



小諸市高峰高原における23日間の Living-High Training-Low モデルの 高地トレーニングによる効果

丹治史弥 (東海大学体育学部、東海大学スポーツ医科学研究所)

両角 速 (東海大学スポーツ医科学研究所、東海大学スポーツプロモーションセンター)

西出仁明 (東海大学スポーツ医科学研究所、東海大学スポーツプロモーションセンター)

宮崎誠司 (東海大学体育学部、東海大学スポーツ医科学研究所)

Effects on 23 days of “Living-High Training-Low” altitude training at
Takamine Kogen, Komoro city, Japan.

Fumiya TANJI, Hayashi MOROZUMI, Noriaki NISHIDE and Seiji MIYAZAKI



Abstract

“Living-High Training-Low (LHTL)” model of altitude training is recommended to be conducted at an altitude of 2,500 m or higher. However, there is no area with can be living and training more than 2,000 m of altitude in Japan. Therefore, we aimed to clarify changes in aerobic energy metabolism capacities and hematological variables and to examine the effects on 23 days of LHTL at an altitude of 2,000 m (Takamine Kogen, Komoro city). Six male elite endurance athletes participated in this study. The subjects measured maximal oxygen uptake and running economy before and after LHTL within 1 week. Blood samples were taken from forearm vein before (Day0), within 24 hours (Day1), on 7 days (Day7), 14 days (Day14) and 21 days (Day21) of living at altitude of 2,000 m. There was no changes in maximal oxygen uptake (4.36 ± 0.52 L/min to 4.39 ± 0.49 L/min). Ferritin was significantly lower on Day21 than on Day0 and Day1. Erythropoietin, hemoglobin concentration, and red blood cell did not change between each day. These results indicate that 23 days of LHTL at an altitude of 2,000 m is insufficient stimulate for aerobic energy capacity and hematopoiesis for elite endurance athletes.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No. 35, 61-69, 2023)

I. 目的

高地トレーニングはアスリートが海面レベルでのパフォーマンスを高めるためによく用いられている。とりわけ、高地環境に長期間滞在しながら

トレーニングを実施する Living-High、Training-High または Living-High、Training-Low モデルは、ヘモグロビン濃度が増加することで酸素運搬能力が増大し、最大酸素摂取量、ひいては持久性パフォーマンスを向上させることが広く知られている (Friedmann-Bette, 2008; Levine et al., 1997; Millet

et al., 2010; Saunders et al., 2013)。これらの高地トレーニングモデルは標高2,500 mの場所に4週間以上滞在することが望ましいとされ (Levine et al., 1997)、その後すでに優れた有酸素性エネルギー代謝能力を有するエリート競技者においても有効性が検証されている (Stray-Gundersen et al., 2001)。

しかしながら、我が国では標高2,500 mの場所で滞るかつトレーニングを実施できる施設は見当たらない。また、2,500 m未満の標高を用いた高地トレーニングの実施による有酸素性エネルギー代謝能力や血液学的変数の変化を報告した研究はほとんど見当たらず、我が国における Living-High、Training-Low モデルによるトレーニング効果の成否についての知見は整備されていない。国内の主な高地トレーニング拠点としては長野県上田市菅平高原、長野県東御市湯の丸高原や山形県上山市蔵王坊平、岐阜県高山市・下呂市飛騨御嶽高原などが有名であるが、これらの宿泊施設の標高はおおよそ1,000 mから1,800 m程度である。長野県小諸市高峰高原は同じく Levine et al. (1997) の推奨する標高を満たさないものの、標高2,000 mに宿泊施設およびトレーニング施設を有しており、国内の高地トレーニング拠点の中では最も高い場所に滞在することができるエリアの1つである。さらに高峰高原の麓の標高1,000 mエリアでは全天候型陸上競技場が設置されており、車で30分程度の移動で運動強度を落とさずにトレーニングが実施可能である。

高地トレーニングによるヘモグロビン濃度の増大を引き起こすトリガーは、高地環境における低い酸素分圧が腎臓でのエリスロポエチンの産生を誘発し、骨髄での赤血球産生を促進させるためである。エリスロポエチンは標高2,500 mでの滞在20時間程度で増大することが報告されており (Chapman et al., 2010)、その後は常に造血の反応が生じていると考えられる。Levine et al. (1997) や Stray-Gundersen et al. (2001) は4週間の Living-High、Training-Low モデルの高地トレーニング実施前後での血液検査データを示している

ものの、期間中の変化は示しておらず、4週間を必要とせずにその効果が得られる可能性がある。

4週間の高地トレーニングを実施することは理想であるものの、試合のスケジュールや費用面などで困難となる場合もある。4週間よりも短い期間でどのように血液学的変数が適応するのかを明らかにできれば、様々な状況に応じた高地トレーニング実施計画に有益な知見となりえるだろう。

そこで本研究は、23日間の Living-High、Training-Low モデルの高地トレーニングを長野県小諸市高峰高原で実施することによる効果を検証することを目的とした。これを達成するために、トレーニング前後の有酸素性エネルギー代謝能力およびトレーニング期間1週間ごとの血液学的変数を明らかにし、変化を調査した。なお、本研究では Living-High、Training-Low を高地トレーニングと定義する。

II. 方法

1. 被験者

本研究には6名の男性エリート持久性アスリート (年齢、 19.8 ± 1.8 歳; 身長、 175.0 ± 1.8 cm; 体重、 60.5 ± 3.3 kg; 体脂肪率、 $10.0\% \pm 3.2\%$) が参加した。被験者の1,500 m走の自己最高記録は $3'45''5 \pm 4''3$ であった。本研究を実施するにあたり、被験者には本研究の目的や趣旨、危険性などを紙面および口頭によって説明し、同意書への署名によって本研究への参加の同意を確認した。なお、本研究は東海大学「人を対象とする研究」に関する倫理委員会の承認を受けて実施した (承認番号: 22136)。

2. 実験デザイン

被験者は2022年の8月から9月にかけて連続する23日間を長野県小諸市高峰高原の標高2,000 mエリアで宿泊滞在し、Living-High、Training-Low モデルの高地トレーニングを実施した。トレーニングは被験者ごとに個別で計画されたものの、大

きな流れは同様に調整した。おおよそ1週間のうち2回はウエイトトレーニングと低強度での5-7 mile ジョグ、2回は5-10 mile ジョグをそれぞれ標高2,000 m で実施し、2回は高強度ランニング、1回は10-15 mile ジョグをそれぞれ標高1,000 m で実施した。また、これらに加えて週2回の5-8 mile ジョグを標高2,000 m にて早朝に実施した。すべての被験者は1日に1回20 mg の鉄を含む経口サプリメントを補給した。被験者は毎日起床時にパルスオキシメータ (OX-101、Dretec 社) を用いて経皮的動脈血酸素飽和度 (SPO₂) を測定した。

3. 評価項目および測定方法

a. 有酸素性エネルギー代謝能力

23日間の高地トレーニングの前後1週間以内に海面レベルにおいて有酸素性エネルギー代謝能力を測定した。被験者は傾斜1%に設定したトレッドミル (Pulsar, h/p/cosmos 社) 上での多段階漸増負荷走行によって最大酸素摂取量およびランニングエコノミーを評価した。被験者は1ステージ3分間 (休息1分) の走行を6ステージ繰り返した。第1ステージの走スピードを230 m/min に設定し、ステージごとに20 m/min 走スピードを漸増させた。6ステージ走行終了後、3分間の休息を設け、その後、310 m/min の走スピードから1分ごとに10 m/min 走スピードを漸増させ、疲労困憊まで走行を持続させる7ステージ目を実施させた。

エネルギー代謝能力の測定には呼気ガス測定器 (AE310-S エアロモニタ; ミナト医科学社) および血中乳酸分析器 (Lactate Pro 2; Arkcray 社) を用いた。血中乳酸濃度はテスト開始直前、各ステージ走行終了直後に分析した。最大酸素摂取量はエネルギー代謝能力の測定を通して最も高い30秒平均の酸素摂取量を採用した。ランニングエコノミーは Tanji et al. (2017) の方法を用いて、250 m/min の走スピード走行時の酸素摂取量、呼吸交換比および血中乳酸濃度によって算出した。また、7ステージ目における疲労困憊までの走行時間を Time to exhaustion (TTE) として評価した。

なお、被験者のうち1名が脚の状態を理由に有酸素性エネルギー代謝能力の測定を辞退したため、有酸素性エネルギー代謝能力の測定は5名が参加した。

b. 血液学的変数

高地トレーニング期間中の血液学的変数の変化を明らかにするために、高峰高原に滞在する直前 (Day0)、滞在24時間以内 (Day1)、滞在7日目 (Day7)、滞在14日目 (Day14)、滞在21日目 (Day21) に小諸市街の病院 (標高700 m) にて血液検査を実施した。Day0、Day7、Day14、Day21 は12時から13時の間、Day1は16時から17時の間でそれぞれ前腕静脈より採血を行なった。主な検査項目は、エリスロポエチン、ヘモグロビン濃度、赤血球数、フェリチン、血清鉄、白血球数、ミオグロビン、クレアチンキナーゼ、コルチゾールお

表1 250 m/min 走行時の酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$)、呼吸交換比 (RER) および血中乳酸濃度 (bLa) および7ステージ目の疲労困憊までの走行時間 (TTE) の平均値±標準偏差値
Table 1 Mean (\pm SD) values of oxygen uptake ($\dot{V}O_2$), respiratory exchange ratio (RER), and blood lactate concentration (bLa) at 250 m/min running and time to exhaustion (TTE) in the 7th stage running.

	Pre	Post	<i>P</i>	Effect size
$\dot{V}O_2$, mL/kg/min	48.3 \pm 2.9	46.7 \pm 2.8	0.35	0.59
RER	0.96 \pm 0.04	0.98 \pm 0.02	0.50	0.31
bLa, mmol/L	1.6 \pm 0.1	1.7 \pm 0.1	1.00	0.00
TTE, min	6.3 \pm 0.8	6.7 \pm 0.9	0.33	0.49

There was no significant difference between Pre and Post.

表2 高地トレーニング期間中の血液学的変数の平均値±標準偏差値
Table 2 Mean (±SD) values of hematological parameters during high-altitude training.

	Day0	Day1	Day7	Day14	Day21	<i>P</i>
エリスロポ エチン, mIU/mL	11.0±2.5	13.2±2.8	15.7±5.7	12.8±3.4	12.8±5.7	<0.05
ヘモグロビ ン濃度, g/dL	15.2±0.7	15.0±0.7	15.1±0.4	15.1±0.7	16.0±0.4	<0.05
赤血球数, ×10 ⁴ /μL	499±22	497±27	498±18	484±12	525±10	<0.05
フェリチン, ng/mL	75±34	71±32	50±20	47±22	41±20 ^{a,b}	<0.05
血清鉄, μ g/dL	124±46	98±42	93±21	128±63	172±55	0.12
白血球数, ×10 ² /μL	55±13	94±9	62±8	58±19	51±10 ^b	<0.05
ミオグロビ ン, ng/mL	29.0±12.2	72.3±35.7	69.4±27.2 ^a	51.6±12.4	27.8±5.6	<0.05
クレアチン キナーゼ, U/L	241±120	319±107	394±120 ^a	353±119	218±48 ^c	<0.05
コルチゾー ル, μg/dL	8.0±2.6	6.2±2.6	7.9±2.6	9.2±3.4	10.5±3.2	0.11
抗利尿ホル モン, pg/mL	2.0±1.4	4.9±3.5 ^a	2.5±1.3	1.7±1.0	3.3±2.4	<0.05

^a, *P*<0.05 different from Day0; ^b, *P*<0.05 different from Day1; ^c, *P*<0.05 different from Day7 (Scheffe post hoc test).

よび抗利尿ホルモンであった。被験者は採血前30分間を座位安静で過ごした。一部の採血は、4℃、3000 rpm で10分間遠心分離し、得られた血清および血漿は-80℃で冷凍保存した。ヘモグロビン濃度、赤血球数、白血球数は自動分析法により測定した (SRL 社)。エリスロポエチンおよびフェリチンは血清を用いて化学発光酵素免疫測定法、血清鉄は血清を用いてニトロソ-PSAP 法、ミオグロビンは血清を用いて化学発光免疫測定法、クレアチンキナーゼは血清を用いて JSCC 標準化対

応法、コルチゾールは血清を用いて電気化学発光免疫測定法、抗利尿ホルモンは血漿を用いて放射性免疫測定法によってそれぞれ測定した (SRL 社)。

4. 統計処理

データはすべて平均値±標準偏差で示した。高地トレーニング実施前後の最大酸素摂取量およびランニングエコノミーを比較するために Wilcoxon signed-rank test を実施した。加えて、

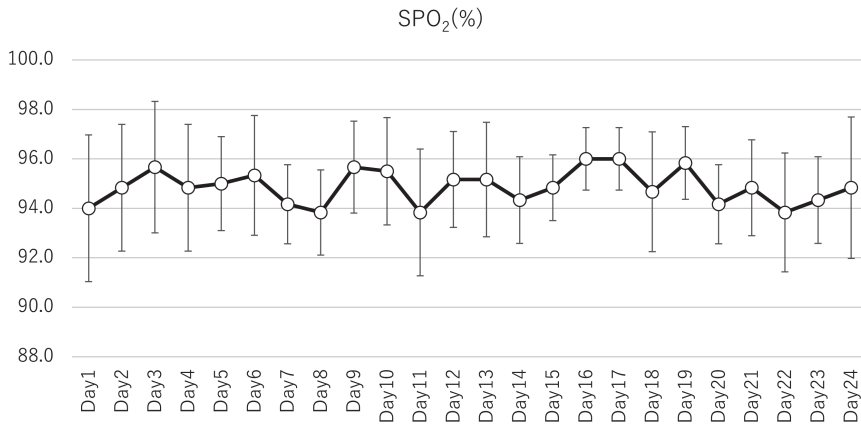


図1 高地トレーニング期間中の経皮的動脈血酸素飽和度 (SPO₂) の変化
Fig. 1 Changes in arterial blood oxygen saturation (SPO₂) during high-altitude training.

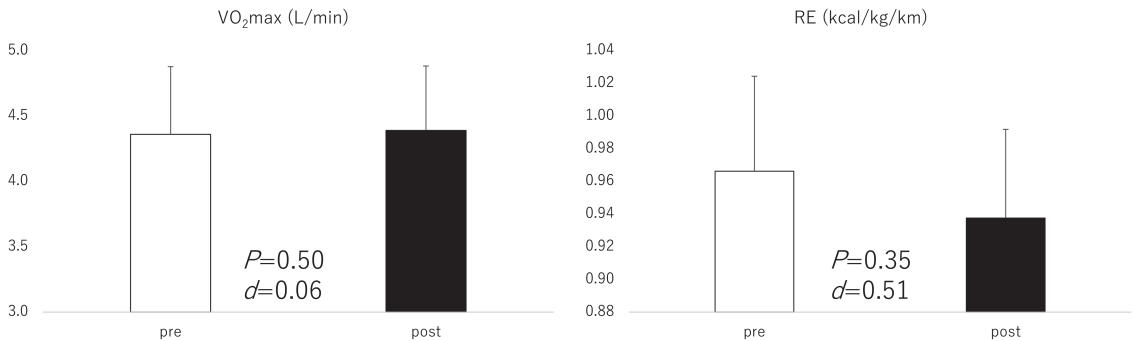


図2 高地トレーニング前後における最大酸素摂取量 (左) およびランニングエコノミー (右)
Fig. 2 Maximal oxygen uptake (left) and running economy (right) before and after high-altitude training.

効果量 (d) を G*power 3.1を用いて算出した。効果量の解釈は $d < 0.20$ のとき very small、 $0.20 \leq d < 0.60$ のとき small、 $0.60 \leq d < 1.20$ のとき moderate、 $1.20 \leq d$ のとき large であった。また、血液学的変数の変化を調査するために Friedman's test を実施し、事後検定には Scheffe test を用いた。統計分析には SPSS Statistic 26 (IBM 社) を用いて算出し、統計的有意水準は 5% とした。

Ⅲ. 結果

高地トレーニング期間中の SPO₂ を図 1 に示した。期間中の被験者の SPO₂ は $94.9\% \pm 2.1\%$ であった。高地トレーニング実施前および実施後における最大酸素摂取量はそれぞれ 4.36 ± 0.52 L/min

(71.8 ± 5.0 mL/kg/min) および 4.39 ± 0.49 L/min (72.5 ± 5.2 mL/kg/min) ($d = 0.06$)、ランニングエコノミーはそれぞれ 0.97 ± 0.06 kcal/kg/km および 0.94 ± 0.05 kcal/kg/km ($d = 0.51$) であった (図 2)。両変数ともに高地トレーニング実施前後における有意な差は認められなかった ($P > 0.05$)。また、ランニングエコノミーの分析に用いた 250 m/min 走行時の酸素摂取量、呼吸交換比および血中乳酸濃度、および TTE は高地トレーニング実施前後で有意な差が認められなかった ($P > 0.05$; 表 1)。また、有酸素性エネルギー代謝能力測定中の各走速度における血中乳酸濃度の変化を図 3 に示した。

血液学的変数の Day0、Day1、Day7、Day14 および Day21 の値を表 2 に示した。エリスロポエチン、ヘモグロビン濃度および赤血球数は

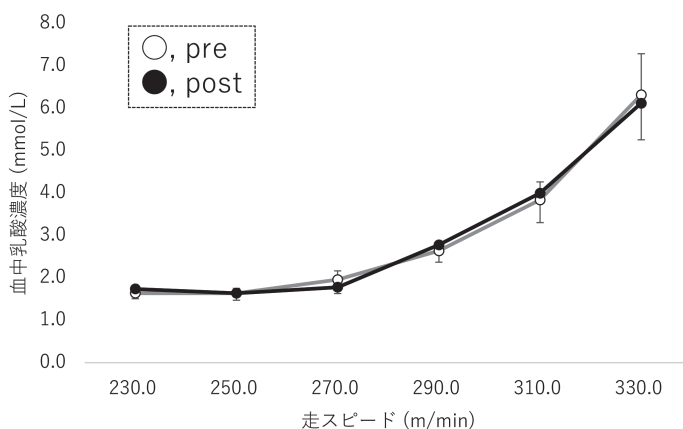


図3 高地トレーニング前後における各走速度の血中乳酸濃度
Fig. 3 Blood lactate concentration at each running speed before and after high-altitude training.

Friedman's test において日程間の有意な差が認められたものの、Scheffe test によって各日程間の差を検定するとすべての間に有意な差が認められなかった。フェリチンは Day0 および Day1 と Day21 の間に有意な差が認められた。また白血球数は Day1 と Day21 の間に有意な差が認められた。ミオグロビンは Day0 と Day7 の間に有意な差が認められた。クレアチンキナーゼは Day0 と Day7 の間および Day7 と Day21 の間に有意な差が認められた。抗利尿ホルモンは Day0 と Day1 の間に有意な差が認められた。一方、血清鉄およびコルチゾールは Friedman's test による日程間の有意な差が認められなかった。

IV. 考察

本研究は23日間の Living-High、Training-Low モデルの高地トレーニングを長野県小諸市高峰高原（標高2,000 m）で実施することによる効果を検証することを目的とした。その結果、得られた主な知見は以下の通りである。1）最大酸素摂取量およびランニングエコノミーに有意な変化が認められなかった。2）エリスロポエチン、ヘモグロビン濃度および赤血球数は各日程間に有意な差が認められなかった一方、高地トレーニング21日

目にフェリチンの有意な低下が認められた。

Living-High、Training-Low モデルの高地トレーニングによる主な効果は、低い酸素分圧による刺激がエリスロポエチンの産生を誘発し、骨髄での赤血球産生を促進することで、酸素運搬能力が増大し、最大酸素摂取量が向上することである。これらの効果は、標高2,500 m の場所に4週間滞在することによって獲得することができると報告されている (Levine et al., 1997; Stray-Gundersen et al., 2001)。しかしながら、標高2,000 m の小諸市高峰高原にて23日間の滞在（血液学的変数は滞在21日目に評価）をした本研究ではこれらの効果が認められなかった。したがって、Living-High、Training-Low モデルによる効果が得られるための滞在標高、滞在日数またはその両方が満たしていなかったと推察される。

Stray-Gundersen et al. (2001) や Chapman et al. (2010) は標高2,500 m での20時間滞在後にエリスロポエチンが滞在前の値からほぼ倍増することを報告している。また、その結果ヘモグロビン濃度が7.5% 程度増大したことを示している (Stray-Gundersen et al., 2001)。本研究と同様の標高2,000 m に相当する常圧低酸素環境において1日12時間の生活を10日間実施した Piehl Aulin et al. (1998) においても、介入期間中のエリスロポエチンが介入前に比べて80%増大したことが報告さ

れている。これらの先行研究と本研究との相違は対象者の低酸素トレーニング期間中の SPO_2 が影響していると推察される。例えば、Piehl Aulin et al. (1998) は常圧低酸素暴露中の SPO_2 を $93.0\% \pm 0.8\%$ であったと報告している一方で、本研究では $94.9\% \pm 2.1\%$ であった。つまり、エリスロポエチンの顕著な増大を認めた先行研究に比べて本研究の被験者の高地トレーニング期間中の SPO_2 は高い値が示された。本研究はエリート持久性アスリートを対象としたため、標高2,000 m の酸素分圧では顕著に SPO_2 が低下せず、被験者にとって造血作用に対する刺激が十分でなかった可能性がある。そのため、滞在1日目におけるエリスロポエチンの有意な増大が認められず、その後のヘモグロビン濃度にも有意な増大が認められなかったと考えられる。

加えて、本研究の被験者の高地トレーニング実施前のヘモグロビン値が高地トレーニングによってヘモグロビン値の増大を認めた先行研究 (Levine et al., 1997; Stray-Gundersen et al., 2001; Okazaki et al., 2019) の被験者に比べて高かったことも有意な増大を示さなかった1つの要因となった可能性もある。本研究の被験者よりも高地トレーニング実施前のヘモグロビン値が高かった被験者を対象とした Pottgiesser et al. (2009) は標高1,816 m の21日間の高地滞在においてヘモグロビン濃度の変化を認めていない。つまり、もともと優れたヘモグロビン値を有していると、さらなる改善が認められにくいことが推察される。

一方で、1日20 mg の鉄を含む経口サプリメントを補給していたにも関わらず、フェリチンは Day21 に Day0 および Day1 に比べて有意な低値が示された。フェリチンはヘモグロビン合成に不可欠であり、少なからず造血作用が生じていたと推察される。実際に、滞在21日目のヘモグロビン濃度は、有意ではないものの Day0 に比べて $5.8\% \pm 4.0\%$ 高かった。この値は高地滞在に対する適応に個人差があることを示しながらも (Chapman, 2013)、全体として有意ではないが増大傾向があったことを示唆している。Millet et al. (2010) や

Wilber (2007) によると、造血への効果が現れるためには4週間以上の高地環境での滞在が必要であるようである。以上のことから、エリート持久性アスリートにとって、造血作用およびその結果得られる酸素運搬能力の増大および最大酸素摂取量の向上には滞在標高および滞在日数が十分でなかったと考えられる。

V. 現場への示唆

本研究の結果より、国内の高地トレーニング拠点の中では最も高い場所に滞在することができる長野県小諸市高峰高原エリアでの3週間滞在ではエリート持久性アスリートのヘモグロビン濃度は増大しないことが示された。したがって、標高2,500 m の高地トレーニング拠点が見当たらない我が国では、高地トレーニングによって造血作用の効果を十分得るためには3週間のトレーニング期間では不十分であることが改めて示された。Living-High、Training-High または Living-High、Training-Low モデルを実施する際には継続的に SPO_2 を測定し、対象者に刺激が十分あるかを確認した方が良いと考えられる。十分な SPO_2 の低下が認められない場合には、低酸素発生装置などを用いてさらなる低圧・低酸素刺激を与えるなどの工夫が必要となるだろう。

一方、運動中の経済性 (Saunders et al., 2004; Schmitt et al., 2006)、筋緩衝能 (Gore et al., 2007; Gore et al., 2001) などの造血作用を伴わない能力の向上が3週間程度の高地トレーニングでも得られることが報告されている。Gore et al. (2007) は高地トレーニングによるパフォーマンスの向上に最大酸素摂取量の増大が必ずしも関連しないことを主張しており、ヘモグロビン濃度の増大が重要であるのか議論の対象となっている (Levine and Stray-Gundersen, 2007)。実際に、本研究においてはいずれも有意ではないものの、最大酸素摂取量 (very small) よりもランニングエコノミー (small) の方が大きな変化が認められた。し

たがって、高地トレーニングにおいて4週間の滞在ができない場合は経済性や筋緩衝能を改善する目的でトレーニングを実施する方がパフォーマンス向上に効果的であると示唆される。

VI. 結論

23日間の Living-High、Training-Low モデルの高地トレーニングを長野県小諸市高峰高原（標高2,000 m）で実施した結果、最大酸素摂取量およびランニングエコノミーに有意な変化が認められず、エリスロポエチン、ヘモグロビン濃度および赤血球数にも各日程間に有意な差が認められなかった。これらの結果から、標高2,000 mでの23日間の Living-High、Training-Low モデルの高地トレーニングはエリート持久性アスリートに重大な利益をもたらさないことが示された。一方、高地トレーニング期間中に毎日経口サプリメントによって鉄を補給していたにも関わらず、滞在21日目にフェリチンが有意な低下を示した。この結果は、滞在1日目にエリスロポエチンの有意な増大が認められなかったものの、少なからず造血作用が生じていたことが示唆された。

謝辞

本研究は東海大学スポーツ医科学研究所と小諸市エリア高地トレーニング推進協議会との研究連携協定に基づき実施されました。本研究の遂行するにあたり、小諸市長の小泉俊博氏、小諸市スポーツ課の川又研一氏および原田規行氏、JA長野厚生連浅間南麓こもろ医療センターの白石勉氏および山口耕二氏、小諸市エリア高地トレーニング推進協議会の市村憲一氏には大変ご尽力をいただきました。ここに記し、感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) Friedmann-Bette B. Classical altitude training. *Scand J Med Sci Sports*. 18(Suppl. 1): 11-20, 2008.
- 2) Levine BD, Stray-Gundersen J. "Living high-training low": effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *J Appl Physiol*. 83(1): 102-112, 1997.
- 3) Millet GP, Roles B, Schmitt L, Woorons X, Richalet JP. Combining hypoxic methods for peak performance. *Sports Med*. 40(1): 1-25, 2010.
- 4) Saunders PU, Garvican-Lewis LA, Schmidt WF, Gore CJ. Relationship between changes in haemoglobin mass and maximal oxygen uptake after hypoxic exposure. *Br J Sports Med*. 47: i26-i30, 2013.
- 5) Stray-Gundersen J, Chapman RF, Levine BD. "Living high-training low" altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. *J Appl Physiol*. 91: 1113-1120, 2001.
- 6) Chapman RF, Stray-Gundersen J, Levine BD. Epo production at altitude in elite endurance athletes is not associated with sea level hypoxic ventilatory response. *J Sci Med Sport*. 13: 624-629, 2010.
- 7) Tanji F, Shirai Y, Tsuji T, Shimazu W, Nabekura Y. Relation between 1,500-m running performance and running economy during high-intensity running in well-trained distance runners. *J Phys Fitness Sports Med*. 6(1): 41-48, 2017.
- 8) Piehl Aulin K, Svedenhag J, Wide L, Berglund B, Saltin B. Short-term intermittent normobaric hypoxia - haematological, physiological and mental effects. *Scand J Med Sci Sports*. 8(3): 132-137, 1998.
- 9) Chapman RF. The individual response to training and competition at altitude. *Br J Sports Med*. 47(Suppl 1): i40-i44, 2013.
- 10) Okazaki K, Stray-Gundersen J, Chapman RF, Levine BD. Iron insufficiency diminishes the erythropoietic response to moderate altitude exposure. *J Appl Physiol*. 127: 1569-1578, 2019.
- 11) Pottgiesser T, Ahlgrim C, Ruthardt S, Dickhuth HH, Schumacher YO. Hemoglobin mass after 21 days of conventional altitude training at 1816 m. *J Sci Med Sport*. 12(6): 673-675, 2009.
- 12) Wilbur RL. Live high + train low: thinking in terms of an optimal hypoxic dose. *Int J Sports Physiol Perform*. 2(3): 223-238, 2007.
- 13) Saunders PU, Telford RD, Pyne DB, Cunningham

- RB, Gore CJ, Hahn AG, Hawley JA. Improved running economy in elite runners after 20 days of simulated moderate-altitude exposure. *J Appl Physiol.* 96: 931-937, 2004.
- 14) Schmitt L, Millet G, Robach P, Nicolet G, Brugniaux JV, Fouillot JP, Richalet JP. Influence of "living high-training low" on aerobic performance and economy of work in elite athletes. *Eur J Appl Physiol.* 97(5): 627-636, 2006.
- 15) Gore CJ, Clark SA, Saunders PU. Nonhematological mechanisms of improved sea-level performance after hypoxic exposure. *Med Sci Sports Exerc.* 39(9): 1600-1609, 2007.
- 16) Gore CJ, Hahn AG, Aughey RJ, Martin DT, Ashenden MJ, Clark SA, Garnham AP, Roberts AD, Slater GJ, McKenna MJ. Live high:train low increases muscle buffer capacity and submaximal cycling efficiency. *Acta Physiol Scand.* 173(3): 275-286, 2001.
- 17) Levine BD, Stray-Gundersen J. Point: positive effects of intermittent hypoxia (live high: train low) on exercise performance are mediated primarily by augmented red cell volume. *J Appl Physiol.* 99(5): 2053-2055, 2007.