

特集 ハイパフォーマンススポーツを対象とした医・科学支援
——ハイパフォーマンス・サポート事業の活動を例に

パラリンピック水泳競技の肢体不自由および視覚障がい選手を対象とした
生理学的サポート

—高地トレーニング前後での血液性状の分析—

Physiological Support for Para Swimming Athletes with Physical and
Visual Impairments

— Changes of Blood Profiles at High Altitude Training —

村石光二^{1),2),3)}, 高橋あかり³⁾, 袴田智子³⁾, 中村真理子³⁾

Koji Muraishi^{1),2),3)}, Akari Takahashi³⁾, Noriko Hakamada³⁾, Mariko Nakamura³⁾

キーワード：パラリンピック水泳, 肢体不自由, 視覚障害, 高地トレーニング, 血液性状

I. はじめに

パラリンピック水泳（以下、パラ水泳）は、選手の障がいの種類や程度に応じてクラス分けを行い、それぞれのクラスごとに競技が行われる。日本代表チームは、1980年アーネム大会から2016年のリオデジャネイロ大会まで、10大会連続でメダルを獲得している。

近年、水泳競技のトレーニング現場では、高地トレーニングが積極的に導入されている。これには、高地トレーニングの効果を明らかにする研究結果が多数示されてきたことと、高地トレーニングを行う環境の整備が進んできたことが影響している^{1-11),14),15)}。パラ水泳日本代表チームにおいても、長野県東御市に開所した「GMOアスリートパーク湯ノ丸」を利用して、高地トレーニングを導入している。高地すなわち低圧・低酸素環境下でのトレーニングは、赤血球およびヘモグロビンの増加や、ミトコンドリア量の増加などによる酸

素運搬能力の向上、最大酸素摂取量の向上といった効果が期待される^{4),14)}。その一方で、高地トレーニングは身体への負荷が高くなるため、選手のコンディションによっては高地において十分なトレーニングを実施することができず、コンディションを悪化させる原因にもなる。高地トレーニングにおいてトレーニング効果を最大限引き出すためには、選手のコンディションを維持しながら、適切なトレーニングを行うことが求められる。ハイパフォーマンスサポート事業（以下、HPS）では、パラ水泳日本代表チームの高地トレーニング時において、血液検査の結果から選手のコンディション評価とトレーニング効果の確認を行うサポートを実施しており、本稿ではその活動内容を紹介する。

II. 高地トレーニングの実際

高地トレーニングは、標高1800mから2300m

¹⁾関東学園大学経営学科, ²⁾立教大学大学院 コミュニティ福祉学研究科, ³⁾国立スポーツ科学センター

¹⁾ Department of Management, Kanto Gakuen University, ²⁾ Graduate School of Community and Health Services, Rikkyo University, ³⁾ Japan Institute of Sports Sciences

E-mail : k.ag.25.b@gmail.com

で行われるのが一般的であり、このような環境下でトレーニングを行うことで、赤血球およびヘモグロビンの増加や、ミトコンドリア量の増加などによって酸素運搬能力が向上し、最大酸素摂取量や持久系種目のパフォーマンスが向上することが広く知られている^{1),7)}。また近年では、低酸素環境下でのスプリントトレーニングにより、解糖系のエネルギー供給が改善され、スプリントパフォーマンスを向上させることが報告されている²⁾。つまり、高地トレーニングは競泳のように短距離種目と長距離種目が混在する競技においても、両種目で高いトレーニング効果を得ることが期待される。

一方で、これら的高地トレーニングによって得られる効果とは反対に、平地と比べて選手がコンディションを維持することが難しくなることも明らかにされている。高地では、気圧と大気中の酸素濃度が低下することで、体内の動脈血酸素濃度の低下や、体水分量の低下、睡眠の質の低下、免疫機能の低下など、コンディションを悪化させる要因が付きまとう^{6),7)}。さらに、高地では酸素運搬能力を高めようと赤血球の生成が促進されるが、その過程で鉄分の利用が高まる⁴⁾。その結果、高地滞在中に貧血に陥ってしまう可能性や、もともと貧血を抱えている選手は十分なトレーニングを行うことができず、期待される高地トレーニングの効果を獲得することができない。場合によっては、コンディションをさらに悪化させることにつながってしまう可能性がある。したがって、高地合宿を行う際には、合宿前から選手の体調を万全にしておくことと、合宿中のコンディションを客観的な指標を用いて観察することが重要となる。特に、パラ水泳の選手は各選手で障がいの種類や程度が異なるため、高地合宿時におけるコンディションの維持がより困難であると考えられる。

パラ水泳日本代表チームは、東京2020パラリンピック競技大会に向けて、2019年より高地トレーニング合宿を取り入れた。パラ水泳日本代表チームの監督・コーチより、高地合宿時のコンディション評価とトレーニング効果の把握が課題とし

て挙げられた。しかしながら、パラ水泳選手を対象とした高地トレーニング時のコンディショニングに関する報告は、これまで見当たらないのが現状である。

そこでHPSでは、これらの課題解決に向けて健常アスリートを対象とした先行研究を参考にし、高地合宿前後における血液検査結果の分析を行うことで、血液性状の変化から選手のコンディションと高地トレーニングの効果を検証することとした。

Ⅲ. サポートと合宿の流れ

高地合宿は、2020年10月12日から10月31日まで計20日間行われた。合宿およびサポートの流れを図1に示した。サポートの対象選手は、肢体不自由および視覚障がいの選手計12名で、高地滞在期間は合計で20日間であった。合宿場所は、国内唯一の高地トレーニング用屋内プールを有する、長野県東御市の「GMOアスリーツパーク湯の丸」で実施した。GMOアスリーツパーク湯の丸は、標高約1800mの準高地に位置しており、国内有数の高地トレーニングを行える施設となっている。合宿中のトレーニングは、3日間のトレーニングと1日の休息で構成した計4日間を1クールとして、5クールを実施した。多くの選手で1クールから4クールまで段階的にトレーニング強度を高めていき、5クール目は合宿後の記録会に向けた調整のため、強度を落としたトレーニングを実施した。1名の選手は5クールまで継続的に強度を上げてトレーニングを行い、もう1名の選手は2クール目から低強度トレーニングを実施した。各選手は、高地合宿が終了してから約1週間後に、宮城県で行われた記録会に参加した。

血液検査のタイミングは、高地合宿2週間前と合宿初日、そして合宿最終日の計3回で、高地合宿2週間前の採血は選手各自で最寄りの病院で血液検査を行い、合宿初日と合宿最終日は東御市内の病院にて血液検査を行った。血液検査の分析項目は、一般的な健康診断時に検査する項目と、高地トレーニングの効果を検証するための指標とな

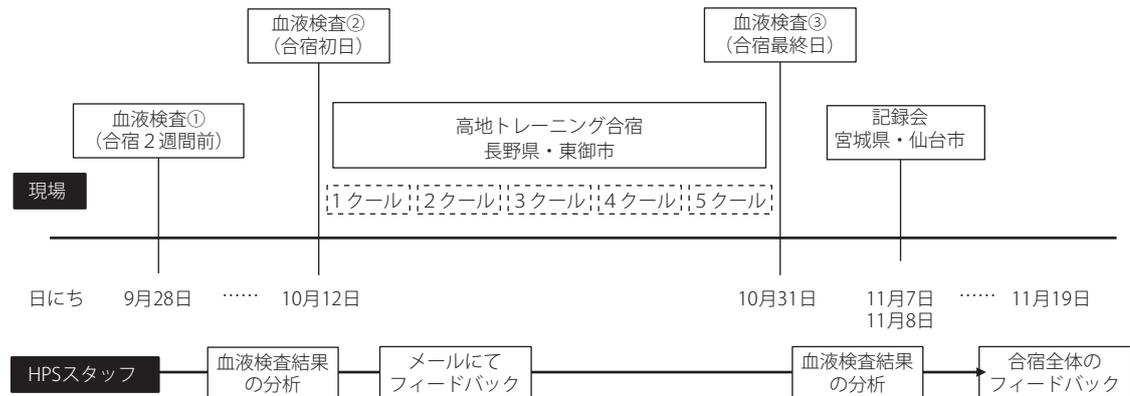


図1. 高地合宿およびサポートの流れ

る鉄 ($\mu\text{g}/\text{dl}$)、フェリチン (ng/ml)、赤血球数 ($\times 10^4/\mu\text{l}$)、ヘモグロビン濃度 (g/dl)、ヘマトクリット (%)、平均赤血球容積 (fl)、平均赤血球ヘモグロビン量 (pg)、平均赤血球ヘモグロビン濃度 (g/dl) であった。

本活動ではサポートスタッフは合宿に帯同せず、データのみ電子媒体でやりとりを行う遠隔サポートとした。合宿および記録会が終了後、改めてパラ水泳日本代表チームのスタッフと対面でフィードバックおよび意見交換を行い、高地合宿の総括を行った。

血液検査①は選手各自で最寄りの病院で行い、血液検査②および③は東御市内の病院で行った。採血結果はメールにて送付してもらい、その後コメントメールを現場の監督・コーチに返送してフィードバックを行った。高地合宿中は3日間のトレーニングと1日の休息日の計4日間を1クールとして、合計5クール実施した。基本は1クールから4クールにかけて強度を上げていき、5クール目は記録会に向けた調整のため強度を落としたトレーニングを行った。

Ⅳ. 血液性状の分析

1. 合宿2週間前と合宿初日の分析

高地合宿の前は、貧血の有無を確認するため、スクリーニング検査を行うことが重要であり、

フェリチンが基準値を下回る場合には、適切な方法で治療を行い、改善させてから高地トレーニングに臨む必要がある^{3),8)}。高地滞在時には血液中の酸素濃度が低下し、赤血球の造血因子であるエリスロポエチンが増加する³⁾。エリスロポエチンは骨髓細胞を刺激して赤血球を生成するが、この際に貯蔵鉄であるフェリチンが材料となるため、フェリチンの利用が高まる³⁾。つまり、高地合宿前から低フェリチンである場合、貧血が悪化する可能性や、十分なトレーニング効果を得ることができないため、事前の確認が重要となる^{3),8)}。したがって、合宿2週間前と合宿初日の採血結果は、主にフェリチンの数値に着目して分析を行った。Gundersenらは、高地トレーニング前のフェリチンの基準値を、男性選手は30 ng/ml 、女性選手は20 ng/ml と述べており、これを下回る場合を低フェリチンと定めている⁴⁾。本活動時にもこの基準値を参考に各選手の数値を確認した。対象選手の中には、合宿2週間前と合宿初日の血液検査で、低フェリチンに該当する選手はいなかった。一方で、2名の選手で基準値を下回る数値が確認されたが、体調に問題はなかった。これらのことから、各選手は血液性状の観点からは良い状態で高地トレーニングに臨んでいたと考えられる。

2. 合宿最終日の分析

図2に、合宿初日と合宿最終日における各血液指標の結果を示した。合宿最終日の分析では、各血液指標が合宿初日と比較してどの程度の変化がみられたか確認を行い、合宿中のコンディションの変化や高地合宿のトレーニング効果について検討した。統計処理には、SPSS (Statistics 21.0) を用いて分析を行い、合宿初日と合宿最終日における血液指標の比較では、対応のある1要因の分散分析を用いた。交互作用が認められた場合には、単純主効果の検定として Bonferroni 測定を用いた。

最も顕著な変化として、フェリチンが合宿初日

と比較して合宿最終日に有意な低下を示した。この結果はいくつかの先行研究でも報告されており^{3),4),5)}、ヘモグロビンの生成過程でフェリチンが利用されることに起因していると考えられる。ただし、フェリチンや鉄の過度な低下は貧血を引き起こし、コンディションを悪化させる要因にもなるため、高地合宿時にも適切な鉄分摂取が推奨されている⁹⁾。しかし、今回の合宿に参加した選手には、合宿最終日においても低フェリチンに該当する選手は確認されず、合宿中に体調を崩す選手もいなかったことから、貧血に陥ることなく高地トレーニングを行っていたと考えられる。

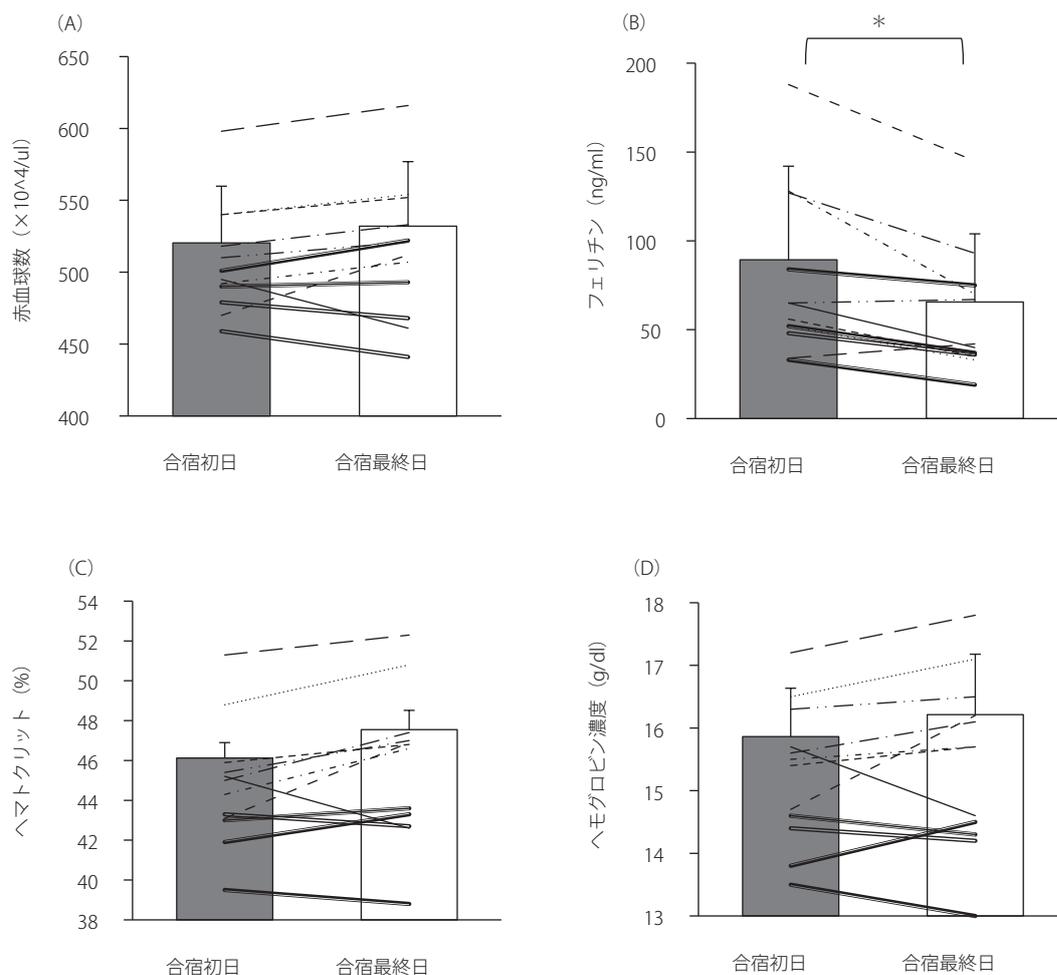


図2. 赤血球数(A)、フェリチン(B)、ヘマトクリット(C)、ヘモグロビン(D)の合宿初日と合宿最終日での変化
棒グラフが選手の平均、線グラフが選手個人の推移を示している。

次に、トレーニング効果を確認するために、赤血球数とヘモグロビン濃度に着目して分析を行った。これらの指標は、酸素運搬能力を改善させ、最大酸素摂取量の増大や持久性運動パフォーマンスを向上させる⁸⁾。しかし、合宿初日と合宿最終日の比較において、各指標で統計的な有意な差は確認されなかった。また、赤血球数とヘモグロビン濃度はともに2%ずつの増加が確認された。この増加率は先行研究¹⁰⁾と比較すると下回る数値となっているが、12名の選手のうち赤血球数は9名、ヘモグロビン濃度は8名の選手で増加が確認された。また1名の選手(A選手)において赤血球数は9%、ヘモグロビン濃度は10%の増加が確認された。A選手の赤血球およびヘモグロビン濃度の増加率は、合宿参加選手の中で最も高い増加率であった。その要因として、合宿初日のフェリチンが他の選手と比較して高値であったことが挙げられる。合宿初日における全選手の平均フェリチンは 89.4 ± 52.6 ng/mlであったが、A選手は188 ng/mlであり、合宿参加選手の中で最も高値であった。一方で、フェリチンが過度に高い鉄過剰の場合、様々な慢性疾患につながる事が報告されており、この判定基準はフェリチンが200 ng/ml以上とされている¹²⁾。したがって、A選手は鉄過剰には該当しない範囲で、フェリチンを十分に貯蔵することが出来ていた。また、先行研究においても、高地合宿前にフェリチンをしっかり貯蔵しておくことは、高地トレーニングの効果を高めることが明らかにされている⁴⁾。以上の点から、他の選手も基準値範囲内でフェリチンを十分に貯蔵したうえで高地トレーニングを行うことで、トレーニング効果をさらに高めることができ

ると考えられる。

一方で、B選手では赤血球が6%、ヘモグロビンが7%、ヘマトクリットが6%の低下が確認された。B選手の合宿初日のフェリチンは適正値であり、そのほかの数値においても合宿最終日のフェリチンは合宿初日と比較して38%低下し、鉄は5%の低下が確認されている。各指標とも基準値範囲内だったが、これらの項目がすべて低下していた。B選手は、合宿参加選手の中で唯一5クール目までトレーニング強度を上げており、トレーニング負荷が最も高かったと考えられる。したがってこれらを踏まえると、B選手にとってトレーニング負荷が高すぎた可能性や、合宿中に食事から十分な鉄分摂取が行えていなかった可能性も考えられる。今後は、選手個別のトレーニング強度の評価や、栄養サポートの介入が必要かもしれない。

V. 高地合宿後の記録会におけるパフォーマンス

高地合宿終了後、各選手は6日間の調整期間を挟み、11月7日と8日に宮城県で行われた記録会に参加した。記録会には、1名の選手だけ1種目に参加し、その他の選手は2種目に参加した。表1に、今回の記録を自己ベスト記録に対する変化率で示した。参加選手の平均で 1.5 ± 0.8 % 遅いタイムとなったが、1名の選手のみ2種目ともに自己ベストを更新した。

レース後における選手の感想では、「これまでのレースと比較して感覚的に楽に泳げた」と感じた選手が多く、高地トレーニングによる感覚的な運動強度の低下が生じていた可能性があり、この点は先行研究とも一致する結果である⁸⁾。一方で、

表1. 高地合宿に参加した各選手の自己ベストに対する記録会でのタイムの変化率

自己ベストに対する 記録会の結果	平均 (%)	1.5
	標準偏差	0.8

「レース時のペース配分がうまくいかなかった」と感じていた選手がおり、特に、レース終了後に「もう少しペースを上げることができた」という感想を持つ選手が複数いたようである。このような選手の感覚に対して監督・コーチは、高地と平地の違いによるペース配分の調整がうまくいかなかったことを挙げられていた。高地では、標高が1000m上昇するごとに最大酸素摂取量が4.6%低下すると報告されており¹⁵⁾、平地と高地で同じ泳速度で泳いでも、高地において負荷が高くなる。そのため、高地と平地ではレース全体のペース配分も異なる可能性が考えられる。特に、選手は約3週間の高地合宿で、高地の負荷とペース配分に慣れてきた可能性があり、平地で行われた今回の記録会においても、高地合宿時のペース配分でレースに臨んでいたと推測される。したがって、高地合宿終了後の調整期間におけるレースのペース配分の調整と、コンディショニングが今後の課題として挙げられた。

VI. サポートにおける課題

今回の活動では、感染症対策の観点から、初めて遠隔でのサポートを実施した。遠隔でサポートを行う際には、事前に監督・コーチが合宿中に把握したい情報を確認しておき、あらかじめ帳票に示す情報を絞ることで、素早いフィードバックにつながると感じた。また、遠隔サポートでは、選手の様子やトレーニングの状況を直接確認することができないため、実際に選手が感じている疲労や体調の変化を確認することができない。より詳細に選手のコンディショニングを把握するためには、主観的な指標と客観的指標を併せた評価が必要である。そのため、アプリケーション等を利用して、遠隔でもリアルタイムで情報を収集し共有できる体制づくりも遠隔サポートにおいて重要であると感じた。

合宿に参加した選手は肢体不自由および視覚障がい選手であったが、障がいの違いは動作の制限や生理機能に大きな個人差が生まれるため、選手のコンディショニングに影響を及ぼす可能性が

考えられる。つまり、高地環境への適応程度にも個人差が生じる可能性が考えられるが、本活動では詳細な検討が行えていない。この点に関しては、先行研究においても報告している例はなく、今後の研究や支援を通して明らかにしていく必要がある。

また、視覚障がいの選手の中には、稀に β 遮断薬が含まれる点眼薬を使用しているケースがある。 β 遮断薬は、心筋の収縮力を低下させて、心臓の酸素需要を低下させる¹³⁾。これは運動時においても同様で、運動時心拍数の増加の抑制および最大心拍数の低下、さらには、グリコーゲンおよび脂肪分解を抑制するため持久性運動能力も低下する¹³⁾。これらの作用から、 β 遮断薬を使用している高地トレーニングは、健康上の危険を伴う可能性もあり、選手の観察や医師との連携が必要になると考えられる。

VII. まとめ

本稿では、パラ水泳日本代表チームの高地トレーニングにおける選手のコンディショニングの変化と、高地トレーニングの効果について血液性状から検証し、以下について明らかになった。

- ① 高地合宿前後で、フェリチンが有意な低下を示した。
- ② 準高地での20日間の高地合宿において、フェリチン濃度が有意に低下したことから、高地トレーニングの効果を十分に得るためにも、合宿前および合宿期間中においてフェリチンが不足しないよう留意する必要がある。
- ③ 高地合宿終了後の調整期間におけるレースのペース配分の調整や、コンディショニングが今後の課題として挙げられた。

パラアスリートは選手個々で障がいの違いや、障がいの程度が異なるため、高地滞在時の生理的適応には個人差が大きいことが考えられる。この点に関する情報はまだまだ不足しているため、パラアスリートが安全かつ効率的に高地トレーニングを行うことができるよう、今後の研究や支援活

動から多くの知見を蓄積していくことが必要である。

文献

- 1) Berglund B. High-altitude training. Aspects of haematological adaptation. *Sport Med*, 14(5): 289-303, 1992.
- 2) Brocherie F, Girard O, Faiss R, Millet GP. Effects of repeated-sprint training in hypoxia on sea-level performance: A meta-analysis. *Sport Med*, 47(8): 1651-1660, 2017.
- 3) Chapman RF, Levine BD. The effect of hypo- and hyperbaria on performance. In: William E et al. (Eds.) *Exercise and Sport Science*, Lippincott Williams & Wilkins, pp.447-458, 2000.
- 4) Gundersen S, Alexander J, Hochstein C, Lomos A, Levine BD. Failure of red cell volume to increase to altitude exposure in iron deficient runners. *Med Sci Sports Exerc*, 24(5): S90, 1992.
- 5) Heincke K, Heincke I, Schmidt W, Wolfarth B. A three-week traditional altitude training increases hemoglobin mass and red cell volume in elite biathlon athletes. *Int J Sports Med*, 26(5): 350-355, 2005.
- 6) Hoshikawa M, Uchida S, Sugo T, Kumai Y, Hunai Y, Kawahara T. Changes in sleep quality of athletes under normobaric hypoxia equivalent to 2,000-m altitude. *J Appl Physiol*, 103(6): 2005-2011, 2007.
- 7) Jacobs RA, Lundby C, Robach P, Gassmann M. Red blood cell volume and the capacity for exercise at moderate to high altitude. *Sport Med*, 42(8): 643-663, 2012.
- 8) Levine BD, Stray-Gundersen J. A practical approach to altitude training: where to live and train for optimal performance enhancement. *Int J Sport Med*, 13(1): 209-212, 1992.
- 9) Michalczyk M, Czuba M, Zydek G, Zajac A, Langfort J. Dietary recommendations for cyclists during altitude training. *Nutrients*, 8(6): 377, 2016.
- 10) 森谷暢, 立正伸, 加藤健志, 今村貴幸, 高橋雄介. 一流競泳選手を対象とした高地トレーニングにおける泳速度—血中乳酸濃度関係の変動. *中央大学保健体育研究所紀要*, 35: 33-64, 2017.
- 11) Ploszczyc K, Langfort J, Czuba M. The effect of altitude training on erythropoietic response and hematological variables in adult athletes: a narrative review. *Front Physiol*, 9: 375, 2018.
- 12) Salonen JT, Nyysönen K, Korpela H, Tuomilehto J, Seppänen R, Salonen R. High stored iron levels are associated with excess risk of myocardial infarction in eastern Finnish men. *Circulation*, 86(3): 803-811, 1992.
- 13) 鈴木正彦. 理学療法のための薬理学 II. 心臓血管系作用薬の運動療法に対する影響. *理学療法科学*, 12(2): 101-106, 1997.
- 14) Townsend NE, Gore CJ, Ebert TR, Martin DT, Hahn AG, Chow CM. Ventilatory acclimatization is beneficial for high intensity exercise at altitude in elite cyclists. *Eur J Sport Sci*, 16(8): 895-902, 2016.
- 15) Wehrlin JP, Hall'en J. Linear decrease in VO₂max and performance with increasing altitude in endurance athletes. *Eur J Appl Physiol*, 96(4): 404-412, 2006.