

原著論文

日本人エリート競技者のリハビリテーション中における乳酸性作業閾値強度での
持久性トレーニングの効果

Effect of endurance training at lactate threshold intensity during rehabilitation in
elite Japanese athletes

鈴木康弘¹⁾, 鈴木栄子¹⁾, 千葉夏実¹⁾, 西村徳恵^{1,2)}, 高橋佐江子¹⁾
Yasuhiro Suzuki¹⁾, Eiko Suzuki¹⁾, Natsumi Chiba¹⁾, Norie Nishimura^{1,2)}, Saeko Takahashi¹⁾

Abstract : When athletes are injured, various physical parameters decline due to the difficulty in maintaining the training volume and intensity. Among such physical factors, maintenance and improvement of aerobic fitness is considered to be one of the top priorities that the athlete must maintain or improve on in order to return to competition. The High Performance Gym (HPG) at the Japan Institute of Sports Sciences (JISS) conduct exercise training with the aim to improve aerobic capacity of athletes in rehabilitation phase. The purpose of this study was to analyze the data obtained from endurance training in athletes undergoing rehabilitation and to determine the duration and amount of training required to enhance their aerobic capacity. Twelve Japanese elite athletes underwent endurance training used by electronic-braked cycle ergometer in 2 sessions per day, each session lasting for 30 minutes with a rest interval of 5 minutes between the sessions. The athletes trained for 3-4 times per week a fixed period of time. The lactate curve test was applied before and after the training in order to determine the training load-value, and to validate the effectiveness of the endurance training. The average power at the lactate threshold (LT₂) level increased by 23.8%, and the average power at the onset of blood lactate accumulation (OBLA) also increased by 16.4%. In addition, there was a significant correlation between the amount of the training and the rate of increase of average power at the LT₂ level. These results indicate that an appropriate amount of endurance training could be employed based on the improvement ratio aimed by athletes.

Key words : rehabilitation, aerobic capacity, lactate threshold, exercise training volume

キーワード : リハビリテーション, 有酸素性能力, 乳酸性作業閾値, トレーニング量

¹⁾ 国立スポーツ科学センター, ²⁾ 東京都立足立高等学校

¹⁾ Japan Institute of Sports Sciences, ²⁾ Tokyo Metropolitan Adachi High School

E-mail : yasuihiro.suzuki@jpnpsport.go.jp

受付日 : 2019 年 12 月 6 日

受理日 : 2020 年 7 月 28 日

I. 緒言

トップアスリートの傷害に関して、オリンピックという限られた期間の中でも多くの傷害が報告されており、オリンピック出場選手の傷害は選手100名あたり2016年リオデジャネイロオリンピックで9.8件¹⁷⁾、2018年平昌オリンピックでは12.6件¹⁶⁾と報告されている。アスリートが怪我をすると、これまでのトレーニング量および強度を一定期間確保できなくなるため、筋力、瞬発力、有酸素性能力、柔軟性等、さまざまな体力要素の低下が生じると考えられる。中でも、有酸素性能力はトレーニングを継続的に実施するための基本的な能力として、また高強度運動を繰り返し行うインターバルトレーニング中のセット間の休息におけるクレアチンリン酸の回復能力としても重要であり^{2), 4), 18)}、トップアスリートにとって重要な体力要素である。さらに、有酸素性能力の改善に必要とされる期間は無酸素性能力よりも長いと考えられているため⁸⁾、競技復帰の過程で有酸素性能力の低下を抑制することは、トップアスリートを対象としたリハビリテーションの現場で課題の一つとなっている。

国立スポーツ科学センター (Japan Institute of Sport Sciences: JISS) ハイパフォーマンスジム (High Performance Gym: HPG) では、JISS アスリートリハビリテーション室と連携し、リハビリテーション中の選手に対して有酸素性能力の向上を目的とした持久性トレーニングを実施している。また、HPGには常圧低酸素トレーニング室が常設されており、近年ではリハビリテーション中のトレーニングに利用する選手が増えてきている。低酸素環境下でのトレーニングは、通常酸素環境下で行う同様のトレーニングと比較して酸素運搬に関わるヘモグロビンを増加させるなど、有酸素性能力の向上に貢献することが報告されている¹¹⁾ことから、低酸素トレーニング室を利用した持久性トレーニングは、効果的に有酸素性能力を向上させることができると考えられる。そのため、現在ではJISSの低酸素トレーニング室を利用する選手は、強化期のトレーニングとしてばかりでは

なく、リハビリテーション中の持久性トレーニングとしても利用する選手も増えてきている。しかしながら、リハビリテーション中の選手を対象とした持久性トレーニングの効果を検討した研究は、ヘモグロビンの増加に着目した研究がいくつかあるが¹³⁾、トレーニング内容やトレーニング期間、トレーニング強度に着目した研究は我々の知る限り見当たらず、全身持久力を改善できる最低限のトレーニング頻度と期間を明らかにすることは、重要な研究課題である。

持久性トレーニングの内容とその効果について検討した研究は、トップアスリート以外を対象として多く行われている。中高齢者 (60-67歳) を対象とした研究では、40% 予備心拍数 (HRR: Herat Rate Reserve) 以下の強度 (107bpm) でのトレーニング (27分/日、4.6日/週、6ヶ月間) により最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) が12%増加したこと¹⁴⁾、38%HRR (112bpm) でのトレーニング (25分/日、3.1日/週、9週間) により $\dot{V}O_{2max}$ が16%増加したことが報告されている¹⁾。また、健康な男子大学生を対象とした研究では、最大心拍数の約70%の強度 (45分/日、3日/週) もしくは乳酸性作業閾値での強度 (約25分/日、3日/週) で8週間のトレーニングにより、両群において $\dot{V}O_{2max}$ に変化はなかったが、乳酸性作業閾値での走速度は、それぞれ約8%と約12%向上したことが報告されている⁷⁾。さらに、レクリエーションレベルの成人男女サイクリストを対象とした研究では、換気性作業閾値でのトレーニング (4.8回/週、約500分/週、7週間) により、血中乳酸濃度が4mmol/Lに相当するパワーが約7%向上した事が報告されている¹⁵⁾。しかし、リハビリテーション中の選手を対象として、持久性トレーニングの内容とその効果について検討した研究は見当たらない。

そこで本研究では、リハビリテーション中にHPGを利用して有酸素性能力の向上を目的とする持久性トレーニングを実施した選手を対象として、トレーニング効果が得られる期間、頻度、総運動時間、週当たりの運動時間を明らかにし、今

後リハビリテーションを実施する選手に対して有用となる基礎資料を作成することを目的とした。

II. 方法

1. 対象者

2016年10月から2018年2月にJISSにおいてリハビリテーション中の選手で、担当トレーナーより有酸素性能力向上のためのトレーニング実施依頼があった選手12名(男性6名、女性6名)を分析対象とした。対象者の専門競技種目は、近代五種、サッカー、自転車、スキー(2名)、スキー(パラリンピック)、スノーボード、フェンシング、ラグビー(2名)、陸上競技(2名)であった。

すべての対象者に測定、トレーニングの主旨、内容および危険性について説明し、参加の同意を得た。

2. トレーニングの実施手順

1) オリエンテーション

はじめに、トレーニングを希望する選手およびトレーナーや指導者と面談を実施し、トレーニングの目的および期間、頻度をヒアリングし、トレーニングプログラムを作成した。すべての対象選手は自転車エルゴメーターでのペダリング運動を問題なく実施でき、競技復帰のために有酸素性能力の向上を希望していた。

2) 乳酸カーブテスト

トレーニング負荷の決定およびトレーニング効果を検証するために、トレーニング前後に乳酸カーブテストを実施した。テストは電磁ブレーキ式自転車エルゴメーター(PowerMaxVⅢ:Kona-mi社製)を用いて、男性選手は80W、女性選手は60Wから運動を開始し、1ステージを4分間、ステージ毎に40Wずつ漸増する多段階漸増負荷法で実施した。選手にはメトロームに合わせて回転数90rpmを維持するように指示し、回転数を維持できないと検者が判断した場合、もしくは血中乳酸濃度が4mmol/Lを超えた場合にそのステージで運動終了とした。

採血は、運動開始直前と各ステージ残り30秒

の時点で対象者の要望に合わせて耳朶もしくは指尖より行い、簡易型自動血中乳酸濃度測定器(ラクター・プロ2:アークレイファクトリー社製)を用いて血中乳酸濃度を測定した。また、運動中は携帯型心拍計(RS800CX:Polar社製)を用いて5秒ごとに心拍数を記録した。乳酸カーブテストの各ステージの負荷に対する血中乳酸濃度から最小二乗法を用いて回帰直線の式を導き出し、その式から2mmol/L時(LT₂)および4mmol/L時(OBLA)の仕事量と心拍数を算出し、有酸素性能力の指標とした。

3) トレーニングプログラム

トレーニング期間および頻度は任意とし、各自のリハビリテーションプログラムと並行して本プログラムを実施した。トレーニング内容は、30分間の自転車ペダリング運動を5分間の休憩をはさんで2本実施するものであり、トレーニング負荷は、乳酸カーブテストから算出したLT₂強度とし、回転数は80-90rpmとした。また、低酸素トレーニング室の利用も任意とし、利用した場合の酸素濃度は16.4-15.4%(標高2,000-2,500m相当)であった。

トレーニング中は携帯型心拍計(RS800CX:Polar社製)を装着し、10分毎に心拍数および主観的運動強度(RPE)を記録するように指示した。また、低酸素トレーニング室内でトレーニングを実施した場合は、パルスオキシメーター(WristOx2:NONIN社製)を第二指に装着し、動脈血酸素飽和度(SpO₂)を10分毎に記録するように指示した。得られたデータから、30分毎の平均心拍数および最大心拍数、自転車運動による平均パワーを記録した。

4) 統計処理

各測定項目の値は、平均値±標準偏差で示した。トレーニング前後による平均値の差の検定には対応のあるt検定を用い、各項目間の差の検定には対応のないt検定を用いた。また、各測定項目間の相関係数はピアソンの積率相関分析を用いて求めた。統計処理の有意性は危険率5%未満で判定した。

Ⅲ. 結果

トレーニングは30分間のペダリングを2本実施することが基本のプログラムであったが、運動時間を確保するために40分×2本で実施している選手もいた。また、トレーニングは常酸素環境ばかりではなく、酸素濃度を16.4～15.4%（標高2,000～2,500m相当）に設定した常圧低酸素室においてトレーニングを実施する選手も多く、中には、トレーニングのほとんどを低酸素環境で実施する選手もいた。なお、トレーニング中の平均心拍数は 146 ± 10 bpm (range: 128-160bpm)、トレーニング中の平均RPEは 12.5 ± 0.8 であり、低酸素トレーニング中の平均SpO₂は $89.2 \pm 2.5\%$ (range: 83.7-91.8%)であった。

表1に、各選手のトレーニングの期間、頻度、総運動時間、1週間あたりの運動時間、低酸素室利用時間および総運動時間に対する低酸素室の利用割合を示した。トレーニングの総運動時間は 978 ± 398 分、週あたりの運動時間は 284 ± 150 分であり、週に3.7回のトレーニングを4.8週間実施していた。また、低酸素室の利用時間は 345 ± 394 分、総運動時間に対する低酸素室の利用割合は $59 \pm 41\%$ であり、中にはトレーニングのすべてを低酸素環境で行っている選手もいた。

表2に、トレーニング前後における2mmol/L (LT₂) および4mmol/L (OBLA) 相当の体重あたりのパワーの変化を示した。LT₂およびOBLAは、トレーニング後に有意 ($P < 0.05$) に増加した。また、LT₂およびOBLAのトレーニングによる変化率は、LT₂がOBLAと比較して有意 ($P < 0.05$) に高値を示した。

表3に、LT₂の増加率が20%以下の群 (Low群: n=6) と20%以上の群 (High群: n=6) とに分けた際のトレーニング期間、総運動時間、週あたりの運動時間およびOBLA増加率を示した。High群におけるトレーニング期間は 5.7 ± 2.3 週、総運動時間は 1252 ± 277 分、週あたりの運動時間は 312 ± 175 分、OBLAの変化率は $20.1 \pm 7.4\%$ であり、すべての項目間でHigh群はLow群と比較して有意 ($P < 0.05$) に高値を示した。

図1に、LT₂の増加率と総運動時間との関係を示した。LT₂の増加率と総運動時間との間には有意な正の相関関係 ($r=0.683$, $P < 0.05$) が認められた。一方、LT₂の増加率と週あたりの運動時間 ($r=0.296$, ns) および低酸素室利用時間 ($r=0.446$, ns) との間には有意な相関関係は認められなかった。また、LT₂の増加率と総運動時間に対する低酸素室の利用割合との間にも有意な相関関係は認

Table 1. Training profile of each subjects.

Subject	Period (week)	Frequency (times/week)	Total duration (min)	Total duration/week (min)	Hypoxic training duration (min)	%Hypoxic training (%)
A	4	5~6	1620	597	870	54
B	8	4	930	112	890	96
C	5	4	1130	220	0	0
D	9	5~6	1070	227	1070	100
E	4	4~5	1200	280	1090	91
F	4	4~5	1560	437	480	31
G	2	5	540	378	540	100
H	5	4~5	1080	360	0	0
I	2	5	540	378	540	100
J	5	4	750	154	690	92
K	6	3	1020	183	300	29
L	4	1	300	84	60	20
Mean	4.8	3.7	978	284	302	59
SD	2.1	1.4	398	150	394	41

Table 2. Changes in LT₂ and OBLA before and after endurance training.

	Before (W/kg)	After (W/kg)	%Change (%)
LT ₂	2.0 ± 0.6	2.5 ± 0.6*	23.8 ± 13.8†
OBLA	2.8 ± 0.5	3.2 ± 0.6*	16.4 ± 7.5

Values are means ± SD.

*: $P < 0.05$ vs Before

†: $P < 0.05$ vs OBLA

Table 3. Comparison of training profile between group with high and low training effects.

	Period (week)	Total duration (min)	Total duration/week (min)	%Change of OBLA (%)
Low group (n=6)	4.0 ± 1.9	705 ± 257	256 ± 112	11.8 ± 3.2
High group (n=6)	5.7 ± 2.3	1252 ± 277†	312 ± 175†	20.1 ± 7.4†

Values are means ± SD.

Low group : %change of LT₂ was below 20%

High group : %change of LT₂ was above 20%

†: $P < 0.05$ vs Low group

められなかった ($r=0.06$, ns)。

IV. 考察

本研究の結果、リハビリテーション中の選手が有酸素性能力の向上を目的として持久性トレーニングを行う場合、血中乳酸濃度 2mmol/L 相当の負荷 (LT₂) での総運動時間と LT₂ の増加率との間に有意な正の相関関係があること、また LT₂ の負荷で約 1250 分 (約 21 時間) トレーニングを行うことにより、LT₂ および 4mmol/L に相当する強度 (OBLA) が 20% 以上増加することが明らかとなった。さらに、低酸素トレーニング室の利用割合と LT₂ の増加率との間には相関関係は認められなかったことから、有酸素性能力の向上のためには持久性トレーニングの時間を多く確保する必要があることが示唆された。これらの知見は、JISS におけるリハビリテーション中の選手を対

象とした効果的な有酸素性トレーニングを処方する上で、極めて有用であると考えられる。

本研究の対象者は、競技中もしくはトレーニング中に障害が発生し、専門的トレーニングを中止して JISS のアスリートリハビリテーションでリハビリテーションプログラム (リハビリ) を実施していた日本人エリート競技者であった。対象者の受傷部位や障害の程度はさまざまであり、また JISS に宿泊しながらほぼ毎日リハビリを実施している選手と自宅から JISS に通いながらリハビリを実施している選手が混在していたため、持久性トレーニングの実施期間、頻度、総運動時間には大きな個人差が認められた (表 1)。さらに、JISS ハイパフォーマンスジム (HPG) には低酸素トレーニング室が常設されており、リハビリを実施している選手に対して低酸素トレーニング室の利用をスタッフが推奨している。これは、低酸

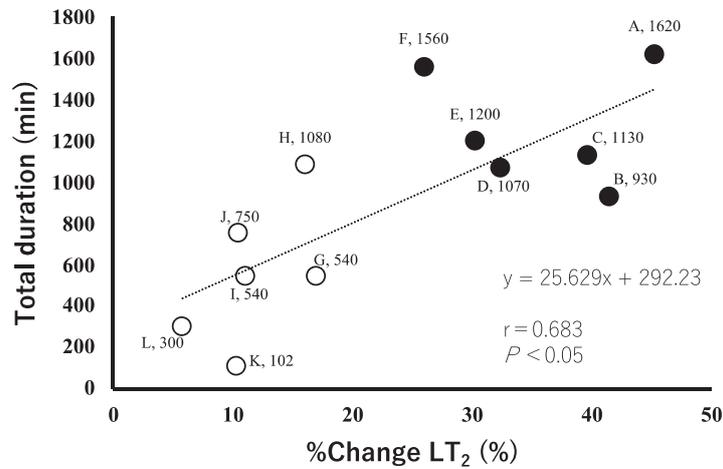


Figure 1. Relationship between percent change of LT₂ and total training duration. Open circle (○) is group that %change of LT₂ was below 20%, and Close circle (●) is group that %change of LT₂ was above 20%.

素環境での運動は絶対運動強度が同じでも代謝系や呼吸循環系に大きな負荷がかけられる¹⁹⁾ことから、怪我によって必ずしも大きな力発揮ができず、絶対負荷強度を高めることができないリハビリ中の選手にとって低酸素トレーニングは有効であると考えられるからである。実際、リハビリ中の高齢者を対象に低酸素環境での持久性トレーニングを行わせた研究では、常酸素環境でトレーニングを行わせた群と比較して低酸素環境でトレーニングを行わせた群の方がその効果が高く、四肢の負担が少ないトレーニングであることが示唆されている¹²⁾。本研究の対象者では、持久性トレーニングをすべて低酸素トレーニング室内で実施している選手（対象者D、G、I）と、全く実施していない選手（対象者C、H）とが混在していたが（表1）、トレーニング終了後に実施したLT₂およびOBLAの増加率と低酸素トレーニング室利用割合との間に有意な相関関係は認められなかったことから、本研究で得られたトレーニング効果は低酸素刺激による影響は必ずしも大きくなく、むしろトレーニング量の指標である総運動時間の影響が大きいことが示唆された（図1）。

本研究の対象者はトレーニング前に実施した乳

酸カーブテストから算出したLT₂強度でトレーニングを実施しており、OBLAと比較してLT₂の増加率の方が有意に高かったことから、LT₂を向上させるための負荷強度として妥当であったと考えられる（表2）。しかし、本研究ではトレーニング期間中を通してトレーニング負荷強度の変更をしていなかったため、特にトレーニング期間が長期であった対象者においてはトレーニング期間中にLT₂が改善し、トレーニング期間後半ではLT₂をさらに向上させるためには不十分な負荷であった可能性がある。実際、5週間の有酸素性トレーニングの効果を検証した先行研究において、OBLA相当（3-4mmol/L）の負荷のトレーニングを行ったグループではOBLA時の走行スピードが向上し、血中乳酸値1.5mmol/L以下の負荷でトレーニングを行ったグループでは過当たりのトレーニングが多かったにもかかわらず、OBLA時の走行スピードは向上しなかったことが報告されており⁹⁾、トレーニング期間中におけるトレーニング負荷強度の設定は極めて重要であると考えられる。本研究では、どのタイミングで強度の再設定をすることが最適なのかについては言及することはできないが、HPGにおいてより効果的な

トレーニングプログラムを提供するために、適切な負荷強度の再設定タイミングを検討していくことが今後の課題である。

LT₂やOBLAは筋組織の有酸素性代謝能力と高い相関関係が認められている⁹⁾ことから、トレーニング後にLT₂やOBLAが増加した本研究の対象者は、筋組織における酸化系酵素活性や毛細血管密度等が改善していたと考えられる^{3),10)}。しかし、その一方で本研究の対象者では、最大酸素摂取量($\dot{V}O_{2max}$)の改善は認められなかった可能性が高い。高地/低酸素環境での滞在およびトレーニング時間とヘモグロビン量の増加率との関連についてのレビューによると、高地/低酸素暴露100時間あたりヘモグロビン量が1%増加し、300時間で3%増加することが報告されている⁹⁾。一方、本研究の対象者の低酸素利用時間は平均345分(約6時間)であり、最大でも1090分(約18時間)であったことを考慮すると、ヘモグロビン量が増加し酸素運搬能力が改善した結果、 $\dot{V}O_{2max}$ の増加が生じた可能性は低いと考えられる。なお、上述のレビューで引用されている研究論文の被験者の多くは国際的レベルや国内トップレベルの陸上、水泳、自転車、サッカー等の非常によくトレーニングされたエリート競技者であり⁹⁾、普段のトレーニング強度はLT₂よりも高い場合が多いことは十分に予想できる。さらに、これらの研究では低酸素環境への連続暴露時間がおおよそ10時間以上であり、トレーニング時間よりむしろトレーニング以外の時間である安静・睡眠時間において低酸素暴露時間が長く、そのことがヘモグロビン量の増加に寄与していると考えられる²⁰⁾。一方、本研究では $\dot{V}O_{2max}$ を測定していないが、対象者のトレーニング期間中におけるトレーニング負荷はトレーニング前に測定したLT₂強度で固定しており $\dot{V}O_{2max}$ 強度での運動は行っておらず、またトレーニングにおける低酸素室滞在時間は長くても2時間程度であり、低酸素宿泊室を利用している選手もいなかった。このことから、本研究の対象者ではヘモグロビン量の増加による酸素運搬能力の改善は認められず、筋

組織での適応によってLT₂およびOBLAの増加のみが認められ、 $\dot{V}O_{2max}$ の改善はみられなかった可能性が高いと考えられる。

V. 結論

本研究より、リハビリ中の選手において有酸素性能力の向上を目的とした持久性トレーニングは、自転車エルゴメーターを用いたLT₂に相当する強度で約1250分(約21時間)トレーニングを行うことにより、LT₂およびOBLAが20%以上増加することが明らかとなった。また、LT₂およびOBLAの向上のためには、低酸素トレーニング室の利用割合を増やすよりも持久性トレーニングの時間を多く確保する方が重要であることが示唆された。

謝辞

本研究の遂行にあたり、トレーニングサポートおよびデータの管理をしていただいた、国立スポーツ科学センター・ハイパフォーマンスジムスタッフの加藤英人氏、木戸陽介氏、中本真也氏、伊東七海氏、島田結衣氏、および国立スポーツ科学センター・スポーツ科学部主任研究員の石毛勇介氏に心より感謝申し上げます。

文献

- 1) Badenhop DT, Cleary PA, Schaal SF, Fox EL, Bartels RL. Physiological adjustments to higher- or lower-intensity exercise in elders. *Med Sci Sports Exerc*, 15(6): 496-502, 1983.
- 2) Bishop D, Edge J, Goodman C. Muscle buffer capacity and aerobic fitness are associated with repeated-sprint ability in women. *Eur J Appl Physiol*, 92(4-5): 540-547, 2004.
- 3) Coyle EF, Martin WH 3rd, Sinacore DR, Joyner MJ, Hagberg JM, Holloszy JO. Time course of loss of adaptations after stopping prolonged intense endurance training. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 57(6): 1857-1864, 1984.

- 4) da Silva JF, Guglielmo LG, Bishop D. Relationship between different measures of aerobic fitness and repeated-sprint ability in elite soccer players. *J Strength Cond Res*, 24(8): 2115-2121, 2010.
- 5) Evertsen F, Medbo JJ, Bonen A. Effect of training intensity on muscle lactate transporters and lactate threshold of cross-country skiers. *Acta Physiol Scand*, 173(2): 195-205, 2001.
- 6) Gore CJ, Sharpe K, Garvican-Lewis LA, Saunders PU, Humberstone CE, Robertson EY, Wachsmuth NB, Clark SA, McLean BD, Friedmann-Bette B, Neya M, Pottgiesser T, Schumacher YO, Schmidt WF. Altitude training and haemoglobin mass from the optimised carbon monoxide rebreathing method determined by a meta-analysis. *Br J Sports Med*, 47 (Suppl1): i31-i39, 2013.
- 7) Helgerud J, Hoydal K, Wang E, Karlsen T, Berg P, Bjerkaas M, Simonsen T, Helgesen C, Hjørth N, Bach R, Hoff J. Aerobic high-intensity intervals improve $\dot{V}O_{2\max}$ more than moderate training. *Med Sci Sport Exer*, 39(4): 665-671, 2007.
- 8) Issurin V. Block periodization versus traditional training theory: a review. *J Sport Med Phys Fit*, 48(1): 65-75, 2008.
- 9) Ivy JL, Withers RT, Van Handel PJ, Elger DH, Costill DL. Muscle respiratory capacity and fiber type as determinants of the lactate threshold. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 48(3): 523-527, 1980.
- 10) Joyner MJ, Coyle EF. Endurance exercise performance: the physiology of champions. *J Physiol*, 586(1): 35-44, 2008.
- 11) Klausen T, Mohr T, Ghister U, Nielsen OJ. Maximal oxygen uptake and erythropoietic responses after training at moderate altitude. *Eur Appl Physiol Occup Physiol*, 62: 376-379, 1991.
- 12) Pramsohler S, Burtscher M, Faulhaber M, Gatterer H, Rausch L, Eliasson A, Netzer NC. Endurance Training in Normobaric Hypoxia Imposes Less Physical Stress for Geriatric Rehabilitation. *Front Physiol*, 8(514), doi:10.3389/fphys.2017.00514, 2017.
- 13) Schumacher YO, Ahlgrim C, Ruthardt S, Pottgiesser T. Hemoglobin mass in an elite endurance athlete before, during, and after injury-related immobility. *Clin J Sport Med*, 18(2):172-173, 2008.
- 14) Seals DR, Hagberg JM, Hurley BF, Ehsani AA, Holloszy JO. Endurance training in older men and women. I. Cardiovascular responses to exercise. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 57(4): 1024-1029, 1984.
- 15) Seiler S, Joranson K, Olesen BV, Hetlelid KJ. Adaptations to aerobic interval training: interactive effects of exercise intensity and total work duration. *Scand J Med Sci Sports*, 23(1): 74-83, 2013.
- 16) Soligard T, Palmer D, Steffen K, Lopes AD, Grant ME, Kim D, Lee SY, Salmina N, Toresdahl BG, Chang JY, Budgett R, Engebretsen L. Sports injury and illness incidence in the PyeongChang 2018 Olympic Winter Games: a prospective study of 2914 athletes from 92 countries. *Br J Sports Med*, 53(17): 1085-1092, 2019.
- 17) Soligard T, Steffen K, Palmer D, Alonso JM, Bahr R, Lopes AD, Dvorak J, Grant ME, Meeuwisse W, Mountjoy M, Pena Costa LO, Salmina N, Budgett R, Engebretsen L. Sports injury and illness incidence in the Rio de Janeiro 2016 Olympic Summer Games: A prospective study of 11274 athletes from 207 countries. *Br J Sports Med*, 51(17): 1265-1271, 2017.
- 18) Takahashi H, Inaki M, Fujimoto K, Katsuta S, Anno I, Niitsu M, Itai Y. Control of the rate of phosphocreatine resynthesis after exercise in trained and untrained human quadriceps muscles. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 71(5): 396-

- 404, 1995.
- 19) Welch HG. Effects of hypoxia and hyperoxia on human performance. *Exerc Sport Sci Rev*, 15: 191-221, 1987.
- 20) Wilber RL. Application of altitude/hypoxic training by elite athletes. *Med Sci Sports Exerc*, 39(9): 1610-1624, 2007.