

富士山を利用した短期間の高所トレーニングに関する研究 —登山中の生理応答と登山後における身体能力の変化—

鹿屋体育大学
慶熙大学校体育大学
日本伝統医療科学大学院大学
国立スポーツ科学センター

山本正嘉, 岸本麻美, 烏賀陽信央
鮮于 攝
浅野勝己
前川剛輝, 平野裕一

Effects of Short Term (Three Days) Altitude Training at Mt. Fuji (3,776m) on Physiological Capacities at Sea Level as Well as at High Altitude

Masayoshi YAMAMOTO, Mami KISHIMOTO, Nobuhisa UGAYA, *National Institute of Fitness and Sports in Kanoya, 1 Shiromizu Kanoya-city Kagoshima, 891-2393, Japan*
Sunoo SUB, *Kyung Hee University, 1 Soecheon-ri Giheung-eup Yongin-si Gyeonggi-do, 449-701, Korea*
Katsumi ASANO, *Graduate University of Japan Traditional Medicine and Science, 5 Samon Shinjuku-ku Tokyo, 160-0017, Japan*
Taketeru MAEGAWA, Yuichi HIRANO, *Japan Institute of Sports Sciences, 3-15-1 Nishigaoka Kita-ku Tokyo, 115-0056, Japan*

ABSTRACT. Many altitude climbers climb Mt. Fuji for altitude acclimatization training and some lowland athletes also use this mountain for altitude training. But there is few scientific data of the effects. So we examined the training effect of three days climbing at the mountain. Eight subjects went up on foot from traffic terminal at 2,400m to the summit of Mt. Fuji, stayed two nights in the summit weather station, and went down to 2,400m on the third day. When the subjects went up the mountain, SpO₂ value decreased from 88% to 72%. Their SpO₂ in the summit station was about 83-85% at rest and 70-73% during sleep, respectively. It means severe hypoxic stimulus imposes the subjects even at rest as well as during sleep. After they came back to sea level, hypoxic ventilatory response increased significantly. And in the stepwise cycling test performed at 4,000m O₂ equivalent altitude room, significant improvements of SpO₂, La, and RPE were observed at many steps. Furthermore, at the cycling test performed at sea level, significant improvement of La and RPE was observed at a few steps. It means that the training will be useful for altitude climbers as well as for sea level athletes.

Key words: altitude acclimatization, climbing, altitude training, hypoxic ventilatory response

I. 研究目的

富士山は、日本国内の山では唯一 4000 m に近い高度を有し、高度的に見て特異な存在である。このため登山者の間では以前から、4000 m を超えるような海外の高山に出かける前に、高所順

化を身につける場として利用されてきた^{1,2)}。また低地で競技を行うスポーツ選手の中にも、富士山を利用して高所トレーニングを行う者がいる。

しかし、富士山に登ることによって身体能力がどのように変化するのか、といったことに関

する科学的な研究はわずかしかない³⁾。

そこで本研究では、富士山頂にある測候所を利用して2泊3日の登山を行い、登山中にどのような負荷が身体にかかっているか、また登山前後で身体能力がどのように変化するかについて検討した。

II. 研究方法

1. 被験者

被験者は8名（男性7名、女性1名）で、その身体特性は、年齢：27.5 ± 10.1 歳、身長：173.3 ± 6.6 kg、体重：70.1 ± 7.5 kgであった。彼らはいずれも、活動的な生活をしている者、または定期的に運動をしている者であった。各被験者には、実験の目的、方法、および予想される危険性について説明を行い、同意を得た後に実施した。また本研究は、鹿屋体育大学倫理審査委員会の承認を得て実施した。

2. 登山の方法

1日目は、吉田口五合目（2300 m）から徒歩で登山を開始した。荷物の重量は、2泊3日分の食糧と水を所持したため15～20 kg程度となった。行動時間は約7時間で、山頂の測候所に到達後、そこで宿泊した。

2日目は、終日測候所に滞在した。そして午前中には、火口の周囲を空身で一周するという軽い運動（おはち巡り）を行った。この所要時間は1.5時間程度であった。この日の宿泊も測候所で行った。

3日目は、徒歩で吉田口五合目まで下山した。荷物の重量は約10 kgで、行動時間は約3.5時間であった。

3. 測定項目

1) 登山時の生理応答

登山中とおはち巡り中の動脈血酸素飽和度（SpO₂）を、パルスオキシメーター（Pulsox 3si, Minolta 社製）を用いて連続的に測定した。ま

た登山中、おはち巡り中、下山中の心拍数（HR）を、心拍モニター（X6-HR, Suunto 社製）を用いて連続的に測定した。また上記の各場面での主観的運動強度（RPE）を定期的に測定した。

山頂での滞在時には、起床直後、朝、昼、夕方、夜に、パルスオキシメーターを用いてSpO₂と脈拍数（以下、心拍数と同等と見なしてHRと記す）、およびAMSスコアを測定した。測定時の姿勢は、起床直後以外は座位で行った。起床直後の測定については、寝たまの姿勢で、できるだけ睡眠中に近い状態で測るよう指示した。また就寝時から起床時までのSpO₂とHRについては連続的に測定した。

2) 登山前後での生理応答の変化

登山の前後に、低地の実験室で以下の項目を測定し、その変化（トレーニング効果）を検討した。

(1) 低酸素換気応答（HVR）

PCO₂を一定に保ちながら、呼吸を再呼吸する回路を自作し、これを用いて progressive hypoxid 法により測定した。

(2) 安静試験および運動負荷試験

登山の前後で、0 m および 4000 m 相当高度に設定した常圧低酸素室内で、安静試験と多段階運動負荷試験を行った。安静試験は、ベッドで30分間の仰臥位安静を保ち、最後の10分間の値を安静値とした。多段階運動負荷試験は自転車エルゴメーターを用い、著者らが以前報告した方法⁴⁾により測定した。すなわち回転数は50回転に固定し、3分ごとに負荷重量を増加させた。負荷重量は、被験者の体重を基準とした相対負荷とした。運動は両環境とも最大で10段階まで行うこととしたが、血中乳酸濃度（La）が6 mmol/lを超えた場合にはその時点で終了した。そして各段階でSpO₂、HR、La、RPEを測定した。

3) 統計処理

登山前後における低酸素換気応答および安静

試験時の値の変化については、対応のある T 検定を用いて検定した。運動負荷試験については、まず 2 元配置分散分析を行い、それが有意であった場合には、対応のある t 検定を用いて差を検定した。有意水準はいずれの場合も 5% とした。

III. 結果

1. 富士登山時における運動時、安静時、睡眠時の生理応答

図 1 は、登山の 1 日目に、五合目から山頂へと登山をしている時の、運動中の SpO₂、HR、RPE を示したものである（休息中のデータは除外している）。高度の上昇に伴い、SpO₂ は 88% から 73% まで低下し、HR は 130 bpm から 148 bpm まで増加した。また RPE は、11（楽）か

ら 16（きつい～かなりきつい）まで上昇し、測候所直下の急坂では 18（かなりきつい～非常にきつい）まで達した。2 日目に山頂でおはち巡りをした時の運動中の SpO₂ は平均値で 79%、HR は 114 bpm、RPE は 11～13 であった。3 日目の下山時には、高度によらず HR は 120 bpm、RPE は 11 程度と、ほぼ一定値で推移した。

図 2 は、低地（海面レベル）、五合目、および山頂（測候所内）において、安静時に測定した SpO₂、HR、AMS スコアである。SpO₂ は海面レベルでは 97%、五合目では 94% だったものが、山頂では 83～85% 程度まで低下した。ただし起床直後ではそれよりも低値（1 日目：74%、2 日目：80%）を示した。HR については、海面レベルでは 63 bpm、五合目では 79 bpm だったものが、山頂到着直後では約 97 bpm まで増加した。ただし翌日以降は 80 bpm 前後まで低

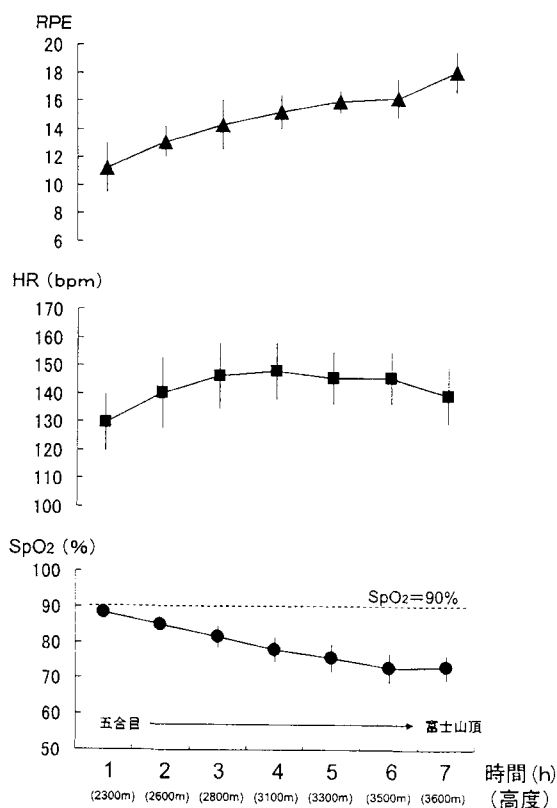


図 1 五合目から山頂への登高中（休息時は除く）における生理応答

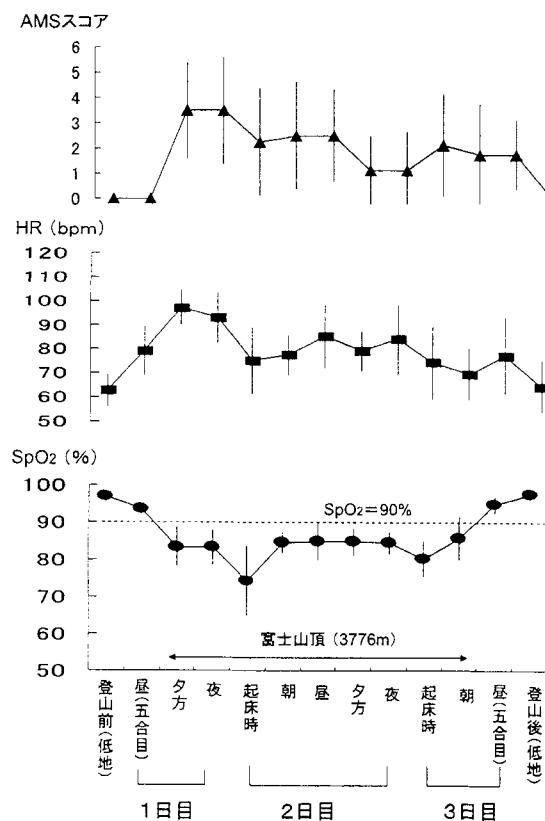


図 2 低地、五合目、および山頂での安静時の SpO₂、HR、AMS スコア

下した。AMSスコアは、山頂到着直後では3.5と高値を示したが、翌日以後はやや低下した。

図3は、ある1名の被験者(22歳男性)の、海面レベルおよび山頂における睡眠中のSpO₂の変動を示したものである。海面レベルでは90%台後半の値で安定していたが、山頂では入眠とともに50~60%台まで低下し、一時的には50%以下の値も示した。このような傾向は他の被験者でも同様で、睡眠時のSpO₂の最低値は1日目では39~65%(平均で54%)、2日目では51~71%(平均で60%)となっていた(ただし本研究で用いたパルスオキシメーターでは、50%以下のSpO₂は精度の保証外なので参考値である)。

図4は、山頂(2泊分)および海面レベル(登山の前後)における、睡眠中のSpO₂とHRの平均値を示したものである。海面レベルでは90%台後半であったSpO₂は、山頂では1泊目が70%、2泊目が73%と20~25ポイントも低下した。またHRについては、低地では50bpm台前半であったのに対し、山頂では1泊目が75

bpm、2泊目が71bpmと20bpm程度高い値を示した。

2. 富士登山前後での身体能力の変化

図5は、登山前後でのHVRを比較したものである。登山後には8名全員で増加が見られ、対応のあるt検定の結果でも、0.1%水準で有意な増加であった。

図6は、登山前後での4000m相当高度における安静時および多段階運動時の生理応答を示したものである。登山前に比べて登山後では、安静時の生理指標には有意な変化は見られなかった。しかし運動時には、いくつかの段階で、SpO₂の有意な上昇、Laの低下、RPEの低下が見られた。

図7は、登山前後での海面レベルにおける安静時および多段階運動時の生理応答を示したものである。登山前に比べて登山後では、安静時の生理指標には有意な変化は見られなかった。しかし運動時には、一部の段階で、Laの有意な低下、およびRPEの低下が観察された。

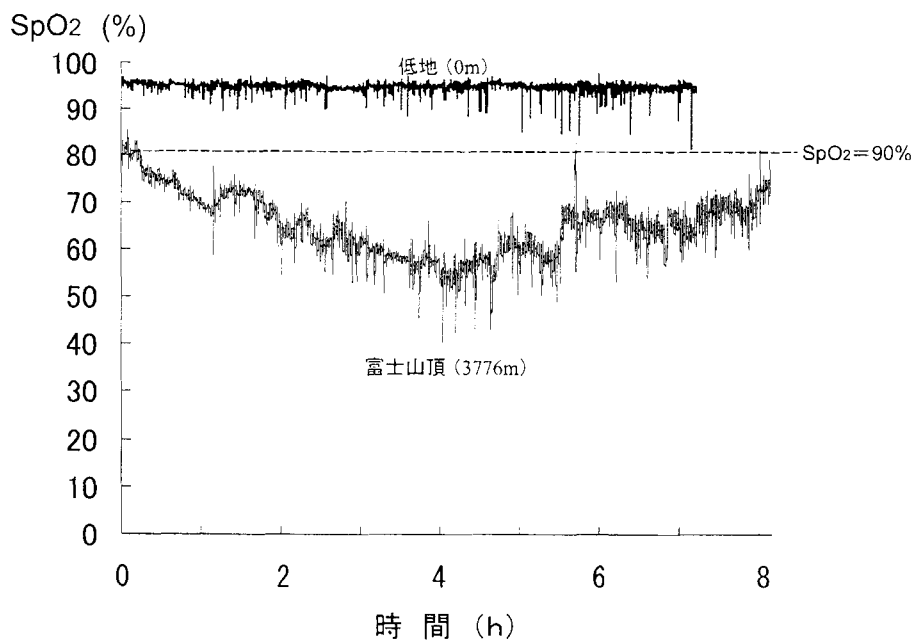


図3 ある被験者における低地と富士山頂での睡眠時SpO₂

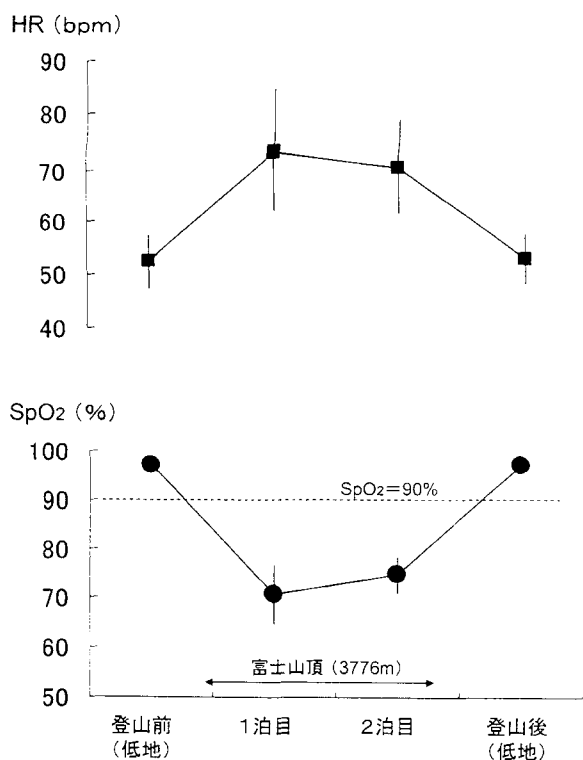


図4 低地および富士山頂での睡眠時の SpO₂ と HR

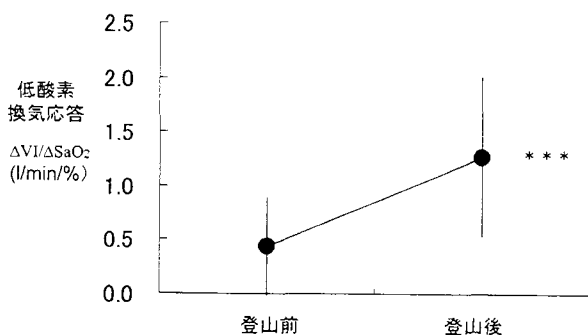


図5 登山前後での低酸素換気応答の変化 (***: p < 0.001)

IV. 考察

1. 富士山における生理応答

登高中の HR を見ると (図1), 2800 m 以上の高度では 140 bpm 台後半で定常状態となっていた。これは低山での登山時や, 海面レベルでの持久運動時によく見られる値である。しかし

SpO₂ を見ると, 五合目付近でも 90% を下回っており, それ以後は高度の上昇に伴ってさらに低下し, 山頂付近では 80% を下回った。また RPE は, SpO₂ の低下に対応して鏡像的に増加し, 五合目付近では 11 であったものが, 山頂付近では 18 に達した。

海面レベルでは, 最大努力に近い運動時をしても, SpO₂ は非鍛錬者で 90% 台前半, 鍛錬者でも 80% 代後半の値にしか低下しないことが報告されている⁵⁾。また著者ら⁶⁾ が立山の 2300 ~ 2700m 付近で, 約 30kg のザックを背負ってマイペースで登高している 9 名の大学山岳部員の生理応答を測定したところ, SpO₂ が 87%, HR が 150bpm, RPE が 13 であった。このようなことを考えると, 富士山での運動中には非常に大きな低酸素負荷が身体にかかっていることがわかる。

富士山頂での安静時の SpO₂ に関する報告はいくつかあり, いずれも 80% 台前半の値が報告されているが⁷⁻⁹⁾, 本研究でも同様の結果が得られた (図2)。海面レベルでの安静時と比べると 15 ポイント程度低いことになる。また著者ら⁶⁾ が立山の 2470 m 地点で, 164 名の大学生を対象に, 安静時の SpO₂ を測定したところ 93% であった。したがって富士山頂ではこれよりも約 10 ポイント低いことになる。

富士山頂での睡眠時の SpO₂ データについては, 過去に報告がない。今回得られたデータを見ると 70% 前後という, 安静時や運動時よりもさらに低い値を示していた (図4)。大村ら¹⁰⁾ は立山の 2470 m の高度で, 17 名の大学生を対象に睡眠時の SpO₂ を測定し, 80% 台後半であったと報告している。したがって, これよりも 15 ポイント以上低いことになる。また図3に示すように, 睡眠時の SpO₂ は変動も大きく, 被験者によっては 50% 以下となる場合もあった。さらに, 図4の標準偏差から窺えるように, 山頂での睡眠中の SpO₂ の値は個人差が大きいこともわかる。

図3や図4を見ると, 急性高山病は夜間に発

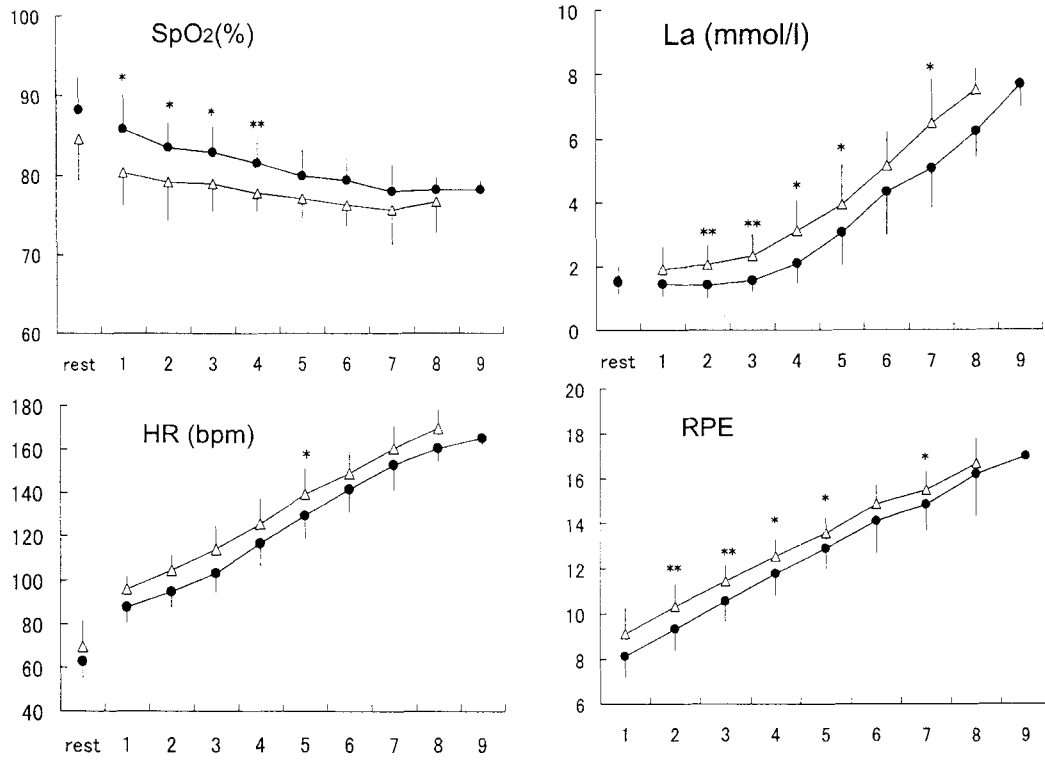


図6 登山前後での4000 m相当高度における安静時(rest)および多段階運動時(1~9段階)の生理応答 (* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$, 図7も同様)

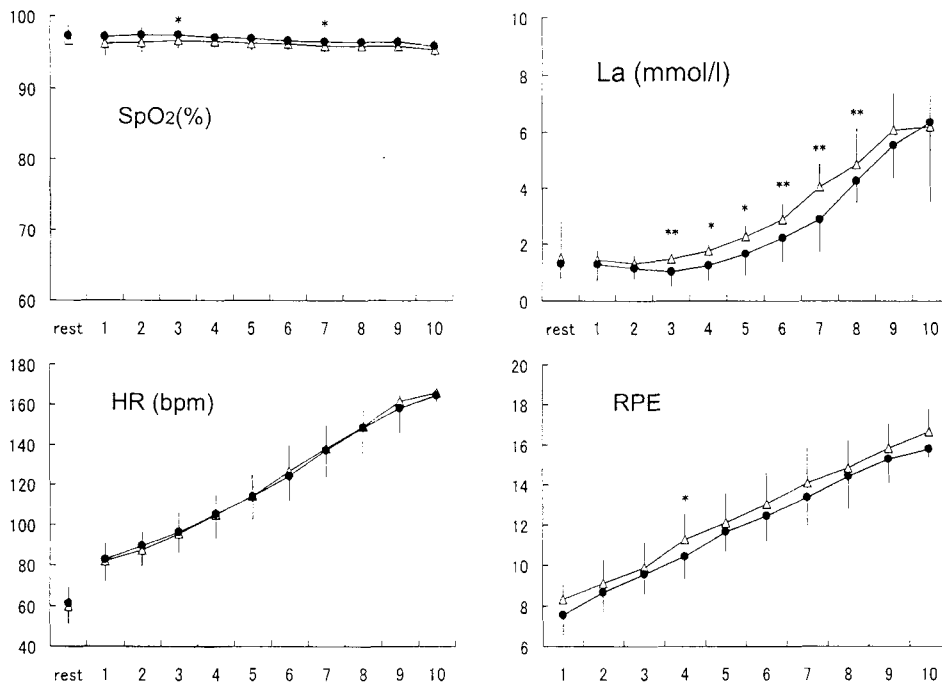


図7 登山前後での海面レベルにおける安静時 (rest) および多段階運動時 (1~10段階) の生理応答

症したり悪化したりすることが多い理由が理解できる。なお図2を見ると、安静時でも起床直後ではSpO₂が低値を示しているが、これは睡眠時の低下の影響を受けたものと考えられる。

このように富士登山時には、運動中、安静時、睡眠時ともに大きな低酸素負荷がかかることがわかる。これは富士山の高度そのものが高い上に、急激に高度を上げることも関係していると考えられる。

このような低酸素刺激が身体に加わることによって、後述のように高所トレーニングの効果が生じると考えられる。しかしその一方で、このような刺激が過度なストレスとなる可能性も考えられる。富士山は大衆登山としての人気も高く、毎年7～8月になると老若男女が20～30万人も登山する。そして彼らの多くは、登山中に頭痛や吐き気などに悩まされ、重症化する例も少なくない。図1～4の結果を見ると、一般的な登山者に対しては過度な低酸素負荷にもなる可能性があり、注意を喚起することが必要と考えられる。

2. 富士登山前後での身体能力の変化

登山後にHVRは有意に改善していた(図5)。これは2泊3日という短期間の富士登山でも、低酸素環境に対する換気感受性がある程度改善することを示している。また登山後に4000 m相当高度の低酸素環境で作業を行った結果、SpO₂やLaの一部で有意な改善が見られ、主観的なつらさ(RPE)も軽減していた(図6)。これは富士登山によって、低酸素環境下での作業能力が改善したことを示している。したがって、今回のような2泊3日の富士登山は、海外の4000 m以上の山に出かける登山者にとって、事前の高所順化トレーニングとして有効と考えられる。

従来から、登山者たちは富士山で高所順化トレーニングをし、その効果を認める者が多かったが^{1,2)}、客観的なデータはほとんどなかった。先行研究としては唯一、山本³⁾が2日間で富士

山を五合目から2往復するという登山を行い、その登山後に4000 m相当高度の低酸素環境下で、安静時のSpO₂が有意に上昇するとともに、HRが有意に低下したと報告している。本研究ではそのトレーニング効果が、運動中のSpO₂やLaなどでも観察できたことになる。

なお、山本の先行研究³⁾では安静時のSpO₂とHRに有意な変化が見られたのに対して、本研究ではこの部分には有意な変化が認められなかった。この食い違いについては、登山の様式が違うことや、登山前後での低酸素曝露方法が、前者では低圧低酸素環境であるのに対して、後者では常圧低酸素環境であることなどが関係しているかもしれないが、今後の検討課題である。

この他に山本ら⁶⁾は、立山の2470 m地点で4泊5日し、その周辺で毎日登山を行った場合のトレーニング効果を調べている。その結果、登山後には5000 m相当高度の常圧低酸素環境ではSpO₂やHRに変化が見られなかった。しかし4000 m相当高度では、安静時のSpO₂には有意な変化は見られなかったものの、HRについては登山前に比べて有意に低下したと報告している。

以上のように、富士山やそれよりも低い山であっても、やり方によっては4000 m相当高度の低酸素環境への順化は起こる可能性がある。今後も日本国内のさまざまな山を対象に、どの程度の期間のトレーニングをすれば4000 m以上の高度への順化が可能であるかについて、体系的に検討していくことが必要であろう。

また今回の実験で興味深いことは、改善の程度は4000 mレベルほどではないものの、海面レベルでも作業能力(La)の改善が見られたことである(図7)。このことは富士登山が、低地で行われるスポーツ選手の高所トレーニングとしても有効である可能性を示唆するものである。

本研究のような短期間の高所トレーニングによって、海面レベルでの作業能力が改善した例としては、小林¹¹⁾や杉田¹²⁾が陸上競技選手を

対象に、立山周辺（2300～2450 m）で行った3泊4日のトレーニングがある。本研究ではこれよりもさらに高い高度、そしてより短い期間で、海面レベルでの作業能力が改善した例と位置づけられる。

現在、低地のアスリートの間では高所トレーニングが盛んに行われているが、その標準的な方法は、2000 m前後の高地に数週間滞在して行うというものである。しかし最近では、3000 m台や1000 m台の高度も利用する、短期間で行う、生活を行う高度と運動を行う高度を変える、といった多様化も進んでいる。本研究で用いた2泊3日の富士登山という方法も、このような流れの中で今後さらに検討すべき価値のある課題と考えられる。

V. まとめ

富士山の五合目から徒歩で山頂に登り、山頂の測候所に2泊した後には下山するという3日間の登山を行い、その際の生理応答を測定するとともに、登山後における身体能力の変化を測定した。その結果、山頂滞在時のSpO₂は運動時で70～80%、安静時で80%台前半、睡眠時では70%前後と、強い低酸素刺激が加わっていた。

また登山後には、低酸素換気応答の改善が起こり、4000 m相当高度の低酸素環境および海面レベルでの両方で作業能力が改善していた。したがってこのトレーニングは、海外の4000 m以上の高所に出かける登山者にとっても、低地で競技を行うアスリートにとっても、事前の高所トレーニングとして有用であることが示唆された。

謝 辞

富士山測候所の利用は、「NPO 法人富士山測候所を活用する会」の努力により可能となったものであり、関係者に深く感謝いたします。

文 献

- 1) 山本正嘉：登山の運動生理学百科. 東京新聞出版局. 2000, pp.226-239.
- 2) 山本正嘉：日本人8000m 峰登頂者へのアンケート調査：体力, 高所順化, 高所技術に関して. 日本山岳会高所登山研究委員会編, 8000m 峰登頂者は語る, 2002, pp.10-11, 44-53.
- 3) 山本正嘉：富士山を利用した高所順応のトレーニング. 登山医学, 17: 5-7, 1997.
- 4) 烏賀陽信央, 山本正嘉：常圧低酸素室を用いた短時間かつ短期間での高所順化トレーニング法の開発 (第2報). 登山医学, 23: 63-70, 2003.
- 5) Williams, J.H. et al: Hemoglobin desaturation in highly trained athletes during heavy exercise. Med. Sci. Sports Exer., 18: 168-173, 1986.
- 6) 山本正嘉ほか：登山の運動生理学・体力科学に関する調査研究：1998～1999年度文部省登山研修所大学山岳部リーダー研修会における調査研究報告. 登山研修, 15: 154-162, 2000.
- 7) 浅野勝己ほか：富士山頂短期滞在時の安静および運動時生理応答. 登山医学, 8: 108-118, 1988.
- 8) 高橋 堅, 岩田 学：高所での呼吸法・姿勢・散歩の介入が動脈血酸素飽和度に及ぼす影響：介入中及び介入後の即時的改善効果. 登山医学, 26: 81-86, 2006.
- 9) 増田敦子, 増山 茂：富士山頂に到着した際のSpO₂はどれくらいが標準か？ 登山医学, 27: 163-167, 2007.
- 10) 大村靖夫ほか：登山前の常圧低酸素室での睡眠が高所順応に及ぼす効果について：2,500mの高度に対する順応効果. 登山研修, 15: 24-29, 2000.
- 11) 小林寛道：立山方式高所トレーニングをめざして：短期的高所トレーニングの効果. 第3回高所トレーニング国際シンポジウム'99立山（総集編）, 2000, pp.13-19.
- 12) 杉田正明：立山方式・短期的高所トレーニングの効果について：陸上競技・中長距離選手を対象として. 第3回高所トレーニング国際シンポジウム'99立山（総集編）, 2000, pp.23-31.