事例報告

パリ五輪に向けた競泳競技者における自転車トレーニング：クロストレーニングとしての実践事例

白木　駿佑[1)]　　下山　好充[2)]　　窪　康之[1)]

SHIRAKI Shunsuke[1], SHIMOYAMA Yoshimitsu[2] and KUBO Yasuyuki[1]: Cycling training in an elite swimmer for the Paris Olympics: A case study of cross-training. Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci.

Abstract: This case study aimed to analyze the effectiveness of cycling training conducted over one year as a form of cross-training for an elite sprint swimmer and to provide practical insights into this approach. The subject was a male swimmer who currently holds the Japanese national record in the 100 m butterfly, with a time of 50.81 seconds as of October 1, 2025. To maintain and improve aerobic capacity while minimizing the risk of injury, a total of 47 cycling training sessions (approximately once a week; 11% of total training sessions) were conducted over a year. The main protocol of the cycling training was high-intensity interval training designed to elicit central adaptations, such as increased cardiac output. As a result, both the mean power during a 3-minute aerobic cycling test and the measured $\dot{V}O_2$peak improved. In addition, mean power during high-intensity interval training sessions also increased progressively. The athlete's performance in the 100 m butterfly improved from 51.93 seconds at the 2023 World Championships (pre-training, preliminary elimination) to 51.11 seconds at the 2024 Paris Olympics (post-training, 8th place in the final). Although a direct causal relationship between cycling training and swim performance improvement cannot be confirmed, it is likely that improved aerobic capacity contributed either directly or indirectly–for example by enhancing the quality of swim training. The key practical insights derived from this case were: (1) cycling training targeting central adaptations may serve as an effective approach to cross-training for swimmers; (2) multiple training protocols for cross-training should be prepared in advance to allow flexible adjustment based on the athlete's condition, training environment, and competition schedule; and (3) training indicators such as mean power and Time≥90%HRpeak during high-intensity interval training sessions may be useful for monitoring training adaptation. While the findings in this case may not be generalizable to all athletes, understanding the background and implementation process may offer useful guidance for practitioners and coaches in other elite sport contexts. Further research is required to investigate long-term cross-training practices across other sports and various exercise modalities, along with the associated monitoring indicators.

Key words : elite athlete, high-intensity interval training, aerobic capacity
キーワード：エリート競技者，高強度インターバルトレーニング，有酸素性能力

Ⅰ　緒　言

様々な競技（ローイング，カヤック，セーリング，自転車競技，スピードスケート，陸上競技など）でクロストレーニング（専門競技とは異なる運動様式を用いてトレーニングすること，ストレングストレーニングを除く）が取り入れられている（Anthony and Chris, 2014；Ishida et al., 2023；Katy, 2024；田畑，2015；山元，2019）．クロスト

1）国立スポーツ科学センター
　〒115-0056　東京都北区西が丘3-15-1
2）新潟医療福祉大学健康科学部
　〒950-3198　新潟県新潟市北区島見町1398
連絡先　白木駿佑

1. *Japan Institute of Sports Sciences*
　3-15-1 Nishigaoka, Kita-ku, Tokyo, 115-0056
2. *Niigata University of Health and Welfare, Faculty of Health Sciences*
　1398 Shimamicho, Kita-ku, Niigata, Niigata 950-3198
Corresponding author　*shunsuke_run@yahoo.co.jp*

レーニングの主な目的は，オーバーユースによる障害のリスクを抑えながらトレーニング量を増大させることであり，障害や悪天候などで専門トレーニングが制限される場面やリハビリテーションにおいても活用されている（Anthony and Chris, 2014）．クロストレーニングの中で最も一般的で多く用いられている自転車トレーニング（自転車エルゴメータを用いたペダリング運動）は，ランニング運動などと比較して障害のリスクが低いことや，発揮パワーや心拍数を用いた強度管理が容易であること，天候の影響を受けにくいことなどから活用されており，オリンピックに出場するようなエリート競技者も日常的に取り入れていることが知られている（Katy, 2024; Poel, 2022）．ただし，その詳細について研究論文で扱われることはほとんどない．

一方，競泳競技（以下「競泳」と略す）では，クロストレーニングの実施自体が少ない（Anthony and Chris, 2014）．その要因として，泳運動は複雑な流体抵抗や浮力を伴う水中環境下で主に上肢を用いて推進する運動である点が挙げられる．これは，重力に抗して下肢で推進するランニング運動やペダリング運動と比較して，非日常的かつ特異的な動作・技術が要求される．すなわち，競泳は動作特異性が高く，それに基づく神経・筋活動パターンも特異的であることから（Issurin, 2013; Millet et al., 2002），競泳は専門トレーニングが優先されやすい競技であるといえる．また，悪天候や急性外傷（肉離れなどの突発的な怪我）による専門トレーニングの制限機会が少ないことも一因になっていると考えられる．ただし，競泳においてもオーバーユースによる上肢の障害は重大な課題となっており（Mountjoy et al., 2010; Ristolainen et al., 2010），クロストレーニングを導入することで障害のリスクを抑えながらトレーニング量の増大および継続的なトレーニングの実施が可能となれば，それが競技パフォーマンス向上につながることも考えられる．なお，上肢のクロストレーニングにはカヤック運動などがあるものの，それらの運動では主に末梢（筋）での適応が生じ，その適応は動作特異性が高いため（Issurin, 2013; Tanaka, 1994），他運動へのトレーニング効果の転移は得られにくいとされている（Anthony and Chris, 2014）．一方，末梢ではなく心拍出能力に関わる中枢の適応を狙った下肢のクロストレーニングであれば動作特異性に関係なくトレーニング効果の転移が生じやすく（Anthony and Chris, 2014; Issurin, 2013; Tanaka, 1994），競泳にも活かせる有酸素性能力の改善をもたらす可能性がある．さらに，有酸素性能力は高強度インターバルトレーニング中やトレーニングセッション後の回復との関連も示されており（Tomlin and Wenger, 2001），日々のスイムトレーニングの質が向上することによるパフォーマンス向上も期待できる．したがって，自転車トレーニングは競泳競技者に対して有効なクロストレーニングの手段になり得る．

そこで本研究では，エリート競泳スプリンターに自転車トレーニングを導入した事例を提示し，クロストレーニングの実施に関する実践的知見の獲得を目的とした．

II 方 法

1. 研究対象者および研究対象期間

本研究では，100m バタフライを専門種目としている男性競泳競技者 1 名を対象とした．対象者は，2022 年 6 月の世界選手権において日本人で同種目初の世界大会でのメダルを獲得し（2 位），その準決勝では日本新記録を樹立した（50 秒 81，2025 年 10 月 1 日現在まで日本記録）．一方，その世界選手権後に腰痛を発症して以来（2022 年 10 月），症状を再発させないようスイム技術を変更し，トレーニング量が減った影響もあり，日本記録を更新してから本事例開始前までの記録は 51 秒 35 に留まっている（2023 年 4 月日本選手権）．自転車トレーニング自体は 2015 年（大学 1 年時）から週 1 回程度の頻度で実施しており，大学 4 年間での内容はスイムトレーニング後に 3―4 分程度のオールアウト運動（Zone 5-6 に相当，図 1）を 1 回行っていた．大学卒業後の 2019 年 4 月から 2023 年 3 月までは，超最大強度域（Zone

6-8，図 1）の高強度インターバルトレーニングをスイムトレーニングとは別時間帯で実施していた．したがって，大学卒業以降の自転車トレーニングは，有酸素性代謝だけでなく無酸素性代謝も強く動員されるインターバルトレーニングが中心であったと推察される．対象者およびスイムコーチは当時のトレーニングについて，「（精神的に）かなりきつかったが，下肢の持久力が高まっている実感があった．一方で，この 3 年間で自転車トレーニングによる頭打ちも感じていた.」と言及している．2023 年 3 月末に，それまで自転車トレーニングを処方していたストレングスコーチが所属を離れ，これを契機にスイムコーチから日本代表強化拠点のスタッフである著者へ相談があり，本事例のトレーニング処方に至った．なお，著者は国立スポーツ科学センターに所属する研究員であり，高強度インターバルトレーニングの研究に従事し，他競技の代表選手に対する自転車トレーニングの処方経験を有していた．

本事例の対象期間は，パリ五輪の 1 年前にあたる 2023 年 8 月からパリ五輪前最後の自転車トレーニングとなった 2024 年 7 月 28 日までとした．2023 年 8 月時点での対象者は年齢 26 歳，身長 180 cm，体重 86.8 kg，体脂肪率 17.4%（体組成データは 2023 年 8 月 30 日に取得，InBody770, インボディ・ジャパン社）であり，2023 年 7 月 29 日の世界選手権では 100m バタフライで予選全体 19 位（51 秒 93）であった．その後，移行期（トレーニング休止）を経て 8 月 14 日から自転車トレーニングを本格的に開始した．1 年後の 2024 年 8 月 3 日のパリ五輪では 8 位（51 秒 11）（準決勝で 51 秒 08）であり，2022 年に日本記録を樹立した世界選手権以来最も良い記録であった．

また，本研究での測定データの利用と事例の公開について，日本水泳連盟，対象者，スイムコーチの了承ならびに国立スポーツ科学センター倫理審査委員会の承認を得ており，その上で事例研究を実施した．

2.　自転車トレーニングの目的

事例開始前に実施した著者とスイムコーチとの面談では，「持病である肩の痛みや腰痛（前述）の影響でスイムトレーニングだけでは全体のトレーニング量が年々減っており，それに伴う持久力の低下を懸念している．週 1 回の頻度で年間を通して自転車トレーニングを実施し，その能力を補いたい.」という要望があった．自転車トレーニングは，スイムトレーニングと比較して強度の調

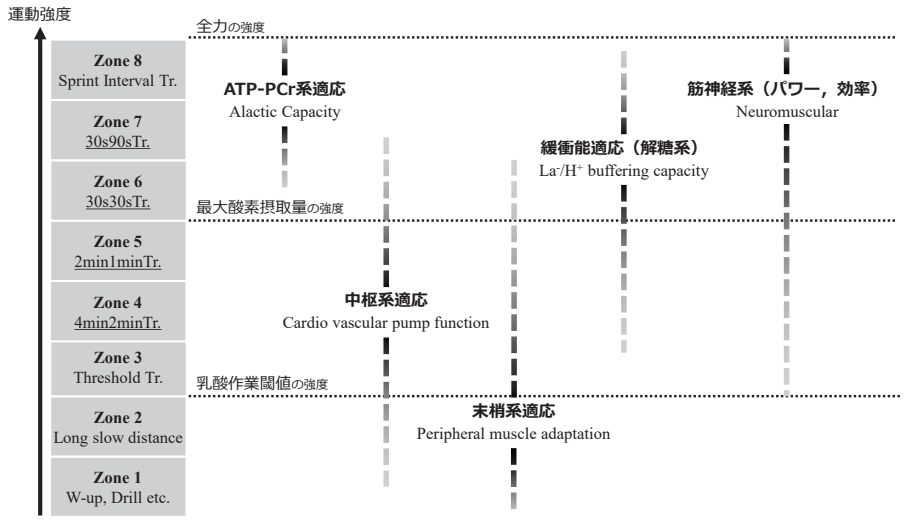


図 1　運動強度に応じた生理学的適応モデルと本事例における自転車トレーニングの位置づけ（下線部）
Seiler (2023), Tønnessen et al. (2024) をもとに著者作成

整が容易でトレーニング管理がしやすく，自転車エルゴメーターの安全性の高さから意識的にオールアウトしやすいのが特徴である．一方，前述の通り競泳は特異性が高く，上肢による力発揮の貢献が大きいため，自転車トレーニングによる効果の転移は生じにくいとされている（Issurin, 2013; Millet et al., 2002）．そこで著者は，「自転車トレーニングが競泳のレースタイムに直接与える影響は必ずしも大きくないものの，有酸素性能力の中でも特に中枢系の適応（心拍出能力の向上）を狙った自転車トレーニング（図 1）であればスイムトレーニングの質向上，さらにはレース中のスピード維持にも僅かながらも貢献できる可能性がある」と回答し，自転車トレーニングの方針を決定した．すなわち，トレーニング効果の転移が生じやすい中枢系（心拍出能力）の適応による（Anthony and Chris, 2014; Tanaka, 1994），有酸素性能力の向上を自転車トレーニングの目的とした．

3. 自転車テストおよび測定項目

自転車トレーニング進捗の確認として，自転車エルゴメータ（Wattbike Pro）に搭載の 6 秒テストと 3 分テストを実施した．なお，測定日は事例開始時点では決めず，トレーニング計画・トレーニング進捗・競技レースなどを考慮し，測定の必要性が生じた場合に実施した．

3.1 6 秒テスト

対象者の体力特性を評価するために，最大無酸素性パワーの測定として Wattbike Pro に搭載の 6 秒テストを実施した（Grainger and Neville, 2020）．まず，6 秒テストに先立って 5 分間の W-up を行った．W-up の強度は 100 W を目安に自由に漕ぐよう指示し，3 分と 4 分の時点で 3 秒間の全力スプリントを行わせた．全力スプリント時の負荷（Wind）は 6 秒テストのマニュアル（体重で決定）に従い 5 とした．W-up 後，15 分程度の休息をはさみ，6 秒テストを実施した．運動中はスタンディング姿勢にて全力で漕ぐよう指示した．

6 秒間の平均パワーを最大無酸素性パワー（以下「6sMP」と略す．6sMP: 6-s mean power）として記録し，体重で規格化した．

3.2 3 分テスト

最大有酸素性パワーおよび最高酸素摂取量（以下「$\dot{V}O_2$peak」と略す）の測定として 3 分テストを実施した（Hanson et al., 2022）．6 秒テスト終了後，15 分間の休息中に呼気ガス分析に用いるマスクを装着させ，実施した．3 分間の平均パワーが最大化するように，途中までペースを設定した．すなわち，前半の 90 秒間は設定強度の周辺でペダリングし，後半の 90 秒間は余力に合わせて漸増もしくは維持するようセルフペースとし，終了 20 秒前時点から終了までは全力でペダリングするよう指示した．前半の設定強度は，過去実施した際の平均パワーの 95%（回転数 100 rpm，その強度に相当する負荷 wind）とした．対象者は過去に 3 分テストを実施した経験を有していたため，初回から上記の方法で強度を設定した．なお，3 分テストにおける $\dot{V}O_2$peak はペース戦略の影響を受けないことが示唆されており，漸増負荷テストによって得られた最大酸素摂取量と有意差がなかったことが報告されている（Hanson et al., 2022）．

3 分間の平均パワーを最大有酸素性パワー（以下「3mMP」と略し，相対値を「%3mMP」とする．3mMP: 3-min mean power）として算出し，後述する自転車トレーニングの強度設定の目安およびトレーニング結果の指標として相対値（%3mMP）を用いた．なお，「目安」としたのは，各トレーニングの強度設定は実際には前回値や他のトレーニング結果も考慮したためである．トレーニング結果に用いる相対値は，直近で実施した 3 分テストの結果に基づき算出し，初回実施前は，研究対象期間前に測定した値（429W，2023 年 7 月）を用いて算出した．呼気ガス指標は，自動呼気ガス分析器（AE310SRC，ミナト医科学社）を用いて，呼気のみを分析する EXP モード（呼気ガス採集法）により 5 秒毎に酸素摂取量を計測した．酸素摂取量を 5 秒毎に出力したうちの最も大きい 20 秒平均の値を $\dot{V}O_2$peak とした．心拍数の計測は，

心拍モニター（H10N, Polar 社）を用い，心拍数を 1 秒毎に出力したうちの最も大きい 20 秒平均の値を最高心拍数とした．

4. 自転車トレーニングのトレーニングプロトコルと測定項目

先行研究において，1 回拍出量を高めるためには最大有酸素性パワーを下回る強度でのロングインターバルトレーニングが有効とされているため（Buchheit and Laursen, 2013; Thibault, 2003），そのトレーニングとして 4min2minTr. と 2min1minTr. を設定し，さらにその 2 つの運動強度を段階的に高めていけるよう，より高強度の 30s30sTr. や 30s90sTr. を設定した（図 1 下線部）．Zone1-3 に相当する低・中強度のトレーニングを用いなかった理由として，これらは末梢系適応（筋脂質酸化能，筋ミトコンドリア量）が生じやすく（Seiler, 2023; Seiler and Tønnessen, 2009，図 1），本事例の自転車トレーニングの目的とは異なるためである．

自転車トレーニングは自転車エルゴメータ（Wattbike Pro, 日本サイクス社）を用い，トレーニング結果は Wattbike hub（http://hub.wattbike.com）からダウンロードした tcx ファイルを用いて 1 秒ごとに発揮パワーを分析した．トレーニング中は 2 種類どちらかの心拍計（H10N, Polar 社；Polar Verity Sense，Polar 社）を用い，Wattbike Pro と同期させ，1 秒ごとに心拍数を分析した．

自転車トレーニングは週 1 回程度の頻度で実施し，遠征中のトレーニングはスイムコーチと連携し，遠隔でトレーニングメニューとその目標値（パワー）を共有した．なお，遠征先のトレーニング環境により，Wattbike Pro が準備できなかった場合には他の自転車エルゴメータを使用した．

4.1 4min2minTr.

4 分運動 2 分休息を 3 回程度繰り返す高強度インターバルトレーニングであり，強度（発揮パワー）の目安は 70―80 %3mMP とし，回転数は 120 rpm 前後とした．運動時間，強度，休息の設定については，先行研究を参考に（Buchheit and Laursen, 2013; Thibault, 2003），過去に対象者が 4 分の運動を用いたインターバルトレーニングを実施していた経験などに基づき決定した．心拍数が高い状態を保ちながら運動させることで中枢系の適応を狙った本事例の自転車トレーニングで最も主要なプロトコルである．

運動 1 回ごとの平均パワーと，全運動にわたる平均パワーをそれぞれ算出した．また，最高心拍数（187 bpm）の 90%（168 rpm）および 95%（178 rpm）を上回った運動中の合計時間（以下「Time ≧ 90%HRpeak」，「Time ≧ 95%HRpeak」と略す）を 1 秒単位で計測した．なお，算出に用いた最高心拍数（187 bpm）は研究対象期間前の自転車トレーニング中の過去データ（2023 年 6 月）から取得し，対象期間は同一の値を用いて Time ≧ 90%HRpeak および Time ≧ 95%HRpeak を算出した．最高心拍数を過去のトレーニングデータから取得した理由として，本事例では，最大心拍数を測定する漸増負荷テストを実施しなかったこと，また 3 分テストの最高心拍数は最大心拍数より低くなることから（Hanson et al., 2022），トレーニング中の最高値を採用することがより妥当だと判断したためである．また，対象期間を通じて同一の値（187 bpm）を用いたのは，トレーニング中の最高心拍数は日々の体調や条件によって変動するためである．つまり，指標としての一貫性を考慮し，Time ≧ 90%HRpeak および Time ≧ 95%HRpeak の基準となる最高心拍数は同一の値を用いた．

4.2 2min1minTr.

2 分運動 1 分休息を 3―5 回繰り返す高強度インターバルトレーニングであり，強度（発揮パワー）の目安は 70―90 %3mMP とし，回転数は 120 rpm 前後とした．総運動時間は 4min2minTr. よりも短いものの，その分強度が僅かに高く設定されており，同様に心拍数が高い状態を保ちながら運動させることで中枢系の適応を狙ったトレーニングである．また，このプロトコルはトレーニング負荷調整の役割も有している．例えば，レース前のテーパリング期には回数を 3 回とし強度を高め

（80―90 %3mMP），適応が進んできた段階やコンディションが良好な際にはインターバル間に低強度運動（30 %3mMP）を挟み，心拍数の低下を抑えるように調整した．

運動 1 回ごと（each bout, each repetition）の平均パワーと，全運動（1 set）にわたる平均パワーをそれぞれ算出した．また，トレーニング強度の指標として最高心拍数を記録した．

4.3 30s30sTr.

30 秒運動 30 秒休息を 8 回程度繰り返す高強度インターバルトレーニングであり，強度（発揮パワー）の目安は 100―120 %3mMP とし，回転数は 120 rpm 前後とした．2min1minTr. と比較して強度が高く，ある程度の中枢系適応が見込めるものの（図 1），無酸素性代謝の動員は大きくなる（Buchheit and Laursen, 2013; Thibault, 2003）．本事例における自転車トレーニングの主目的とはやや異なるものの，4min2minTr. および 2min1minTr. の強度を漸増させ主目的の生理的負荷を段階的に高めるために取り入れた．

運動 1 回ごとの平均パワーと，全運動にわたる平均パワーをそれぞれ算出した．また，トレーニング強度の指標として最高心拍数を記録した．

4.4 30s90sTr.

30 秒運動 90 秒休息を 5 回程度繰り返す高強度インターバルトレーニングであり，強度（発揮パワー）の目安は 140―150 %3mMP とし，回転数は 110rpm 前後とした．スピード持久力トレーニングに分類される解糖系の改善を目的としたトレーニングで（Iaia and Bangsbo, 2010; Reilly and Bangsbo, 1999，図 1），無酸素性代謝の動員が大きい．本事例における自転車トレーニングの主目的とは異なるものの，トレーニングの単調化を防ぎ，適応の停滞を回避することを目的として，低頻度で用いた．

運動 1 回ごとの平均パワーと，全運動にわたる平均パワーをそれぞれ算出した．

Ⅲ 結 果

1. 自転車トレーニングの結果

表 1 に，スイムトレーニング，ストレングストレーニング，自転車トレーニングの実施回数および比率と自転車トレーニングの内訳を 4 ヶ月ごとの期間（Phase1, 2, 3）に分けて示した．自転車トレーニングは，全体の 11% に相当し，期間を追うごとに比率は低下し，スイムトレーニングの回数および比率は漸増した．自転車トレーニングにおいて，最も主要なプロトコルとして設定した 4min2minTr. が最も実施回数が多く（16 回），自転車トレーニングの目的である中枢系の適応を狙った 4min2minTr. と 2min1minTr. を合わせた回数が 30 回で，全 47 回の内 64% を占めた．

表 2，3，4 に期間（Phase1, 2, 3）ごとの自転車トレーニングの内容と結果を示した．重要試合前のテーパリング期には，規定の反復回数を減らして実施したセッションが期間ごとに 1 回ずつ計 3 回あった．Phase1 では，トレーニングの導入期にあたり，トレーニング量の増大を優先し，規定の反復回数から増やすか運動時間を長くしたセッションが 19 回中 9 回あった．Phase2 では，高地合宿やインフルエンザの罹患により規定のプロトコルから変更したセッションが 15 回中 5 回あった．Phase3 では，遠征先の設備状況により異なる種類または整備されていない古い自転車エルゴメーターの使用を強いられるセッションが 13 回中 7 回あったものの，プロトコルの変更は最終回の 1 セッションのみであった．

図 2 に，4min2minTr. のうち反復回数を 3 回で実施した 11 セッションの平均パワーの推移（プロット）と各 Time%HRpeak（棒グラフ）を示した．なお，2024 年 7 月 16 日のセッションは発揮パワーが適切に測定できなかったため（表 4 備考欄），図から除外した．平均パワーについて，規定のプロトコルである 4min2min*3 を実施した初回（2023 年 11 月 3 日）から漸増し（305W，311W，315W），対象者はインフルエンザに罹患するなどしたが（表 3 備考欄），その後は漸増

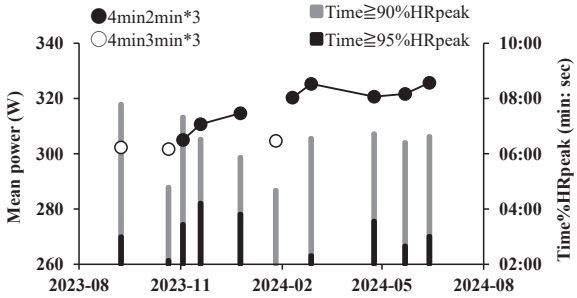


図 2　4min2minTr. の平均パワーおよび各 Time%HRpeak の推移

4min2min*3: 4 分運動 2 分休息を 3 回繰り返すプロトコル
4min3min*3: 4 分運動 3 分休息を 3 回繰り返すプロトコル
Time ≧ 90%HRpeak: 運動中に心拍数が 90%HRpeak を超えた時間
Time ≧ 95%HRpeak: 運動中に心拍数が 95%HRpeak を超えた時間
※ 2024 年 2 月 10 日の心拍数データは欠損

表 1　4 ヶ月ごとの各トレーニングセッション数と比率および自転車トレーニングの内訳

Phase	Swim	Strength	Cycle	Cycling training (sessions)				
	(sessions, %)	(sessions, %)	(sessions, %)	4min2min	2min1min	30s30s	30s90s	Test
1	78 (64%)	26 (21%)	19 (15%)	6	6	4	1	2
2	96 (71%)	26 (19%)	15 (10%)	6	3	3	3	0
3	109 (73%)	27 (18%)	13 (9%)	4	5	1	2	1
Total	283 (69%)	79 (19%)	47 (11%)	16	14	8	6	3

表 2　Phase1 における自転車トレーニングの内容と結果

日付	トレーニング内容	平均パワー (W)	相対値 (%3mMP)	備考
2023年8月14日	4min2min*4	234	55	強度を下げて回数を 3 回から 4 回に増やして実施
2023年8月19日	2min1min*6	273	64	強度を下げて回数を 5 回から 6 回に増やして実施
2023年8月22日	4min2min*4	263	61	強度を下げて回数を 3 回から 4 回に増やして実施，4 回目を 3 分で実施
2023年8月25日	60s60s*7	392	91	30s30s の導入として強度を下げて運動時間を長めの 60 秒で実施
2023年8月29日	2min1min*5	287	67	
2023年9月2日	3-min test	428	100	
2023年9月5日	30s30s*9	430	100	強度を下げて回数を 8 回から 9 回に増やして実施
2023年9月8日	4min3min*3	302	71	強度を担保するため，休息を 2 分から 3 分に長くして実施
2023年9月13日	60s60s*7	391	91	30s30s の導入として強度を下げて運動時間を長めの 60 秒で実施
2023年9月16日	2min1min*4	317	74	テーパリング期のため，回数を 3 回とし，休息中は 150W の軽運動で実施
2023年10月21日	4min3min*3	302	71	競技会後の休養明けのため，休息を 2 分から 3 分に長くして実施
2023年10月26日	2min1min*5	328	77	
2023年10月29日	30s30s*8	488	114	
2023年11月3日	4min2min*3	305	71	
2023年11月7日	2min1min*5	314	73	1 回目の休息中は 100W の軽運動で実施，2 回目以降は通常通り
2023年11月15日	60s90s*3	479	112	30s90s の導入として強度を下げて運動時間を 60 秒に長くして実施
2023年11月19日	4min2min*3	311	73	
2023年11月23日	2min1min*5	330	77	1 回目の休息中は 130W の軽運動で実施，2 回目以降は通常通り
2023年11月27日	3-min test	435	100	

4min2min: Repeated sets of 4-min exercise with 2-min recovery; 2min1min: Repeated sets of 2-min exercise with 1-min recovery; 30s30s: Repeated sets of 30-s exercise with 30-s recovery; 60s90s: Repeated sets of 60-s exercise with 90-s recovery

表 3 Phase2 における自転車トレーニングの内容と結果

日付	トレーニング内容	平均パワー (W)	相対値 (%3mMP)	備考
2023年12月9日	4min2min*2	309	71	高地 (1750m) のため，回数を 3 回から 2 回に減らして実施
2023年12月12日	30s60s*6	502	115	高地のため，30s30s の休息を長くし，回数を 8 回から 6 回に減らして実施
2023年12月16日	30s90s*4	570	131	高地のため，回数を 5 回から 4 回に減らして実施
2023年12月25日	4min2min*3	315	72	
2023年12月28日	2min1min*5	346	80	1 回目の休息中は 130W の軽運動で実施，2 回目以降は通常通り
2024年1月15日	4min2min*2	225	52	インフルエンザ明けのため，様子を見ながら実施
2024年1月26日	4min3min*3	305	70	インフルエンザ明けのため，休息を 2 分から 3 分に長くして実施
2024年2月2日	2min1min*5	340	78	
2024年2月6日	30s30s*8	514	118	回転数を 115rpm で実施
2024年2月10日	4min2min*3	320	74	心拍数測定不良
2024年2月14日	30s90s*5	627	144	
2024年2月21日	30s90s*5	639	147	現状打破のため，2 週連続で強度の高いトレーニングを実施
2024年2月27日	4min2min*3	325	75	
2024年3月6日	30s30s*8	522	120	
2024年3月12日	2min1min*3	363	83	テーパリング期のため，回数を 3 回とし，休息中は 150W の軽運動で実施

4min2min: Repeated sets of 4-min exercise with 2-min recovery; 2min1min: Repeated sets of 2-min exercise with 1-min recovery; 30s30s: Repeated sets of 30-s exercise with 30-s recovery; 30s90s: Repeated sets of 60-s exercise with 90-s recovery

表 4 Phase3 における自転車トレーニングの内容と結果

日付	トレーニング内容	平均パワー (W)	相対値 (%3mMP)	備考
2024年4月9日	2min1min*5	321 ※	74	※遠征先の影響で Powermax を使用，1 回目の休息中は 150W の軽運動
2024年4月16日	2min1min*5	333 ※	77	※遠征先の影響で Powermax を使用，1，2 回目の休息中は 150W の軽運動
2024年4月24日	4min2min*3	321	74	
2024年5月2日	30s30s*8	529	122	
2024年5月10日	30s90s*5	638	147	
2024年5月14日	2min1min*3	372	86	テーパリング期のため，回数を 3 回とし，休息中は 130W の軽運動で実施
2024年5月22日	4min2min*3	322	74	風邪気味？
2024年6月5日	3-min test	440	100	
2024年6月13日	4min2min*3	326	74	
2024年6月26日	2min1min*5	284 ※	65	※遠征先の影響で古い WattbikePro を使用，発揮パワーが大きく逸脱
2024年7月5日	2min1min*5	302 ※	69	※同上
2024年7月8日	30s90s*5	565 ※	128	※同上
2024年7月16日	4min2min*3	291 ※	66	※同上
2024年7月23日	4min2min*2	N/A ※	N/A	※遠征先の影響でスピンバイクを使用，通常のトレーニングできず

4min2min: Repeated sets of 4-min exercise with 2-min recovery; 2min1min: Repeated sets of 2-min exercise with 1-min recovery; 30s30s: Repeated sets of 30-s exercise with 30-s recovery; 30s90s: Repeated sets of 60-s exercise with 90-s recovery

表 5 6 秒テストおよび 3 分テストの結果

Date	Body Weight	6sMP		3mMP		$\dot{V}O_2$peak		HRpeak
	(kg)	(W)	(W/kg)	(W)	(W/kg)	(ml/min)	(ml/kg/min)	(beats/min)
2023-09-02	86.6	1257	14.5	428	4.94	5190	59.9	183
2023-11-27	85.9	1310	15.3	435	5.06	5288	61.6	185
2024-06-05	86.5	1378	15.9	440	5.09	5304	61.3	182

6sMP: Mean power during 6-s cycling test; 3mMP: Mean power during 3-min cycling test

し，325 W に到達した（2024 年 2 月 27 日）．パリ五輪代表選考会（2024 年 3 月 18 日）およびその休養後，6 月 13 日に同様の水準まで到達した（326 W）．Time ≧ 90%HRpeak について，平均パワーの変動とは異なり，増加したり，減少したりしながら，平均パワーが 325W に到達した以降（2024 年 2 月 27 日）は，一定の値を示した．なお，Time ≧ 90%HRpeak は 4min3min*3 と 4min2min*3 の初回セッションでそれぞれ最も高い値を示した．Time ≧ 95%HRpeak について，4min2min*3 の初回から 3 セッション目まででそれぞれ高い値を示した．

表 5 に 6 秒テストと 3 分テストの結果を示した．6sMP と 3mMP は，絶対値および相対値の両方とも測定した 3 回全てで漸増した．$\dot{V}O_2$peak は，絶対値では 3 回全てで漸増し，相対値では体重の軽かった 2 回目で最高値を記録した．最高心拍数も 2 回目で最高値を記録し，3 回目では最低値を記録した．

2. スイムトレーニングにおける補足資料

表 6 に，各 Phase における代表的な 1 週間のスイムトレーニング（強化期）の強度別泳距離と，3 分テストと同時期に実施したレースペース 50m タイムを示した．50m タイムは，スイムトレーニングで行った 100m バタフライ中の後半 50m タイムであり，前半 50m はトレーニング中の疲労を加味して 5 割程度の力感で泳ぎ，後半 50m は実際のレース後半を想定し全力で泳ぐ内容である．このトレーニングは，泳パフォーマンスの評価として定期的に実施していたため，補足資料として示した．

3. 事例の提示

3.1 Phase1 2023 年 8―11 月（トレーニングの導入期・発展期）

世界選手権（2023 年 7 月 29 日）後，約 2 週間の休養を経てトレーニングを再開した．この期間では，トレーニング休止による有酸素性能力の低下が想定されたため，自転車トレーニングは規定のプロトコルから回数，強度，休息時間を変更し，トレーニング量や強度を調整した（表 2）．トレーニング再開から約 3 週間後，初期状態の能力を評価するため 1 回目の自転車テスト（2023 年 9 月 2 日）を実施した．$\dot{V}O_2$peak は 60 ml/kg/min を超えることを当面の目標として設定していたため，初回の値は想定よりも高かった（59.9 ml/kg/min）．1 回目の自転車テスト以降は，規定のプロトコルを中心に実施し，順調にトレーニングを消化した．2 回目の自転車テスト（2023 年 11 月 27 日）は，4min2minTr. などの発揮パワーが明らかに高まった段階かつ競技レースの 3 日前でトレーニング量を減らす目的で自転車テストを実施した．$\dot{V}O_2$peak は 61.6 ml/kg/min を記録し，一定の目標を達成した．体重は 1 回目より微減していたものの 3mMP は絶対値でも相対値でも改善された．そこで，著者はスイムコーチに対し自転車トレーニングの頻度・優先度を少し下げても問題ない旨を伝えた．

3.2 Phase2 2023 年 12 月―2024 年 3 月（維持期・回復期）

Phase2 では，2023 年 12 月に 17 日間の高地合宿（標高 1750m），2024 年 1 月に 14 日間の高地合宿（標高 1750m）が組まれており，低酸素環境

表 6 各 Phase における代表的な 1 週間のスイムトレーニング（強化期）の強度別泳距離と 50m タイム

Phase	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Zone 7	Zone 8	Total	Rece pace 50m Time	
	m (%)	m (%)	m (%)	m (%)	m (%)	m (%)	m (%)	m (%)	m	Date	sec
1	9,650 (36)	2,000 (7)	11,575 (43)	800 (3)	400 (1)	0 (0)	1,300 (5)	1,105 (4)	26,830	2023-08-25	27.5
2	9,100 (32)	2,000 (7)	12,300 (43)	1,700 (6)	800 (3)	0 (0)	2,050 (7)	875 (3)	28,825	2023-11-23	27.2
3	11,150 (32)	0 (0)	16,200 (46)	2,400 (7)	1,675 (5)	200 (1)	1,700 (5)	2,030 (6)	35,355	2024-05-25	27.1

Race pace 50m Time: The second 50-m time in a 100-m butterfly swim, with the first 50 m performed with progressive acceleration and the second 50 m at maximal effort simulating race pace

を考慮し自転車トレーニングのプロトコルを変更した（表 3）．すなわち，各セッションの目標値（パワー）を下げ，回数を減らすことで，トレーニング強度・量を減少させた．ただし，1 月の高地合宿中に対象者がインフルエンザに罹患し，トレーニングが中断した．インフルエンザ明け 1 回目のトレーニングでは平均パワーの低下が確認されたが，その後は順調に改善した（表 3，図 2）．インフルエンザ罹患によりトレーニング計画に変更が生じたため，3 月のパリ五輪代表選考会まで日程的余裕がなく，自転車テストよりも他のトレーニングを優先した．レースは 2 位（51 秒 23）でパリ五輪代表に内定した．

3.3 Phase3 2024 年 4―7 月（発展期）

代表選考会を終えて，約 1 週間の休養をはさみトレーニングを再開した．4 月は自転車トレーニング 3 回のうち 2 回は遠征先の影響で別の自転車エルゴメータ（Power max VIII，コナミ社）を使用し，発揮パワーは比較できないものの最高心拍数は前回値と同等であった（186 bpm → 187 bpm, 187 bpm）．4 月と 5 月はトレーニング状況も良く，自転車トレーニングでの頭打ちを感じてきたタイミングで，海外遠征前に 3 回目の自転車テストを実施した（2024 年 6 月 5 日）．3mMP と $\dot{V}O_2$peak ともに 2023 年 11 月と同様の値であり，有酸素性能力が維持されていることを確認した．2024 年 6 月 15 日から海外遠征が始まり，2024 年 7 月 25 日にパリ五輪の現地入りをした．その間，遠征先に設置されていた自転車エルゴメータ（Wattbike Pro）は，機体が古くメンテナンスされていないこともあり，平均パワーは前回値と比較して 11% 程度低い値であったことから計測不能とした．さらに，現地入り直前の拠点には家庭用スピンバイク（Racer XPR Electronic, Care Fitness Inc.）しか設置されてなかったものの，対象者とスイムコーチとの協議の結果，テーパリングを考慮して 4min2minTr. の反復回数を 2 回にして実施した．その結果，ペダリング運動がスムーズにできなかったことにより最高心拍数は上がりきらず（166 bpm），十分に負荷を与えることができなかった．そのセッションが最後の自転車トレーニングとなり，その 12 日後のパリ五輪決勝レースでは 8 位（51 秒 11，自身五輪初入賞）となった．

Ⅳ 考 察

本事例から得られる実践的知見は主に以下の 3 つである．①競泳選手にとって自転車トレーニングが効果的なクロストレーニングとして活用できる可能性があること．②競技者のコンディションやトレーニング環境，試合計画などに合わせてクロストレーニングの内容を随時調整する必要があり，その調整に適したトレーニングプロトコルを設定しておくこと．③クロストレーニングのモニタリング指標（平均パワー，Time ≧ 90%HRpeak）により，トレーニングの適応状況を大まかに把握することが可能であること．

まず，競泳競技者における自転車トレーニングの効果について，自転車トレーニングによって，持久力の指標である 3mMP と $\dot{V}O_2$peak はいずれも向上した．$\dot{V}O_2$peak が向上した要因については推測の域を出ないが，先行研究において最大酸素摂取量向上の要因は中枢系適応の貢献が大きいとされており（Maughan and Gleeson, 2010），本事例で実施した自転車トレーニングの 64% が中枢系適応を狙いとした 4min2minTr. と 2min1minTr. であったことや Zone4-6 に相当するスイムトレーニング量が少なかったことを鑑みると（表 1，表 6），自転車トレーニングによる心拍出量の改善が有酸素性能力の向上に寄与した可能性がある．また，競泳のレースタイムは 2023 年世界選手権から 2024 年パリ五輪で向上がみられた（51 秒 93 → 51 秒 11）．およそ 50 秒の運動では有酸素性エネルギーの貢献度が 40―50% 程度（Gastin, 2001；荻田ほか，1998）とされており，自転車トレーニングによって高まった有酸素性能力がレースタイムの向上に寄与した可能性がある．また，間接的な影響として有酸素性能力は高強度インターバルトレーニング中やトレーニングセッション後の回復との関連も示されており（Tomlin and Wenger, 2001），日々のスイムトレーニングの質

が向上し，それによってパフォーマンスが高まった可能性も考えられる．実際に，スイムトレーニング中の 50m タイムも 3 分テストと同様に改善した（表 6）．有酸素性能力の中でも特に中枢系の適応は異なる運動への能力の転移が生じやすいことから（Anthony and Chris, 2014; Tanaka, 1994），中枢系の適応を狙った本事例の自転車トレーニングはクロストレーニングとして合理的であったといえる．これらのことから，競泳のスプリント種目においても，自転車トレーニングによって有酸素性能力（特に中枢系の適応）を高めることは結果的に競技パフォーマンス向上に資することが示唆された．

自転車トレーニングの内容に関して，競泳選手にとってはスイムトレーニングや競技会が最優先であることからクロストレーニングの頻度や強度，量はそれらに合わせて調整する必要がある．本事例において，重要試合のレース前 2 週間の期間に自転車トレーニングを行う場合には，ピーキングのために強度を落とさずにトレーニング量を減らすテーパリングを実施した（Bosquet et al., 2007）．具体的には 2min1minTr. の回数を 3 回とし（通常時は 5 回），インターバル間には 150W 程度の軽運動を挟むプロトコルを用い，心拍数が高い状態を軽運動で維持しながらもトレーニング量を減らす調整を主に行った．また，Phase1 の序盤においては 2023 年世界選手権後の休養明けで，トレーニングの休止により有酸素性能力の低下が想定されたため，狙ったトレーニング量と強度のいずれかを確保するように規定のプロトコルから強度や反復回数，休息時間を調整した．なお，2024 年 1 月のインフルエンザ明けも同様の調整を行った．Phase2 の高地合宿では，低酸素環境のため規定プロトコルでの実施は困難であった（Wilber, 2014）．そこで，4min2minTr. では回数を 3 回から 2 回に減らすなどの調整を行った（表 3）．そうした調整もあり，高地合宿およびインフルエンザ罹患後でもそれ以前と同等以上の水準（平均パワー）に達した（表 3，2 月上旬）．さらに Phase3 では，遠征時にトレーニング設備が整っておらず，その際にも規定プロトコルの調整を行った．すなわち，自転車エルゴメータが同一機種であっても機体差が大きい場合があり（Wainwright et al., 2017），その自転車エルゴメーターの傾向（発揮パワーの過大もしくは過小評価）を把握するまでは心拍数や主観的運動強度（6—20 段階の Borg スケール）を慎重に観察しながら回数ごとに強度を調整する必要がある．4min2minTr. は，運動時間が長く，反復回数が 3 回と少ないため，運動 1 回目の運動強度が高すぎたり低すぎたりした場合に，その影響が残りの 2 回に強く及ぼすことになる．このため，セッション途中で強度調整する余地が少なく，適した強度での実施が難しい．対して，2min1minTr. は反復回数が 5 回で，心拍数や主観的運動強度の反応を確認しながらの強度調整が比較的容易である．そのため，前述の状況では 2min1minTr. を優先的に取り入れた．そして，その結果をもとに自転車エルゴメーターの傾向を考慮して次回トレーニングの目標値（パワー）を再調整した（表 4，7 月セッション）．したがって，エリート選手におけるトレーニング環境や計画は，遠征や重要試合の頻度の影響を受けることから，トレーニング環境や計画はそれに影響を受け，トレーニング内容を臨機応変に調整する必要がある．このように専門的トレーニングだけでなくクロストレーニングにおいても状況に応じたトレーニング内容の選定と調整は重要であるため（Anthony and Chris, 2014），画一的なプロトコルではなく，複数のトレーニングプロトコルを準備しておき，柔軟なプロトコル変更の選択肢を有しておくことが効果的なトレーニング処方につながるといえる．

自転車トレーニングの結果（平均パワーや心拍数指標）は，トレーニングの適応状況の把握に活用できる可能性がある．本事例の 4min2minTr. では，平均パワーと Time%HRpeak をモニタリングした（図 2）．Time ≧ 90%HRpeak とトレーニング適応の関連について，持久系パフォーマンスの変化率との間に有意な相関関係が報告されており（Odden et al., 2024），トレーニングセッションを繰り返すほど運動中の平均心拍数が有意に低下し，Time ≧ 90%HRpeak が短縮したことが報告さ

れている（Rønnestad et al., 2022）．このことから，規定したプロトコルで心拍数指標を継続的にモニタリングすることで，トレーニング適応を評価する指標になり得ると考えられる．本事例においても 4min2minTr. では，休息時間を 3 分とした場合に，1 セッション目よりも 2 セッション目で Time ≧ 90%HRpeak は短縮し（図 2, 2023 年 10 月 21 日），休息時間を 2 分に変更した場合に 1 セッション目よりも 2 セッション目で Time ≧ 90%HRpeak は短縮したことから（図 2，2023 年 11 月 19 日），それぞれトレーニングの適応が生じていた可能性は高い．一方で，それ以降は Time ≧ 90%HRpeak に大きな増減が生じなかったために生理学的な変化は大きくなかったとも考えられる．実際に，自転車テストの $\dot{V}O_2$peak は 2 回目（2023 年 11 月 27 日）から 3 回目（2024 年 6 月 5 日）で変化はほぼ生じなかった（表 5）．これらのことは，2023 年 12 月頃から 4min2minTr. によるトレーニング負荷が相対的に低下し，適応が停滞していた可能性を示唆しており，有酸素性能力をさらに高めるにはトレーニングプロトコルを見直し，トレーニング負荷を高める必要があったといえる．なお，本事例においてはこの時期では維持を目標としていたため，目標自体は達成されていた．このように，トレーニングの適応状況を把握する上で Time ≧ 90%HRpeak は有用なモニタリング指標となる可能性がある．この点については，今後の事例の蓄積が求められる．平均パワーのモニタリングに関して，2024 年 2 月に 4min2minTr. で 320W を超えて以降は同様の水準を維持していたため，2 回目の 3 分テストと同時期の 4min2minTr. の値（311W）と比較して十分な持久力を有していると判断し，テストよりもトレーニングの実施を優先した．実際に，遠征前の余裕のあるタイミングで自転車テストを実施したところ（3 回目），3mMP は僅かに向上した程度であった（表 5）．オールアウトを伴うテストの実施は，トレーニング機会の喪失になり，競技者の心身に対する負荷も大きい．そのため，本事例のように規定プロトコルのトレーニング結果をモニタリングすることによってトレーニング状況を大まかに把握することができれば，テストの実施頻度を減らすことができるといえる．

V　まとめ

本研究では，エリート競泳スプリンターを対象に自転車トレーニングを取り入れた事例を提示し，クロストレーニングの実施に関する実践的知見を獲得することが本研究の目的であった．これまで競泳競技者を対象に自転車トレーニングが取り入れられることは少なく，競泳以外であってもエリート競技者のクロストレーニングについて詳細が明かされることはほとんどなかったことから貴重な事例報告であるといえる．

本事例の対象者は，競泳 100m バタフライにおいて日本記録を有する男性競技者であり，事例開始時点で同種目の国内選手と比較して既に卓越した技術と体力を有していたと推測されるが，一方でその水準を維持することすら至難の業だといえる．障害のリスクを抑えながらトレーニング量を確保するために自転車トレーニングを計画し，中枢系（心拍出能力）の適応による有酸素性能力の向上を目的に，約 1 年間で週 1 回程度の頻度で計 47 回のセッションを完遂した（全トレーニングの 11%，表 1）．

その結果，持久力の指標である 3 分平均パワーおよび最高酸素摂取量は 3 回の測定の内漸増し（表 5），トレーニング中の平均パワーも漸増した（図 2）．また，自転車トレーニング期間直前の世界選手権と直後のパリ五輪において，レースタイムは短縮した（51 秒 93 → 51 秒 11）．自転車トレーニングが競技成績に与えた影響は不明であるが，有酸素性能力の向上により直接的もしくは間接的（日々のスイムトレーニングの質が高まるなど）に貢献した可能性は高い．なお，実践過程を詳細に分析し，得られた主な実践知は以下の通りである．

①競泳選手にとって中枢系の適応による有酸素性能力の向上を目的とした自転車トレーニングが効果的なクロストレーニングとして活用できる可能性があること．

②競技者のコンディションやトレーニング環境，試合計画などに合わせてクロストレーニングの内容を随時調整する必要があり，その調整に適したトレーニングプロトコルを準備しておくこと．

③クロストレーニングのモニタリング指標（平均パワーや Time ≧ 90%HRpeak）により，トレーニングの適応状況を大まかに把握することが可能であること．

本事例の対象者はエリート競泳競技者であり，万人に対し有効な実践知とはいえないものの，以上の知見に至る背景や考察を理解することでより多くの実践の場で応用できる可能性がある．より長期的，他競技，他運動様式によるクロストレーニングの実践事例とそれに伴う諸指標のモニタリングに関しては今後の研究課題である．

謝辞

本事例の実施にあたり，自転車トレーニングおよび測定のサポートをいただいた，国立スポーツ科学センター所属スポーツ医学研究部門の岡元翔吾氏（現・東京科学大学），月野雄一氏（現・日本体育大学），山﨑和也氏をはじめとするスタッフの皆様に深く感謝申し上げます．

文　献

Anthony, R. and Chris, S. (2014) Optimising effectice cross-training methods. In: Anthony, R. (eds.) High performance training for sports. Human kinetics, pp. 231-244.

Bosquet, L., Montpetit, J., Arvisais, D., and Mujika, I. (2007) Effects of tapering on performance: a meta-analysis. Med. Sci. Sports Exerc., 39: 1358-1365.

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.

Gastin, P. B. (2001) Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. Sports Medicine, 31: 725-741.

Grainger, A. and Neville, R. D. (2020) Intra and Inter Day Reliability of Six-Second WattBike Performance Metrics in Elite Rugby Union Players. Sport Performance and Science Reports, 112.

Hanson, N. J., Scheadler, C. M., Katsavelis, D., and Miller, M. G. (2022) Validity of the wattbike 3-minute aerobic test: measurement and estimation of $\dot{V}O_2$max. J. Strength Cond. Res., 36: 400-404.

Iaia, F. M. and Bangsbo, J. (2010) Speed endurance training is a powerful stimulus for physiological adaptations and performance improvements of athletes. Scand. J. Med. Sci. Sports, 20 Suppl. 2: 11-23.

Ishida, Y., Yamagishi, T., Mujika, I., Nakamura, M., Suzuki, E., and Yamashita, D. (2023) Training cessation and subsequent retraining of a world-class female Olympic sailor after Tokyo 2020: A case study. Physiological Reports, 11: e15593.

Issurin, V. B. (2013) Training transfer: scientific background and insights for practical application. Sports Med., 43: 675-694.

Katy, B. (2024) How they train: Georgia Bell. https://athleticsweekly.com/featured/how-they-train-georgia-bell-1039978156/,（参照日 2024 年 10 月 17 日）.

Maughan, R. and Gleeson, M. (2010) Adaptations to training. In: Maughan, R. (eds.) The Biochemical Basis of Sports Performance (2nd ed.). Oxford University press, pp. 226-281.

Millet, G. P., Candau, R. B., Barbier, B., Busso, T., Rouillon, J. D., and Chatard, J. C. (2002) Modelling the transfers of training effects on performance in elite triathletes. Int. J. Sports Med., 23: 55-63.

Mountjoy, M., Junge, A., Alonso, J. M., Engebretsen, L., Dragan, I., Gerrard, D., Kouidri, M., Luebs, E., Shahpar, F. M., and Dvorak, J. (2010) Sports injuries and illnesses in the 2009 FINA World Championships (Aquatics). Br. J. Sports Med., 44: 522-527.

Odden, I., Nymoen, L., Urianstad, T., Kristoffersen, M., Hammarström, D., Hansen, J., Mølmen, K. S., and Rønnestad, B. R. (2024) The higher the fraction of maximal oxygen uptake is during interval training, the greater is the cycling performance gain. Eur. J. Sport Sci., 24: 1583-1596.

荻田太・小野寺丈晴・若吉浩二（1998）超最大強度におけるプル、キック、スイム中の代謝特性．水泳水中運動科学，1：13-18.

Poel, N. v. d. (2022) How to Skate a 10k. https://www.howtoskate.se,（参照日 2024 年 10 月 17 日）.

Reilly, T. and Bangsbo, J. (1999) Anaerobic and aerobic training. In: Elliot, B. (ed.) Training in sport: Applying sport science. Wiley, pp. 351-409.

Ristolainen, L., Heinonen, A., Turunen, H., Mannström, H., Waller, B., Kettunen, J. A., and Kujala, U. M. (2010) Type of sport is related to injury profile: a study on cross country skiers, swimmers, long-distance runners and soccer players. A retrospective 12-month study. Scand. J. Med. Sci. Sports,

20: 384-393.
Rønnestad, B. R., Bjerkrheim, K. A., Hansen, J., and Mølmen, K. S. (2022) A 6-day high-intensity interval microcycle improves indicators of endurance performance in elite cross-country skiers. Front. Sports Act. Living, 4: 948127.
Seiler, S. (2023) Training Intensity Distribution: the Why Behind the What. In: Mujika, I. (ed.) Endurance Training - Science and Practice (2nd ed.). Iñigo Mujika S. L. U., pp. 41-54.
Seiler, S. and Tønnessen, E. (2009) Intervals, thresholds, and long slow distance: the role of intensity and duration in endurance training. Sportscience, 13: 32-53.
田畑泉（2015）究極の科学的肉体改造メソッド タバタ式トレーニング．扶桑社.
Tanaka, H. (1994) Effects of cross-training. Transfer of training effects on $\dot{V}O_2$max between cycling, running and swimming. Sports Med., 18: 330-339.
Thibault, G. (2003) A graphical model for interval training. New Studies in Athletics, 18: 49-56.
Tomlin, D. L. and Wenger, H. A. (2001) The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. Sports Med., 31: 1-11.
Tønnessen, E., Sandbakk, Ø., Sandbakk, S. B., Seiler, S., and Haugen, T. (2024) Training session models in endurance sports: A norwegian perspective on best practice recommendations. Sports Med., 54: 2935-2953.
Wainwright, B., Cooke, C. B., and O' Hara, J. P. (2017) The validity and reliability of a sample of 10 Wattbike cycle ergometers. J. Sports Sci., 35: 1451-1458.
Wilber, R. (2014) Altitude Training and Athletic Performance. Human kinetics.
山元康平（2019）400m 走における「基準値」～それぞれに最良のレースパターンを見つけるために～．月刊陸上競技 9 月号，pp.206-209.

（2025 年 5 月 28 日受付
2025 年 10 月 17 日受理）

Advance Publication by J-STAGE
Published online 2025/10/23