

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：82632

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2022～2023

課題番号：22K21265

研究課題名（和文）高強度インターバルトレーニングにおける強度指標の妥当性 - 新指標の確立に向けて -

研究課題名（英文）Validity of an Intensity Index in High-Intensity Interval Training: Toward the Establishment of a New Index

研究代表者

白木 駿佑 (Shiraki, Shunsuke)

独立行政法人日本スポーツ振興センター国立スポーツ科学センター・スポーツ科学・研究部・契約研究員

研究者番号：30963889

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、高強度インターバルトレーニングにおける新しい強度指標（アネロビックパワーリザーブ）の妥当性と算出方法について検討を行った。まず、アネロビックパワーリザーブの算出方法について、6秒間テストと3分間テストの平均発揮パワーを用いて算出することで、精度の改善が認められた。そして、高強度インターバルトレーニングにおけるアネロビックパワーリザーブや従来の強度指標の妥当性について2種類の間欠的高強度運動の完遂回数をもとに検討したところ、いずれの指標においても妥当性が低いことが示唆された。このことから、対象者の体力特性を考慮した強度指標の改善が今後の課題となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高強度インターバルトレーニング（HIIT）の強度指標が確立し、HIITを適切に実施出来るようになれば、効果的なトレーニング処方や新たなHIITプロトコルの開発につながる。それはスポーツ現場においても研究においても価値が高く、双方の乖離の解消にも寄与できる。また、トップアスリートだけではなく、健康増進を目的とした一般の方に対しても有益である。本研究で得られた結果は、新強度指標の開発および確立に向けた貴重な知見であり、今後の研究につながることを期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we examined the validity and calculation method of a new intensity index (Anaerobic Power Reserve) in high-intensity interval training. First, by using the average power output from a 6-second test and a 3-minute test, the calculation method of Anaerobic Power Reserve was improved in terms of accuracy. Then, we evaluated the validity of Anaerobic Power Reserve and conventional indexes in high-intensity interval training based on the number of completions of two types of intermittent high-intensity exercises. It was suggested that the validity of both was low. Therefore, improving the intensity index considering the physical fitness characteristics of the subjects remains a future challenge.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：アネロビックパワーリザーブ 間欠的高強度運動 有酸素性パワー 無酸素性パワー 高強度インターバルトレーニング スプリント

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

最大酸素摂取量の強度 ($100\% \dot{V}O_{2max}$: 有酸素性能力の上限) を超える HIIT (高強度インターバルトレーニング, High-Intensity Interval Training) は、短時間で無酸素性代謝と有酸素性代謝に強い刺激を与えることができ、競技を問わず様々なアスリートが用いている (Buchheit and Laursen, 2013). そして、トレーニング現場では、試合計画や生理学的特性などを考慮し、目的や個人にあった HIIT プロトコルを設定する必要がある。しかし、HIIT の強度指標は確立されておらず、強度設定を誤ると狙った反復回数で狙った刺激を与えられず、競技力向上を阻害することもある。伝統的に、トレーニング強度の指標には $\% \dot{V}O_{2max}$ が用いられてきたが、 $\dot{V}O_{2max}$ を超える強度の HIIT では無酸素性能力も強く要求されるため、有酸素性能力を基準とした $\% \dot{V}O_{2max}$ は強度指標として不適であることが示唆されている (Julio et al., 2020). 一方、無酸素性能力を勘案したアネロビックパワーリザーブ (APR) が近年提唱され、 $100\% \dot{V}O_{2max}$ を超える単発運動の運動継続時間 (疲労困憊に至るまでの時間) を推定できることが知られている (Sandford et al., 2021). APR は、有酸素性パワーと無酸素性パワーの指標を用いて算出する強度指標であり、 $\% APR$ を HIIT の強度設定に用いた唯一の研究では、その有用性が示唆されている (Julio et al., 2020). しかしながら APR の算出方法 (算出に用いる指標) は確立されておらず、さらにそれを HIIT に適用できるかは現状明らかではない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、HIIT の新しい強度指標として APR を用い、その妥当性を検討することである。この目的を達成するために、研究課題を 2 つ設定した。

【研究課題 1】より精度の高い APR の算出方法の検討

【研究課題 2】HIIT における反復回数と APR との関係の検討

3. 研究の方法

強度指標の妥当性を検討するために、体力特性がそれぞれ異なるアスリートを対象とした。すなわち、陸上競技の短距離走もしくは中距離走を専門とする男子大学生 17 名 (それぞれ 9 名と 8 名) が実験に参加した。まず、APR に用いる指標を測定するために $\dot{V}O_{2max}$ テスト (漸増負荷テスト)、3 分テスト、6 秒テストを行わせた。 $\dot{V}O_{2max}$ テスト、3 分テストはそれぞれ別日で行わせ、6 秒テストはウォームアップの終了後に毎回実施した。そして、APR の精度検証として、1 分テストと 2 分テストをそれぞれ別日で実施した (1 分もしくは 2 分で疲労困憊に至る推定強度で実施し、実際の運動継続時間および発揮パワーを計測)。さらに、HIIT における反復回数と APR との関係を検討するために 2 種類の HIIT を実施した。なお、すべての実験は自転車エルゴメータ (Wattbike AtomX, 日本サイクス社) を用いて実施した。

【研究課題 1】より精度の高い APR の算出方法の検討

APR における有酸素性パワーの指標として、 $\dot{V}O_{2max}$ テストでは移動平均の 1 分間最高パワーを、3 分テストでは 3 分平均パワーを測定した。6 秒テストでは 1 秒ごとにパワーを分析し、無酸素性パワーの指標として、1 秒最高パワー、3 秒平均パワー、6 秒平均パワーを測定した。すなわち、計 5 つの指標を用いて APR を以下のように算出した (Sanders and Heijboer, 2019)。そして、それぞれの算出方法で推定された運動時間に対する発揮パワーを用いて、実際の測定値 (1 分テスト, 2 分テスト) とのフィッティングを検証した。

$$\text{推定パワー} = \text{有酸素性パワー} + (\text{無酸素性パワー} - \text{有酸素性パワー}) * e^{(-k * \text{運動時間})}$$

$$k=0.026$$

【研究課題 2】HIIT における反復回数と APR との関係の検討

HIIT の強度指標としての妥当性を検証するために、2 種類の HIIT を実施した (HIIT①, ②)。HIIT①は、1 分テストと同様の強度で、30 秒運動、90 秒休息を疲労困憊まで繰り返す構成とし、HIIT②は、2 分テストと同様の強度で、60 秒運動、90 秒休息を疲労困憊まで繰り返す構成とした。各試技における運動間の休息は、自転車エルゴメータ上での座位姿勢での静止とした。疲労困憊の判定には、目標回転数から 10 rpm 以上下回りすぐに復帰できない状態を基準とし、それぞれ完遂した反復回数を記録した (以下、完遂回数)。完遂回数と各強度指標 (複数の APR と従来の強度指標) との関係を分析した。

4. 研究成果

【研究課題 1】より精度の高い APR の算出方法の検討

研究課題 1 では、より精度の高い APR の算出方法について、APR による推定値 (運動継続時間および発揮パワー) と 1 分テストおよび 2 分テストの実測値とのフィッティングから最も精度の高い算出方法について検証を行った。その結果、3 分テストの 3 分平均パワーと 6 秒テストの 6 秒平均パワーを用いた算出方法 (APR④) が最もフィッティングが高いことが示された (図 1, 表 1, 推定値と実測値との差 $3.6 \pm 1.9\%$)。なお、先行研究の値 ($4.1 \pm 1.9\%$) よりも優れた値であった (Sanders and Heijboer, 2019)。なお、トレーニング現場では有酸素性能力の評価として 3 分テストではなく、 $\dot{V}O_{2max}$ の測定のための漸増負荷テストを用いることも想定される。ただし、 $\dot{V}O_{2max}$ テストの 1 分間最高パワーを有酸素性パワーの指標として APR を算出した場合には、2 分テストの強度

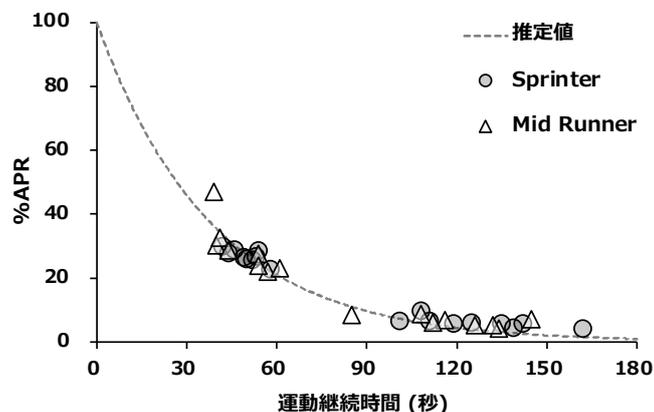


図1. 1分テストと2分テストにおける運動継続時間と%APR④との関係

ではフィッティングの精度は低かった (表 1)。したがって、有酸素性パワーの指標には 3 分テストの 3 分平均パワーがより優れていることが示唆された。

表1. APRの算出方法ごとの推定値と実測値との差

	推定値と実測値との差(%)				多重比較
	APR①	APR②	APR③	APR④	
1分テスト	8.3 ± 6.6	10.5 ± 6.4	3.7 ± 3.7	3.2 ± 2.2	④<①<②, ③<②
2分テスト	7.3 ± 3.6	3.0 ± 2.1	8.9 ± 4.0	4.0 ± 2.3	②,④<①<③
両テストの平均値±標準偏差	7.8 ± 4.0	6.8 ± 3.9	6.3 ± 3.1	3.6 ± 1.9	④<③,②,①

APR①：1秒最高パワー(6秒テスト), 1分間最高パワー($\dot{V}O_2\max$ テスト)から算出

APR②：1秒最高パワー(6秒テスト), 3分平均パワー(3分テスト)から算出

APR③：6秒最高パワー(6秒テスト), 1分最高パワー($\dot{V}O_2\max$ テスト)から算出

APR④：6秒最高パワー(6秒テスト), 3分平均パワー(3分テスト)から算出

<: $p < 0.05$

【研究課題 2】HIIT における反復回数と APR との関係の検討

研究課題 2 では、HIIT における強度指標の妥当性を検証するために、2 種類の HIIT を行わせ、完遂回数 (完遂した反復回数) と各強度指標 (複数の APR と従来の強度指標) との関係を検討した。強度指標は APR①~④ (表 1) と %MMP ($\dot{V}O_2\max$ テストの移動平均の 1 分間最高パワー), %3MMP (3 分テストの 3 分平均パワー) の指標を用いた。まず、強度指標と完遂回数との相関関係を分析し、有意な相関関係が認められた強度指標に関しては、強度指標の平均値 ±1SD で試技を絞り、完遂回数とその変動係数を分析した。

HIIT①に関して、強度指標と完遂回数との相関関係を分析したところ、%MMP においてのみ有意な相関関係が認められた ($r = -0.52, p < 0.05$)。そこで、%MMP の数値をもとに平均値 ±1SD で試技を絞ったところ ($n = 9, r = -0.29, p > 0.05$)、完遂回数は 4~9 回と様々で (短距離走群で 4~7 回, 中距離走群で 5~9 回), 変動係数は 23.8%であったことから相対強度の統制はできていないといえる。

HIIT②に関して、強度指標と完遂回数との相関関係を分析したところ、HIIT①と同様に %MMP においてのみ有意な相関関係が認められた ($r = -0.48, p < 0.05$)。そこで、%MMP の数値をもとに平均値 ±1SD で試技を絞ったところ ($n = 10, r = -0.08, p > 0.05$)、完遂回数は 4~10 回と様々で (短距離走群で 4~9 回, 中距離走群で 7~10 回), 変動係数は 26.9%であったことから相対強度の統制はできていないといえる。

したがって、本研究の結果から HIIT の強度指標として妥当性の高いものは得られなかった。本研究では、特に体力特性が多様なアスリート ($\dot{V}O_2\max$: $56.7 \pm 6.3, 46.9 \sim 69.1 \text{ ml/kg/min}$) を対象としており、相対強度の統制が特に難しい対象者群であったことが結果に影響を与えていると考えられる。

【まとめと今後の展望】

本研究の目的は HIIT の新しい強度指標として APR の妥当性を明らかにすることであった。まず APR の適切な算出方法を検討した結果、算出に用いる有酸素性パワーの指標には 3 分テストの平均パワー、無酸素性パワーの指標には 6 秒テストの平均パワーが最も適していた (研究

課題 1). そして, 2 種類の HIIT の完遂回数と各強度指標との関係を検討した結果, APR とは有意な相関関係は認められなかった. 有意な相関関係が認められた強度指標についても, 完遂回数を統制するまでの精度は認められず, 適切な強度指標は得られなかった (研究課題 2). 研究課題 1 の結果より, 有酸素性パワーおよび無酸素性パワーの適切な指標が提示されたことから, アスリートの体力特性を評価する上で有益な知見が得られたといえる. 研究課題 2 の結果より, 体力特性が多様なアスリート群において, 極めて強度の高い HIIT (HIIT①: $171 \pm 15\%MMP$, HIIT②: $123 \pm 7\%MMP$) に対する適切な強度指標は現時点で存在しないことが示唆された.

今後の展望としては, アスリートの体力特性に応じた強度指標の選択が可能となるように, 対象者の性質ごとに適する強度指標の検討や, APR を構成する有酸素性パワーと無酸素性パワーの重み付けを調整した新しい強度指標の開発をする必要がある. または, HIIT の強度設定に特化したアセスメントテストを開発することで解決できる可能性がある. これらにより, HIIT における汎用性の高い強度指標が確立され, HIIT を適切に実施することが可能となれば, 効果的なトレーニング処方や新たな HIIT プロトコルの開発につながる. それはスポーツ現場においても研究においても価値が高く, 双方の乖離の解消にも寄与できる.

〈引用文献〉

1. Buchheit, M. and Laursen, P. B. (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. *Sports Med*, 43: 313-338.
2. Julio, U. F., Panissa, V. L. G., Paludo, A. C., Alves, E. D., Campos, F. A. D. and Franchini, E. (2020). Use of the anaerobic speed reserve to normalize the prescription of high-intensity interval exercise intensity. *Eur J Sport Sci*, 20: 166-173.
3. Sanders, D. and Heijboer, M. (2019). The anaerobic power reserve and its applicability in professional road cycling. *J Sports Sci*, 37: 621-629.
4. Sandford, G. N., Laursen, P. B. and Buchheit, M. (2021). Anaerobic Speed/Power Reserve and Sport Performance: Scientific Basis, Current Applications and Future Directions. *Sports Med*, 51: 2017-2028.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 白木駿佑
2. 発表標題 自転車エルゴメーターを用いたアネロビックパワーリザーブの算出方法
3. 学会等名 日本体育・スポーツ・健康学会第73回大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 尾縣貢（編），広瀬健一（編），執筆者（白木駿佑ほか）	4. 発行年 2024年
2. 出版社 みらい	5. 総ページ数 216
3. 書名 コーチング概論	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------