

## 心拍数, 血中乳酸, 筋活動水準からみた 2 タイプのクロスフィットトレーニングの 運動強度の特性

- レジスタンストレーニングおよびサーキットトレーニングとの比較から -

フダラキス イオアニス ヨルギオス<sup>1)</sup>, 森寿仁<sup>2)</sup>, 藤田英二<sup>3)</sup>, 山本正嘉<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>鹿屋体育大学大学院

<sup>2)</sup>兵庫県立大学

<sup>3)</sup>鹿屋体育大学スポーツ生命科学系

キーワード: 高強度, 自体重負荷, クロスフィットトレーニング (CFT),  
レジスタンストレーニング (RT), サーキットトレーニング (CT)

### 【概要】

本研究では, クロスフィットトレーニング (CFT) の運動強度の特性を明らかにすることを目的として, 運動習慣を有する男性を対象に CFT の代表的な種目である Fran および Cindy, フリーウエイトを用いたレジスタンストレーニング (RT) およびサーキットトレーニング (CT) を実施した際の心拍数, 血中乳酸および筋活動水準について比較した。

その結果, Fran と Cindy は共に心拍数および血中乳酸濃度が高強度領域に位置し, 両課題間で有意差はみられなかった。筋活動水準については, 外的な負荷を用いる Fran では多くの筋で高水準を示したのに対し, 自体重負荷である Cindy では多くが低水準を示し有意差が認められた。外的な負荷を用いる Fran と RT との比較では, 筋活動水準には有意差は認められなかったが, 心拍数および血中乳酸濃度は Fran の方が有意に高かった。自体重負荷を用いる Cindy と CT の比較では, 心拍数, 血中乳酸濃度および筋活動水準に有意差は認められなかった。

以上のことから, Fran では RT と同等の筋活動を発揮していることに加えて, 有酸素性および無酸素性のエネルギー代謝にはより高い負荷がかけられていること, また Cindy では Fran や RT よりも筋活動水準は小さいが, CT と同様に有酸素性および無酸素性のエネルギー代謝には高い負荷がかけられていることが明らかとなった。

スポーツパフォーマンス研究, 12, 321-340, 2020 年, 受付日: 2019 年 4 月 19 日, 受理日: 2020 年 5 月 25 日

責任著者: 森寿仁 兵庫県立大学 mori@shse.u-hyogo.ac.jp

\*\*\*

**Exercise intensity characteristics of 2 of the benchmark CrossFit®  
training workouts compared to traditional resistance training  
and circuit training:  
heart rate, blood lactate accumulation, and neuromuscular activity**

Ioannis Choudalakis<sup>1)</sup>, Hisashi Mori<sup>2)</sup>, Eiji Fujita<sup>3)</sup>, Masayoshi Yamamoto<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Graduate School, National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

<sup>2)</sup>University of Hyogo

<sup>3)</sup>National Institute of Fitness and Sports in Kanoya.

Keywords: high intensity, body mass based training, CrossFit® training (CFT), free weight resistance training (RT), circuit training (CT)

### **[Abstract]**

The present study compared the exercise intensity characteristics of the CrossFit® Training (CFT) benchmark protocols Fran and Cindy with those of traditional free weight resistance training (RT) and circuit training (CT) protocols. The participants were 7 physically active male university students. The measures were their heart rate, blood lactate accumulation, and neuromuscular activity in each exercise protocol.

Both Fran and Cindy resulted in a high intensity exercise stimulus of the cardiovascular (heart rate) and metabolic systems (blood lactate accumulation). No statistically significant differences were found between workouts. On the other hand, the external load bearing protocol Fran resulted in a higher intensity stimulus to the majority of muscles tested, compared to the body mass bearing Cindy. Cindy resulted in statistically lower intensity stimuli. Furthermore, when the protocol Fran was compared to RT, Fran was found to result in a considerably higher exercise stimulus of the cardiovascular and metabolic systems, although no significant difference was found between the two protocols with respect to neuromuscular activity. Moreover, when the protocol Cindy was compared to CT, no significant difference was found in the measures of the aerobic, anaerobic, or muscle systems.

These results suggest that Fran has a similar neuromuscular activity result as RT, but with a significantly higher impact on the cardiovascular and metabolic systems, whereas Cindy and CT have almost identical effects on all the physiological parameters measured in the present study.

## I. 緒言

ラグビー、サッカーなどの球技スポーツや、柔道、レスリングのような格闘技では、瞬発的に大きなパワーを発揮する無酸素性能力に加えて、高いパフォーマンスを試合中発揮し続けるための有酸素性能力も求められる。これらの能力を向上させるために、普段の技術・戦術練習と並行して、筋力の向上や筋肥大を目的にレジスタンストレーニング(RT)や、持久力の向上を目的にサーキットトレーニング(CT)などのフィジカルトレーニングが行われている。しかし、フィジカルトレーニングを満足に実施しようとするとトレーニング時間が長くなり、技術的な練習やチームプレー向上のための戦術練習の時間を十分に確保することが難しくなるという問題が起こる。この問題を解決することは、上記のようなスポーツ現場では重要な課題と言える。

時間効率の良さに着目したトレーニング方法の一つとして、2000年頃から提唱されているクロスフィットトレーニング(CFT)が挙げられる。CFTとは、「様々な運動種目(ランニング、クリーン、ボックスジャンプなど)を組み合わせ、それらを連続で行う運動」と定義されており(Glassman, 2002)、筋力トレーニングを中心に短時間(5~20分程度)かつ複数の種目を、休息を挟まずに実施するものである。すなわち、短時間で複数部位に対するRTができることに加えて、有酸素性および無酸素性能力も同時に向上させられる点が最大の特徴(利点)と言われている(Bellar et al., 2015; Claudino et al., 2017)。実際、CFTを日常的に実施している者を対象に、CFT課題の成績(課題の完遂時間または回数)と有酸素性能力(最大酸素摂取量)および無酸素性能力(30秒間のウインゲートテストのピークパワー)の相関関係を検討したところ、CFT課題の成績と両能力との間に有意な相関関係があると報告されている(Bellar et al., 2015)。これは、CFTが有酸素性能力および無酸素性能力を同時に向上させるトレーニング手段となり得る可能性があることを示していると考えられる。

また、CFTの介入を行った先行研究では、男女高校生42名を対象に体育の授業内で10分程度のCFTを1週間に2回、8週間実施した結果、シャトルランテスト、上体起こしテスト、腕立て伏せテスト、立ち幅跳びの向上が認められたことが報告されている(Eather et al., 2016)。この研究は、高校生を対象とした学校体育でのものであるが、10分という短時間のCFTで有酸素性および無酸素性の両能力が向上しており、競技アスリートにとっても短時間で両能力を向上させられるフィジカルトレーニングとなりうる可能性を秘めていると言える。

CFTは大別すると2種類ある。1つは、1回のトレーニングセッションにおいて決められた運動プロトコルをできるだけ早く完遂するもので、「For Time」と呼ばれている。もう1つは、複数の種目で構成されたセットによる運動プロトコルを時間内にできるだけ多く完遂するもので、「As Many Reps As Possible (AMRAP)」と呼ばれている。両者とも実践現場では多様なメニューが組み立てられているが、特に代表的な種目としてFor Timeでは「Fran」が、AMRAPでは「Cindy」が認知されている(Claudino et al., 2017)。またこのことを受けて、学術研究の対象としてもこの2種目を取り上げられることが多い(Butcher et al., 2015; Fernandez et al., 2015; Mate-Munoz et al., 2017; Kliszczewicz et al., 2014)。

CFTに関する先行研究を概観すると、心拍数や酸素摂取量など有酸素性のエネルギー代謝の特性について検討しているものが多い(Kliszczewicz et al., 2014; Fernandez et al., 2015)。一方、運動後の血中乳酸の蓄積は無酸素性エネルギー代謝や速筋線維の活動と関連し(八田, 2015)、筋電図は筋の活動状態を反映しており筋力トレーニングを実施する上でその活動の程度が重要と考えられている

が(木塚ほか, 2006), CFT の種目を対象として行われた研究は少ないのが現状である(Lagally et al., 2002).

前述のように, 一般的なフィジカルトレーニングとして RT や CT が挙げられる. RT は筋肥大・筋力・筋パワーの向上を目的として実施されるが, 一回のトレーニングセッションに要する時間が長いことに加えて有酸素性を向上させるための手段として扱われることは少ない. また CT は, 自体重やトレーニング機器を用いて, 低～中程度の重量において比較的短い休息時間で複数の種目を実施するトレーニングであり, 有酸素性, 無酸素性および筋力・筋パワーの維持・向上を目的に実施されている. しかし, CT は筋力の向上に対しては効果が小さいことも指摘されている(Garber et al., 2011; Klika et al., 2013). したがって, 一般的なフィジカルトレーニングである RT および CT と, 本研究で着目した CFT の特徴を有酸素性, 無酸素性および筋活動といった多角的な観点から比較することで, CFT を実施する上での実践的な知見が得られる可能性がある.

そこで本研究は, CFT の代表的な種目といえる「Fran」, 「Cindy」と, RT および CT の 4 つのフィジカルトレーニングを対象として, その運動強度を心拍数, 血中乳酸および筋活動水準の観点から比較検討することを目的とした.

## II. 方法

### 1. 対象者

対象者は, 定期的な運動習慣(レジスタンストレーニング, ランニングなどの一般的なフィジカルトレーニング)はあるが, CFT を日常的に実施していない体育大学に所属する男子大学生および大学院生 7 名(年齢:  $24.8 \pm 3.8$  歳; 身長:  $172.9 \pm 5.7$  cm; 体重:  $69.6 \pm 9.6$  kg)とした. すべての対象者は 4 回の試技(Fran, Cindy, RT および CT)を最低 3 日以上の間隔を空け, 疲労や筋肉痛の影響が無いように配慮した上でランダムな順序で実施した. また, これらのほとんどの試技は 1 週間に 1 回の頻度で実施された. なお本研究の対象者は, 本実験を実施する約 4 週間前から, 1 週間に 1~2 回の頻度で, CFT トレーナー(CrossFit™レベル 1 トレーナーの資格を保有)によるエクササイズフォームの指導を受け, 低～中強度の CFT 形式のトレーニングを実施した. そして, すべての対象者が各種目を最後まで正しいフォームで実施できるようになったことを確認した上で, 本実験を実施した.

本研究は, 所属機関の倫理審査委員会の承認を受けた上で実施した. また, 実験の実施前に対象者には実験の目的, 測定の内容および安全性について十分な説明を行い, 書面にて実験参加の同意を得た上で実施した.

### 2. 運動プロトコル

#### (1) CFT の運動内容

本研究では, For Time の代表的なトレーニング種目である「Fran」と, AMRAP の代表的な種目である「Cindy」の 2 種目を対象とした.

Fran は無酸素性能力および基礎筋力の向上を目的に, スラスタールおよび懸垂を, 各試技間およびセット間に休息を挟まずにできる限り連続的に行わせ, 交互に 3 セット, 出来る限り早く最大努力で実施するメニューである(表 1a, [動画 1](#)). 回数は 1 セット目が各 21 回, 2 セット目が各 15 回, 3 セット目が

各 9 回であった。スラスタは、バーベルを用いてフロントフルスクワットを行った直後に、肘を完全に伸展させるまでオーバーヘッドプレスを行わせた。懸垂は鉄棒にぶら下がり、自体重を用いて顎が鉄棒に達したのち、肘が伸び切るまで伸展することとし、クロスフィット協会の示す Fran の実施方法と同様に全身で反動を利用して実施するように指示した。なお、反動動作の実施には習熟が必要であることから、対象者には事前に反動動作を練習させ、検者が動作の習熟を確認した上で実施させた。

表 1a. CFT(Fran, Cindy)の実施種目, 回数, セット数, 負荷および休息の詳細

課題名	種目	回数	セット数	負荷	休息
Fran	スラスタ	21-15-9 回ずつ	3	3RM の 50%	無
	懸垂			自体重	
Cindy	懸垂	5	10 分以内になるべく多く	自体重	無
	腕立て伏せ	10			
	自体重負荷スクワット	15			

スラスタの挙上重量は、クロスフィット協会の定める Fran の基準メニューであれば全実施者で 40kg に統一して行われる。しかし、本研究では実施者の体力レベルおよび安全性に配慮し、全ての対象者が実施可能な 3RM 強度に相当する重量の 50% に設定した。スラスタは複合的な動作であり、実施動作が習熟していない者の場合には 1RM 測定に危険性がともなうことから、本研究では 3RM 強度を実測することとし、実施重量の基準とした。なお、本対象者の中で Fran の基準メニューの重量である 40kg を超える者はおらず、その重量は  $23.6 \pm 3.5$  kg (平均値 ± 標準偏差) であった。

Cindy は有酸素性能力および筋持久力を向上させることを目的とし、懸垂 5 回、腕立て伏せ 10 回、自体重負荷スクワット 15 回を 1 セットとし、各試技間およびセット間に休息を挟まずにできる限り連続的に行わせ、10 分以内により多くのセットを実施するメニューである(表 1a, [動画 2](#))。懸垂は Fran と同様の方法で実施し、腕立て伏せは、肘が完全伸展の姿勢から胸部が地面に接地するまでの範囲で実施し、自体重負荷スクワットはフルスクワットとした。

## (2) RT プロトコルの内容

RT(表 1b, [動画 3](#))は、外的な負荷(フリーウエイト)を用いて実施している Fran と比較をするため、Baechle and Earle(2008)が示す上半身または下半身の筋力トレーニング種目の実施方法に従い、バーベルバックフルスクワット(下半身筋群)、バーベルベントオーバーロウ(上半身筋群)、立位でのオーバーヘッドプレス(上半身筋群)の順番で実施した。それらの運動種目を選択した理由は、Fran で行うスラスタはスクワットとオーバーヘッドプレスを組み合わせた種目であり、各動作を分解して行った。Fran の懸垂に対応する動作はラットプルダウンが最も類似していると考えられるが、実施できる機器を実験室に保有しておらず、バーベルを用いて行うプル系の種目であるバーベルベントオーバーロウを代わりに採用した。

表 1b. RTとCTの実施種目, 回数, セット数, 負荷および休息の詳細

課題名	種目	回数	セット数	負荷	休息
RT	バーベルバックスクワット	9	5	1RMの70%	セット間に1分
	オーバーヘッドプレス	9	5		
	ベントオーバーロー	9	5		
CT	自体重負荷スクワット	10回ずつ	3	自体重	セット間に15秒
	パイク腕立て伏せ				
	懸垂				
	上体起こし				
	バックエクステンション				
	ジャンピングランジ				
	バーピージャンプ				
	ステップアップ				

筋肥大型の運動プロトコルは、ピリオダイゼーションの一般的準備期において、筋量の増大に伴う基礎的な筋力の向上を目的に実施されるとともに、競技現場でも通常よく実施されることから、NSCA (2015)が提唱している筋肥大型のプロトコルを用いた。すなわち、1RMの67~85%の負荷で各種目を6~12回反復すると示されており、本研究では70%1RMの負荷でそれぞれの種目を9回、5セット、セット間は1分の休息を挟んで実施することとした。種目間には5分以上の休息を挟んで実施した。

### (3)CTプロトコルの内容

CT(表 1b, [動画 4](#))は、自体重の負荷を用いて実施しているCindyと比較をするため、アメリカスポーツ医学会(ACSM; Klika and Jordan, 2013)の示す自体重負荷高強度トレーニングプログラムをもとに作成した。その内容は、8種類の運動種目(順に、自体重負荷スクワット、パイク腕立て伏せ、懸垂、上体起こし、バックエクステンション、ジャンピングランジ、バーピージャンプ、ステップアップ)をそれぞれ10回、合計で3セット行った。それぞれの運動種目間は連続して行い、セット間には15秒間の休息を設けた。

CindyとCTは類似した運動課題であるが、対象種目数(3種目 vs 8種目)、実施形態(10分間のAMRAP方式 vs 決められた種目を1サイクルごとに実施する方式)、休息方式(休息なし vs 15秒間の計画的な休息)などが異なっている点であった。

## 3. 測定項目

### (1)心拍数(Heart Rate: HR)

各運動課題実施時における有酸素性のエネルギー代謝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、各課題の実施中のHRをサンプリング周波数1Hzで計測した。なお、セット間に意図的に休息を設けた課題(RTおよびCT)では、休息時間を除いて分析を行った。

各運動課題実施時の運動強度は平均 HR を対象者の年齢から推定される最大心拍数(208 - 0.7 × 年齢; Tanaka et.al, 2001)と安静時心拍数からカルボネンの式を用いて, %心拍数予備能(%HRR = (運動時心拍数 - 安静時心拍数)/(最大心拍数 - 安静時心拍数) × 100)で表した. 各運動様式の運動強度は, ACSM のガイドラインをもとに評価した. すなわち, 39 %HRR 以下が低強度, 40~59 %HRR が中強度, 60 %HRR 以上が高強度と定義した(Garber et al., 2011).

### (2) 血中乳酸濃度(Blood Lactate: BLA)

各運動課題の実施による無酸素性のエネルギー代謝(主に解糖系)の運動強度を評価するために, 指尖より血液を採取し, 血中乳酸分析装置(Lactate Pro2, Arkray 社製)を用いて BLA を測定した. 測定タイミングは, 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(白木ほか, 2018 年;佐藤ほか, 2017, 2018). なお, RT は各運動種目の終了時に BLA を測定した.

各運動課題の運動強度は先行研究を基に著者らが独自に設定した. 一般的に有酸素性トレーニングを実施する際には, 乳酸閾値(LT), 血中乳酸蓄積開始点(OBLA)を基準にして実施されることが多い(Yoshida et al., 1982; Yoshida, 1984). また, 佐藤ほか(2018)は高強度間欠的運動後には BLA が 10 mmol/L 以上を示すことを報告しており, 最大酸素摂取量の判断基準においても BLA の値がそれと同等まで上昇していることが必要とされる(Yoshida et al., 1987). したがって, 本研究では BLA が 3.9 mmol/L 以下が低強度, 4.0~9.9 mmol/L が中強度, 10 mmol/L 以上が高強度と定義した.

### (3) 筋活動量

各運動課題中の筋活動水準は無線筋電図装置(WEB7000, Nihon Kohden 社製)を用いて測定した. 各種目の動作中の主働筋である 4 つの筋群(外側広筋, 広背筋, 三角筋, 上腕二頭筋)を被検筋とし, 各筋の筋腹に送信機を備えた電極(ZB-150H, Nihon Kohden 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(ZR-700H, Nihon Kohden 社製)を介して各種目の動作中における筋活動水準を取得した. 電極の貼付に際して, 貼付部位の体毛および角質を除去し, それをアルコール綿で十分に拭き取った後に, 電極表面に両面テープを用いて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(MVC)および各課題における筋活動水準(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(WEB1000/7000. Nihon Kohden 社製)にサンプリング周波数 1 KHz 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込み, 分析を行った. 各運動課題の平均筋電位の Root Mean Square(RMS)を算出し, 始めと終わりの 1 回を除いた運動中の平均 EMG(EMGex)を計算し, MVC 時の最大筋活動水準(EMGmvc)により規格化し, 筋活動水準(%EMGmvc = EMGex / EMGmvc × 100)で示した(図 1). 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. 各筋に対する試技は 2 回, 試技間の休息は 3 分以上とした. また, MVC の測定は熟練した 1 名の検者が行った. なお, 各筋の EMGmvc の測定姿勢は下記の通りとした(動画 5~8).

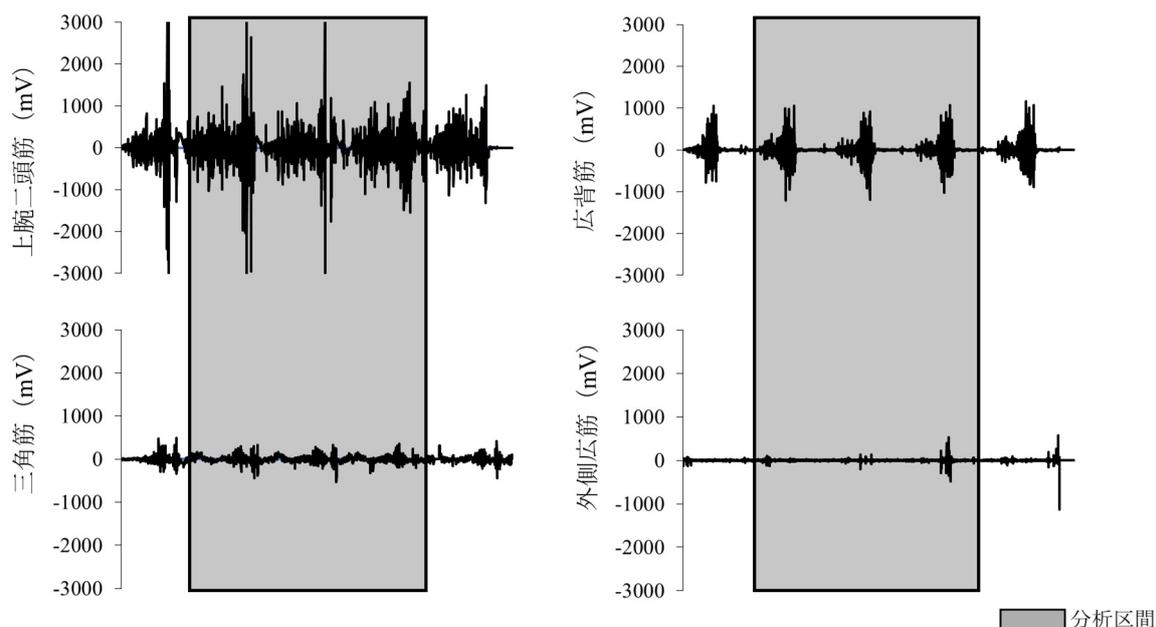


図 1. 筋活動水準の分析方法(Cindy の懸垂実施における分析例)

外側広筋:膝関節伸展筋力測定台(D-08011, 竹井機器社製)において股関節および膝関節 90° 屈曲位で座位姿勢を取り, 膝関節伸展を行った. 力発揮中の姿勢変化を防ぐため, ストラップを用いて腰部を固定した(動画 5).

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)を抑え固定した(Park and Yoo, 2013)(動画 6).

三角筋(中部):対象者は立位姿勢において左腕で柱を持ち身体をサポートした状態で, 右肩関節を約 45° 外転, 右肘関節を 90° 屈曲した状態から, 肩関節外転を行った. 検者は対象者の右腕を押さえ, 力発揮に対して抵抗した(動画 7).

上腕二頭筋:対象者は, 座位にて肩関節約 30° 外転位, 肘関節約 90° 屈曲位, 前腕は中間位の姿勢とし, 肘屈曲を行った. 検者は徒手で対象者の手首を押さえ力発揮に対して抵抗した(動画 8).

各運動課題実施時における各筋の筋活動の値は, 運動課題内に最も高い値を示した運動種目の値を採用した. なお, 各課題における筋活動の代表値に用いた運動種目の一覧を表 2 に示した. 運動強度は, Tsaklis et al.(2015)の筋活動水準からみた運動強度の目安値をもとに評価した. すなわち, 49 %EMGmvc 以下が低水準, 50~79 %EMGmvc が中水準, 80 %EMGmvc 以上が高水準と定義した.

表 2. 各課題実施時の外側広筋, 広背筋, 三角筋, 上腕二頭筋の筋活動量の評価に用いた代表種目一覧

筋群	CFT (Fran)	RT	CFT (Cindy)	CT
外側広筋	スラスター	バーベル バックスクワット	自体重負荷 スクワット	自体重負荷 スクワット
広背筋	懸垂	バーベルベンチ オーバーロウ	懸垂	懸垂
三角筋	スラスター	オーバーヘッド プレス	腕立て伏せ	バイク 腕立て伏せ
上腕二頭筋	懸垂	バーベルベンチ オーバーロウ	懸垂	懸垂

#### 4. 統計解析

測定値は, 全て平均値  $\pm$  標準偏差で表した. 各運動課題実施時における HR, BLa および 4 つの被検筋の筋活動水準の比較には, 4 つの運動課題間で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. また, 比較は外的な負荷(バーベル)を用いる Fran と RT, 自体重負荷を用いる Cindy と CT, 異なる運動形態(For Time および AMRAP)や負荷様式(外的な負荷および自体重負荷)の CFT 種目である Fran と Cindy の 3 つの観点で行った. したがって, 本研究では比較することを目的としていない Fran と CT, RT と Cindy, RT と CT の検定結果については, 本研究の結果には示さなかった. 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に完遂したセット数

Fran の課題完遂時間は 4 分 35 秒  $\pm$  1 分 35 秒であった. Cindy(10 分間)の課題終了時間までに完遂したセット数は 12  $\pm$  4.1 セットであった. RT 実施時の各種目の実施時間は全ての対象者で 9 分 35 秒(ただし, これを 3 種目実施し, 各種目間に 5 分の休息を挟んだので, 合計では約 40 分)であった. CT の課題完遂時間は 8 分 53 秒  $\pm$  1 分 32 秒であった.

#### 2. %HRR

図 2 は, 各運動課題において有酸素性のエネルギー代謝に対する運動負荷の指標とした %HRR の値を比較したものである. Fran および RT を比較した結果, Fran 実施時の %HRR(81.1  $\pm$  10.1 %HRR) は RT 時(58.6  $\pm$  12.6 %HRR)と比較して有意に高い値を示した( $p < 0.05$ ). 一方, Cindy(79.7  $\pm$  8.3 %HRR)と CT(81.1  $\pm$  2 %HRR), Fran と Cindy を比較した結果, 各課題実施時の %HRR に有意な差は認められなかった.

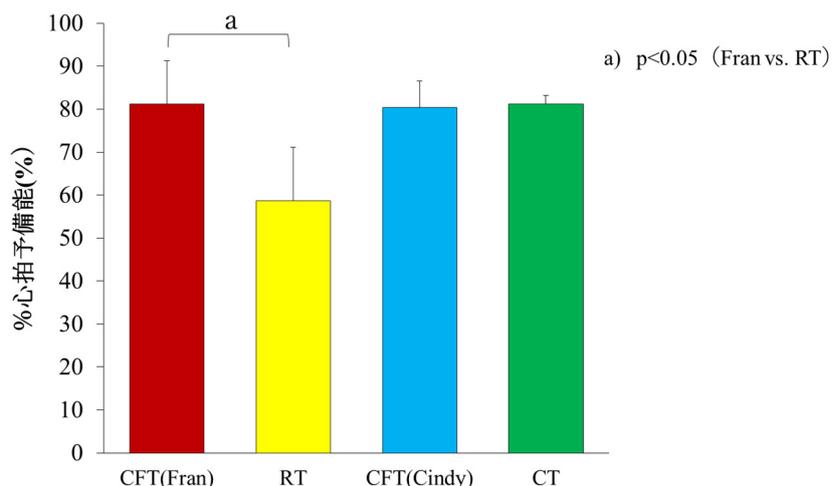


図 2. 各課題実施時における%心拍予備機能の比較

### 3. BLa

図 3 は、各運動課題において無酸素性のエネルギー代謝に対する運動負荷の指標とした BLa の値を比較したものである。Fran および RT を比較した結果、Fran (12.1 ± 2.4 mmol/L) は RT (6.1 ± 2.1 mmol/L) と比較して有意に高値を示した ( $p < 0.05$ )。一方、Cindy (12.6 ± 3.7 mmol/L) と CT (11.3 ± 3.1 mmol/L)、Fran と Cindy を比較した結果、BLa に有意な差は認められなかった。

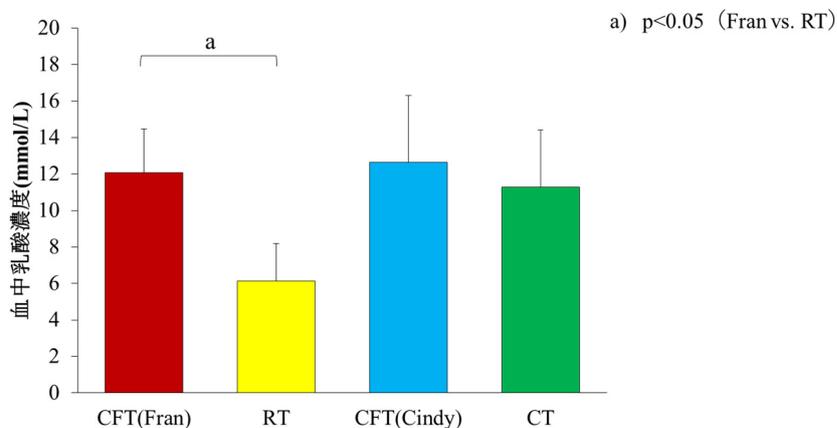


図 3. 各課題実施後における血中乳酸濃度の比較

### 4. 筋活動水準

図 4 は、各課題実施時において最も外側広筋の筋活動水準が高かった種目の値を比較したものである。Fran のスラスター (92.6 ± 18.4 %EMGmvc) と RT のバーベルバックスクワット (94.1 ± 18.9 %EMGmvc)、Cindy (56.2 ± 13.9 %EMGmvc) および CT の自重負荷スクワット (62.5 ± 5.6 %EMGmvc) の間に有意な差は認められなかった。一方、Fran と Cindy の比較では、Fran の方が Cindy よりも有意に高い水準を示した ( $p < 0.05$ )。

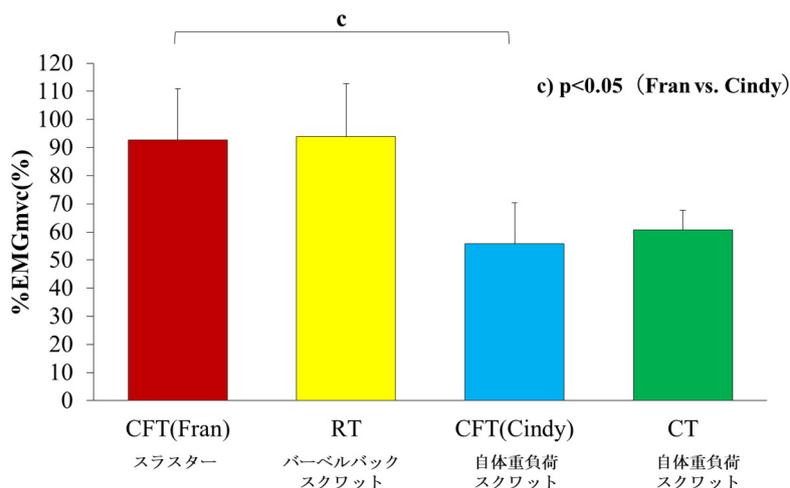


図 4. 各課題実施時における外側広筋の筋活動水準の比較

図 5 は、各課題実施時において最も広背筋の筋活動水準が高かった種目の値を比較したものである。Fran の懸垂 (63.3 ± 14.8 %EMGmvc) および RT のバーベルベントオーバーロウ (66.3 ± 20.8 %EMGmvc), Cindy (49.2 ± 16.4 %EMGmvc) および CT の懸垂 (48.4 ± 18.0 %EMGmvc), Fran および Cindy 懸垂のいずれの比較においても有意差は認められなかった。

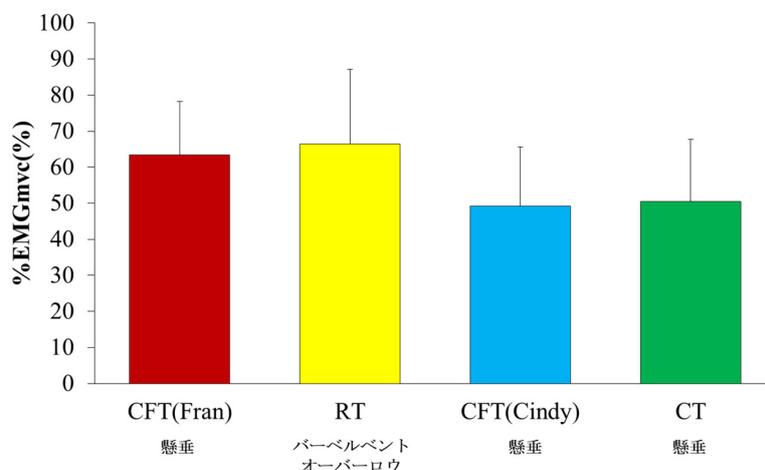


図 5. 各課題実施時における広背筋の筋活動水準の比較

図 6 は、各課題実施時において最も三角筋の筋活動水準が高かった種目の値を比較したものである。RT のオーバーヘッドプレス (82.9 ± 13.0 %EMGmvc) は Fran のスラスター (51.5 ± 13.8 %EMGmvc) と比較して有意に高い水準を示した ( $p < 0.05$ )。CT のパイク腕立て (47.1 ± 16.4 %EMGmvc) は Cindy の腕立て伏せ (20.0 ± 11.5 %EMGmvc) と比較して有意に高い水準を示した ( $p < 0.05$ )。また、Fran のスラスターは Cindy の腕立て伏せと比較して有意に高い水準を示した ( $p < 0.05$ )。

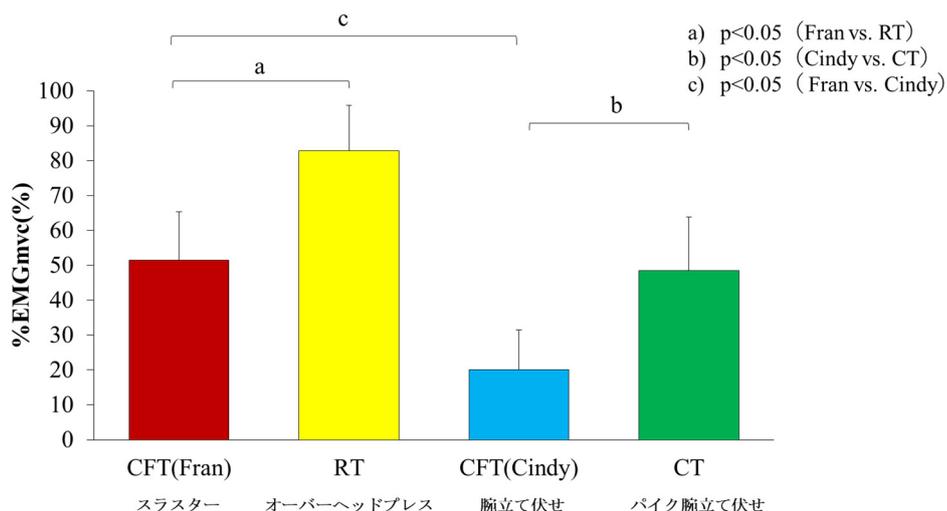


図 6. 各課題実施時における三角筋の筋活動水準の比較

図 7 は、各課題実施時において最も上腕二頭筋の筋活動水準が高かった種目の値を比較したものである。Fran の懸垂(51.8 ± 23.3 %EMGmvc)および RT のバーベルベントオーバーロウ(38.9 ± 29.6 %EMGmvc), Cindy(47.9 ± 16.5 %EMGmvc)および CT の懸垂(37.7 ± 26.9 %EMGmvc), Fran および Cindy の懸垂のいずれの比較においても有意差は認められなかった。

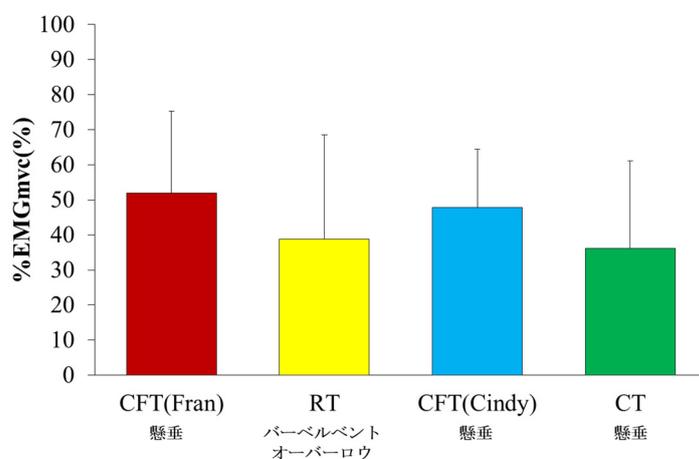


図 7. 各課題実施時における上腕二頭筋の筋活動水準の比較

#### 5. 各運動課題実施時の%HRR, BLa および筋活動水準からみた各課題の強度区分

表 3 は、各運動課題実施時の%HRR, BLa および筋活動水準からみた各課題の強度区分を色分けし(低強度・低水準: 白, 中強度・中水準: 橙, 高強度・高水準: 赤), 一覧にしたものである。

表 3. 先行研究に基づいて評価した各運動課題の強度区分

		外的負荷		自体重負荷	
		CFT(Fran)	RT	CFT(Cindy)	CT
%HRR (%)		高強度 60 %HRR ≤	中強度 40-59% HRR	高強度 60 %HRR ≤	高強度 60 %HRR ≤
BLa (mmol/L)		高強度 10 mmol/L ≤	中強度 4.0-9.9 mmol /L	高強度 10 mmol/L ≤	高強度 10 mmol/L ≤
%EM(Cmvc (%))	外側広筋	高強度 80 %MVC ≤	高強度 80 %MVC ≤	中強度 50-79 %MVC	中強度 50-79 %MVC
	広背筋	中強度 50-79 %MVC	中強度 50-79 %MVC	低強度 ≤ 49 %MVC	低強度 ≤ 49 %MVC
	三角筋	中強度 50-79 %MVC	高強度 80 %MVC ≤	低強度 ≤ 49 %MVC	低強度 ≤ 49 %MVC
	上腕二頭筋	中強度 50-79 %MVC	低強度 ≤ 49 %MVC	低強度 ≤ 49 %MVC	低強度 ≤ 49 %MVC

%HRR および BLa から見た運動強度では Fran, Cindy, CT が高強度に位置し, RT が中強度に位置していた. 筋活動水準から見た運動強度では, 外的負荷を用いる Fran および RT が外側広筋において高水準に位置していた. 広背筋では Fran と RT が中水準に位置し, Cindy と CT は低水準であった.

#### IV. 考察

本研究の目的は, CFT の代表的な種目である Fran および Cindy と, 従来から一般的なフィジカルトレーニングとして広く実施されてきた RT および CT の運動強度について, 心拍数, 血中乳酸濃度, 筋活動水準の視点からその違いや特性について明らかにすることであった.

##### 1. 各運動課題における有酸素性のエネルギー代謝に対する運動強度の特徴

CFT は「様々な運動種目を組み合わせ, それらを連続的に行う運動」と定義されており (Glassman et al., 2002), その運動強度は 90 %HRmax 程度であることが報告されている (Cialowicz et al., 2015; Eather et al., 2016; Kliszczewicz et al., 2015). 本研究で用いた Fran と Cindy は外的負荷の有無や運動形態 (For Time, AMRAP) が異なる 2 タイプの典型的な CFT 課題であったが, いずれも 80 %HRR (90 %HRmax に相当) であり, 先行研究と同等の値を示した. したがって, 使用する負荷重量の違いや運動形態は異なっているが, 休息を挟まずに全力で実施するという CFT の運動様式の特徴が反映されて, 有酸素性のエネルギー代謝に高い負荷をかけることができていると考えられる.

外的な負荷 (バーベル) を用いて行うトレーニングという意味では類似性のある Fran と RT を比較してみると, RT では 47.1 ± 11.6 %HRR 程度であり, Fran と比較して有意に低値を示した. 本研究の RT のような筋肥大型のレジスタンストレーニング形式は, 筋肥大を促すとともに, 筋持久力の向上が認められることは知られているが (崔ほか, 1998), 通常は有酸素性能力の向上を目的として実施することはない. 一方, Fran は 2 つの高負荷の運動種目を交互に実施することにより, 各種目の主働筋を交互に休

息させることができるため、運動強度を比較的高い状態で維持しながら運動を継続することができる。このような要因により、Fran は RT よりも有酸素性のエネルギー代謝が高い状態で運動ができていたと考えられる。

自体重負荷を用いて行うという意味で類似性のある Cindy および CT を比較したところ、%HRR に有意差は認められなかった。Cindy と本研究で採用した CT は、自体重負荷における運動種目という点では共通していたが、運動種目 (Cindy: 3 種目, CT: 8 種目)、運動時間 (Cindy: 10 分間, CT: 約 8 分間)、セット間の休息 (Cindy: 無し, CT: 15 秒間) などが異なっていた。本研究ではアメリカスポーツ医学会の指針のもとに CT の運動プロトコルを作成したが、休息時間が短かった (セット間に 15 秒) こともあり、結果として CFT と同等の運動強度となった可能性がある。なお、CT の先行研究を見ると、トレーニング内容および実施方法のバリエーションが多様であり (外的負荷の有無、運動・休息比率、など; Munoz-Martinez et al., 2017)、その運動に対する休息の比率が大きい場合などでは本研究よりも低い強度 (70%HRR 程度) で実施されているものもみられた (Skidmore et al., 2012; Ortego et al., 2009)。今後は、異なったタイプの CT との比較についても行う必要があると考えられる。

## 2. 各運動種目における無酸素性のエネルギー代謝に対する運動強度の特徴

本研究では、2 種類の運動タイプの異なる CFT、すなわち Fran と Cindy との間で比較したところ、いずれも 10mmol/L 以上の値を示し、両種目間で有意差は認められなかった。CFT は異なる種目を連続的に実施し、種目間に休息時間が設定されていないのが特徴である。ただし異なる主働筋の種目を連続して実施しているため、主働筋に対しては不完全であるものの休息時間が設けられていることになる。つまり活動筋単位で見るときには、不完全な休息を挟みながら高強度の運動を実施していることとなり、その運動形態は近年注目されている高強度インターバルトレーニング (High Intensity Interval Training: HIIT) と類似していると考えられる。

実際に、高強度インターバル運動後の BLa を測定した先行研究 (佐藤ほか, 2017, 2018; Buchheit and Laursen, 2013) の値を見ると、BLa はいずれも 10 mmol/L 以上の値を示していた。したがって、CFT は高い無酸素性のエネルギー代謝の運動負荷がかかる運動課題であると言える。加えて、%HRR でみられたのと同様に、Fran と Cindy の間で BLa に違いが認められなかったことから、負荷重量や運動形態の違い以上に、休息を挟まずに最大努力で実施する CFT の特徴が反映された結果であると考えられ、種目の組み合わせ方を変えた他の CFT 種目においても同様な傾向が認められる可能性がある。

Fran と RT を比較すると、Fran は  $12.1 \pm 2.4$  mmol/L、RT は  $6.1 \pm 2.1$  mmol/L であり、RT が有意に低値を示した。RT は筋肥大、筋力、筋パワーの向上を目的として実施され、無酸素性のエネルギー代謝系 (特に解糖系) の能力を向上させることを目的に実施されることは少ない。しかし、Fran が外的負荷を用いている点では RT と同様に筋力トレーニングの特性を有していると考えられる。したがって、Fran は RT の特性を有しながら、高い無酸素性のエネルギー代謝への負荷を身体に課することができる運動であったと言える。

Cindy と CT は自体重負荷における運動種目という点では共通しており、運動種目、運動時間、セット間の休息は異なっていたものの、課題間で有意な差は認められなかった。したがって、Cindy と本研究で設定したような CT のプロトコルは、考察の 1 で述べた有酸素性のエネルギー代謝に関する負荷と

同じく、無酸素性のエネルギー代謝に対しても高い負荷をかけることができている運動であったと言える。ただし前述のように、CT の先行研究を見るとそのバリエーションは多様であり(Munoz-Martinez et al., 2017), 前項の考察と同様に、本研究で実施した CFT よりも低い強度で実施されているものもある(8.6 ± 3.5 mmol/L; Ramos-Campo et al., 2017)。したがって、本研究では比較的類似した特性を持つ CFT と CT の比較であり、今後は異なったタイプの CT との比較についても行う必要があると考えられる。

### 3. 筋活動水準に対する CFT トレーニングの特徴

本研究では Tsaklis et al.(2015)が報告している筋活動水準からみた運動強度の目安値をもとに、筋活動水準からみた各運動課題の強度を評価した。その結果、Fran では外側広筋が高水準、広背筋、三角筋および上腕二頭筋が中水準を示し、Cindy では外側広筋が中水準、広背筋、三角筋および上腕二頭筋が低水準を示した(表 3)。

外的な負荷を用いる Fran と RT を比較したところ、三角筋でのみ有意差が認められた。Fran と RT では使用している重量が異なる(23.6 ± 3.5 kg vs 63.8 ± 15.6 kg)にもかかわらず、外側広筋、広背筋、上腕二頭筋の筋活動水準に有意差が認められなかったことは興味深い。この点に関して、Fran は最大努力で実施するという特性から、RT よりも動作速度が速く、それにより筋活動が増大していた可能性が考えられる。また、前述のように休息を挟まず連続的に運動を実施するという特性が関連してこのような結果となった可能性もある。代謝物が蓄積した状態で運動をした場合には筋活動水準が増加することが報告されており(Viitasalo and Komi, 1977; Cifrek et al., 2009), 本研究でも Fran は RT よりも代謝物(BLa)の蓄積が多い状態で運動課題を実施していたことから筋活動水準が増加し、重量が異なったとしても同等の筋活動水準を示していた可能性がある。

さらに、本研究における Fran の負荷重量はいずれの種目とも 60%1RM 未満であった。それにもかかわらず、今回対象とした全ての被検筋の筋活動水準が中水準(50 %EMGmvc)以上を示していた。この結果は、休息を挟まずに最大努力で連続的に実施するという CFT の特徴を反映したものと考えられ、筋力や筋持久力を向上させるために十分な筋への運動刺激になりうる運動課題であった可能性がある。

Cindy と CT の筋活動水準は両課題共に、外側広筋で中水準、広背筋、三角筋および上腕二頭筋で低水準であった。また、両課題の比較において三角筋で有意な差は認められたが、その値は低水準であった。したがって Cindy と CT は、HR や BLa からみた運動強度と同様に、筋活動においても類似した特性を有していたと考えられる。

Cindy と Fran を比較した場合には、自体重負荷のみで実施する Cindy では、広背筋、三角筋、上腕二頭筋の筋活動水準が低水準であった。Fran と Cindy は両種目とも最大努力で実施するという特徴から有酸素性および無酸素性のエネルギー代謝に対して同等の負荷を身体に課していたが、筋活動水準という点では異なった傾向を示した。したがって、外的な負荷を用いるか用いないかによって筋への運動刺激が異なっている可能性があると言える。

なお、本研究で比較した筋活動水準は、各運動課題において最も筋活動水準の高い種目の運動中での平均値を採用し、加えて同一の種目ではなく類似した動作様式の種目の値も含めて比較している。さらに、実際の各トレーニングの実践現場を想定して実施したために、扱う重量や動作速度が異な

っている(特に Fran と RT の比較). 今後は種目, 挙上重量, 動作速度など, 統一した条件下で各種目の筋活動水準の特性についても検討する必要がある.

#### 4. CFT のフィジカルトレーニングとしての利用方法の提案

近年, CFT はフィットネス業界で時間効率の良いトレーニング方法として注目を集めている. 本研究の課題の実施に要する時間をみると, Fran は 5 分程度, Cindy は 10 分, RT は 40 分程度, CT は 9 分程度であった. Cindy と CT は同程度の時間であったが, Fran ではそれよりも短く, 加えて Fran と RT では約 35 分もの違いがあった. したがって, CFT(特に Fran のような For Time のメニュー)は時間効率が良い部類のトレーニングであることが窺える.

これまでは, CFT の運動強度に関する生理学的な知見が不十分であったことから, 本研究では CFT における運動強度の特性を明らかにすることを試みた(表 3). その結果, CFT の中でも外的負荷を用いる Fran では, 循環器系(有酸素性能力)および無酸素性のエネルギー代謝, 筋活動における負荷の基準(Garber et al., 2011; Tsaklis et al., 2015)のいずれに対しても高強度の範囲に一致し, 身体に高い負荷がかかっていることが明らかとなった. また, 自体重で実施する Cindy では, 筋活動は大きくない(低~中強度)ものの, 有酸素性および無酸素性のエネルギー代謝への負荷は高強度に位置していた. したがって Fran と Cindy は, 全力で行うという意味では同じでも, 外的な負荷を用いるか否かによってその筋活動については影響を受ける可能性があると言える. これらの特性を踏まえ, CFT のフィジカルトレーニングとしての利用方法について提案する.

Fran のような外的負荷を用いて高いパワー発揮をする種目では, 短時間(4~5 分間程度)で繰り返し大きなパワー発揮が必要とされる種目のトレーニングに適している可能性がある. 例えば, 柔道のような相手の身体を動かしたり崩したりすることを短時間の間で繰り返す種目に有効である可能性がある. 加えて, 佐藤ほか(2017)は, 柔道競技の試合直後の BLa の値が 13mmol/L 程度であったことを報告しており, 本研究の Fran 実施後の BLa の値(12mmol/L)と近かった. Fran では RT と同様に筋活動水準も高く, 筋力トレーニングとして有効である可能性も予想されることから, 高いパワー発揮を繰り返し実施するようなラグビー, 柔道などの種目のフィジカルトレーニングとして実践現場で適用できる可能性がある.

Cindy のような自体重負荷を用いて中程度のパワーを中程度の時間(10~20 分程度)発揮し続ける種目では, 中~長時間繰り返しパワーを発揮することが必要となる種目のトレーニングに適している可能性がある. 特に, 本研究で実施した Cindy では 10 分間 80 %HRR 強度で運動するとともに, 運動後の BLa が 10 mmol/L 以上の値を示していたことは注目に値する. 加えて, CFT はレジスタンストレーニング種目を基本としたトレーニング構成となっているため, 身体接触のある種目(ルール上身体接触が許されなくとも身体接触が起こり得る種目)のトレーニングに適応しやすい可能性がある. すなわち, サッカーやバスケットボールのような身体接触があり, 中~長時間の間欠的なパワー発揮が必要な種目のフィジカルトレーニングとして実践現場で適用できる可能性がある. また, 身体接触が伴わなくとも, 間欠的にダッシュやジャンプを繰り返すような競技種目においても応用できる可能性がある.

次に, 本研究における Fran の完遂時間と Cindy の完遂したセット数の相関関係を検討したところ, 有意な負の相関関係が認められた( $r = -0.777$ ,  $p < 0.05$ ). 両種目では, 所要時間, 外的負荷の有無,

実施種目が異なるものの、複数種目を最大努力で実施するとともに、有酸素性および無酸素性のエネルギー代謝需要が高い(図 2, 図 3)という運動形態が CFT のパフォーマンスに影響を及ぼしていた可能性がある。本研究では CFT 中の 2 つの代表的な課題を対象として検討したが、実際には CFT の基準メニューは 30 種類以上あり、基準メニュー以外にも様々な組み合わせでトレーニングプログラムを作成することが出来る。Fran と Cindy の遂行能力に相関があるという性質を勘案すると、本研究で採用した Fran や Cindy 以外の CFT であっても有酸素性および無酸素性のエネルギー代謝に対しては同様に高い負荷を身体に課することができる可能性がある。ただし、Fran のような高重量を扱う種目ではその重量を上げられる筋力が備わっている必要があるなど考慮すべき点があることが考えられるとともに、実際にその他の CFT を対象に検討しているわけではないため推測の域を出ない。今後はそれらを明らかにすることが課題である。

また本研究では、有酸素性エネルギー代謝の指標として心拍数、無酸素性エネルギー代謝の指標として血中乳酸濃度、筋活動の指標として筋電図を用いた筋活動水準を、トレーニング効果を予測するための運動強度指標として用いたが、酸素摂取量や酸素借といった指標でエネルギー供給の状況の評価しているわけではないため、言及できる内容には限界がある。筋活動水準についても、それだけで筋力トレーニングの効果の大きさを予測するには限界がある。今後は実際にトレーニングを行い、その効果について検証することが必要である。

## V. まとめ

本研究では、CFT の代表的な種目である「Fran」および「Cindy」と、これまで広く実施されてきた RT および CT の 4 つのトレーニングメニューを対象に、心拍数、血中乳酸および筋活動から運動強度を比較し、CFT の特徴を明らかにすることを目的とした。

その結果、外的負荷を用いる Fran は、RT と同等の筋活動がありながら、有酸素性および無酸素性のエネルギー代謝系に対しては、RT よりも高い負荷がかかっていた。また、自体重負荷で実施する Cindy は CT と比較して有酸素性および無酸素性のエネルギー代謝系、筋活動のいずれにおいても大きな違いは認められなかった。

CFT の代表的な種目であるが対照的な運動負荷様式を持つ Fran と Cindy の比較では、筋活動においては外的負荷を用いる Fran が Cindy よりも高かったが、有酸素性および無酸素性のエネルギー代謝系には同等の負荷がかかっていた。

運動時間については、Fran が 5 分程度、Cindy が 10 分、RT が 40 分程度、CT が 10 分程度であり、特に Fran のような For Time 種目では時間効率が低いことも示された。これらの特性を考慮して CFT 種目を選択し、実施することで、筋力の強化、有酸素性および無酸素性のエネルギー代謝に対して同時に高い負荷をかけられる、時間効率の良いフィジカルトレーニングが実施できる可能性があることが示された。

## VI. 引用文献

- ・ Baechle T.R. and Earle R.W. (2008) Essentials of Strength and Conditioning. 3rd Edition. Human Kinetics. pp. 493-494.

- Bellar D., Hatchett A., Judge L.W., Breaux M.E., and Marcus L. (2015) The relationship of aerobic capacity, anaerobic peak power and experience to performance in CrossFit exercise. *Biol. Sport.* 32: 315-320.
- Buchheit M., and Laursen P.B. (2013) High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle. *J. Sports Med.* 43: 927-954.
- Butcher S.J., Judd J.B., Benko C.R., Horvey K.J., and Pshyk A.D. (2015) Relative intensity of two types of Crossfit™ exercise; Acute circuit and high-intensity interval exercise. *J. Fitness Res.* 4: 3-15.
- 崔鳥淵, 高橋英幸, 板井悠二, 高松薫 (1998)「パワーアップ型」と「バルクアップ型」筋力トレーニング手段のトレーニング効果の相違; 筋断面積, 筋力, 無氣的持久力に着目して. *体力科学.* 47: 119-130.
- Cialowicz M.E., Wojna J., and Jagiello Z.J. (2015) CrossFit™ training changes brain-derived neurotrophic factor and irisin levels at rest, after wingate and progressive tests, and improves aerobic capacity and body composition of young physically active men and women. *J. Physiol. Pharmacol.* 6: 1-13.
- Cifrek M., Medved V., Tonkovic S., and Ostojic S. (2009) Surface EMG based muscle fatigue evaluation in biomechanics. *Clin Biomech.* 24: 327-340.
- Claudino J.G., Gabbett T.J., Bourgeois F., Sa Souza H., Miranda R.C., Mezencio B., Soncin, R., Filho C.A.C., Bottaro M., Hernandez A.J., Amadio A.C., and Serrao C. (2018) Crossfit overview: systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 4: 1-14.
- Eather N., Morgan P.J., and Lubans D.R. (2016) Improving health-related fitness in adolescents; the CrossFit Teens™ randomized controlled trial. *J. Sports Sci.* 34: 209-223.
- Fernandez, J.F., Sabido-Solana, R., Moya, D., Sarabia, J.M., and Moya, M. (2015) Acute physiological responses during CrossFit workouts. *Eur. J. Hum. Mov.* 35: 114-124.
- Garber C.E., Blissmer B., Deschenes M.R., Franklin B.A., Lamonte M.J., Lee I.M., Nieman D.C., Swain D.P., and American College of Sports Medicine (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.
- Glassman G. (2002) What is fitness. *CrossFit J.* 10: 1-11.
- 八田秀雄 (2015) 乳酸を活かしたスポーツトレーニング. 講談社. pp. 6-8.
- Klika B, and Jordan C. (2013) High intensity circuit training using bodyweight; Maximum results with minimum investment. *ACSM's Health & Fitness Journal.* 17: 9-11.
- Kliszczewicz B., Quindry C.J., Blessing L.D., Oliver D.G., Esco R.M., and Taylor J.K.

- (2015) Acute exercise and oxidative stress; CrossFit™ vs. treadmill bout. *J. Hum. Kinet.* 47: 81-90.
- Lagally K.M., Robertson R.J., Gallagher K.I., Goss F.L., Jakicic J.M., Lephart S.M., McCaw S.T., and Goodpaster B. (2002) Perceived exertion, electromyography, and blood lactate during acute bouts of resistance exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34: 552-559.
  - Muñoz-Martinez F.A., Rubio-Arias J.A., Ramos-Campo D.J., and Alcaraz P.E. (2017) Effectiveness of resistance-based training for maximum oxygen uptake and upper-body one-repetition maximum improvements; A systematic review and meta-analysis. *J. Sports Med.* 47: 2553-2568.
  - Maté-Muñoz J.L., Lougedo J.H., Barba M., Cañuelo-Márquez A.M., Guodemar-Pérez J., Garcia-Fernández P., Lozano-Estevan M.C., Alonso-Melero R., Sánchez-Calabuig M.A., Ruiz-López M., Jesús F., and Garnacho-Castaño M.V. (2018) Cardiometabolic and muscular fatigue responses to different CrossFit® workouts. *J. Sports Sci. Med.* 17: 668-679.
  - Ortego A.R., Dantzer D.K., Zaloudek A., Tanner J., Khan T., Panwar R., Hollander D.B., and Kraemer R.R. (2009) Effects of gender on physiological responses to strenuous circuit resistance exercise and recovery. *J. Strength Cond. Res.* 23: 932-938.
  - Park S., and Yoo W. (2013) Comparison of exercises inducing maximum voluntary isometric contraction for the latissimus dorsi using surface electromyography. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 23: 1106-1110.
  - Ramos-Campo D.J., Rubio-Arias J.A., Dufour S., Chung L., Avila-Gandia V., and Alcaraz P.E. (2017) Biochemical responses and physical performance during high-intensity resistance circuit training in hypoxia and normoxia. *Eur J Appl. Physiol.* 117: 809-818.
  - 佐藤雄太, 森寿仁, 奥島大, 小山田和行, 藤田英二, 山本正嘉 (2017) 間欠的な全力ペ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.
  - 佐藤雄太, 森寿仁, 小山田和行, 藤田英二, 山本正嘉 (2018) 補助トレーニングとして行う自転車エルゴメーターを用いた高強度インターバルトレーニングは柔道競技に必要とされる持久力を向上させる. *スポーツパフォーマンス研究.* 10: 175-187.
  - 白木駿佑, 尾縣貢, 木越清信 (2018) 短時間高強度運動における運動強度とエネルギー供給比率との関係: 個人内変動に着目して. *体育学研究.* 63: 433-440.
  - Skidmore B.L., Jones M.T., Blegen M., and Matthews T.D. (2012) Acute effects of three different circuit weight training protocols on blood lactate, heart rate, and rating of perceived exertion in recreationally active women. *J. Sports Sci. Med.* 11: 660-668.

- ・ 下野俊哉 (2004) 表面筋電図マニュアル. 酒井医療株式会社. pp. 82-107.
- ・ Tanaka H., Monahan K.D., and Seals D.R. (2001) Age-predicted maximal heart rate revisited. *J. Am. Coll. Cardiol.* 37: 153-156.
- ・ 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. *J. Sports Med.* 26: 209-217.
- ・ Viitasalo, J.H.T., and Komi, P.V. (1977) Signal characteristics of EMG during fatigue. *Eur J. Appl. Physiol.* 37: 111-121.
- ・ 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.
- ・ Yoshida T., Chida, M., Ichioka, M., and Suda, Y. (1987) Blood lactate parameters related to aerobic capacity and endurance performance. *Eur. J. Appl. Physiol.* 56: 7-11.