

<研究論文>

# 心拍数，血中乳酸濃度，筋電図からみた クロスフィットトレーニング上級者の運動強度の特性 ～上級者1名と初心者7名の比較検討から～

イオアニス ヨルギオス フダラキス<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>立命館大学

<sup>3)</sup>鹿屋体育大学スポーツ生命科学系

## 論文概要

クロスフィットトレーニング (CFT) の上級者1名と初心者7名が代表的なCFT課題を実施した際の心拍数，血中乳酸濃度，および筋活動量を比較し，CFTに熟練した者の運動強度が初心者とどのように異なるかを検討した。対象種目はCFTの最も代表的な種目とされるFranおよびCindyとした。

その結果，上級者は両課題において，有酸素性（心拍数）および無酸素性（血中乳酸濃度）の運動強度が，初心者よりも高値（初心者の平均値+1SD以上）を示した。一方，筋活動水準は一部の項目を除き，ほとんどの項目で同等の値（初心者の平均値±1SD以内）を示した。

以上のことを考察した結果，CFTを継続して実施している上級者は，身体能力の向上に伴って発揮パワーの増加や休息時間が短縮され，有酸素性および無酸素性（特に解糖系の代謝）に対してより高い運動刺激を与えていることが示唆された。

**キーワード：**高強度トレーニング，レジスタンストレーニング，サーキットトレーニング，補助トレーニング

## I. 緒言

ラグビー，サッカーなどのスポーツや武道では，短時間で大きな筋力やパワーを発揮する無酸素性能力に加えて，長時間高いパフォーマンスを発揮し続けるための有酸素性能力など，多様な基礎体力が求められる。加えてこれらのスポーツでは，個人での技術練習やチームでの戦術に関する練習も実施する必要がある。これらにも多くの時間を費やす必要がある。したがって，個々の基礎体力については短時間で無酸素性ならびに有酸素性能力を同時に向上させられるような補助トレーニング方法が求められている。

この点に注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) がある。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，それらを連続に行う運動」と定義されている (Glassman et al., 2002)。そして先行研究では，時間効率が良いことや，筋力の向上に限らず有酸素性能力や無酸素性能力の向上にも効果的であることが多数報告されている (Cialowicz et al. 2015; Borrás et al., 2016; Muñoz et al., 2018)。

CFTのカテゴリーには2種類がある。一つは，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」と呼ばれる。もう一つは、複数種目で構成されたセット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)」と呼ばれる。

For Time, AMRAPともに最大努力で運動を実施する特性をもつことから、トレーニング適応が起こるに連れて、仕事量や発揮パワーが大きく変化することになる。これらの変化は、有酸素性、無酸素性および筋活動量に影響し、運動負荷に変化をもたらしている可能性があるが、この点については先行研究では検討されていない。

そこで本研究は、トレーニングの熟練にともなって運動強度がどのように変化しているかについて示唆を得ることを目的とし、日常的にCFTを実施し熟練しているCFTの上級者1名と、初心者7名を対象として、CFTの代表的な2つの種目を実施した際の運動強度の特性を比較した。

## II. 方法

### 1. 対象者

対象者は、CFTの上級者1名と、初心者7名であった。前者は週に5回程度CFTを実施している男子大学院生1名（年齢：32歳；身長：168.5cm；体重：82.0kg）で、CFT競技歴3年、CrossFit™レベル1資格を保有していた。後者は体育大学に所属し定期的な運動習慣のある男子大学生および大学

院生7名（年齢：25±4歳；身長：172.9±5.7cm；体重：69.6±9.6kg）であった。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対して、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、実験参加の同意を得た上で実施した。

### 2. 運動プロトコル

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種目を対象として検討した。

Franは、スラスターおよび懸垂を、種目間に休息を挟まず、交互に3セット、出来る限り早く実施するメニューである（図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。スラスターは、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、懸垂は鉄棒にぶら下がり、自体重を用いて顎が鉄棒に届くまでの範囲で身体を上昇させた。

スラスターの挙上重量は、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を考慮した結果、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。なお、スラスターは実施動作が習熟していない者の場合には1RM測定に危険が

- Fran: 決められた種目、回数をできる限り早く実施(For Time形式)



- Cindy: 10分以内にできる限り多くのセットを実施(AMRAP形式)

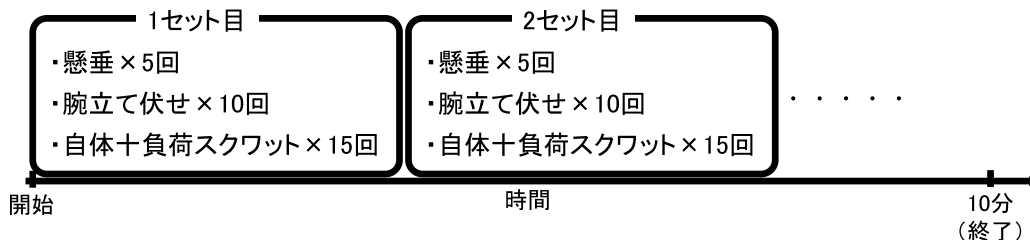


図1. FranおよびCindyの実施概要

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。

Cindyは, 懸垂を5回, 腕立て伏せを10回, 自体重負荷スクワットを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(図1)。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。

なお初心者については, 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上級者(CrossFit™レベル1トレーナーの資格を保有)によるトレーニング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。

### 3. 測定項目

各課題の実施時における有酸素性の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, 各課題の実施中の心拍数を1秒ごとに計測した。各課題実施時の平均心拍数を対象者の年齢から推定されるHRmax( $208 - 0.7 \times$ 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, %心拍予備能(%HRR =  $(HR_{ex} - HR_{rest}) / (HR_{max} - HR_{rest}) \times 100$ )で表した。

各運動課題の実施による無酸素性(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, 自動乳酸分析装置(Lactate Pro2, Arkray社製)を用いて血中乳酸濃度(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。

各運動課題中の筋活動量は無線筋電図装置(WEB7000, Nihon Kohden社製)を用いて測定した。各種目の動作中の主動筋である4つの筋群(外側広筋, 広背筋, 三角筋, 上腕二頭筋)を被験筋とし, 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, 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

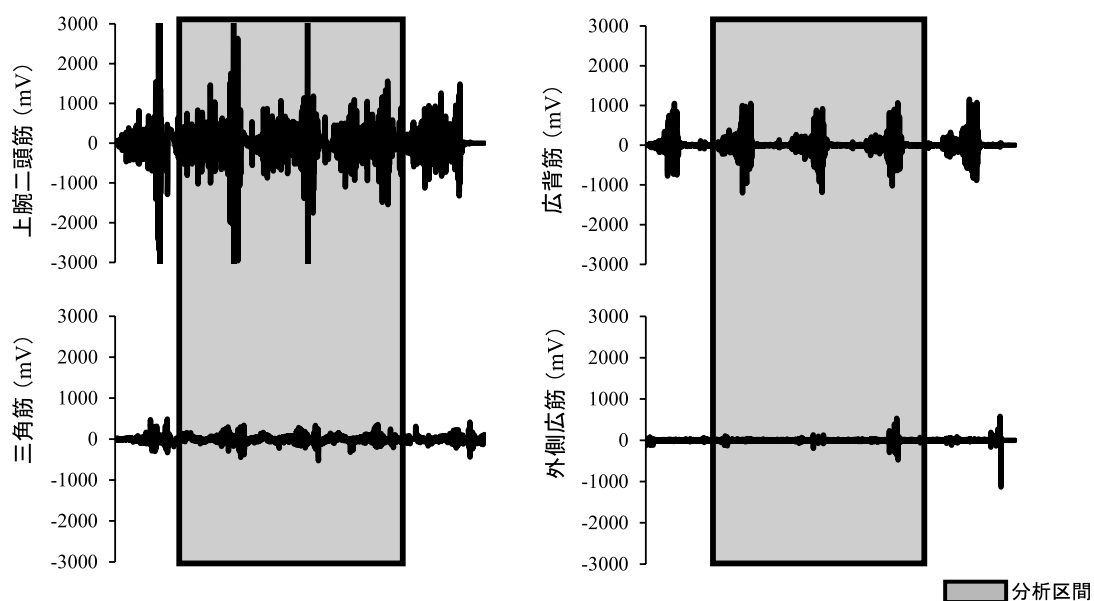


図2. 筋活動水準の分析方法 (Cindyの懸垂実施における分析例)

表 1. FranおよびCindy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

課題	種目	a.外側広筋	b.広背筋	c.三角筋	d.上腕二頭筋
Fran	スラスター	○		○	
	懸垂		○		○
Cindy	懸垂		○		○
	腕立て伏せ			○	
	自体重負荷スクワット	○			

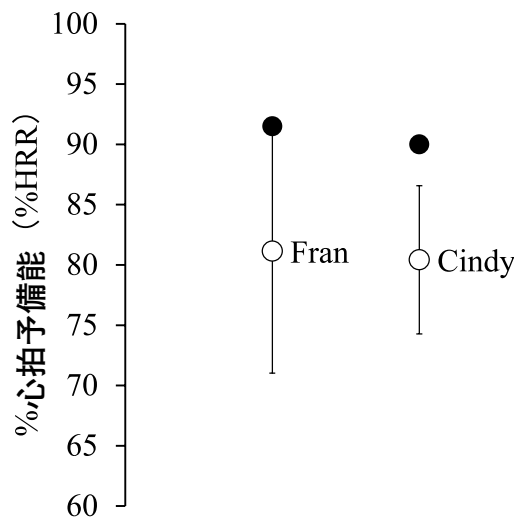


図 3. FranおよびCindy実施時の%心拍予備能の値 (○: 初心者の値, ●: 上級者の値)

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 (WEB1000/7000. Nihon Kohden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, (EMGex/EMGmvc×100) 筋活動水準 (% EMGmvc) で示した。各筋のEMGmvcの測定は, 先行研究で (Park and Yoo, 2013; Ahamed et al., 2015) 実施されている姿勢で, いずれの試技に

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。

各運動課題における筋活動水準の代表値は, 各課題実施時において最も筋活動水準が高値を示した種目の値を採用した。各課題における各筋群の筋活動水準の評価に用いた代表種目の一覧を表1に示した。

#### 4. データの解析

測定値は, 全て平均値±標準偏差 (SD) で表した。上級者と初心者の値を比較する際には, 上級者の値が初心者7名の平均値±1SDよりも高値または低値を示しているかを基準とした。

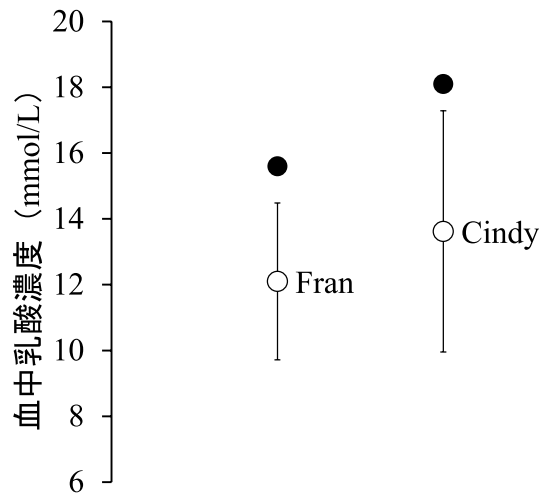


図4. FranおよびCindyの実施時の血中乳酸濃度の値 (○: 初心者の値, ●: 上級者の値)

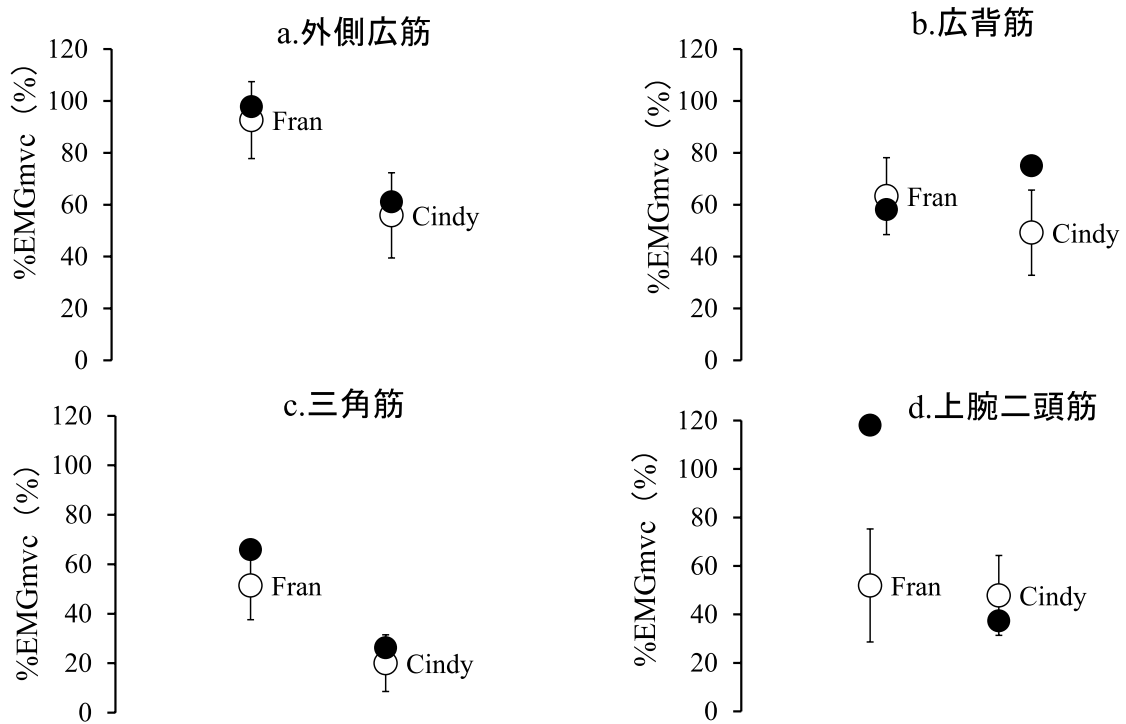


図5. FranおよびCindy実施時の外側広筋, 広背筋, 三角筋, 上腕二頭筋の筋活動水準の値 (○: 初心者の値, ●: 上級者の値)

### Ⅲ. 結果

Franの課題完遂時間は初心者で4分35秒±1分35秒, 上級者で2分45秒であった。Cindyの課題終了時間までに完遂したセット数は初心者で9±3セット, 上級者は14セットであった。

図3は, 初心者および上級者の各課題実施時における平均心拍数から計算した% HRRを示している。なお, グラフは各課題実施時における初心者7名の

平均値を示し, 上級者1名の値を個人値として図内に示した(以下の図も同様)。その結果, Cindyにおいて上級者は1SD以上の高値を示し, Franでも1SD程度の高値を示していた。

図4は, 初心者および上級者の各課題実施後におけるBLaを示している。FranおよびCindyのいずれの種目においても, 上級者が初心者と比較して1SD以上の高値を示した。

図5-aは各CFT課題実施時において、初心者および上級者の外側広筋の筋活動水準が最も高かった種目(表1)の値を示したものである。上級者の値は、いずれの種目においても初心者と比較して1SD以内に位置していた。

図5-bは各課題実施時において、初心者および上級者の広背筋の筋活動水準が最も高かった種目(表1)の値を示したものである。上級者の値は、Cindy実施時において初心者と比較して1SD以上高い値を示したが、Fran実施時には1SD以内の差であった。

図5-cは各課題実施時において、初心者および上級者の三角筋の筋活動水準が最も高かった種目(表1)の値を示したものである。上級者の値は、いずれの種目においても初心者と比較して1SD以内の差であった。

図5-dは、初心者および上級者の上腕二頭筋の筋活動水準が最も高かった種目(表1)の値を示したものである。上級者の値は、Fran実施時において、初心者と比較して1SD以上高い値を示したが、Cindy実施時には1SD以内の差であった。

#### IV. 考察

##### 1. CFT上級者における運動強度の特性

本研究では、日常的にCFTを実施している上級者1名がCFTを実施した時の運動強度を、本格的にCFTを実施していない初心者が同様の種目を行った際の運動強度と比較した。そしてその特性を明らかにすることにより、CFTを継続して実施している上級者の運動強度の特性について示唆を得ることを目的とした。

2種類のCFT種目の所要時間や実施セット数を上級者および初心者で比較したところ、Franでは上級者が2分45秒で完遂したのに対し、初心者では4分35秒±1分35秒と平均で約1分50秒もの違いが認められた。CFT上級者の完遂時間は、Franを実施している先行研究(Eather et al., 2013)の所要時間が5分51秒±1分50秒であることと比較しても、上級者は短時間で課題を完遂していた。

Cindyについては、上級者が14セット実施できた

のに対し、初心者では9±3セットであり、平均で5セット少なかった。また、この値はCindyを実施しているいくつかの先行研究(8.9±1.8セット, Kliszczewicz et al., 2014; 9.8±1.3セット, Muñoz et al., 2017; 11.7±1.9セット, Muñoz et al., 2018)の実施セット数と比較しても、本研究の上級者の実施セット数の方が多かった。この結果から、本研究で対象とした上級者はCFTに熟練し、十分に鍛錬された者であったことが窺える。

これらの結果を踏まえ、各課題時の% HRR, BLA, 筋活動水準を上級者と初心者とで比較すると、上級者はFran実施時において、BLAおよび上腕二頭筋の% EMGmvcが1SD以上高値を示し、% HRRも1SD程度高値を示した。また、Cindy実施時において% HRR, BLA, 広背筋の% EMGmvcが1SD以上高値を示した。

上級者は初心者と比較してFranおよびCindyの成績(完遂時間および実施回数)が著しく高値を示しているが、これは単位時間内に高い筋力およびパワーを発揮し、より多くの仕事をこなしていたことによるものと考えられる。また、このような高いパフォーマンスを発揮するためには、CFT中の各種目間の休息を少なくし、できるだけ連続して実施する必要がある。したがって、上級者はCFTの継続により、運動中のパフォーマンスが向上するとともに休息時間が短縮し、それによって有酸素性(% HRR)および無酸素性(BLA)のエネルギー代謝に対して高い運動負荷がかかっていた可能性がある。

また、本研究では実際の課題実施中の時間および休息時間を実測していないためその詳細については不明である。しかし、CFTは休息時間を意図して設けずに連続して実施するというトレーニングであるという特性を踏まえると、休息時間の短縮よりも運動パフォーマンスの向上が有酸素性および無酸素性の運動強度に対して影響していた可能性が高いと推察される。

筋活動水準からみた運動強度は、一部の筋(Franの懸垂中の上腕二頭筋, Cindyの懸垂中の広背筋)で1SD以上の差がみられたが、ほとんどの筋で違

いは認められなかった。本来、発揮筋力が高まれば、筋活動量も多くなることが予想される。しかし、前述のような単位時間あたりの仕事量の増加、すなわち発揮筋力の違いが筋活動水準には直接的に現れていなかったことになる。

この点に関して、本研究では初心者に対して4週間の事前の実施動作の練習期間を設けて本実験を実施していたが、上級者と初心者とは実質的な実施動作が異なっていた可能性もある。特に懸垂については、上級者では自体重を上方に持ち上げる際に反動動作を用いて実施しており、使用する活動筋群が異なっていた可能性がある。それに関して、トレーニング時の動作の変化自体もトレーニングの継続による変化と考えることもできるが、筋活動水準の変化を純粹に比較する場合には実施者の動作の違いが影響しにくい動作種目で比較するか、縦断的なトレーニング介入による筋活動水準の変化をみる必要がある。

加えて、本研究ではFranのスラスタ以外は自体重負荷を用いて実施する種目であり、対象者の筋力レベルの違い、すなわち相対的な負荷が必ずしも統一されていなかった。このことも本研究の筋活動水準の違いに影響している可能性が高く、これらの点は今後解決すべき課題と言える。

## 2. 現場への応用と今後の課題

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されている。しかし、CFTを継続して実施することによる運動負荷の変化については不明な点が多かった。この点に関して本研究の結果からは、トレーニングの継続による熟練の過程で、筋活動水準には大きな変化が認められない一方で、有酸素性および無酸素性（解糖系のエネルギー代謝系）に対する運動負荷は高まる傾向が認められた。したがって、CFTを継続することにより、有酸素性能力や無酸素性能力に対してより大きなトレーニング効果が見込めると考えられる。

なお、本研究で対象としたCFTの上級者は1名であり、すべての上級者において同様の現象が認め

られるとは限らない。今後は複数の上級者を対象として、さらに検討する必要がある。また、初心者は運動習慣を有する体育大学生であったが、競技レベルの高いスポーツ選手ではなかった。CFTの経験を有していなくとも、競技レベルの高いスポーツ選手であれば、上級者と同様に有酸素性および無酸素性のエネルギー代謝に対して高い運動負荷を与えられる可能性もあることから、この点も今後の検討課題と言える。

また、本研究はCFTの上級者と初心者を比較した横断的研究である。今後は、初心者がこのトレーニングを長期間実施して熟練していく過程で、運動強度がどのように変化するのか、またどのようなトレーニング効果が現れるのかについても検討する必要があると言える。

## V. まとめ

クロスフィットトレーニング (CFT) の上級者1名と初心者7名が、2種類の代表的なCFT課題を実施した際の心拍数、血中乳酸濃度、筋活動量を比較した。その結果、上級者における有酸素性（心拍数）および無酸素性（血中乳酸濃度）の運動強度は、初心者よりも高値を示す傾向を示した。一方、筋活動水準はほとんどの項目で同等の値を示した。以上のことから、CFTを継続して実施している上級者は、有酸素性および無酸素性（特に解糖系の代謝）に対して、より高い運動負荷をかけることができていることが示唆された。

## VI. 引用文献

- ・ Ahamed, N. U., Ahmed, N., Alqahtani, M., Altwijri, O., Ahmad, B. and Sundaraj, K.: Investigation of the EMG-time relationship of the biceps brachii muscle during contractions. *J. Phys. Ther. Sci.*, 27: 39-40, 2015.
- ・ Borrás, P.A., Herrera, J. and Ponseti, F.J.: Effects of CrossFit™ lessons in physical education on the aerobic capacity of young students. *J. Phys. Edu. Health*, 6: 5-11, 2017.
- ・ Cialowicz, M. E., Wojna, J. and Jagiello, Z.J.:

- 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, 2015.
- Eather, N., Morgan, P. J. and Lubans D. R.: Improving health-related fitness in adolescents: the CrossFit teens randomized controlled trial. *J. Sports Sci.*, 34: 209-223, 2016.
  - Glassman, G.: What is fitness. *CrossFit™ J.*, 10: 1-11, 2002.
  - Kliszczewicz, B., Snarr, R. L. and Esco, M.: Metabolic and cardiovascular response to the CrossFit™ workout 'Cindy'; a pilot study. *J. Sport Human Perf.*, 2(2): 1-9, 2014.
  - Martinez-Muñoz, F. A., Rubio-Arias, J. A., Ramos-Campo, D. J. and Alcaraz, PE.: 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, 2017.
  - 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.: Cardiometabolic and muscular fatigue responses to different CrossFit® workouts. *J. Sports Sci. Med.*, 17: 668-679, 2018.
  - Park, S. and Yoo, W.: Comparison of exercises inducing maximum isometric voluntary contraction for the latissimus dorsi using surface electromyography. *J. Electromyogr. Kinesiol.*, 23: 1106-1110, 2013.
  - 下野俊哉： 表面筋電マニユアル; 基礎編. 酒田医療, 東京, pp. 82-107, 2004.
  - Tanaka, H., Monahan, K. D. and Douglas R. S.: Age-predicted maximal heart rate revisited. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 37: 153-156, 2001.