

柔道競技では高強度の運動を間欠的に行うことから、基礎体力として筋力、筋パワー、有酸素性能力など多様な能力が求められる (Franchini et al., 2011 ; Burns and Callan, 2017). したがって、競技現場ではこれらの能力を総合的に、また効率よく向上させていくことが求められる。

これまでの競技現場では、上記の様々な体力を

向上させるために、筋力トレーニングや持久力トレーニングなどを別々に実施することが多かった。このやり方は、1つの能力に特化して確実に向上させられるという利点がある。しかしその反面で、複数のトレーニングを別個に行わなければならないため、基礎体力を向上させるトレーニングに割く時間が長くなり、技術練習に十分な時間を使えなくなるという問題点がある。

<sup>1)</sup> 鹿屋体育大学大学院

<sup>2)</sup> 鹿屋体育大学体育スポーツ・武道実践科学系

<sup>3)</sup> 鹿屋体育大学スポーツ生命科学系

この問題を解決する方策として、筆者らは複数の体力要素を短時間で向上させる手法として知られているサーキットウエイトトレーニングに着目した。そしてその中でも、最も高負荷で高強度のトレーニングと位置づけられているクロスフィットトレーニング（以下、CFTと表記する）が、柔道選手にとって有効ではないかと考えた。

CFTは、複数の種目を組み合わせて、それを休息を挟まずに全力で行うトレーニング形式で、大別してFor Time（決められた反復回数をできるだけ早く遂行する方法）と、AMRAP（決められた時間内でできるだけ多くの回数を遂行する方法）という2種類の方法がある。Fernández(2015)は、一般人にFor Timeと、AMRAPの運動課題を行わせて生理応答（心拍数、血中乳酸値）を比較したところ、どちらの課題とも有酸素性能力および無酸素性（特に解糖系）のエネルギー代謝に高い負荷をかけられることを明らかにしている。

したがってCFTは柔道選手に対しても、筋力・筋パワーや、有酸素性および無酸素性（特に解糖系）のエネルギー代謝に対して、短時間で高い負荷を同時にかけられる補助トレーニングになる可能性がある。そしてこの性質は、基礎的な体力トレーニングに割く時間を短縮する上で有効と考えられる。そこで本研究では、以下の2点についての検討を行った。

- 1) 柔道競技を想定したサーキットウエイトトレーニング「クロスフィット形式」プロトコル（以下、CFT-J（CrossFit Training-Judo）と表記する）を考案する。
- 2) 1)で考案したCFT-Jの生理応答の特性を明らかにするために、①CFT-Jをそのまま行う条件のほかに、次の2条件でも運動を行う。②CFT-Jを構成する主な種目をそれぞれ個別にオールアウトまで行う条件（以下、AOと表記する）、③CFT-Jを構成する主な種目をそれぞれ個別に、従来から行われてきたレジスタンストレーニングの様式で行う条件（以下、RTと表記する）とする。これら3種類の運動時にお

ける心拍数、酸素摂取量、血中乳酸値、筋電図の応答を比較することで、考案したCFT-Jプロトコルの特性を明らかにする。

## II. 研究方法

### 1. 対象者

対象者は、体育大学の柔道部に所属する女子大学生7名（年齢：20.3 ± 1.0歳，身長：155.2 ± 4.7 cm，体重：61.7 ± 8.6 kg）とした。本研究は本学の倫理審査委員会の承認を得た上で、規定に基づき事前に十分な説明を対象者に対して行い、書面にて参加の同意を得て実施した。また未成年の対象者に対しては、保護者の同意を得た上で実施した。

### 2. 柔道選手向けのCFT-Jプロトコルの考案

柔道競技を想定したCFT-Jプロトコルを考案するために、柔道における生理学的な特徴に関する文献調査を行った。その際、柔道競技、生理応答の特徴、柔道とレジスタンストレーニング、柔道の技のキネマティックスといった用語を用いて、論文検索サイト（Google Scholar および PubMed）で検索した。その結果、61の研究が採用され、以下のような能力が柔道選手に必要なと考えられた。

1. 柔道では相手と組み争う場面が多く、中強度から高強度の力発揮を多く繰り返す競技である。したがって、上半身の筋持久力（大胸筋、広背筋など）が重要とされている（Franchini et al., 2005；Almansba et al., 2007）。
2. 柔道の技をかける際には瞬時に高い筋パワーを発揮する特徴があり、相手の身体を持ち上げながら股関節伸展筋力（脊柱起立筋の筋力）や下半身の筋パワーを発揮する技が多い（Franchini et al., 2005；Drid et al., 2009；Sterkowicz et al., 2018）。
3. 柔道の試合中には高い力発揮を間欠的に多く繰り返す場面が多いため、無酸素性のエネルギー代謝の貢献度が大きい（Franchini et al.,

2003; Detanico et al., 2012など).

4. 柔道の公式試合時間は4分間であり, 引き分けの場合では延長戦(ゴールデンスコア)で勝敗が決まるルールがある. ゴールデンスコアは時間無制限で行われているため, このような場面では有酸素性能力の貢献度が高くなる. また, 一つの大会では決勝戦にたどり着くまで複数の試合が行われることから, 有酸素性能力が高いほど, 選手は試合実施後の疲労から早く回復できるとされる(Thomas et al., 1989; Degoutte et al., 2003など).

このような特性と過去の文献を参考にしながら, 表1に示したような種目と順序をCFT-Jのプロトコルとして選択決定した. これらの種目の選択および順序(回数およびセット数, 負荷, 種目の順番)の決定に際しては, 筆者ら(CFT歴が6年で柔道歴が5年の大学院生, 柔道競技には携わっていない大学院生2名(自転車競技のコーチおよびトレーナー), 柔道競技には携わっていない研究者)による話し合いのもと, 意見交換をした上で決定した. また, 一般的な競技現場ではエクササイズに用いる器具(マシンやフリーウエイト)が十分でないことが多いという現状も考慮して, できるだけ自体重を負荷として実施できるものを選択した.

運動時間に関しては, 6分間に設定した. これは柔道競技の試合を想定し, 正式試合の時間である4分間にゴールデンスコア(延長戦: 無制限)を加えた時間である. なお, ゴールデンスコアの時間に関しては, 実験的に無制限にするわけにはいかないので, 本研究では2分間と定めた. また,

表1. CFT-Jプロトコルの実施方法

運動種目	目的	負荷	回数
①デッドリフト	脊柱起立筋の筋力の向上	70%1RM	6
②ジャンピングスクワット	下肢の筋パワーの向上	自重負荷	3
③腕立て伏せ	上腕三頭筋の筋力の向上	自重負荷	18
④ジャンピングランジ	下肢の筋パワーの向上	自重負荷	6
⑤斜め懸垂	引き付ける筋力の向上	自重負荷	6

CFTにはFor TimeとAMRAPという2種類の様式があるが, 前述のような柔道競技の特性から, 6分間という決められた時間の中でできるだけ多くの技を繰り返すことを想定し, AMRAP方式を採用することとした.

### 3. 研究のデザイン

本研究では, 作成したCFT-Jのプロトコルの生理応答を明らかにするため, CFT-Jの主な構成種目を取り出して, それぞれを個別にオールアウト方式で行う条件(AO)と, レジスタンストレーニング方式で行う条件(RT)とを設定した. 表2にはこれらの3条件の種目, 負荷, セット数, 休憩時間などを示した. また図1は, これを行ったときのイメージ図である. それぞれの概要は以下の通りである.

#### 1) CFT-J 条件

本研究で考案したCFT-Jは, 表2に示すように種目①から⑤までを1セットとし, 運動時間は6分以内でできるだけ多くのセットを繰り返す方法で行った.

表2. 各プロトコルの実施種目, 回数, セット数, 負荷およびセット間の休憩の時間

運動様式	種目	負荷	セット数	回数	休憩
クロスフィット(CFT-J)	①デッドリフト	70%1RM	6分間内できるだけ多いセットを完遂する	6	無
	②ジャンピングスクワット	自重負荷		3	
	③腕立て伏せ	自重負荷		18	
	④ジャンピングランジ	自重負荷		6	
	⑤斜め懸垂	自重負荷		6	
オールアウト(AO)	①デッドリフト	70%1RM	1	疲労困憊に至るまで行う	無
	③腕立て伏せ	自重負荷	1		
	⑤斜め懸垂	自重負荷	1		
レジスタンストレーニング(RT)	①デッドリフト	70%1RM	6	6	2分
	③腕立て伏せ	自重負荷	6	18	2分
	⑤斜め懸垂	自重負荷	6	6	2分

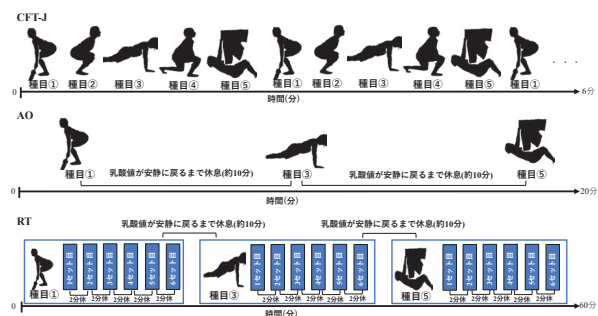


図1. 各プロトコルの遂行パターンイメージ図

## 2) オールアウト条件

1) の構成種目を分解して、運動種目・強度（重量）は1) と同じに統一し、各種目を別個にオールアウトに至るまで行った。ただし、ジャンピングスクワットとジャンピングランジ（プライオメトリクストレーニング）に関しては、このような様式で行うと怪我を起す可能性も考えられたため、省くこととした。

オールアウトの判断基準は、デッドリフトの場合では対象者自身が重量を連続して挙上できなくなったと判断した場合、あるいは筆者がフォームが崩れたと判断した場合に運動を中止させた。また、腕立て伏せと柔道着を用いた斜め懸垂においても同様の基準を用いたが、筆者が肘屈曲角度が90°に至らなくなったと判断した場合、運動を中止することとした。

## 3) レジスタンストレーニング条件

2) で行った3種目について、一般的なレジスタンストレーニングの様式で別個に行った。すなわち運動種目、各種目の回数と強度（重量）は1) と同じに統一し、各種目をセット間に2分間の休息を設けて6セット行わせた。ジャンピングスクワットとジャンピングランジに関してはAOと測定条件（運動種目）を統一するため、RTにおいても省くこととした。

なお本対象者は、普段からRTを実施していたが、筆者が観察したトレーニングフォームは安定性が欠如していた。そこで本測定を実施する前に、各種目のフォームを習得する期間を約3週間設け、筆者による指導を行った。

## 4. 生理応答の測定

プロトコル実施中の生理応答を明らかにするために、動作中の心拍数と酸素摂取量、運動前後での血中乳酸濃度、および動作中の筋活動水準を測定した。

### 1) 心拍数

各運動プロトコルの実施時における循環器系に対する運動強度を評価するため、携帯型心拍

計（RC3 GPS, Polar 社製）を胸部に装着し、各プロトコルの実施中の心拍数をサンプリング周波数1Hzで計測した。なお、セット間に休息を設けた課題では、休息時間を除いて心拍数を算出した。各プロトコル実施時の平均心拍数を対象者の年齢から推定されるHRmax ( $208 - 0.7 \times \text{年齢}$ ; Tanaka et.al, 2001) と安静時HRからカルボネンの式を用いて、%心拍数予備能 ( $\% \text{HRR} = (\text{HRRex} - \text{HRrest}) / (\text{HRmax} - \text{HRrest}) \times 100$ ) で表した。

### 2) 酸素摂取量

呼吸循環器系に対する運動強度を評価するため、携帯型呼吸ガス装置（K4b2, Cosmed 社製）を胸部に固定し、各運動プロトコル中の酸素摂取量を計測した。なお、RTとAOでは運動を開始する前後にマーカーでその分析区間を示し、休息時間の値を除いて分析した。

### 3) 血中乳酸濃度

無酸素性のエネルギー代謝（主に解糖系）から見た運動強度を評価するために、指尖より血液を採取し、自動乳酸分析装置（Lactate Pro2, Arkray 社製）を用いて血中乳酸濃度を測定した。測定のタイミングは、安静時（運動前）、運動終了直後および3分後とし、運動終了直後および3分後のうちの高い値を代表値として採用した。なお、RTでは各運動種目の終了時に血中乳酸濃度を測定した。

### 4) 筋活動水準

各運動プロトコル中の筋活動水準を、無線筋電図装置（Mega ME6000 Biomonitor, Mega Electronics 社製）を用いて測定した。被験筋は各種目の動作中の主働筋である8つの筋群（橈側手根屈筋、上腕二頭筋、上腕三頭筋、広背筋、脊柱起立筋、大腿二頭筋、外側広筋、内側広筋）とした。各筋の筋腹に送信機を備えた電極（Anbu BlueSencor ECG 社製）を装着して、パーソナルコンピューターに接続された受信機（Megawin, Mega Electronics 社製）を介して各種目の動作中における筋活動量を取得した。電極の貼付に際し

て、体毛および角質を除去し、アルコール綿で十分に拭き取った後に、規定の位置に貼付した。電極の貼付部位は、表面筋電図マニュアル（下野，2004）を参考にし、全対象者で右側に貼付した。

随意最大等尺性収縮（EMGmvc）および各プロトコルにおける筋活動量（EMG）は、デジタル変換された後、受信機に接続されたパーソナルコンピューター内の専用筋電図分析ソフトウェア（Megawin, Mega Electronics 社製）にサンプリング周波数 1KHz で出力され、さらにそれをテキストファイルに変換した後、解析用の専用ソフトウェア（Lab Chart 7, AD Instruments 社製）にそのデータを取り組み、分析を行った。各プロトコルの全てのセット（CFT-J と RT の場合）および全ての回数（AO の場合）における平均筋電位の Root Mean Square（RMS）を算出し、各セットの始めと終わりの 1 回ずつを除いた運動中の平均 EMG（EMGex）を計算し、MVC 時の最大筋活動量（EMGmvc）により規格化し、筋活動水準（% EMGmvc = EMGex/EMGmvc × 100）で示した。

各筋の EMGmvc の測定は、いずれの試技においても安静状態から 5 秒間をかけて最大収縮に到達するように力発揮を行わせ、その後約 2～3 秒間最大努力を維持し、その際の EMG データを用いた。各筋での測定方法は以下の通りで、図 2 はその様子を示したものである。

- i. 橈側手根屈筋：柔道着を用いた握力専用テスト（Franchini et al., 2011）を採用して実施した。柔道着を鉄棒に掛け、対象者に柔道着の両襟を握るように指示をした。対象者はぶら下がった

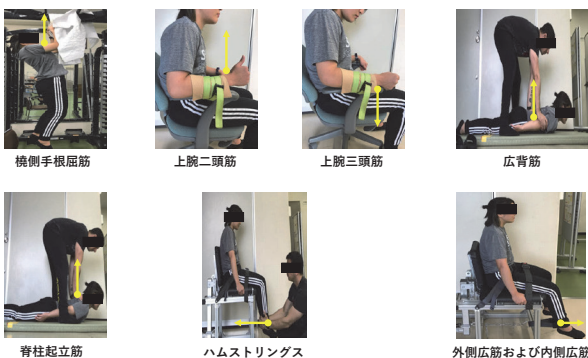


図2. MVC の測定方法

状態から 90° 肘屈曲を維持し、限界に達するまで行った。なお対象者が 90° 肘屈曲角度を維持できなくなった時間はおおよそ 5 秒間程度であった。

- ii. 上腕二頭筋：対象者は、座位にて前腕部をストラップで椅子の肘掛けに固定した。対象者は肘関節約 90° 屈曲位、前腕は中間位の姿勢とし、肘屈曲を行わせた。検者はストラップを押さえ、力発揮に対して抵抗した。
- iii. 上腕三頭筋：対象者は、座位にて前腕部を椅子の肘掛けに置いた。対象者は肘関節約 90° 屈曲位、前腕は中間位の姿勢とし、椅子の肘掛けに対して肘伸展を最大努力で実施させた。
- iv. 広背筋：対象者は伏臥位の姿勢で両腕を身体の横に置き、右手のひらを天上に向け、肘関節を伸展させた状態で肩関節伸展を行った。検者は腕を押さえて対象者の力発揮に抵抗するとともに、対象者が動かないように身体（腰など）を抑え固定させた。
- v. 脊柱起立筋：対象者は伏臥位の姿勢で両腕を身体の横に置き、検者の 1 人は両肩の肩甲骨を押さえ、もう 1 人は対象者の両足首を押さえた。その状態で対象者は骨盤と下半身を地面につけた状態で上半身伸展を行った。
- vi. 大腿二頭筋：対象者は、膝関節伸展筋力測定台（D-08011, 竹井機器社製）の上で座位にて膝関節 90° 屈曲位の状態で、膝屈曲を行った。対象者は力発揮中の姿勢変化を防ぐため、ストラップを用いて腹部を固定した。検者は、対象者の足首あたりを押さえて対象者の力発揮に抵抗した。
- vii. 外側広筋および内側広筋：対象者は、膝関節伸展筋力測定台（D-08011, 竹井機器社製）を用いて股関節および膝関節 60° 屈曲位の座位姿勢にて、足関節をストラップで固定し、膝伸展を行った。力発揮中の姿勢変化を防ぐため、ストラップを用いて腹部を固定した。

## 5. プロトコルの強度を決定するための測定

### 1) 最大酸素摂取量の測定 ( $\dot{V}O_2 \max$ )

最大酸素摂取量の測定は、自転車エルゴメーター (Aerobike, Combi 社製) を用いた漸増負荷試験により実施した。40W の負荷から始め、1分毎に負荷を20W ずつ増加し、対象者の疲労困憊に至るまでに行わせた。ペダリングの回転数は、毎分60回転に固定した。測定は携帯型の呼吸ガス装置 (K4b2, Cosmed 社製) を用いて行った。サンプリング周波数は1KHz であり、データには10秒間毎の平均値を用いた。

### 2) デッドリフトの最大重量挙げ (1RM) の測定

本研究で考案したプロトコルでは%RM 法を採用したため、デッドリフトの1RM を測定した。1RM 測定の実施方法は Baechle and Earle (2011) が提唱した方法をもとに行わせた。

## 6. 統計処理

データとして得られた測定値は、以下の処理方法でまとめた。

1) 各運動プロトコル実施時における酸素摂取量、心拍数、血中乳酸濃度および8つの被験筋の筋活動水の比較には、平均値  $\pm$  標準偏差で表し、対応のある一元配置分散分析を行った。有意差が認められた場合には、Tukey 法による多重比較検定を行った。有意水準は5%未満とした。

2) 各プロトコルの運動強度を示すために総挙上重量の比較を行った。外的負荷を用いたデッドリフトでは、表1で示したように各対象者の70% 1RM の重量を挙上重量とした。腕立て伏せについては、先行研究 (Ebben et al., 2011) において自体重の64%の重量を挙上していることが報告されていることから、各対象者の体重の64%を挙上重量とした。斜め懸垂においても同様に、先行研究 (Ronai and Scibek, 2016) では自体重の69%の重量を挙上していることが報告されていることから、各対象者の体重の69%を挙上重量とした。

また、総挙上重量は「挙上重量  $\times$  挙上回数  $\times$

セット数」で算出した。例えばRTの腕立て伏せの場合では、体重を60kgとした場合、「(60  $\times$  0.64)  $\times$  18回 (挙上回数)  $\times$  6 (セット数) = 4147kg」となる。単位時間当たりの挙上重量は、総挙上重量と休息时间 (RTの場合は2分間) また種目間の移動時間 (CFT-Jの場合は種目間の移動があったため) を除いた運動時間で除し、平均値  $\pm$  標準偏差で表し、対応のある一元配置分散分析を行った。有意差が認められた場合には、Tukey 法による多重比較検定を行った。有意水準は5%未満とした。

## Ⅲ. 結果

### 1. 課題の完遂に要した時間または課題終了まで完遂した回数、セット数、挙上重量

CFT-Jにおける総合実施時間は6分間であり、各運動種目の移動や休息を除いた運動時間はデッドリフトでは1.1  $\pm$  0.1分、腕立て伏せでは1.3  $\pm$  0.1分、斜め懸垂では0.4  $\pm$  0.1分であった。AOの開始から終了までに要した時間は約20  $\pm$  5分であった (乳酸値が $\leq$ 2mmol/Lに戻るまでの休息时间を含む)。なお、AOにおける各運動種目の休息を除いた運動時間はデッドリフトでは0.3  $\pm$  0.1分、腕立て伏せは0.5  $\pm$  0.3分、斜め懸垂では0.4  $\pm$  0.2分であった。RTの開始から終了までに要した時間は60  $\pm$  10分 (乳酸値が $\leq$ 2mmol/Lに戻るまでの休息时间を含む) であった。なお、RTにおける各運動種目の休息を除いた運動時間はデッドリフトでは1.2  $\pm$  0.1分、腕立て伏せは2.1  $\pm$  0.3分、斜め懸垂は0.5  $\pm$  0.1分であった。

各プロトコルを完遂できたセット数 (総反復回数) は、CFT-Jでは6.7  $\pm$  1.1セット (5種目の合計で263.3  $\pm$  41.2回) であった。AOにおけるデッドリフトの完遂回数は20.1  $\pm$  4.5回、腕立て伏せは42.2  $\pm$  11.1回、斜め懸垂は29.1  $\pm$  8.2回 (3種目の合計で91.4  $\pm$  23.8回) であった。RTにおけるデッドリフトの完遂回数は36回、腕立て伏せは108回、斜め懸垂は36回 (3種目合計で180回) であった。

図3は各プロトコルにおいて共通して行ってい

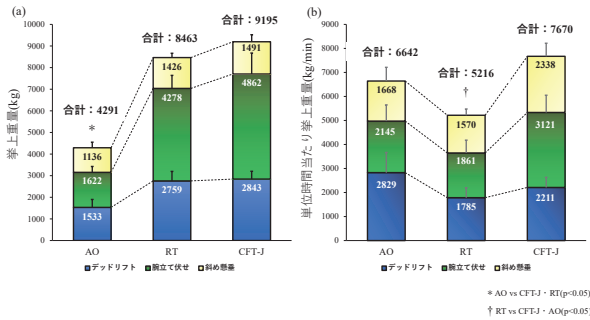


図3. 各プロトコルにおける各種目の総挙上重量および単位時間当たりの総挙上重量

た3種目について、総挙上重量（図3-a）および単位時間当たりの挙上重量（図3-b）を算出したものである。CFT-Jにおける総挙上重量は9195±1658 kg（デッドリフト：2842±362 kg，腕立て伏せ：4861±970 kg，斜め懸垂：1491±326 kg）であり，AOにおける総挙上重量4291±899 kg（デッドリフト：1533±367 kg，腕立て伏せ：1622±272 kg，斜め懸垂：1533±367 kg）よりも有意に高かった（ $p<0.05$ ）。一方で，CFT-JはRTの総挙上重量8463±1243 kg（デッドリフト：2759±439 kg，腕立て伏せ：4278±602 kg，斜め懸垂：1426±200 kg）よりもやや高い傾向がみられたが，有意な差は認められなかった。

また，CFT-Jにおける単位時間当たりの挙上重量は7670±493 kg/min（デッドリフト：2211±421 kg/min，腕立て伏せ：3121±717 kg/min，斜め懸垂：2338±544 kg/min）であり，AOにおける単位時間当たりの挙上重量6642±583 kg/min（デッドリフト：2829±837 kg/min，腕立て伏せ：2145±673 kg/min，斜め懸垂：1667±570 kg/min）との間に有意な差は認められなかった。一方で，CFT-JはRTの単位時間当たりの挙上重量5216±151 kg/min（デッドリフト：1785±411 kg/min，腕立て伏せ：1861±533 kg/min，斜め懸垂：1570±261 kg/min）よりも有意に高い値を示した（ $p<0.05$ ）。

## 2. 筋活動水準

図4-a・b・cは，各プロトコルの各種目間における主働筋の筋活動水準を比較した結果である。

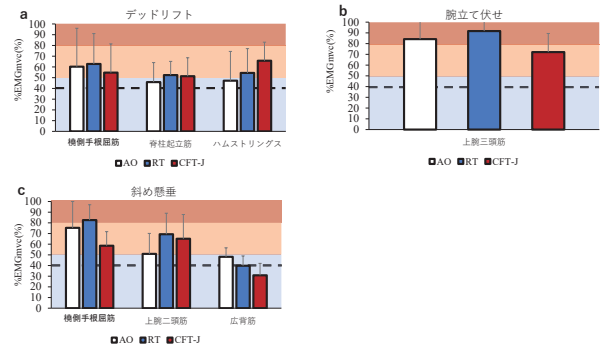


図4. 各プロトコルの実施時における主働筋の筋活動水準の強度比較

それぞれの種目間において，有意差は認められなかった。

図4-aに示したようにデッドリフトにおける橈側手根屈筋では，AOが60.3±35.7%EMGmvc，RTが62.8±28.3%EMGmvc，CFT-Jが54.7±26.6%EMGmvcの値を示した。脊柱起立筋では，AOが45.9±18.1%EMGmvc，RTが52.4±12.8%EMGmvc，CFT-Jが51.4±17.2%EMGmvcであった。ハムストリングスでは，AOが47.2±27.2%EMGmvc，RTが54.4±22.6%EMGmvc，CFT-Jが65.8±17.2%EMGmvcであった。

また，図4-bの腕立て伏せにおける上腕三頭筋では，AOが84.2±31.4%EMGmvc，RTが91.7±30.5%EMGmvc，CFT-Jが72.1±17.3%EMGmvcであった。

図4-cの柔道着を用いた斜め懸垂における橈側手根屈筋では，AOが75.3±24.7%EMGmvc，RTが82.6±14.4%EMGmvc，CFT-Jが58.6±13.2%EMGmvcであった。上腕二頭筋では，AOが50.9±19.2%EMGmvc，RTが69.3±19.7%EMGmvc，CFT-Jが65.1±22.7%EMGmvcであった。

## 3. 運動時の酸素摂取量・心拍数・血中乳酸濃度

図5は，CFT-JとAO・RTのデッドリフト，腕立て伏せ，斜め懸垂を実施した際の酸素摂取量を比較したものである。その結果，CFT-Jの値（84.3±7.9% $\dot{V}O_2max$ ）がAO，RTのどの種目よりも有意に高い値を示した（ $p<0.05$ ）。

図6は，図5と同様な形で心拍予備能を比較したものである。酸素摂取量の結果と同様に，

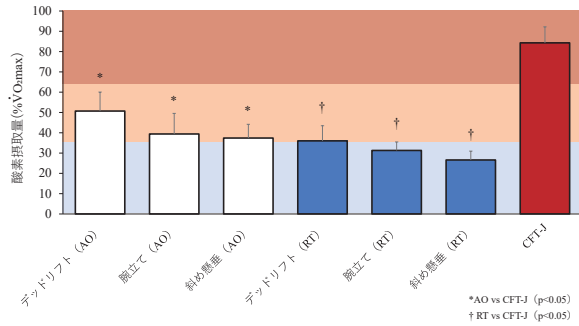


図5. 各プロトコルの実施時における酸素摂取量の比較

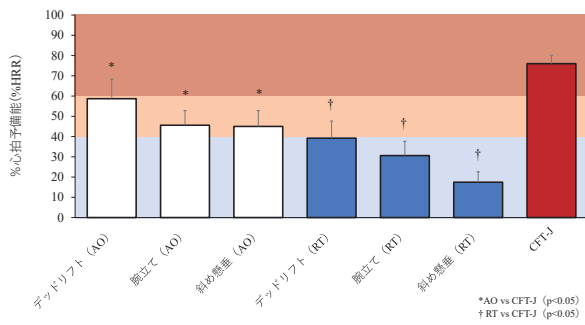


図6. 各プロトコルの実施時における心拍数予備能の比較

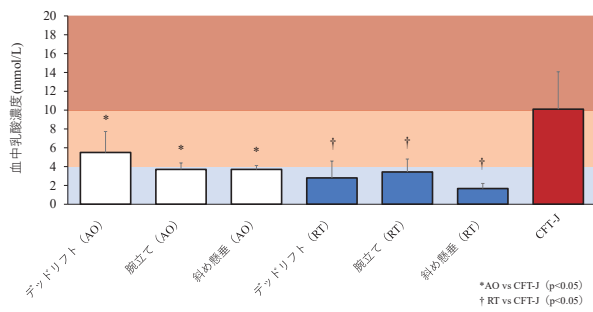


図7. 各プロトコルの実施時における血中乳酸濃度の比較

CFT-Jの値 ( $76.3 \pm 4.1\%HRR$ ) が AO, RT のどの種目よりも有意に高い値を示した ( $p < 0.05$ )。

図7は、各プロトコル実施時における血中乳酸濃度を比較したものである。酸素摂取量および心拍数の結果と同様に、CFT-Jの値 ( $10.1 \pm 4.0\text{mmol/L}$ ) が AO, RT の全種目よりも有意に高い値を示した ( $p < 0.05$ )。

#### IV. 考察

##### 1. 各運動種目における完遂時間および挙上重量について

本研究で考案した CFT-J は実施時間として 6

分間、AO は 20 分間程度、RT は 60 分程度であり、CFT-J の時間が最も短かった。また、CFT-J は短時間ではあるものの、AO や RT よりも完遂できた回数は多く、総挙上重量および単位時間当たりの挙上重量も図 3 に示したように高かった。

CFT-J は 6 分間以内に複数の種目を変えながら、休息を挟まずに全力で行うプロトコルであるため、完遂回数、総挙上重量および単位時間当たりの挙上重量が高かったと言える。一方で、AO や RT に関しては、どちらもセット間や種目間に休息時間を設けていたため (AO は乳酸値が  $\leq 2\text{mmol/L}$  に戻るまでの休息時間、RT はセット間に 2 分間、種目間に乳酸値が  $\leq 2\text{mmol/L}$  に戻るまでの休息時間を含むため)、CFT-J よりもこれらの値が低くなる傾向が見られたと考えられる。

##### 2. 筋電図から見た筋系に対する負荷の特性

本研究では、デッドリフト、腕立て伏せ、斜め懸垂における主働筋の筋活動水準を RT, AO, CFT-J の 3 プロトコル間で比較した。その結果、どの運動様式においても有意な差は認められなかった。また、筋活動水準のレベルを評価するために、各筋活動水準を低強度 (49%EMGmvc)、中強度 (50~79%EMGmvc)、高強度 (80%EMGmvc 以上) の 3 領域 (Tsaklis et al., 2015) に分類した結果、全ての筋群で中強度以上の負荷であることが明らかとなった (図 4-a,b,c)。Andersen (2006) は筋力を向上させる筋活動水準としては 40% MVC 以上の筋活動水準が必要であることを報告している。したがって本研究で実施した 3 プロトコルは、いずれも筋力向上が望める負荷をかけることができていたと考えられた。

なお、CFT-J, AO, RT の 3 試技間の筋活動水準に有意な差は認められなかったことは興味深い。なぜならば、図 3-b に示したように CFT-J は、AO・RT よりも単位時間あたりの挙上重量が高い値 (CFT-J:  $7670 \pm 493\text{ kg/min}$ ; AO:  $6642 \pm 583\text{ kg/min}$ ; RT:  $5216 \pm 151\text{ kg/min}$ ) を示しているの、筋活動水準も高くなることが予測されるから



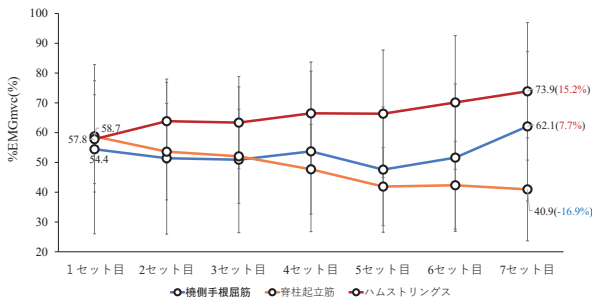


図8. CFT-J プロトコルにおけるデッドリフト実施時の筋活動水準の変化

である。このような傾向がみられた原因として、主働筋が疲労したことにより、協働筋の貢献度が高くなったことが考えられる。実際に、デッドリフト実施時の主働筋、協働筋における筋活動水準の変動を検討したところ、図8に示したように1セット目から最終セットにかけて主働筋である脊柱起立筋における筋活動水準が減少し、協働筋であるハムストリングスや橈側手根屈筋が増加する傾向がみられた。このような傾向が各種目にみられた場合、図4-a, b, cのような結果が得られたことの説明となると考えられる。しかし、この点については本研究のデータでは十分な検討ができず、今後の検討課題である。

### 3. 有酸素性および無酸素性の負荷指標からみた特性

本研究で考案した柔道競技向けのCFT-Jと、その主な構成種目ごとにAOあるいはRTの条件で実施した場合の酸素摂取量や心拍予備能を比較した結果、CFT-Jの方が有意に高値を示した(図5, 図6)。

各プロトコルにおける強度については、アメリカスポーツ医学会(ACSM)のガイドライン(2011)をもとに、37% $\dot{V}O_2\max$ 未満および39%HRR未満を低強度(水色網掛け)、46~63% $\dot{V}O_2\max$ および40~59%HRRを中強度(オレンジ色網掛け)、64% $\dot{V}O_2\max$ 以上および60%HRR以上を高強度(赤色網掛け)と定義して評価した。その結果、CFT-Jは高強度、AOは低強度、RTは低強度の領域に位置していた。このような結果が

得られた理由としては、AOやRTでは休息を挟みながら行っているが、CFT-Jでは多関節を用いる運動種目を休息を挟まず実施しているために、単位時間あたりの挙上重量がより大きいことに加え、ジャンピングスクワットとジャンピングランジの2種目をさらに加えて行っていることが原因であると考えられる。

加えて、無酸素性(特に乳酸系)に対する負荷指標として測定した血中乳酸濃度についても、有酸素性能力と同様、AOやRTよりもCFT-Jの方が有意に高値を示した(図7)。血中乳酸濃度による運動強度の評価については、乳酸閾値(LT)および乳酸蓄積開始点(OBLA)を基準にして評価されることが多い(Yoshida et al., 1982; Yoshida, 1984)。ただしCFT-Jでは全力で複数の種目を実施する事を考慮して、最大酸素摂取量の判断基準として用いられる血中乳酸濃度が10 mmol/L以上という基準も加味し、血中乳酸濃度が3.9 mmol/L以下を低強度(水色網掛け)、4.0~9.9 mmol/Lを中強度(オレンジ色網掛け)、10 mmol/L以上を高強度(赤色網掛け)と定義して評価した。その結果、CFT-Jは高強度、AOは中強度、RTは低強度の範囲に位置していた。この理由については、酸素摂取量や心拍数の所で述べたことと同様であり、CFT-Jは大筋群を用いる運動を、休息を挟まず全力で実施しているため、単位時間あたりの挙上重量が高いこと、ジャンピングスクワット、ジャンピングランジの2種目がさらに追加されていることが原因として考えられる。

### 4. CFT-J プロトコルの特性

表3は、上記の考察をまとめて、本研究で比較した3プロトコルの特徴について、各種能力のトレーナビリティの観点から負荷のかかり方の大小関係が一覧できるようにしたものである。CFT-Jの特徴として、有酸素系および無酸素系(特に乳酸系)に対する負荷としてはAO・RTよりも大きく、筋活動水準においてはAO・RTと同程度

表3. トレーナビリティの観点からみた各プロトコルにおける生理応答の位置づけ

運動プロトコル	運動の所要時間	種目の数	酸素摂取量	心拍数	血中乳酸濃度	筋活動水準
クロスフィット(CFT-J)	6分	5	高	高	高	○
オールアウト(AO)	20 ± 5分	3	低	中	中	○
レジスタンス トレーニング(RT)	60 ± 10分	3	低	低	低	○

○ &gt;40%MVCのもの筋力の向上が望める

であった。RTについては、筋活動水準では筋力向上が望める領域に達しているが、有酸素系および無酸素系に対する負荷については低い傾向がみられた。AOでは、筋活動水準ではRTと同様な結果を示していたが、有酸素系および無酸素系に対する負荷では中程度の値であった。

このような結果から、本研究で考案したCFT-Jプロトコルは、柔道競技に求められる主な3つの能力（筋力、有酸素性能力、無酸素性能力）に対して、いずれも向上が望める負荷がかけられていることが示唆された。

CFT-Jのメリットとして、短い運動時間で筋および有酸素系・無酸素系の代謝に負荷をかけられることがあげられる。本プロトコルは、比較対象としたAO・RTよりも短時間で実施できるという利点があり、冒頭で述べた体力トレーニング時間の増加による技術練習の時間の短縮といった問題の解決にも寄与できると考えられた。

## 5. 本研究のリミテーション

本研究ではAOおよびRTにおいて、怪我の危険性を考慮し、ジャンピングスクワットとジャンピングランジを省いた。しかしながら、この両種目は腕立て伏せや斜め懸垂と異なり、自重の上下動が激しく（物理的仕事量が大い）、筋量の多い脚の作業であることから、呼吸循環代謝応答も他の種目より高いことが予測される。

本来ならば、本プロトコルとAO、RTがどの程度違うのかを比較するならば、種目を同じとし、1セットでオールアウトまで行った条件（AO）、および回数を決めて休息を挟み、反復させた条件（RT）との間で比較すべきである。この点に関し

ては、本研究におけるリミテーションである。今後は怪我のリスクにも配慮しつつ、可能な範囲でこれらの種目の特性について検討することが必要といえる。

## V. まとめ

柔道選手において、より短いトレーニング時間で各種の基礎体力の改善を図れるトレーニング方法を提案するために、複数の種目を組み合わせて、高強度の負荷で休憩を挟まずに行うクロスフィット形式のトレーニングメニュー（CFT-J）を考案した。そして柔道競技者7名を対象に、①CFT-Jをそのまま行う条件、②CFT-Jの主な種目を個別にオールアウトまで行う条件（AO）、③CFT-Jの主な種目を個別にレジスタンストレーニングとして行う条件（RT）、という3種類の運動プロトコルを設定し、心拍数、酸素摂取量、血中乳酸濃度、筋活動水準を比較し、CFT-Jの特性を明確にしようと試みた。

その結果、CFT-Jは3条件の中で、総挙上重量、単位時間当たりの挙上重量が最も高いレベルにあった。そして、有酸素および無酸素系（乳酸系）への代謝に対して最も高い負荷をかけられることも明らかとなった（ $84.3 \pm 7.9\% \dot{V}O_{2max}$ ,  $76.3 \pm 4.1\% HRR$ ,  $10.1 \pm 4.0 \text{ mmol/L}$ ）。また筋系に対しても、各プロトコルが強化を狙いとしている主働筋に対して、筋力向上を望める一定水準の負荷（40%MVC以上）をかけることができていた。以上を考察した結果、本研究で考案したCFT-Jのプロトコルは、柔道競技者の補助トレーニングとして有用な選択肢となる可能性が示唆された。

## VI. 引用文献

- ・ American College of Sports Science (2011) Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. Med Sci Sports Exerc. 43: 1334-1359.

- Andersen, L.L., Magnusson, S.P., Nielsen, M., Haleem, J., Poulsen, K., and Aagaard, P. (2006) Neuromuscular activation in conventional therapeutic exercises and heavy resistance exercises: implications for rehabilitation. *Phys Ther.* 5: 683-697.
- Almansba, R., Franchini, E., and Sterkowicz, S. (2007) An uchikomi with load, a physiological approach of new special judo test proposal. *Sci Sports.* 22: 216-23.
- Arazi, H., Asadi, A., Rahimzadeh, M., and Moradkhani, A. (2013) Post-plyometric exercise hypotension and heart rate in normotensive individuals: influence of exercise intensity. *Asian J Sports Med.* 4: 235-240.
- Baechle, T.R., and Earle, R.W. (2011) *Essentials of strength and conditioning.* 3rd edition. pp. 279-283, 393.
- Brown, G.A, Ray, M.W., Abbey, B.M., Shaw, B.S., and Shar, I. (2010) Oxygen consumption, heart rate and blood lactate responses to an acute bout of plyometric depth jumps in college-aged men and women. *J Strength Cond Res.* 24: 2475-2482.
- Burns, A., and Callan, M. (2017) *Strength and conditioning for judo.* The Crowood Press, pp. 15-18.
- Deggoute, F., Jouanel, P., and Filaire, E (2003) Energy demands during a judo match and recovery. *Br. J. Sports Med.* 37: 245-249.
- Detanico, D., Dal Pupo, J., Franchini, E., and Dos Santos, S.G. (2012) Relationship of aerobic and neuromuscular indexes with specifications in judo. *Sci Sports.* 27: 16-22.
- Drid, P., Maksimovic, N., Matic, R., Obradovic, B., Milosevic, Z., and Ostojic, S.M. (2009) Fitness profiles of elite female judokas of the Serbian national team. *Med Sport.* 62: 251-263.
- Ebben, P.W., Wurm, B., VanderZanden, T.L., Spadavecchia, M.L., Durocher, J.J., Bickham, C., and Petushek, E.J. (2011) Kinetic analysis of several variations of push-ups. *J Strength Cond Res.* 25: 2891-2894.
- Fernández, J.F., Sabido-Solana, R., Moya, D., Sarabia, J.M., and Moya, M. (2015) Acute physiological responses during CrossFit® workouts. *Hum Mov Sci.* 35: 114-124.
- Franchini, E., Takito, M.Y., Nakamura, F.Y., Matsushigue, K.A., and Peduti, M.A. (2003) Effects of recovery type after a judo combat on blood lactate removal and on performance in an intermittent anaerobic task. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 43:424-431.
- Franchini, E., Takito, M.Y., Kiss, M.A.P.D.M., and Sterkowicz, S. (2005) Physical fitness and anthropometrical differences between elite and non-elite judo players. *Biol. Sport.* 22: 315-328.
- Franchini, E., Miarka, B., Matheus, L., and Del Vecchio, F.B. (2011) Endurance in judogi grip strength tests: Comparison between elite and non-elite judo players. *Arch Budo.* 7: 1-4.
- Franchini, E., Matsushigue, K.A., Del Vecchio, F.B., and Artioli, G.G. (2011) Physiological profiles of elite judo athletes. *Sports Med.* 41: 147-166.
- Ronai, P., and Scibek, E. (2016) The suspension inverted row. *NSCA.* 38: 106-112.
- 芳賀脩光・浅見高明・小野沢弘史 (1975) 女子柔道における練習中の酸素摂取量と心拍数変動について. *武道学研究* 7-2: 27-33.
- 曾我部晋哉・有賀誠・日陰暢年・松岡義之・出口達也・酒井英幸・岡泉茂・田辺勝・園田隆二・長井敦子・徳野和彦・阿武敦子・林弘典 (2009) ゴールデンスコアで戦える体へ—2008 北京オリンピックに向けた女子柔道の取り組み. *柔道科学研究* 14: 1-6.
- 小菅亨・岡田隆・増田敦子・石井孝法・山田利彦・金丸雄介・菅波盛雄 (2015) 柔道競技者におけるロープトレーニングの生理学的反応. *了徳寺大学研究紀要*9: 183-191.

- ・小澤雄二・成松英雄・小郷克敏・錦井利臣  
(1994) 生理的変動から見た柔道練習の運動強度. 熊本大学教育学部紀要. 自然科学 43: 63-69.
- ・佐藤雄太・森寿仁・奥島大・小山田和行・藤田英二・山本正嘉 (2017) 間欠的な全力ベダリング時の発揮パワーによる柔道選手の瞬発力および持久力の評価. スポーツパフォーマンス研究 9: 227-237.
- ・下野俊哉 (2004) 表面筋電マニユアル; 基礎編. 第5章, 酒田医療, 東京, pp. 82-107.
- ・Sterkowicz, S., Lech, G., Sterkowicz-Przybycien, K., Chwala, W., Ambrozy, T., and Palka, T. (2018) Relationship of maximal isometric torque produced in flexors and extensors rate to technique by judo athletes. *Acta Bioeng Biomech* 20: 65-71.
- ・Tanaka H., Monahan K.D., and Seals D.R. (2001) Age-predicted maximal heart rate revisited. *J. Am. Coll. Cardiol.* 37: 153-156.
- ・Thomas, S.G., Cox, M.H., Legal, Y.M., Verde, T.J., and Smith H.K. (1989) Physiological profile of the Canadian national judo team. *Can. J. Spt. Sci.* 14:142-147.
- ・Tsaklis, P., Malliaropoulos, N., Mendiguchia, J., Korakakis, V., Tsapralis, K., Pyne, D., and Malliaras, P. (2015) Muscle and intensity-based hamstring exercise classification in elite female track and field athletes: implications for exercise selection during rehabilitation. *Open Access J Sports Med.* 6: 209-217.
- ・Yoshida T., Suda Y., and Takeuchi N. (1982) Endurance training regimen based upon blood lactate; Effects on anaerobic threshold. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 49: 223-230.
- ・Yoshida T. (1984) Effect of exercise duration during incremental exercise on the determination of anaerobic threshold and the onset of blood lactate accumulation. *Eur. J. Appl. Physiol.* 53: 196-199.