

市民ランナーにおけるマラソンシーズンの生理学的指標, パフォーマンスの回復ならびにトレーニング負荷と主観的体調との関係: 事例研究

高山 史徳^{1), 2)} 嶋津 航³⁾ 青柳 篤¹⁾ 鍋倉 賢治⁴⁾

Fuminori Takayama^{1,2}, Wataru Shimazu³, Atsushi Aoyagi¹ and Yoshiharu Nabekura⁴: Recovery of physiological variables and performance and relationship between training load and psychometric status during marathon season in a recreational runner: a case study. Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci.

Abstract: Some recreational runners participate in consecutive races within a short period. A high frequency of participation may not allow for sufficient recovery time, leading to overreaching. This case study reports on the training load, physiological variables, performance, and psychometric status of a male recreational runner during the 16-week marathon season. The runner completed 4 marathon races in a period of 8 weeks (6-14 week). Training load was quantified based on the cumulative time spent in 3 intensity zones (zone 1: < ventilatory threshold, zone 2: between ventilatory threshold and respiratory compensation point, zone 3: < respiratory compensation point) using heart rate monitoring. The Hooper questionnaire was completed every morning to quantify sleep, stress, fatigue, and muscle soreness. The runner performed four identical treadmill running test over the season. The coefficient of variation for maximal velocity and physiological variables was 1.0% and 1.8 - 5.2%, respectively. Pearson correlation showed significant relationships between training load and stress, fatigue, and muscle soreness. There was no significant relationship between training load and sleep. In conclusion, it appeared that this runner was able to complete 4 marathon races without overreaching. These findings suggest that the training load and Hooper questionnaire are practical tools for monitoring of recreational runners during the marathon season.

Key words : running economy, maximal oxygen uptake, anaerobic threshold

キーワード : 走の経済性, 最大酸素摂取量, 無酸素性閾値

I 緒言

マラソンは, 全身諸器官への負荷が著しい持久性競技である。マラソンレース中の心拍数は最高心拍数 (Maximal heart rate, 以下「HRmax」と略す) の80-90%にも達し (Billat et al., 2012), レース後には心機能が低下する (Neilan et al., 2006)。ま

た, マラソンで筋損傷が起こることは多くの先行研究により明らかとなっている (Kobayashi et al., 2005; 高山ほか, 2016a; Takayama et al., 2017b; Tojima et al., 2016)。

ランナーの中には短い間隔で繰り返しマラソンに出場している者がいる。高頻度でのレース出場は, 不十分な回復を招きオーバーリーチングを誘発する可能性がある。オーバーリーチングとは,

1) 筑波大学大学院人間総合科学研究科
〒 305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1
2) 日本学術振興会特別研究員
〒 102-0083 東京都千代田区麹町 5-3-1
3) 学校法人名古屋学院名古屋中学校・高等学校
〒 461-8676 愛知県名古屋市中東区砂田橋 2-1-58
4) 筑波大学体育系
〒 305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1
連絡先 高山史徳

1. Graduate school of Comprehensive Human sciences,
University of Tsukuba
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574
2. Research Fellow of Japan Society for the Promotion of
Sciences
5-3-1 Kojimachi, Chiyoda-ku, Tokyo 102-0083
3. Nagoya Junior & Senior High school
2-1-58 Sunadabashi, Higashi-ku, Nagoya, Aichi 461-8676
4. Faculty of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574
Corresponding author fuminori.takayama1990@gmail.com

トレーニングまたはトレーニング以外のストレスの蓄積によって短期的にパフォーマンスが低下した状態のことをさす (Coutts et al., 2007b). Aubry et al. (2014) は, 23 名の男性トライアスロン選手を対象として, 3 週間の過負荷トレーニング期と 4 週間のテーパリング期にパフォーマンスを評価している. その結果, 過負荷トレーニング後にオーバーリーチングになった対象者はならなかった対象者と比べてテーパリング期におけるパフォーマンスの改善度が低かった. この知見は, オーバーリーチングになることがトレーニングによる適応を妨げる可能性があることを示している.

トレーニング時および大会時の運動負荷 (Training load) と回復状況との関係を検討した知見は, オーバーリーチングを避けながらパフォーマンスを最適化するために貴重な参考資料となる. また, 主観的体調を定量できる心理学的尺度は Training load を反映し (Auersperger et al., 2014; Buchheit et al., 2013; Coutts et al., 2007a, 2007b; Faude et al., 2011; Moalla et al., 2016; Nunes et al., 2014), パフォーマンスの変化とも関係する (Buchheit et al., 2013; Coutts et al., 2007a, 2007b; Faude et al., 2011). Coutts et al. (2007b) は, 16 名のトライアスロン選手を対象として, 4 週間の鍛錬期ならびに 2 週間のテーパリング期における Training load, 主観的体調, ランニングのタイムトライアルの成績を評価している. その結果, 鍛錬期直後では主観的体調のストレス指標が高くなる一方で回復指標が低くなり, パフォーマンスは低下していた. 一方, テーパリング期直後では, 主観的体調とパフォーマンスがともに改善していた. このような結果に基づき彼らは, トレーニングを管理する上で主観的体調とパフォーマンスを定期的に定量することが有用であると述べている.

マラソン後の回復を検討した先行研究は, トレッドミルテストの最高走速度 (Maximal velocity, 以下「Vmax」と略す) あるいは運動持続時間からパフォーマンスを評価している (Armstrong et al., 2015; Hottenrott et al., 2016; 高山ほか, 2016a; Takayama et al., 2017a, 2017b; Zouhal et al., 2006). これは, 両指標とマラソンの記録との間にきわ

めて強い相関関係があることに基づいている (Noakes et al., 1990). また, マラソンの記録と密接な関係を有する最大酸素摂取量 (Maximal oxygen uptake, 以下「 $\dot{V}O_{2max}$ 」と略す), 無酸素性閾値 (Anaerobic threshold, 以下「AT」と略す) および走の経済性 (Running economy, 以下「RE」と略す) といった生理学的指標をもとに回復を評価した研究も多い (Hottenrott et al., 2016; Kyröläinen et al., 2000; 高山ほか, 2016a; Takayama et al., 2017a, 2017b; Zouhal et al., 2006). これらの先行研究の結果をまとめると, ランナーの走力に関わらず, 一旦低下したパフォーマンスおよび生理学的指標は, レース後 1 週間以内には回復している. 例えば, $\dot{V}O_{2max}$ および Vmax に関しては, 経験の浅い初心者ランナー (Takayama et al., 2017b), 2 時間 30 分程度の全国レベルの記録で完走したランナー (Zouhal et al., 2006) のいずれを対象としても, 3 日後には回復している. ただし, 先行研究では 1 回のマラソン後の回復を検討したのみであり, 短期間に高頻度でマラソンに出場したランナーを対象とした場合, 生理学的指標およびパフォーマンスが回復するのかが明らかになっていない.

今回, 我々は 8 週間に 4 回のマラソンに出場したランナーを対象として, Training load, $\dot{V}O_{2max}$, AT, RE, パフォーマンスならびに主観的体調を定量した. そこで本事例研究では, 短期間に繰り返しマラソンに出場したランナーの生理学的指標・パフォーマンスの回復を明らかにすること, Training load と主観的体調との関係を明らかにすることを目的とした.

II 方法

1. 対象者, 実験デザイン

対象者は, 大学院に在学する市民ランナー 1 名 (年齢: 24 歳, 身長: 181cm, 体重: 68kg, ランニング経験: 11 年, マラソン出場回数: 2 回) であった. 対象者は, 大学 4 年まで中長距離選手として陸上競技部に所属しており, 大学院進学後は市民ランナーとしてランニングを継続していた.

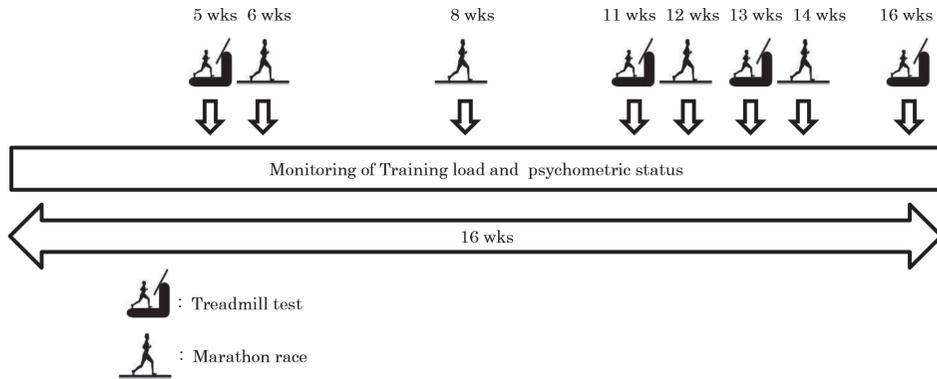


Figure 1 Experimental design.

陸上競技部在籍時の対象者の自己記録は、800mが1分53秒、1500mが3分51秒、5000mが14分55秒、10000mが31分05秒であった。ハーフマラソンとマラソンについては、陸上競技部在籍時には出場経験がなかった。本研究の開始前における対象者の自己記録は、ハーフマラソンが1時間9分57秒、マラソンが2時間38分59秒であった。また、日本陸上競技選手権大会男子マラソンの出場・完走経験があった。対象者には実験開始前に研究の目的、方法ならびに起こりうる危険性を文書および口頭で説明し、同意を得た。なお、本研究は筑波大学体育系研究倫理委員会の承認を得ている。

本研究では、2016年8月から12月までの16週間を実験対象期間とした（Figure 1）。対象期間をとおしてTraining load, 主観的体調を定量した。対象者は、6—14週の8週間で4回マラソンに出場した（6週目、8週目、12週目および14週目）。トレッドミルテストは5週目（1回目のマラソンの9日前）、11週目（3回目のマラソンの7日前）、13週目（3回目のマラソンの7日後）および16週目（4回目のマラソンの10日後）に実施した。なお、対象者はいずれのマラソンもその時点での最善を尽くすことを心がけていた。

2. トレッドミルテスト

トレッドミルテストを始める前に体重計（TBF-102, タニタ社製）を用いて体重を計測した。トレッドミルテストは、傾斜1%に設定された大型

トレッドミル（ORK7000, 大武ルート工業社製）を用いて、室温が22—24℃に設定された実験室内にて行われた。日内変動による影響を避けるために、全ての測定を午前10時から実施した。

トレッドミルテストは、最大下テストと最大テストの2種類により構成された。はじめに、REの測定を目的とした5分間の最大下テストを実施した。最大下テストの走速度は先行研究を参考に、対象者のマラソン自己記録における平均走速度の85%に相当する13.5km/hとした（Takayama et al., 2017a）。最大下テストから5分間の休息を挟み、最大テストを行った。最大テストは、8.4km/hから1分毎に走速度を0.6km/h漸増させ、exhaustionに達するまで行った。exhaustionは、対象者自身が走行不可能と意思表示することによって決定された。

走行中の呼気ガスは、自動ガス分析器（AE-310-s エアロモニター, ミナト医科学社製）を用いて呼気ガス採集法により分析し、酸素摂取量（Oxygen uptake, 以下「 $\dot{V}O_2$ 」と略す）、二酸化炭素排出量（Carbon dioxide production, 以下「 $\dot{V}CO_2$ 」と略す）、換気量（Ventilation, 以下「 \dot{V}_E 」と略す）、呼吸交換比（Respiratory exchange ratio, 以下「RER」と略す）を測定した。呼気ガスのサンプリング間隔は、20秒間に設定した。測定前に校正ガスおよび流量校正器を用いてキャリブレーションを行った。また、心拍計（M400, Polar社製）を用いて心拍数（Heart rate, 以下「HR」と略す）の測定を行った。主観的運動強度（Rating of perceived

exertion, 以下「RPE」と略す)は, Borg (1973)が開発し, 小野寺・宮下 (1976)が日本語表示化した15段階のスケールを用いて, 最大テストの終了時に測定した。

分析項目は, 最大下テストにおける $\dot{V}O_2$, エネルギーコスト (Energy cost, 以下「EC」と略す)およびHR, 最大テストにおける換気性閾値 (Ventilatory threshold, 以下「VT」と略す), 呼吸性代償閾値 (Respiratory compensation point, 以下「RCP」と略す), RERが1.0を超えた閾値 (RER1.0), $\dot{V}O_{2max}$, HRmax および Vmax とした。VT, RCP および RER1.0 は酸素摂取水準 ($\% \dot{V}O_{2max}$) ならびに走速度 (vVT, vRCP, vRER1.0) によって表された。最大下テストにおける $\dot{V}O_2$ および HR は, 最後の1分間の平均値とした。また, 最大下テストにおける最後の1分間の平均値の $\dot{V}O_2$ と RER をもとに EC を算出した (Fletcher et al., 2009)。最大下テストにおける VT は $\dot{V}O_2$ に対する $\dot{V}CO_2$ の屈曲点を, RCP は \dot{V}_E に対する $\dot{V}CO_2$ の屈曲点として V-slope 法によりそれぞれ定量された (Beaver et al., 1986; Lourenço et al., 2011)。RER1.0 は, RER が 1.0 を超えて 1.0 未満に低下しなくなった最初の 20 秒間のデータとした (Solberg et al., 2005)。 $\dot{V}O_{2max}$ は, 最大テストにおける最も高い 20 秒間のデータとし, 以下の4つの評価基準の全てを満たすことを条件とした。1) $\dot{V}O_2$ のレベリングオフ ($\dot{V}O_2$ の増加が 150ml/min 未満), 2) 測定された HR の最高値が年齢から予測された HRmax (220-年齢) 以上, 3) RER が 1.1 以上, 4) RPE が 19 以上。Vmax は, 最後に到達できた走速度としたが, 最終ステージの途中で exhaustion に至った場合は, 前のステージの走速度に最終ステージの経過時間の割合を加えて表された。

3. Training load

対象者は, トレーニングおよびレース時に心拍計 (M400, Polar 社製) を装着しランニングを実施した。本研究では, トレッドミルテストの最大テストにおける VT および RCP 時の HR をもとに Training load の強度分けを行った (zone1: VT 未満の HR, zone2: VT 以上 RCP 未満の HR,

zone3: RCP 以上の HR) (Lucía et al., 2000; Muñoz et al., 2014; Neal et al., 2011)。なお, よくトレーニングされた持久性選手を対象とした場合, VT および RCP 時の HR は年間をとおして一定のため (Lucía et al., 2000), 本研究では1回目のトレッドミルテストにおける VT および RCP 時の HR をもとに強度分けを行った (zone 1: 171beats/min 未満, zone 2: 171—182beats/min, zone 3: 183beats/min 以上)。Training load は, Time in zone 法をもとに算出した (Sylta et al., 2014)。すなわち, 各トレーニングあるいはレースの運動時間 (分) を zone 毎に分類し, それぞれに係数 (zone 1: 1, zone 2: 2, zone 3: 3) を乗算した。Training load は, 全ての zone の合計値とした。また, 強度毎にランニング時間を算出し, 合計のランニング時間に対する割合を算出した。

4. 主観的体調

主観的体調は, Hooper の質問紙によって調査した (Hooper et al., 1995)。Hooper の質問紙は, 1) 睡眠, 2) ストレス, 3) 疲労, 4) 筋痛の4項目について7段階の尺度をもとに回答するものであり, 数値が高いほど体調が悪いと評価される。また, 4つの項目の合計値 (Hooper's score) を算出した。対象者は, 毎日の起床後に Hooper の質問紙に回答した。

5. データおよび統計の解析

数値は, 平均値±標準偏差ならびに変動係数 (標準偏差/平均値×100) で表した。Training load および主観的体調に関する指標は, 週毎に分析した。また, 16週間のうち, 1—5週を準備期 (Phase 1), 6—14週をレース期 (Phase 2), 15—16週を回復期 (Phase 3) として各期の強度分布を分析した。なお, レース期においてはマラソンレースを含んだ分析と含まない分析を行った。日毎の Training load と翌日の主観的体調の各変数との相関関係を Pearson の相関係数を用いて比較した (Buchheit et al., 2013)。この際, マラソンレースの日を除外した Training load と主観的体調との相関関係も検討した。Pearson の相関係数は,

Hopkins et al. (2009) をもとに, trivial (< 0.1), small ($0.1-0.29$), moderate ($0.3-0.49$), large ($0.5-0.69$), very large ($0.7-0.89$) および almost perfect ($0.9-1.0$) の効果量と解釈した。

III 結果

対象者は, 全てのマラソンを完走した (6 週目: 2 時間 38 分, 8 週目: 2 時間 47 分, 12 週目: 2 時間 36 分, 14 週目: 2 時間 44 分)。

1. Training load

実験期間中の週当たりのランニング時間と Training load は, 277 ± 130 分 (CV: 46.9%), 381 ± 179 Arbitrary unit (A.U.) (CV: 46.9%) であった (Figure 2)。強度分布は, zone 1 が $73 \pm 16\%$ (CV: 22.6%), zone 2 が $14 \pm 15\%$ (CV: 108.2%), zone 3 が $13 \pm 11\%$ (CV: 83.0%) であった。Figure 3 は, 各期の強度分布を相対値 (%) および絶対値 (分) で示したものである。Phase 1 は, zone 1 が 79% (238 分), zone 2 が 11% (32 分), zone 3 が 10% (27 分) であった。Phase 2 は, マラソンレースを含んだ場合, zone 1 が 70% (213 分), zone 2 が 18% (57

分), zone 3 が 12% (36 分) であった。一方, マラソンレースを除いた場合の Phase 2 は, zone 1 が 89% (206 分), zone 2 が 4% (9 分), zone 3 が 7% (18 分) であった。Phase 3 は, zone 1 が 72% (76 分), zone 2 が 4% (5 分), zone 3 が 24% (19 分) であった。なお, 実験期間中の週当たりの走行距離は 59 ± 27 km であった。

2. トレッドミルテスト

Table 1 は, トレッドミルテストの結果を示したものである。パフォーマンス指標である V_{max} は, 1 回目の測定で 20.6 km/h と最も低く, 以降は $20.8-21.0$ km/h の範囲であった。4 回の測定をとおした V_{max} の CV は 1.0% であった。生理学的指標の CV は, $1.8-5.2\%$ の範囲であった。

3. 主観的体調

実験期間中の週当たりの睡眠は 25.6 ± 3.9 A.U. (CV: 15.3%), ストレスは 24.3 ± 4.3 A.U. (CV: 17.8%), 疲労は 27.0 ± 5.0 A.U. (CV: 18.6%), 筋痛は 18.6 ± 6.3 A.U. (CV: 33.7%) であった。また, Hooper's score は 95.5 ± 14.1 A.U. (CV: 14.7%) であった (Figure 2)。

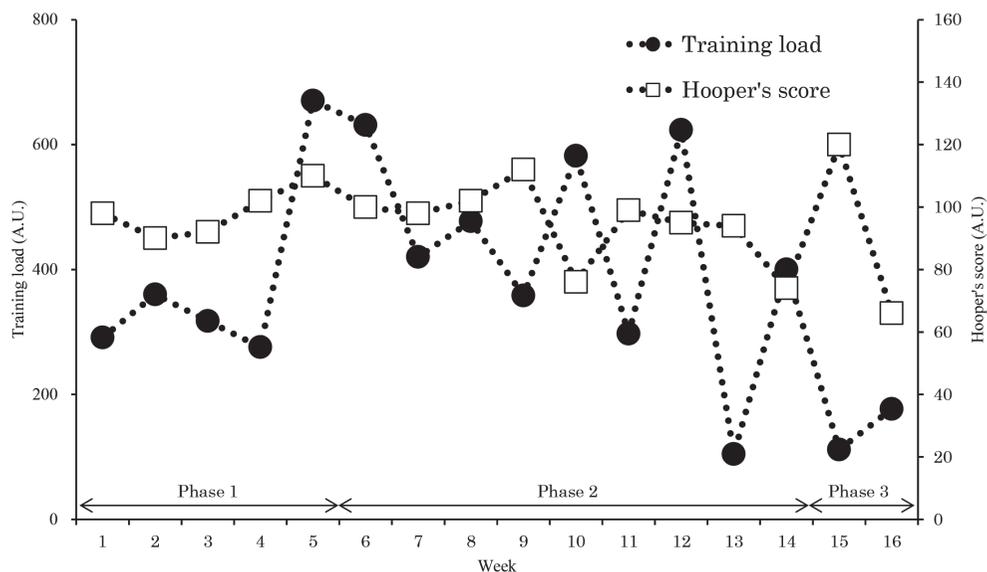


Figure 2 Weekly basis analyses of Training load and Hooper's score. Training load include the marathon races.

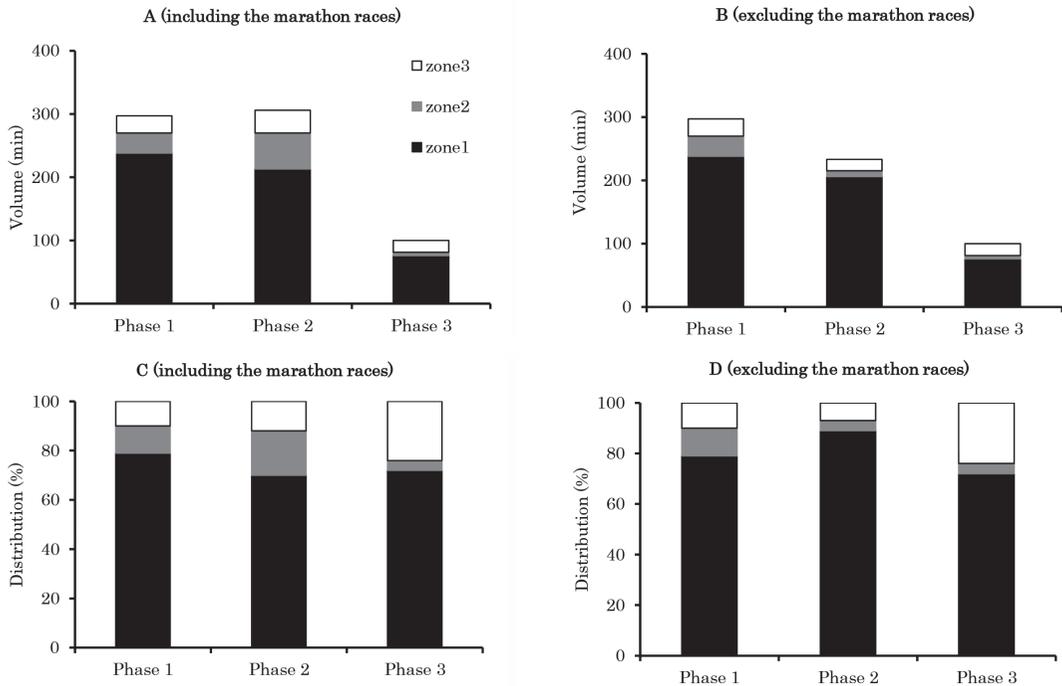


Figure 3 Weekly absolute (A, B) and relative (C, D) running duration.

A and C are calculated by including the marathon races. B and D are calculated by excluding the marathon races.

Table 1 Results of the treadmill test.

	1 st	2 nd	3 rd	4 th	Mean \pm SD (CV)
$\dot{V}O_2$ (ml/kg/min)	43.7	45.5	44.9	46.8	45.2 \pm 1.3 (2.9)
EC (kcal/kg/km)	0.94	0.97	0.95	1.00	0.97 \pm 0.03 (2.8)
HR (beats/min)	157	161	160	164	161 \pm 3 (1.8)
VT (% $\dot{V}O_2$ max)	72.0	79.0	74.5	72.9	74.6 \pm 3.1 (4.2)
RCP (% $\dot{V}O_2$ max)	85.3	94.1	91.8	92.7	90.9 \pm 3.9 (4.3)
RER1.0 (% $\dot{V}O_2$ max)	86.9	94.4	94.6	91.2	91.8 \pm 3.6 (4.0)
vVT (km/h)	15.6	17.4	16.2	15.6	16.2 \pm 0.8 (5.2)
vRCP (km/h)	18.0	19.2	19.2	19.2	18.9 \pm 0.6 (3.2)
vRER1.0 (km/h)	18.6	19.8	19.2	19.2	19.2 \pm 0.5 (2.6)
$\dot{V}O_2$ max (ml/kg/min)	67.8	69.6	69.1	75.2	70.4 \pm 3.3 (4.6)
HRmax (beats/min)	199	206	202	212	205 \pm 6 (2.7)
Vmax (km/h)	20.6	21.0	20.8	21.0	20.8 \pm 0.2 (1.0)

4. Training load と主観的体調との関係

マラソンレースの日を含んだ場合、日毎の Training load と睡眠との間には有意な相関関係が認められなかった ($r = -.003$, $p = .971$)。一方、Training load とストレス ($r = .207$, $p = .030$)、疲労 ($r = .540$, $p < .001$)、筋痛 ($r = .448$, $p < .001$) お

よび Hooper's score ($r = .446$, $p < .001$) との間にはそれぞれ有意な相関関係が認められた。

マラソンレースの日を除外した場合、日毎の Training load と睡眠 ($r = -.056$, $p = .570$) および ストレス ($r = .124$, $p = .206$) との間には有意な相関関係が認められなかった。一方、Training

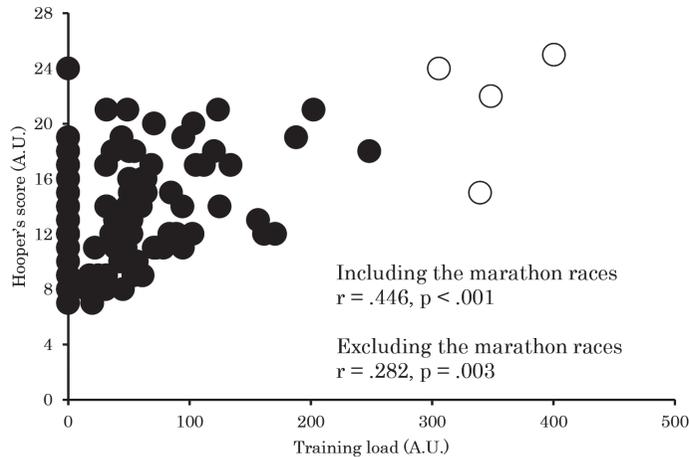


Figure 4 Relationship between daily Training load and Hooper's score.
The training load of the marathon races is indicated by open circle.

loadと疲労 ($r=.473$, $p < .001$), 筋痛 ($r=.210$, $p=.031$) および Hooper's score ($r=.282$, $p=.003$) との間にはそれぞれ有意な相関関係が認められた。

相関係数の効果量は、疲労、筋痛および Hooper's score でマラソンレースを含んだ場合と除外した場合で差が認められた。すなわち、レースを含んだ場合、Training load と疲労との間には large の相関関係が認められたものの、レースを除外した場合には両者の関係は moderate となった。また、Training load と筋痛および Hooper's score との相関関係についてもレースを含んだ場合には moderate の相関関係が認められたものの、レースを除外した場合にはそれぞれ small となった。Figure 4 には Training load と Hooper's score との相関関係を示した。

5. 各マラソンレースの1日後から7日後までの Training load と主観的体調

Table 2 には、各マラソンレースから1週間以内の Training load と主観的体調を示した。なお、実験期間中の1日当たりの平均値 (Training load: 54.4 A.U., 睡眠: 3.7 A.U., ストレス: 3.5 A.U., 疲労: 3.9 A.U., 筋痛: 2.7 A.U., Hooper's score: 13.9 A.U.) よりも高かった場合、背景を薄墨色で示した。

IV 考察

本事例研究では、短期間に繰り返しマラソンに出場したランナーの生理学的指標およびパフォーマンスの回復、Training load と主観的体調との関係を検討した。本研究の主な結果は、パフォーマンスおよび生理学的指標の変動が小さいことである。これは本研究で対象としたランナーがオーバーリーチングに陥ることなく、短期間に4回のマラソンに出場していたことを示している。また、Training load とストレス、疲労および筋痛の間には有意な相関関係が認められた一方で、睡眠との間には有意な関係はなかった結果は、Training load と Hooper の質問紙による主観的体調を定量することがパフォーマンスを最適化する上で有益な方法になることを示唆している。

回復は、ある特定の活動において、事前のパフォーマンスを達成もしくは上回ることと定義されている (Bishop et al., 2008)。Armstrong et al. (2015) は、マラソン後の回復を評価する指標としては、マラソンの記録と密接な関係が認められる V_{max} が優れた指標であると述べている。Saunders et al. (2010) は、本研究の対象者よりもパフォーマンスがやや劣るランナー 34 名 (V_{max} の平均値: 19.0 km/h) を対象として、17 週間で4回のトレッ

Table 2 Training load and psychometric status for seven days after each marathon race.

		1 days	2 days	3 days	4 days	5 days	6 days	7 days
Marathon race1	Training load (A.U.)	0	0	85	49	84	15	188
	Sleep (A.U.)	4	2	2	5	3	5	2
	Stress (A.U.)	5	4	3	3	2	2	2
	Fatigue (A.U.)	6	5	3	4	5	3	2
	Muscle soreness (A.U.)	7	6	4	3	2	2	2
	Hooper's score (A.U.)	22	17	12	15	12	12	8
Marathon race2	Training load (A.U.)	0	0	49	61	0	248	0
	Sleep (A.U.)	1	4	5	7	2	6	4
	Stress (A.U.)	3	3	5	6	2	5	5
	Fatigue (A.U.)	6	5	6	6	4	4	7
	Muscle soreness (A.U.)	5	3	2	2	1	1	2
	Hooper's score (A.U.)	15	15	18	21	9	16	18
Marathon race3	Training load (A.U.)	0	0	0	0	32	31	42
	Sleep (A.U.)	6	2	1	5	2	6	3
	Stress (A.U.)	5	4	3	3	2	3	2
	Fatigue (A.U.)	7	5	3	2	2	3	2
	Muscle soreness (A.U.)	7	5	4	2	2	2	1
	Hooper's score (A.U.)	25	16	11	12	8	14	8
Marathon race4	Training load (A.U.)	0	0	0	39	73	0	0
	Sleep (A.U.)	5	6	5	7	4	1	5
	Stress (A.U.)	5	6	6	5	3	3	3
	Fatigue (A.U.)	7	7	5	4	2	5	4
	Muscle soreness (A.U.)	7	5	3	2	2	2	1
	Hooper's score (A.U.)	24	24	19	18	11	11	13

The gray area indicates that the value is higher than 16-week average value (Training load: 54.4 A.U., Sleep: 3.7 A.U., Stress: 3.5 A.U., Fatigue: 3.9 A.U., Muscle soreness: 2.7 A.U., Hooper's score: 13.9 A.U.).

ドミルテストを行い、パフォーマンスの変化を検討した結果、被験者内の Vmax の変動は 2.5% であったと報告した。一方、本研究における Vmax の CV は 1.0% であり、Saunders et al. (2010) の報告に比べ変動は小さく、パフォーマンスが安定していた。また、生理学的指標に関しても CV は 1.8—5.2% の範囲であり、これは先行研究と比べても同等あるいは低い数値である (Lourenço et al., 2011)。高山ほか (2016a) は、大学生市民ランナー 7 名を対象にマラソンレースの前と 2 日後および 10 日後にトレッドミルテストを行い、生理学的指標とパフォーマンスの回復を検討している。その結果、レース前と比べると 2 日後の $\dot{V}O_{2max}$ 、RE および Vmax は有意に低下したが、10 日後には全指標がレース前と同等レベルであった

ことを認めている。また、11 名の市民ランナーを対象として、マラソンレースの前と 7 日後に本研究と同様のトレッドミルテストを用いて生理学的指標およびパフォーマンスの測定を検討した研究によると、7 日後には回復することが明らかとなっている (Takayama et al., 2017a)。本研究では、短期間に高頻度でレースに出場したランナーを対象として、マラソンレースの 7 日後と 10 日後に行った測定を含めて 4 回のトレッドミルテストを行った結果、生理学的指標およびパフォーマンスが回復していたことが明らかとなった。なお、本研究ではマラソンレースの 1—6 日後にはトレッドミルテストを行っていない。これは、筋損傷が著しいときに測定を実施すると傷害発生の危険性が高まる可能性があると考えたからである。ま

た、筋損傷は一時的に生理学的指標およびパフォーマンスを低下させることが明らかになっている (Braun and Dutto, 2003; Marcora and Bosio, 2007). Table 2 に示したとおり、本研究の対象者におけるマラソンレースの1-2日後の筋痛は実験期間をとおした平均値と比較しても高い数値であったことを踏まえると、本研究の生理学的指標およびパフォーマンスが安定していたという結果は、レース後の測定タイミングによる影響を受けたと考えられる。つまり、レース後比較的早期にトレッドミルテストを行った場合、今回よりもCVは高くなる可能性が高い。

なお、本研究の実験期間におけるマラソンの記録には、最大で11分の差があった。マラソンの記録は、ペース戦略や栄養戦略といったランナー自身がコントロールできる要因に加え、コースの地形、気象条件などの外的要因にも影響を受けるため、異なるレース間のパフォーマンスを絶対的な記録によって比較することは困難である。実際、本研究における2回目と4回目のマラソンレースは、コースの起伏や気象条件が厳しい傾向があった。本研究では、パフォーマンスに関係する要因の中でも外的要因による影響をある程度制御できるトレッドミルテストによって定量できる生理学的指標とパフォーマンスに基づいて回復状態を評価した。その結果、ある1回のレース後の生理学的指標およびパフォーマンスを検討した先行研究 (高山ほか, 2016a; Takayama et al., 2017a) と同様に、短期間に繰り返しマラソンに出場した場合でも、これらの指標が7-10日後に回復することが明らかとなった。

サッカー、ラグビー、バスケットボールといった混戦型球技の試合期では、選手は1週間に2-3回の頻度で試合に出場することがある。混戦型球技では、マラソンと同様に試合後数日にわたり筋グリコーゲンの減少 (Krustrup et al., 2011)、最大筋力の低下およびクリアチンキナーゼ活性値の増加 (Nedelec et al., 2014) が認められる。このような背景もあり、混戦型球技選手の回復に関する研究は発展しており (Twist and Highton, 2013)、Training load と主観的体調およびパフォーマンスとの

関係を検討した報告は多い (Buchheit et al., 2013; Coutts et al., 2007a; Faude et al., 2011; Moalla et al., 2016; Nunes et al., 2014)。Buchheit et al. (2013) は、オーストラリアンフットボール選手を対象として、鍛錬期における日毎の Training load と主観的体調、最大下運動時のHR、運動後の心拍変動および唾液コルチゾールとの関係を検討した。その結果、Training load と主観的体調および運動中・後の心拍応答との間に有意な相関関係があることを明らかにした。この結果に基づき彼らは、Training load、運動時のHRに加え主観的体調を定量することがトレーニングの応答を管理するための最も簡便な手段であると結論づけた。本研究におけるマラソンレースの日を含んだ Training load とストレス、疲労、筋痛および Hooper's score との間には有意な相関関係が認められたことから、Hooper の質問紙は市民ランナーの日々の Training load を反映する指標であることが示された。一方、Training load と睡眠との間にはマラソンレースを含んだ場合、除外した場合のいずれも有意な相関関係が認められなかった。睡眠は、カフェインやアルコールの摂取、電子機器の利用といった Training load 以外の要因の影響を受けることが指摘されている (Nédélec et al., 2015)。実際、Moalla et al. (2016) の報告によると、プロサッカー選手を対象として、16週間の Training load と Hooper の質問紙による主観的体調との相関関係を検討した結果、4項目の相関係数は、睡眠で最も低かった (睡眠: $r = .23$, ストレス: $r = .30$, 疲労: $r = .48$, 筋痛: $r = .48$)。したがって、本研究の対象者においても Training load 以外の要因が睡眠に影響を与えていたと考えられる。睡眠はグリコーゲンの再合成、筋損傷、傷害のリスクと関係し、アスリートの回復と密接な関係があることが指摘されており (Nédélec et al., 2015)、エリートトライアスロン選手を対象とした事例研究によると、オーバーリーチングになった選手は、Hooper の質問紙による睡眠の週当たりの数値が徐々に悪化していたことが報告されている (Plews et al., 2012)。以上を踏まえると、オーバーリーチングを防ぎながらパフォーマンスを

最適化させるためには、Training load 以外の要因を含め負荷と回復とのバランスを整えることが必要不可欠である。特に市民ランナーにおいては、簡便な方法によって回復状況を評価できれば実用性が高いため、Training load と Hooper の質問紙による主観的体調を同時に定量することは、市民ランナーのパフォーマンスを最適化する上で価値のある取り組みと言える。また、先行研究の知見を踏まえると、主観的体調は日毎の数値だけではなく、週当たりの数値も踏まえた上で評価していく必要がある。

Training load と疲労、筋痛および Hooper's score との相関係数の効果量は、マラソンレースの日を除外した場合に小さくなった (Figure 4)。この結果は、Training load と主観的体調との関係は比例関係ではなく、Training load が著しく増加した際に主観的体調の数値が顕著に高まっていたことを表している。また、マラソンレースから1週間以内は、Training load が低い傾向にあったのにも関わらず、主観的体調は高い傾向にあった (Table 2)。この結果は、Training load が著しく高かったマラソンレースでは、数日間にわたり主観的体調に影響を与えていたことを示唆している。なお、本研究の対象者はレース期におけるレース以外のトレーニングの時間と強度が低かった (Figure 3)。したがって、ランナーのトレーニングの特徴によっては、マラソンレースを除外した場合でも Training load と主観的体調の間には高い相関関係が認められると考えられる。

Pinot and Grappe (2015) は、ワールドクラスの自転車競技選手1名を対象として6年間にわたる Training load (セッション RPE 法により定量) とパフォーマンスを検討している。その結果、この選手はパフォーマンスの向上に伴い、Training load が増加していたと同時に、トレーニングの単調性 (Monotony) や緊張度 (Strain) の CV が大きくなっていったことから、トレーニングが動的になっていたことを報告した。また、高山ほか (2016b) は、国内トップレベルの女性トレイルランナー1名を対象として16週間の Training load (セッション RPE 法により定量) を報告している。

この研究で対象となったトレイルランナーは、16週間の期間で4回のレース (100 km ウルトラマラソン, 73 km トレイルレース, 37 km トレイルレース, 77 km トレイルレース) に出場しており、いずれも優れた記録を残していた (各レースの総合順位が2位, 2位, 1位, 1位)。この女性トレイルランナーにおける Training load の CV は71%であり、Pinot and Grappe (2015) と同様にトレーニングが動的であった。本研究の対象者の Training load の CV は46.9%と女性トレイルランナーの事例に比べて低い傾向にあったが、週間・日間ともにばらつきが著しかった。

16週間における強度の分布をみみると、低強度を示す zone 1 が70%以上を占めていた。また、zone 2 (108.2%) と zone 3 (83.0%) に比べ zone 1 (22.6%) の CV が低かった。これらの結果は対象者が常に低強度のトレーニングを行っていたことを意味する。低強度のトレーニング時間を確保することは、オーバーリーチングを防ぐために重要な役割を持つことが示唆されている (Seiler et al., 2007)。また、クリアチンキナーゼ活性値の増加は、中強度以上のトレーニング量と関係があることが指摘されている (Petibois et al., 2002)。実際、高頻度でレースに出場していた持久性アスリートを対象として、低強度のトレーニングの重要性を示唆した事例報告はいくつか存在する (Metcalf et al., 2017; Mujika, 2014; Takayama et al., 2017c)。3年間で75回のレースに出場していたランナー (マラソン以下の距離のロードレース: 38回, ウルトラマラソンレース: 18回, トレイルランニングレース: 19回) は、ほとんどのトレーニングを低強度で実施していることが報告されている (Takayama et al., 2017c)。また、プロ自転車競技選手4名を対象として1年間にわたる強度の分布を検討した報告によると、レース期ではレースのない週のトレーニングの強度と時間を減らすことで回復を図っていた (Metcalf et al., 2017)。本研究の対象者は、Phase 2 ではレース以外のほとんどのランニングを低強度で実施しており (Figure 3)、レースのない週の Training load は低い傾向にあった (Figure 2)。

以上、先行研究と本研究の事例に鑑みると、短期間に高頻度でレースに出場するランナーにおいては、Training load に大きな変動を持たせた上で、レース以外のトレーニング強度と Training load を減らす方法が適しているのかもしれない。また、本研究の対象者における生理学的指標およびパフォーマンスの変動が小さかった原因には、このようなトレーニングの特徴が関係していたのかもしれない。

本研究の解釈にはいくつかの注意すべき点がある。第1に、短期間で複数のレースに出場するスタイルは、ある特定のレースにおいて優れた記録を達成することには繋がらない可能性が考えられる。持久性競技においては、レース前にトレーニング量を減少させるテーパリングにより記録の向上が見込めることはよく知られている (Mujika and Padilla, 2003)。また、高頻度でレースに出場するスタイルでは、レースのない週には回復を優先する必要がある、生理学的指標やパフォーマンスを高めるのに最適とされる高強度トレーニングやブロックピリオダイゼーションのようなトレーニング (Breil et al., 2010) を行うことは難しいと考えられる。実際、本研究の対象者における V_{max} の CV が低いということは、パフォーマンスが回復していたことを示す証拠になるが、一方で向上していないことを示す結果でもある。ただし、本研究の対象者は、この期間でマラソンの自己記録を2回更新していた。

第2に、レースは生理学的負荷が高いだけでなく、肉離れや捻挫などの急性傷害や足裏のトラブルを引き起こす可能性もある。マラソン1ヶ月後に50名のランナーを対象にアンケート調査を行った Voight et al. (2011) によると、アンケート回答者の12%がレース後にトレーニングを行うのに支障がある傷害を負ったことを認めている。本研究における対象者は、いずれのレース後においても傷害が起きなかったものの、短期間に高頻度でレースに出場するランナーは、生理学的指標およびパフォーマンスが同等レベルにまで回復していたとしても、傷害の危険性があることに留意すべきである。

最後に、本研究は、1名のランナーを対象とした事例研究である。今後は、年齢、トレーニング状況、記録および経験などが異なるランナーを対象として、マラソンレース後の生理学的指標およびパフォーマンスの回復、Training load と主観的体調との関係を検討していく必要がある。また、同一ランナーを対象とした場合でも、マラソンレースの記録の高低や出場回数によって生理学的指標およびパフォーマンスの回復が異なる可能性も考えられる。本研究では、対象者の都合上、1回目のマラソン後、2回目のマラソン前後にトレッドミルテストを実施することができなかったため、これらの点についても検討することが困難であり、今後の検討課題である。

V 結 論

本事例研究では、短期間に繰り返しマラソンに出場したランナーの生理学的指標およびパフォーマンスの回復、Training load と主観的体調との関係を検討した。本研究の主な知見は、パフォーマンスおよび生理学的指標の変動が小さいことである。また、Training load とストレス、疲労および筋痛の間には有意な相関関係が認められた一方で、睡眠との間には有意な関係はなかった結果は、Training load と Hooper の質問紙による主観的体調を定量することがパフォーマンスを最適化する上で有益な方法になることを示唆している。

文 献

- Armstrong, S. A., Till, E. S., Maloney, S. R., and Harris, G. A. (2015) Compression socks and functional recovery following marathon running: a randomized controlled trial. *J. Strength Cond. Res.*, 29: 528-533.
- Aubry, A., Hausswirth, C., Louis, J., Coutts, A. J., and LE Meur, Y. (2014) Functional overreaching: the key to peak performance during the taper? *Med. Sci. Sports Exerc.*, 46: 1769-1777.
- Auersperger, I., Škof, B., Leskošek, B., Knap, B., Jerin, A., Lainščak, M., and Kajtna, T. (2014) Biochemical, hormonal and psychological monitoring of eight weeks endurance running training program in female runners. *Kineziologija*,

- 46: 30-39.
- Beaver, W. L., Wasserman, K., and Whipp, B. J. (1986) A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J. Appl. Physiol.*, 60: 2020-2027.
- Billat, V. L., Petot, H., Landrain, M., Meilland, R., Koralsztejn, J. P., and Mille-Harmard, L. (2012) Cardiac output and performance during a marathon race in middle-aged recreational runners. *Scientific World Journal*, 2012: 810859.
- Bishop, P. A., Jones, E., and Woods, A. K. (2008) Recovery from training: a brief review: brief review. *J. Strength Cond. Res.*, 22: 1015-1024.
- Borg G. A. (1973) Perceived exertion: a note on "history" and methods. *Med. Sci. Sports*, 5: 90-93.
- Braun, W. A. and Dutto, D. J. (2003) The effect of a single bout of downhill running and ensuing delayed onset of muscle soreness on running economy performed 48 h later. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 90: 29-34.
- Breil, F. A., Weber, S. N., Koller, S., Hoppeler, H., and Vogt, M. (2010) Block training periodization in alpine skiing: effects of 11-day HIT on VO₂max and performance. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 109: 1077-1086.
- Buchheit, M., Racinais, S., Bilsborough, J. C., Bourdon, P. C., Voss, S. C., Hocking, J., Cordy, J., Mendez-Villanueva, A., and Coutts, A. J. (2013) Monitoring fitness, fatigue and running performance during a pre-season training camp in elite football players. *J. Sci. Med. Sport*, 16: 550-555.
- Coutts, A., Reaburn, P., Piva, T. J., and Murphy, A. (2007a) Changes in selected biochemical, muscular strength, power, and endurance measures during deliberate overreaching and tapering in rugby league players. *Int. J. Sports Med.*, 28: 116-124.
- Coutts, A. J., Wallace, L. K., and Slattery, K. M. (2007b) Monitoring changes in performance, physiology, biochemistry, and psychology during overreaching and recovery in triathletes. *Int. J. Sports Med.*, 28: 125-134.
- Faude, O., Kellmann, M., Ammann, T., Schnitker, R., and Meyer T. (2011) Seasonal changes in stress indicators in high level football. *Int. J. Sports Med.*, 32: 259-265.
- Fletcher, J. R., Esau, S. P., and MacIntosh, B. R. (2009) Economy of running: beyond the measurement of oxygen uptake. *J. Appl. Physiol.*, 107: 1918-1922.
- Hooper, S. L., Mackinnon, L. T., Howard, A., Gordon, R. D., and Bachmann, A. W. (1995) Markers for monitoring overtraining and recovery. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 27: 106-112.
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., and Hanin, J. (2009) Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 41: 3-13.
- Hottenrott, K., Ludyga, S., Schulze, S., Gronwald, T., and Jäger, F. S. (2016) Does a run/walk strategy decrease cardiac stress during a marathon in non-elite runners? *J. Sci. Med. Sport*, 19: 64-68.
- Kobayashi, Y., Takeuchi, T., Hosoi, T., Yoshizaki, H., and Loeppky, J. A. (2005) Effect of a marathon run on serum lipoproteins, creatine kinase, and lactate dehydrogenase in recreational runners. *Res. Q. Exerc. Sport*, 76: 450-455.
- Krustrup, P., Ortenblad, N., Nielsen, J., Nybo, L., Gunnarsson, T. P., Iaia, F. M., Madsen, K., Stephens, F., Greenhaff, P., and Bangsbo, J. (2011) Maximal voluntary contraction force, SR function and glycogen resynthesis during the first 72 h after a high-level competitive soccer game. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 111: 2987-2995.
- Kyröläinen, H., Pullinen, T., Candau, R., Avela, J., Huttunen, P., and Komi, P. V. (2000) Effects of marathon running on running economy and kinematics. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 82: 297-304.
- Lourenço, T. F., Martins, L. E., Tessutti, L. S., Brenzikofer, R., and Macedo, D. V. (2011) Reproducibility of an incremental treadmill VO₂max test with gas exchange analysis for runners. *J. Strength Cond. Res.*, 25: 1994-1999.
- Lucia, A., Hoyos, J., Pérez, M., and Chicharro, J. L. (2000) Heart rate and performance parameters in elite cyclists: a longitudinal study. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 32: 1777-1782.
- Marcora, S. M. and Bosio, A. (2007) Effect of exercise-induced muscle damage on endurance performance in humans. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 17: 662-671.
- Metcalfe, A. J., Menaspà, P., Villerius, V., Quod, M., Peiffer, J. J., Govus, A. D., and Abbiss, C. R. (2017) The within-season distribution of external training and racing workload in professional male road cyclist. *Int. J. Sports Physiol. Perform.*, 12: S2142-S2146.
- Moalla, W., Fessi, M. S., Farhat, F., Nouira, S., Wong, D. P., and Dupont, G. (2016) Relationship between daily training load and psychometric status of professional soccer players. *Res. Sports Med.*, 24: 387-394.
- Mujika I. (2014) Olympic preparation of a world-class female triathlete. *Int. J. Sports Physiol. Perform.*, 9: 727-731.
- Mujika I. and Padilla, S. (2003) Scientific bases for precompetition tapering strategies. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 35: 1182-1187.
- Muñoz, I., Seiler, S., Bautista, J., España, J., Larumbe, E., and Esteve-Lanao, J. (2014) Does polarized training improve performance in recreational runners? *Int. J. Sports Physiol. Perform.*, 9: 265-272.
- Neal, C. M., Hunter, A. M., and Galloway S. D. (2011) A 6-month analysis of training-intensity distribution and

- physiological adaptations in ironman triathletes. *J. Sports Sci.*, 29: 1515-1523.
- Nédélec, M., Halson, S., Abaidia, A. E., Ahmaidi, S., and Dupont, G. (2015) Stress, sleep and recovery in elite soccer: a critical review of the literature. *Sports Med.*, 45: 1387-1400.
- Nedelec, M., McCall, A., Carling, C., Legall, F., Berthoin, S., and Dupont, G. (2014) The influence of soccer playing actions on the recovery kinetics after a soccer match. *J. Strength Cond. Res.*, 28: 1517-1523.
- Neilan, T. G., Yoerger, D. M., Douglas, P. S., Marshall, J. E., Halpern, E. F., Lawlor, D., Picard, M. H., and Wood, M. J. (2006) Persistent and reversible cardiac dysfunction among amateur marathon runners. *Eur. Heart J.*, 27: 1079-1084.
- Noakes, T. D., Myburgh, K. H., and Schall, R. (1990) Peak treadmill running velocity during the VO₂ max test predicts running performance. *J. Sports Sci.*, 8: 35-45.
- Nunes, J. A., Moreira, A., Crewther, B. T., Nosaka, K., Viveiros, L., and Aoki, M. S. (2014) Monitoring training load, recovery-stress state, immune-endocrine responses, and physical performance in elite female basketball players during a periodized training program. *J. strength Cond. Res.*, 28: 2973-2980.
- 小野寺孝一・宮下充正 (1976) 全身持久性運動における主観的運動強度と客観的強度の対応性: Rating of perceived exertion の観点から. *体育学研究*, 21: 191-203.
- Petitbois, C., Cazorla, C., Poortmans, J. R., and Deleris, G. (2002) Biochemical aspects of overtraining in endurance sports: a review. *Sports Med.*, 32: 867-878.
- Pinot, J. and Grappe, F. (2015) A six-year monitoring case study of a top-10 cycling grand tour finisher. *J. Sports Sci.*, 33: 907-914.
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Kilding, A. E., and Buchheit, M. (2012) Heart rate variability in elite triathletes, is variation in variability the key to effective training? A case comparison. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 112: 3729-3741.
- Saunders, P. U., Cox, A. J., Hopkins, W. G., and Pyne, D. B. (2010) Physiological measures tracking seasonal changes in peak running speed. *Int. J. Sports Physiol. Perform.*, 5: 230-238.
- Seiler, S., Haugen, O., and Kuffel, E. (2007) Autonomic recovery after exercise in trained athletes: intensity and duration effects. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 39: 1366-1373.
- Solberg, G., Robstad, B., Skjønsberg, O. H., and Borchsenius, F. (2005) Respiratory gas exchange indices for estimating the anaerobic threshold. *J. Sports Sci. Med.*, 4: 29-36.
- Syta, O., Tønnessen, E., and Seiler, S. (2014) From heart-rate data to training quantification: a comparison of 3 methods of training-intensity analysis. *Int. J. Sports Physiol. Perform.*, 9: 100-107.
- Takayama, F., Aoyagi, A., Shimazu, W., and Nabekura, Y. (2017a) Effects of marathon running on aerobic fitness and performance in recreational runners one week after a race. *J. Sports Med.*, 2017: 9402386.
- 高山史徳・平田浩祐・森寿仁・鍋倉賢治・宮本直和 (2016a) 大学生市民ランナーのマラソンレースが筋損傷指標と有酸素性能力に与える影響. *ランニング学研究*, 27(2): 47-58.
- Takayama, F., Hirata, K., Nabekura, Y., Kanehisa, H., and Miyamoto, N. (2017b) Effects of marathon running on muscle damage in lower limb muscle groups and maximal aerobic capacity in novice recreational runners. *Gazz. Med. Ital.*, 176: 100-109.
- 高山史徳・宮崎喜美乃・山本正嘉 (2016b) 女性トレイルランナーにおけるトレーニングおよびペース戦略—76.7km トレイルランニングレース優勝を事例として—. *スポーツパフォーマンス研究*, 8: 180-198.
- Takayama, F., Tsuji, T., Aoyagi, A., and Nabekura, Y. (2017c) Recovery of physiological characteristics and muscle soreness after a marathon running in a well-trained runner: a case study. *Gazz. Med. Ital.*, in press, doi: 10.23736/S0393-3660.17.03492-1.
- Tojima, M., Noma, K., and Torii, S. (2016) Changes in serum creatine kinase, leg muscle tightness, and delayed onset muscle soreness after a full marathon race. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 56: 782-788.
- Twist, C. and Highton J. (2013) Monitoring fatigue and recovery in rugby league players. *Int. J. Sports Physiol. perform.*, 8: 467-474.
- Voight, A. M., Roberts, W. O., Lunos, S., and Chow, L. S. (2011) Pre- and postmarathon training habits of nonelite runners. *Open Access J. Sports Med.*, 3: 13-18.
- Zouhal, H., Jacob, C., Groussard, C., Moussa, E., Delamarche, P., and Gratas-Delamarche, A. (2006) Effect of marathon running on aerobic performances in highly trained athletes. *Science and Sports*, 21: 303-305. (French with English abstract)

(2017年5月19日受付)
(2017年11月9日受理)