

《論 文》

高強度インターバルトレーニングはトライアスロン選手の 自転車ペダリング運動時におけるパワーの立ち上がり 速度を増大する

田山 寛豪, 生田目 颯, 前田 清司, 大槻 毅

High intensity interval training accelerates rate of power development
during cycling exercise in triathletes

Hirokatsu TAYAMA, Hayate NAMATAME, Seiji MAEDA, Takeshi OTSUKI

キーワード：ウイングートテスト, トライアスロン選手, HIIT

key words: Wingate test, triathlete, HIIT

要旨

高強度インターバルトレーニング (high intensity interval training, HIIT) はトライアスロン選手のパフォーマンスを高める。本研究では、HIITがトライアスロン選手における無酸素性自転車ペダリング運動に及ぼす影響の詳細を検討するために、学生トライアスリートに5週間のHIITを行わせ、その前後にウイングートテストを行った。その結果、ウイングートテスト時の最高パワー、最低パワー、平均パワー、最高パワーに到達するまでの時間がHIIT前に比べてHIIT後に改善した。また、HIIT前の測定では最高パワー到達までに7～8秒を要したが、HIIT後の測定では5～6秒で同じパワー (HIIT前の最高パワー) に到達し、それ以上のパワーを4～7秒間にわたり維持した。これらの結果は、HIITにより、トライアスロン選手における自転車ペダリング運動の最高パワーが上昇することに加えて、パワーの立ち上がり速度が増大し、より短時間で高いパワーを発揮できるようになることを示唆する。

1. 緒言

トライアスロンの大会は周回コースで実施されることが多く、カーブでの減速と加速が繰り返される。

従って、バイクでは減速後のパワー出力が重要であり、無酸素性能力は競技成績を決定する重要な因子だと考えられる。トライアスロン選手にバイクとランを連続して実施させ

た先行研究^{1), 2)}で、バイクにおける減速と加速の反復がランのパフォーマンスを低下させたことがこの仮説を裏付けている。また、無酸素性能力に優れるアスリートで高値を示す心臓左心室の壁厚および重量は、トライアスロンの日本代表選手で学生日本代表選手より大きいことも報告されている³⁾。

無酸素性能力を高めるトレーニング手段の一つに、高強度インターバルトレーニング (high intensity interval training, HIIT) があり^{4), 5)}、トライアスリートにおける効果も検討されている⁶⁾⁻⁹⁾。特に、Etxebarria et al.⁶⁾は、トライアスロン選手におけるHIITにより、間欠的自転車ペダリング運動時 (20秒間の全力運動を16回) の最高パワーおよび平均パワーが向上したと報告している。我々の研究⁹⁾でも、トライアスロンのエリート選手における5週間のHIITにより、30秒間の全力自転車ペダリング運動 (ウィングートテスト) の成績が向上した。しかしながら、これらの先行研究における検討対象は自転車ペダリング運動時の平均および最高パワーのみであり、HIITを競技現場に応用するうえでは、より詳細な検討が必要である。

本研究の目的は、HIITがトライアスロン選手における無酸素性自転車ペダリング運動に及ぼす影響の詳細を明らかにすることである。この目的を達成するために、先行研究⁹⁾のデータを用い、HIITがトライアスロン選手におけるウィングートテストの成績に及ぼす影響をより詳細に検討することとした。なお、先行研究ではHIITの前後に2回ずつウィングートテストを行って最高パワーが高い試技を分析に用いているが、本研究では2回の平均値を分析対象に

している。また、本研究では、先行研究の分析項目 (最高および平均パワー) に加えて、最高パワー到達までの所要時間および運動終盤の最低パワーなどを分析した。

2. 研究方法

(1) 対象者

本研究の対象者は男子大学トライアスロン選手3人である⁹⁾。対象者に喫煙習慣、服薬習慣、慢性疾患を有する者は含まれていない。対象者は、日常的にペース走およびインターバルトレーニングを実施しているが、いずれも中～長距離 (ランの場合は500m～5km) であり、HIITの経験者は含まれていない。対象者には、アルコールおよびカフェインの摂取は測定前日から、激しい運動は測定当日において、水以外の飲食は測定開始2時間前からは行わないように指示した。

本研究は、ヘルシンキ宣言を遵守し、流通経済大学スポーツ健康科学研究科倫理審査委員会承認を受け (承認番号23号)、対象者に研究の内容等について文書および口頭で事前に説明し、研究参加に対する同意を得てから実施した。

(2) ウィングートテスト

準備運動として、任意の負荷強度における5分間のペダリング運動および体重×0.075kpの負荷における10秒間の全力ペダリング運動を行わせた。その3分後に、体重×0.075kpの負荷で30秒間の全力ペダリング運動を対象者に行わせ、最初の10秒間は1秒毎、その後の20秒間は2秒毎のパワーを測定した (POWERMAX-

VII, コンビウエルネス)⁹⁾. HIITの前後それぞれにおいて, 2回のウイングートテストを24時間以上の間隔を空けて行い, 各時点(1~30秒)における1回目と2回目の平均値を算定した. 分析項目は, 30秒間の平均および最高パワー, 運動終盤の最低パワー, 最高パワー到達までの時間, 疲労指数([最高パワー-テスト終了時のパワー]×100÷最高パワー)¹⁰⁾である(図1). これらに加えて, HIIT後の測定では, HIIT前の最高パワーを超過するまでの時間およびHIIT前の最高パワーを超過した時間を分析した.

素摂取量×100m×20~35本, 105~110%最大酸素摂取量×400m×4~5本×1~2セット, 100~105%最大酸素摂取量×120秒間×3~7[または0]本, 全力×30秒間×4~6[または0]本)を対象者に行わせた⁹⁾. 100~130%最大酸素摂取量に相当する走速度は, 5kmタイムトライアルの平均速度が最大酸素摂取量出現速度の98%に等しいという仮定の下で¹¹⁾, 対象者毎に算定した. 対象者には, スイムおよびバイクのトレーニングは通常通りに行うように, また, ランのトレーニングは本研究のHIIT以外には行わないように指示した.

(3) HIIT

García-Pinillos et al.⁷⁾を参考に, ランによる週3~4回×5週間のHIIT(120~130%最大酸

(4) 統計解析

値は, 図では対象者毎の値を, 表では平均値±標準誤差で示し, 効果量(effect size, ES)

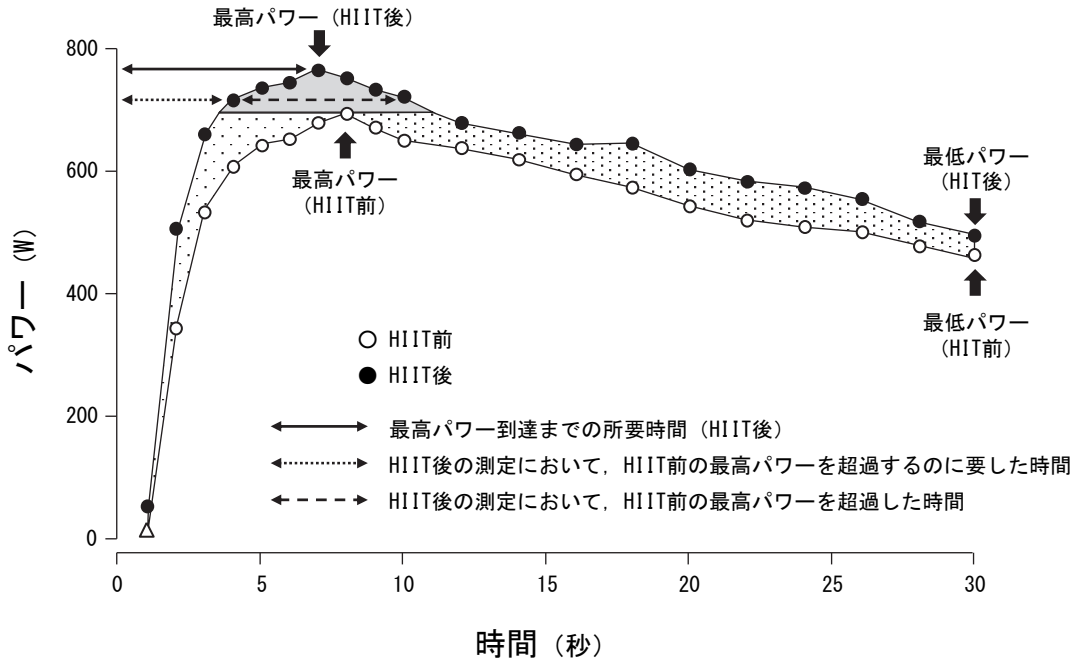


図1. ウイングートテストの分析項目

トレーニング期間の前後で2回ずつテストを行い, 各時点(1~30秒)における1回目と2回目の平均値を算定して分析に用いた. HIIT, high intensity interval training (高強度インターバルトレーニング).

によりHIITの効果の評価した。ESは、0.2未満を効果なし、0.2以上を効果あり（0.2～[効果小]，0.5～[効果中]，0.8～[効果大]）と解釈した¹²⁾。ESの算定には統計処理ソフトウェア¹³⁾を用いた。

3. 結果

最高、最低、平均パワーは全対象者でHIITにより増大した（図2）。最高パワー到達までの時間は3人中2人で短縮した（図3）。HIIT前の測定では最高パワー到達までに7～8秒を要したが、HIIT後の測定では5～6秒でそれらのパワー（HIIT前の最高パワー）を超過した（図4）。また、HIIT後の測定では4～7秒間にわたりHIIT前の最高パワーを超過した（図5）。疲労指数は、2人で増大し、1人で低下した。これらの指標におけるESは全て0.2以上（効果あり）であった（表1）。

4. 考察

HIITがトライアスリートの平均および最高パワーを改善することは先行研究⁹⁾で明らかにされている。それに加えて本研究では、HIITにより最高パワーに到達するまでの所要時間が短縮した。また、HIIT前の測定では最高パワー到達までに7～8秒を要したが、HIIT後の測定では5～6秒で同じパワー（HIIT前の最高パワー）に到達し、それ以上のパワーを4～7秒間にわたり維持した。これらの結果は、HIITにより最高パワーが上昇することに加えて、パワーの立ち上がり速度が増大し、より短時間で高いパワーを発揮できるようになることを示唆する。

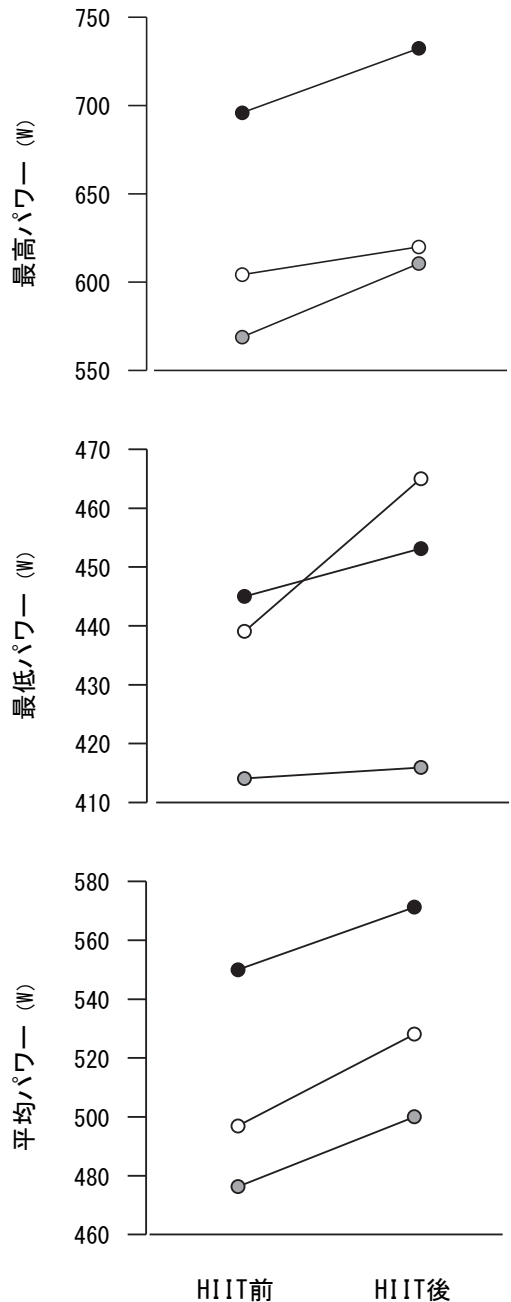


図2. トレーニング前後の最高、最低、平均パワー
●対象者A, ●対象者B, ○対象者C. HIIT, high intensity interval training (高強度インターバルトレーニング).

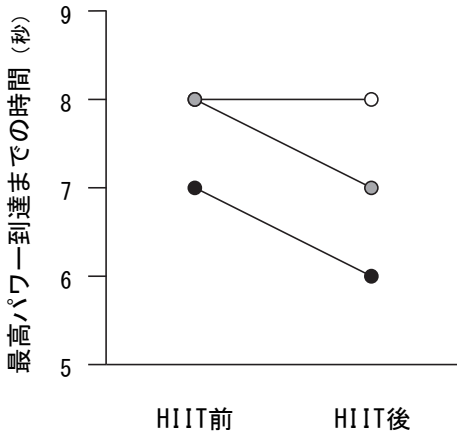


図3. トレーニング前後における最高パワー到達までの所要時間

●対象者A, ●対象者B, ○対象者C. HIIT, high intensity interval training (高強度インターバルトレーニング).

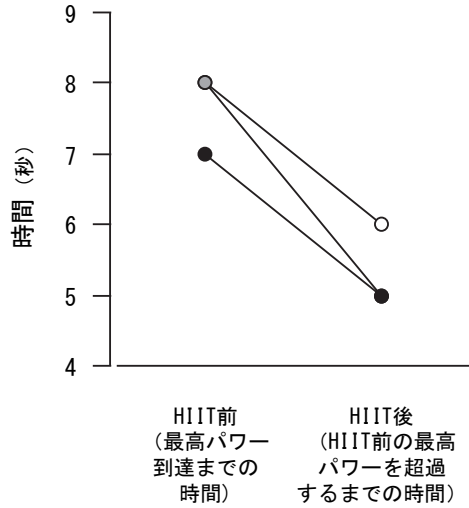


図4. トレーニング後の測定において、トレーニング前の最高パワー超過に要した時間

●対象者A, ●対象者B, ○対象者C. HIIT, high intensity interval training (高強度インターバルトレーニング). HIIT前の値は再掲 (オリジナルは図3).

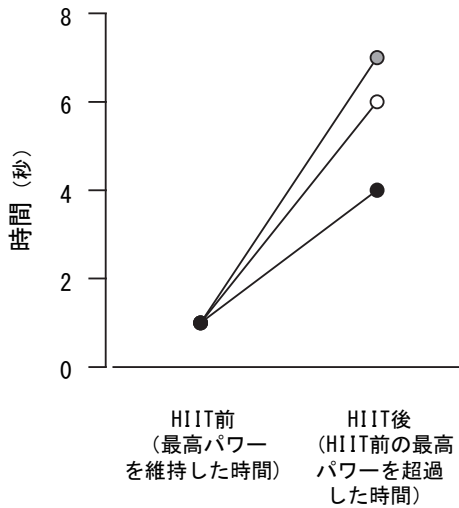


図5. 最高パワー維持時間 (トレーニング前) およびトレーニング前の最高パワーを超過した時間 (トレーニング後)

●対象者A, ●対象者B, ○対象者C. HIIT, high intensity interval training (高強度インターバルトレーニング).

表1. トレーニング前後におけるウィングートテストの成績

	HIIT前	HIIT後	効果量	効果
最高パワー, W	623 ± 38	654 ± 39	0.46	あり (小)
最低パワー, W	433 ± 9	445 ± 15	0.52	あり (中)
平均パワー, W	508 ± 22	533 ± 21	0.67	あり (中)
最高パワー到達の所要時間 (秒)	7.7 ± 0.3	7.0 ± 0.6	0.80	あり (大)
HIIT前: 最高パワー到達の所要時間 (再掲), 秒 HIIT後: HIIT前の最高パワー超過に要した時間, 秒	7.7 ± 0.3	5.3 ± 0.3	4.00	あり (大)
HIIT前: 最高パワー維持時間 HIIT後: HIIT前の最高パワーを超過した時間, 秒	1.0 ± 0.0	5.7 ± 0.9	3.50	あり (大)
疲労指数, %	30 ± 3	32 ± 4	0.28	あり (小)

値は平均値±標準誤差. HIIT, high intensity interval training (高強度インターバルトレーニング).

トライアスロンの大会は公道で行われることが多く、90度またはそれより鋭角のカーブがコース内に多く存在する。例えば、2019年の世界トライアスロン連合世界トライアスロンシリーズ横浜大会のエリートカテゴリーでは、それらに該当するカーブが180カ所（20カ所×9周）もあるコースを採用している¹⁴⁾。これらのカーブでは突入前の減速とその後の加速が要求されるため、自転車ペダリング運動におけるパワーの立ち上がり速度はトライアスロンの競技成績において重要な要素だと考えられる。従って、本研究において、トライアスロン選手の自転車ペダリング運動におけるパワーの立ち上がり速度がHIITで増大することが示された意義は大きい。

トライアスロンはスイム、バイク、ランの3種目で構成されるが、順位を決定するうえで最も重要な種目はランであるとされている^{15), 16)}。ただし、ランはスイムおよびバイクの後に行われるため、ランにおけるタイムトライアルの成

績とレースの成績は必ずしも一致しない¹⁷⁾。篠田¹⁷⁾はタイムトライアルのタイムと実際のレースのタイムとの差を算定して最大酸素摂取量（有酸素性能力の指標）との関係を検討したが、両者間に相関関係は認められなかった。従って、タイムトライアルの成績を向上させたり有酸素性能力を高めたりするだけではレースの成績向上には不十分であり、トライアスロン選手には、スイムおよびバイクでの体力消耗を抑制する戦略が必要だと考えられる。その一つに、バイクの最高走速度を高めて集団走行における相対的な運動強度を下げる、すなわち、余裕を持ってバイク走行することが考えられる。HIITは自転車ペダリング運動における最高パワーおよびパワーの立ち上がり速度を増大させることで、実際のレースにおけるバイクでの体力消耗を抑制し、ランのパフォーマンスを改善して競技成績を高める可能性が考えらる。

本研究において、HIITにより疲労指数は増大する、すなわち、ピークに到達した後のパ

ワー低下が大きくなる傾向にあった。しかし、実際には、運動終盤の最低パワーはHIITにより増大しており、疲労指数の増大を持久力の低下と解釈することは賢明ではない。疲労指数の増大は最低パワーの増大（平均12W）よりも最高パワーの増大（同31W）が大きいことを反映しており、HIITは持久力の改善よりも無酸素性の最大パワー改善が大きいことを示唆すると考えられる。

本研究における対象者のうち2人は、日本トライアスロン連合エリートカテゴリーの強化指定選手であるか、過去2年以内に19または23歳以下のアジア選手権大会の出場権を獲得している。残りの1人も、日常的にその他の2人と同じ練習をこなすことのできる実力を有していた。従って、本研究で得られた知見はエリート男性トライアスロン選手に適用できるという利点を有している。その一方で、女性トライアスロン選手および非エリートのトライアスロン選手にも本研究の知見が適用できるか否かは不明である。また、エリート選手を研究対象者として多数確保することは困難であるために、本研究は例数が少なく、また、コントロール群は設定されていない。HIITをトライアスロンの現場に普及させるには、対象者の属性を変えたりコントロール群を設けたりするなど、さらに検討を進めることが必要である。

5. 結論

HIITはトライアスロン選手の自転車ベダリング運動におけるパワーの立ち上がり速度を増大することが示唆された。

謝辞

本研究は筑波大学体育系ヒューマン・ハイ・パフォーマンス先端研究センター（ARIHHP）における共同研究（Cooperative Research Grant of Advanced Research Initiative for Human High Performance, the University of Tsukuba）として実施された。

引用文献

- 1) Etxebarria N, Anson JM, Pyne DB, et al: Cycling attributes that enhance running performance after the cycle section in triathlon. *Int J Sports Physiol Perform*, 8 (5): 502-509, 2013.
- 2) Etxebarria N, Hunt J, Ingham S, et al: Physiological assessment of isolated running does not directly replicate running capacity after triathlon-specific cycling. *J Sports Sci*, 32 (3): 229-238, 2014.
- 3) 生田目颯, 大槻毅: トライアスリートの心臓および血管における日本代表選手と学生日本代表選手の比較. *月刊トレーニングジャーナル*, 39 (5): 22-26, 2017.
- 4) Buchheit M and Laursen PB: High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle. Part I: cardiopulmonary emphasis. *Sports Med*, 43 (5): 313-338, 2013.
- 5) Buchheit M and Laursen PB: High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle. Part II: anaerobic energy, neuromuscular load and practical applications. *Sports Med*, 43 (10): 927-954, 2013.
- 6) Etxebarria N, Anson JM, Pyne DB, et al: High-intensity cycle interval training improves cycling and running performance in triathletes. *Eur J Sport Sci*, 14 (6): 521-529, 2014.
- 7) García-Pinillos F, Cámara-Pérez JC, Soto-Hermoso VM, et al: A high intensity interval training (HIIT)-based running plan improves athletic performance by improving muscle power. *J Strength Cond Res*, 31 (1): 146-153, 2017.
- 8) Lee CL, Hsu MC, Astorino TA, et al: Effectiveness of two weeks of high-intensity interval training on performance and hormone status in adolescent triathletes. *J Sports Med Phys Fitness*, 57 (4): 319-329, 2017.
- 9) Namatame H, Tayama H, Maeda S, et al: Effect of high intensity interval training (HIIT) on performance

- and vascular function in elite triathletes. The 24th Annual Congress of the European College of Sport Science, Prague (Czech Republic): July 3-6, 2019.
- 10) Suzuki Y, Ito O, Mukai N, et al.: High level of skeletal muscle carnosine contributes to the latter half of exercise performance during 30-s maximal cycle ergometer sprinting. *Jpn J Physiol*, 52 (2): 199-205, 2002.
 - 11) Lacour JR, Padilla-Magunacelaya S, Barthélémy JC, et al.: The energetics of middle-distance running. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 60 (1): 38-43, 1990.
 - 12) Cohen J: A power primer. *Psychol Bull*, 112 (1): 155-159, 1992.
 - 13) Faul F, Erdfelder E, Lang AG, et al.: G*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behav Res Methods*, 39 (2): 175-191, 2007.
 - 14) 世界トライアスロンシリーズ横浜大会公式HP. <https://yokohama.triathlon.org/elite/course/> (最終アクセス日 2020年9月7日)
 - 15) Landers GJ, Blanksby BA, Ackland TR, et al.: Morphology and performance of world championship triathletes. *Ann Hum Biol*, 27 (4): 387-400, 2000.
 - 16) Vleck VE, Bürgi A and Bentley DJ: The consequences of swim, cycle, and run performance on overall result in elite olympic distance triathlon. *Int J Sports Med*, 27 (1): 43-48, 2006.
 - 17) 篠田知之: トライアスロンレースにおけるランの成績に影響する要因: レースにおけるタイムの低下に着目して. *岐阜経済大学論集*, 44 (3): 71-79, 2011.