

## 大学レスリング選手による間欠的高強度運動時の機械的パワー発揮と 生理学的運動強度に関する事例研究

### A Case Study on Mechanical Power Output and Physiological Intensity during High Intensity Intermittent Exercise by Collegiate Wrestlers

和田 貴 広, 藤 戸 靖 則, 山 本 智 貴, 平 野 智 也, 船 渡 和 男

Takahiro WADA, Yasunori FUJITO, Tomoki YAMAMOTO  
Tomoya HIRANO and Kazuo FUNATO

#### ABSTRACT

The purpose of this study was to compare the differences in mechanical power and physiological intensity during high intensity intermittent exercise on a bicycle ergometer by wrestlers of different performance levels. Three members of a collegiate wrestling team participated in (1) incremental load test to determine aerobic work capacity ( $VO_{2max}$ ), (2) a maximal anaerobic power test and a 90 second Wingate test to determine anaerobic work capacity, and (3) high intensity intermittent exercise (20 sec  $\times$  8 sets, 170%  $VO_{2max}$ ) on a bicycle ergometer. Bicycle ergometer was used for all the tests. Mechanical power output, oxygen uptake, and heart rate were measured during all tests. Oxygen uptake and heart rate were recorded over time during the recovery period only after the completion of high intensity intermittent exercise. As a result, the ratio of power output of each athlete was calculated. Athlete A was able to perform at least 100% until the third set, B the fourth set, and C the third set. The average power of A (6.3 W/kg) and B (5.7 W/kg) tended to be higher than that of C (4.3 W/kg). Athlete B (9.6 ml/kg/min) had the lowest oxygen uptake at 2 min post-exercise, while A (12.8 ml/kg/min) and C (12.8 ml/kg/min) showed no significant differences. Athletes with superior anaerobic and aerobic work capacity among wrestlers did not exhibit higher mechanical power output during high intensity intermittent exercise, and athletes with superior wrestling athletic performance tended to have smaller repetitions of high intensity intermittent exercise and smaller reduction rates during exercise.

*Key words: Wrestling, High intensity Intermittent exercise, Physiological intensity*

## I. 緒 言

レスリング競技は技を掛け合い獲得したポイントを取り競い合う競技である。技のポイント獲得するためにはパワー、スピードおよびテクニックが重要な競技であり、異なる競技成績におけるレスリング選手の体力測定を行った研究において、優れている選手は最大筋力、筋パワー、無酸素性パワーと能力の絶対的および相対的に高いことが報告されている<sup>1)</sup>。競技時間は3分間の運動、30秒の休息×2setで行われ、試合時の生理学的運動強度は80%HRmax以上の高強度運動によって行われている<sup>2)</sup>。そのため、高い筋力発揮を維持する能力が必要であることがわかる。しかし、対戦相手が変わる競技であるため、正確に選手の能力を定量化することは難しく、選手のパフォーマンス評価やトレーニングの設定などはコーチの経験によって判断されることが現状である。この問題はレスリング競技のみではなく、他の格闘技種目(柔道や空手など)においても類似した傾向にある。そのため、競技に必要な高いパワー発揮やパワー発揮を維持する能力といった体力的な観点から選手の評価をすることによって客観的に選手のパフォーマンスを評価することができるのではないかと考えた。

レスリング競技と類似したレスリングの投げ込み運動(3分間、30秒休息×2set)において、競技能力が優れている選手は劣っている選手より、投げ込み回数、運動終了5分後の心拍数の減少率が大きかったことを報告している<sup>3)</sup>。しかし、この研究では実施した際の仕事量を定量化することは難しくトレーニングを行う際の負荷設定を行うことが難しい。したがって、簡易的に仕事量の定量化が可能となる自転車エルゴメーターによって間欠の高強度運動を行った際の機械的パワー発揮および生理的運動強度から選手の体力評価を行うことを考えた。そこで、本研究の目的は、異なるレスリング競技選手が自転車エルゴメーターによる間欠の高強度運動中の機械的パワー発揮および

生理的運動強度の違いを比較し、レスリング競技の能力評価に適した変数を明らかにする。仮説として、レスリング競技能力が優れている選手は、一般的な体力テストにおいては大きな違いはないが、自転車エルゴメーターの間欠の高強度運動においても反復回数が多い傾向を示すと考えた。

## II. 方 法

### A. 対象者

対象者は、大学レスリング部に所属する男子レスリング選手3名(年齢:21±1歳、身長:167±1cm、体重:70±2kg)を対象とした。対象者には予め本研究の趣旨、内容を説明し、実験参加の同意を得た。なお、本研究は、国土舘大学倫理審査委員会(承認番号 第22028号)の承認を得て実施した。

### B. 実験デザイン

全対象者は、4日間の実験に参加した。第1日目に有酸素性作業能力であるLactate Threshold(LT)、Onset of Blood Lactate Accumulation(OBLA)、ピーク時のパワー時の酸素摂取量( $VO_2$ )および心拍数(HR)を計測するために、ラクテートカーブテストを行った。第2日目に無酸素性能力であるATP-PCr系の能力を求めるために最大無酸素パワーテストを行った。第3日目に無酸素性能力である解糖系の能力を求めるために90秒間Wingateテストを行った。第4日目にレスリング競技と類似した運動である間欠の高強度運動を行った。間欠の高強度運動においては、ワットバイク(wattbike、日本サイクス社製、日本)にて行い、その他の試技では電磁式自転車エルゴメーター(powermax、COMBI社製、日本)にて行った。

### C. 実験プロトコル

#### 1. 有酸素性作業能力の測定

対象者はラクテートカーブテストを行い、有酸

素性作業能力を測定した。測定項目は血中乳酸値が2mmol/L時であるLT、4mmol/L時であるOBLA時のパワー、VO<sub>2</sub>およびHR、最大パワー、最大酸素摂取量 (VO<sub>2max</sub>)、最高血中乳酸値を求めた。試技は初期負荷設定が150Wから2分毎30Wの漸増を行い、疲労困憊まで行った。回転数は60rpmにて行った。血中乳酸は血中乳酸測定機 (ラクテートpro2、アークレイ社製、日本) によって各ステージの終末30秒時に耳朶より採血し、主観的運動強度 (RPE: Rated Perceived Exertion)<sup>4)</sup> を対象者に提示し指で示すよう指示した。運動時は、呼気ガス分析器 (AE-310s、ミナト医科学社製、日本) および心拍数計 (V800、Polar、フィンランド) を選手に装着し、VO<sub>2</sub>およびHRを計測した算出されたVO<sub>2</sub>は30秒毎に平滑化した。VO<sub>2max</sub>の定義については参考文献を参考にし<sup>5)</sup>、①酸素摂取量のプラトー現象②年齢から推定される最高心拍数 (最高心拍数=220-年齢) が、1分あたり最高心拍数±10 bpmに達していること③呼吸交換比が1.0から1.5以上④RPEが19または20。これらの指標の中から4つ以上満たしものをVO<sub>2max</sub>の出現条件と定義し、得られたVO<sub>2</sub>を30秒毎に平均化し最大値をVO<sub>2max</sub>と定義した。また、血中乳酸濃度の最大値は運動終了直後、1分後、3分後、5分後に耳朶から採取し、その最大値 (La<sub>max</sub>) を計測値として記録して採用した。

## 2. 最大無酸素パワーテスト (MAnP)

対象者は最大無酸素パワーテストおよび90秒間Wingateテストを行い、無酸素性作業能力を計測した。最大無酸素パワーテストの試技は、10秒間全力ペダリング、2分休息を3Set行った。Setごとに自転車の負荷を増加させ行った (自転車の負荷は、初期負荷が体重、2set目以降は、前のsetの回転数によって負荷を決定した)。

## 3. 90秒間Wingateテスト

Wingateテストの試技は、スタート合図から90秒間全力ペダリングを行った。負荷は体重の75%とした。測定項目は90秒間の平均パワー

(Mean power)、最高パワー (Peak power)、運動時の最高酸素摂取量 (Peak VO<sub>2</sub>) を計測した。また、90秒間all-out時の終末10秒間が有酸素性作業能力の指標であるCritical power (理論上エネルギーが枯渇しない限り発揮し続けることができるパワーである) と類似した値となる報告があるため<sup>6)</sup>、本研究において、終末10秒間の平均パワー (End power) を求めた血中乳酸濃度の最大値は運動終了直後、1分後、3分後、5分後に耳朶から採取し、その最大値 (Peak La) を計測値として記録して採用した。

## 4. 間欠の高強度運動におけるパワー発揮の測定

本試技では先行研究を参考<sup>2)</sup> にし、格闘技の特異的な競技時間と同様の運動時間にするため、全力ペダリングを20秒、休息を10秒間×8本とし、運動終了後5分間を座位姿勢による回復過程を記録した。運動強度は170%VO<sub>2max</sub>にて行った。運動時は自転車エルゴメーターのパワー発揮を1Hzごとに、VO<sub>2</sub>を1breathごとに計測した。計測されたVO<sub>2</sub>は3breathごとに移動平均を行い、平滑化を行った。また、VO<sub>2</sub>およびHRは運動初期から運動終了後の回復過程まで経時的に計測した。運動終了後の急速なVO<sub>2</sub>およびHRの減少 (fast component) が約1-2分間であるという先行研究<sup>7)</sup> を参考にし、運動2分後のVO<sub>2</sub>を記録した。

## Ⅲ. 結 果

表1にはラクテートカーブテスト、MAnPおよび90秒間Wingateテストの結果を示す。有酸素作業能力を求めるために行ったラクテートカーブテストの結果において、低強度にあたるLT、OBLA時のパワー発揮は、B選手 (LT:147W、OBLA:202W) が最も高く、A選手 (LT:134W、OBLA:188W)、C選手 (LT:139W、OBLA:188W) はあまり変わらない傾向を示した。また、高強度にあたるVO<sub>2max</sub>およびVO<sub>2max</sub>時のパワー発揮の結果は、A選手 (VO<sub>2max</sub>:54.9ml/kg/min、パワー:275W) が最も高く、B選手 (VO<sub>2max</sub>:47.0ml/

表1 各選手の体力測定値の結果

項目	単位	A選手	B選手	C選手
Power@LT	W	134	147	139
Power@OBLA	W	188	202	188
Power@Max	W	275	257	228
VO <sub>2max</sub>	ml/kg/min	54.9	47.0	48.3
La <sub>max</sub>	mmol/L	15.4	10.2	7.1
MAnP	W	865	831	833
MAnP	W/kg	12.5	12.2	11.6
peak VO <sub>2</sub>	ml/kg/min	56.8	49.4	49.1
peak La	mmol/L	15.6	13.5	12.6
Mean power	W	416	355	406
Mean power	W/kg	6.0	5.3	5.6
Peak power	W	751	738	829
Peak power	W/kg	10.9	11.0	11.5
End power	W	257	231	260
End power	W/kg	3.7	3.4	3.6

kg/min、パワー：257W）とC選手（VO<sub>2max</sub>：48.3ml/kg/min、パワー：228W）はあまり変わらない傾向を示した。無酸素作業能力（ATP-PCr系）であるMAnPはA選手（12.5W/kg）、B選手（12.2W/kg）がC選手（11.6W/kg）よりも少し高い傾向を示した。また、無酸素作業能力（解糖系）である90秒間Wingateテストの結果において、平均パワーはA選手（6.0W/kg）が最も高く、B選手（5.3W/kg）、C選手（5.6W/kg）はあまり変わらない傾向を示した。さらに、ピークパワーは、C選手（11.5W/kg）が最も高く、A選手（10.9W/kg）、B選手（11.0W/kg）はあまり変わらない傾向を示した。また、終末10秒間の平均パワーは、選手間で大きな違いはない傾向を示した（A選手：3.7W/kg、B選手：3.4W/kg、C選手：3.6W/kg）。また、peak VO<sub>2</sub>においては、VO<sub>2max</sub>に対して全選手が100%VO<sub>2max</sub>以上であった。

図1には間欠的高強度運動中の各選手のパワーの時系列変化を示し、図2には間欠的高強度運動中の各選手の目標パワーに対するパワーの相対値の時系列変化を示す。本研究の対象選手の平均パ

ワーは、A選手（6.3W/kg）とB選手（5.7W/kg）がC選手より（4.3W/kg）高い傾向を示した。また、1set目のパワーに対しての終末のパワーは、B選手（89.5%）がA選手（72.0%）とC選手（68.8%）より高い傾向を示した。また、本研究における間欠的高強度運動の負荷は170%VO<sub>2max</sub>に設定した。その設定した負荷に対して、各選手のパワーの比率を算出した結果、A選手が3set目、B選手が4set目、C選手が3set目まで100%以上で行えた。

図3には間欠的高強度運動中の各選手の酸素摂取量および心拍数の時系列変化を示す。

間欠的高強度運動中のVO<sub>2</sub>およびHRは、A選手が44.0ml/kg/min、B選手が49.7ml/kg/min、C選手が45.9ml/kg/minであった。各選手VO<sub>2max</sub>に対して、A選手が80%VO<sub>2max</sub>、B選手105%VO<sub>2max</sub>、C選手は95%VO<sub>2max</sub>であった。

図4には間欠的高強度運動後の酸素摂取量と心拍数を示す。本研究では間欠的高強度運動後の回復過程を明らかにするため、運動終了後のVO<sub>2</sub>およびHRを経時的に計測した。その結果、運動終

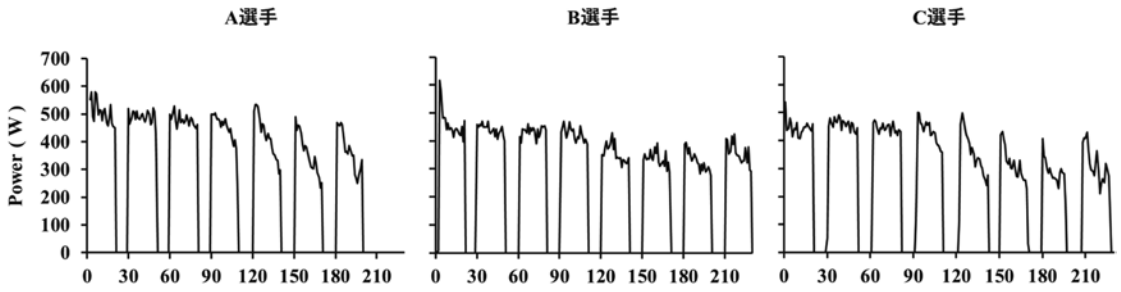


図1 間欠的高強度運動中の各選手のパワーの時系列変化

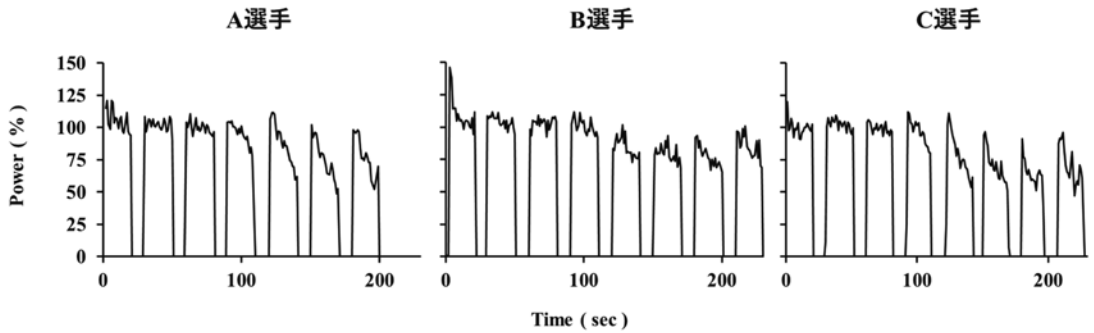


図2 間欠的高強度運動中の各選手の目標パワーに対するパワーの相対値の時系列変化

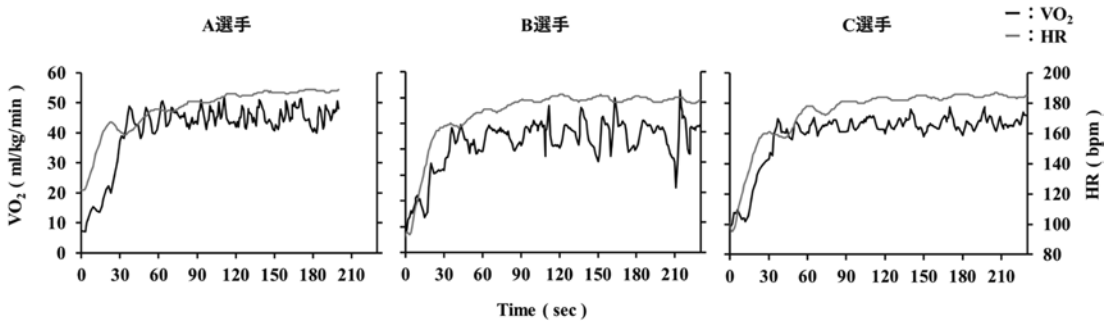


図3 間欠的高強度運動中の各選手の酸素摂取量および心拍数の時系列変化

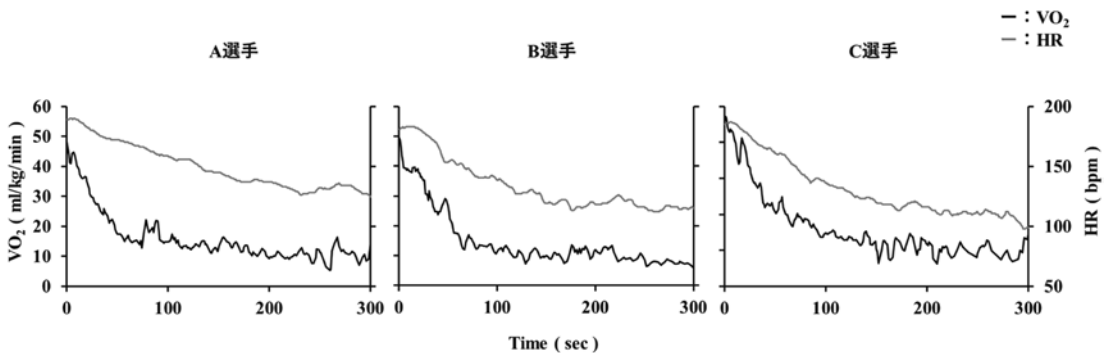


図4 間欠的高強度運動後の酸素摂取量と心拍数

了2分後のVO<sub>2</sub>はB選手(9.6ml/kg/min)が最も低く、A選手(12.8ml/kg/min)とC選手(12.8ml/kg/min)はあまり大きな違いはない傾向であった。また、HRにおいてA選手(156bpm)が最も高く、B選手(127bpm)とC選手(130bpm)はあまり大きな違いはない傾向であった。

#### IV. 考 察

##### A. 間欠的高強度運動中における機械的パワー発揮と生理学的運動強度

本研究の結果から対象選手の平均パワーは、A選手(6.3W/kg)とB選手(5.7W/kg)がC選手より(4.3W/kg)高い傾向を示した(図1)。また、1set目のパワーに対しての終末のパワーは、B選手(89.5%)がA選手(72.0%)とC選手(68.8%)より高い傾向を示した(図2)。また、本研究における間欠的高強度運動の負荷は170%VO<sub>2max</sub>に設定した。その設定した負荷に対して、各選手のパワーの比率を算出した結果、A選手が3set目、B選手が4set目、C選手が3set目まで100%以上であった。20mスプリント走を繰り返し行う運動を行った研究において、初期のsetまでは無酸素性作業能力と関係性が示され、中期から後期にかけては有酸素性作業能力と関係性が示されることが報告されており<sup>8)</sup>、本研究とは異なる結果を示した。本研究の結果から有酸素性作業能力であるLT、OBLAはB選手(LT:147W、OBLA、202W)が最も高く、A選手(LT:134W、OBLA、188W)およびC選手(LT:139W、OBLA、188W)は大きな違いはない傾向であった。一方で、VO<sub>2max</sub>では、A選手(54.9ml/kg/min)が最も高く、B選手(47.0ml/kg/min)およびC選手(48.3ml/kg/min)はあまり大きな違い傾向であった。ナショナルシニアのレスリング選手におけるVO<sub>2max</sub>は軽・中量級合わせた平均として52.6ml/kg/minであることを報告しており<sup>9)</sup>、本研究ではA選手以外は、低い傾向を示した。したがって、自転車エルゴメーターにおける間欠的高強度運動中のパ

ワー発揮を維持するには、有酸素性作業能力の向上が必要であることが考えられる。

##### B. 間欠的高強度運動後における生理学的応答

運動終了直後のVO<sub>2</sub>はA選手で44.0ml/kg/min、B選手で49.7ml/kg/min、C選手で45.9ml/kg/minであった。また、運動終了2分後のVO<sub>2</sub>は、A選手で12.8ml/kg/min、B選手で9.6ml/kg/min、C選手で12.8ml/kg/minであった(図4)。レスリングの投げ込み運動(3分間運動、30休息×2set)終了5分後のHRは、国際レベルの選手においてより減少率が国内レベルの選手より大きかったことを報告している<sup>3)</sup>。運動終了1-2分後のVO<sub>2</sub>およびHRは急激に減少し(fast component)、これは、有酸素能力に依存することが報告されている<sup>7, 10)</sup>。さらに、近年の研究で終末のパワーの減少率が小さいものは、fast componentの時定数が短いことや乳酸の拡散能力が高いことが報告されている<sup>11, 12)</sup>。したがって、レスリング競技において、終末に向けてパワー発揮を維持することは、有酸素能力を向上させることで運動中の代謝産物をより早く酸化させる能力が必要になってくるのではないかと考えられる。

#### V. 結 論

本研究の目的は、異なるレスリング競技選手が自転車エルゴメーターによる間欠的高強度運動中の機械的パワー発揮および生理的運動強度の違いを比較し、レスリング競技の能力評価に適した変数を明らかにした。本研究におけるレスリング選手間の無酸素および有酸素性作業能力が優れている選手は間欠的高強度運動中の機械的パワー発揮が高くはなく、レスリング競技能力が優れている選手が、間欠的高強度運動の反復回数および運動時の減少率が小さい傾向を示した。

## 引用文献

- 1) García-Pallarés Jesús, López-Gullón José María, Muriel Xabier, Díaz Arturo, Izquierdo Mikel : Physical fitness factors to predict male Olympic wrestling performance, *European journal of applied physiology*, 111 : 1747-1758, 2011.
- 2) Chino Kentaro, Saito Yoko, Matsumoto Shingo, Yanagawa Yoshimaro, Ikeda Tatsuki, Kukidome Takeshi, Fukashiro Senshi, Sato Mitsuru : A 300-m intermittent running test to evaluate whole body endurance in wrestlers, *International Journal of Wrestling Science*, 2 : 25-35, 2012.
- 3) Kukić Filip, Marković Milan, Zarić Ivan, Toskić Lazar, Mudrić Miloš, Radovanović Dragan : DIFFERENCES IN METABOLIC AND CARDIAC RESPONSE DURING RECOVERY IN WRESTLERS OF DIFFERENT COMPETITIVE LEVELS.
- 4) Borg Gunnar : Perceived exertion as an indicator of somatic stress, *Scandinavian journal of rehabilitation medicine*, 1970.
- 5) 山地 啓司、最大酸素摂取量の科学、杏林書院、1992.
- 6) Dekerle Jeanne, Vanhatalo A, Burnley M : Determination of critical power from a single test, *Science & Sports*, 23 : 231-238, 2008.
- 7) Di Prampero PE, Margaria R : Relationship between O<sub>2</sub> consumption, high energy phosphates and the kinetics of the O<sub>2</sub> debt in exercise, *Pflügers Archiv*, 304 : 11-19, 1968.
- 8) Aguiar Rafael Alves de, Turnes Tiago, Cruz Rogério Santos de Oliveira, Salvador Amadeo Félix, Caputo Fabrizio : Repeated sprint performance and metabolic recovery curves : effects of aerobic and anaerobic characteristics, *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 40 : 433-440, 2015.
- 9) 松林 武生、日本スポーツ振興センター、ハイパフォーマンススポーツセンター、国立スポーツ科学センター、フィットネスチェックハンドブック：体力測定に基づいたアスリートへの科学的支援、大修館書店、2020.
- 10) Kilding AE, Fysh M, Winter EM : Relationships between pulmonary oxygen uptake kinetics and other measures of aerobic fitness in middle-and long-distance runners, *European journal of applied physiology*, 100 : 105-114, 2007.
- 11) Dupont Gregory, McCall Alan, Prieur Fabrice, Millet Grégoire P, Berthoin Serge : Faster oxygen uptake kinetics during recovery is related to better repeated sprinting ability, *European Journal of Applied Physiology*, 110 : 627-634, 2010.
- 12) Takei Naoya, Takahashi Kenya, Kakinoki Katsuyuki, Hatta Hideo : Relationships between rate of increase in post-exercise blood lactate concentration and performance of short-term high-intensity exercise in track athletes, *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, 7 : 253-259, 2018.