

原 著

富士山登山における心拍数, SpO₂ および 自覚症状スコアの変化

関 和俊*¹ 石田恭生*² 小野寺昇*³ 田淵昭雄*⁴

要 約

高所において生体は、いわゆる急性高山病 (Acute Mountain Sickness ; AMS) 症状に悩まされることが少なくない。動脈血酸素飽和度 (SpO₂) を簡易に測定ができるパルスオキシメータは、酸素不足と高所順応の状態を的確に把握し、ヘモグロビンの透過率を測定できる機器であり、最近の登山には必要不可欠な装備とされている。富士山は、海拔3,776mの日本最高峰であり、低圧低酸素環境下にある。本研究では、心拍数, SpO₂ および AMS スコアを用い、富士登山における生体変化を明らかにすることを目的とした。被験者は健康な成人男女26名 (男性15名, 女性11名) であった。登山中の心拍数および SpO₂ の測定にはパルスオキシメータを用いた。AMS スコアの事後アンケート調査を実施した。心拍数は五合目登山前 (88.8±11.8bpm ; beats per minute) と比較して、富士山頂 (101.2±19.3bpm) において有意に上昇した (p<0.05)。SpO₂ は、五合目登山前 (91.4±2.0%) と比較して、富士山頂 (82.1±6.5%) において有意に低下した (p<0.05)。AMS スコアは「頭痛」および「めまい及び/またはふらつき」に関して山頂時に有意に高値を示した (p<0.05)。このことから、富士登山においても心拍数や SpO₂ は高所順化の指標となることを示唆する結果となった。また、SpO₂ の測定は富士登山における高所順応が順調に獲得されているかどうかを知るための適切な指標であることが示唆された。心拍数, SpO₂ および AMS スコアを用いることによって、富士登山における急性高山病を事前に防ぐことが可能であると考えられた。

背 景

高所において生体は、いわゆる急性高山病 (Acute Mountain Sickness ; AMS) 症状に悩まされることが少なくない。高山病は生体が高所の低圧低酸素環境に暴露されたときにみられる極めて生理的な反応であり、その症状や程度は個々の体調、標高、登頂速度、気象条件などにより異なることが明らかになっている¹⁻³⁾。AMSの一般的な症状である頭痛、嘔気、倦怠感、呼吸困難、不眠などは高所到着後の初期に出現し⁴⁾、これらの症状は初期反応の破綻と考えられている。重篤な場合は肺水腫や脳浮腫に至ることも報告されている。この原因は、低酸素によって体内の動脈血酸素レベル (SpO₂) が低下し、低酸素状態改善のために心拍数と呼吸数が上昇することである。同時に、酸素不足の細胞では、浸透圧を保つナトリウムポンプの働きが低下して細胞内に水が溜まる⁵⁾。

運動鍛錬者では低圧低酸素環境への抵抗性、すなわち高所耐性が高いことを示唆する報告もあるが⁴⁾、一般に平地における体力と高所耐性は関係性が少ないと考えられている。高所における体調には登山による体力の消耗に加え、高所耐性の個人差が関与し、予測は必ずしも容易ではない⁶⁾。

SpO₂ を簡易に測定ができるパルスオキシメータは、酸素不足と高所順応の状態を的確に把握し、ヘモグロビンの透過率を測定ができる機器であり、最近の登山には必要不可欠な装備とされている。パルスオキシメータは小型軽量となり、SpO₂ 測定のためのその携行はAMS症状の客観的な把握と予測に有用であることが示唆されている⁷⁾。

急性高山病を簡易に診断が出来る自覚症状スコアである急性高山病スコア (AMS スコア) は、1993年にカナダのレイク・ルーズにおいて開催された国際低酸素会議にて制定された⁸⁾。本スコアリング

*1 川崎医療福祉大学大学院 医療技術学研究科 健康科学専攻 *2 川崎医療福祉大学大学院 医療技術学研究科 健康体育学専攻

*3 川崎医療福祉大学 医療技術学部 健康体育学科 *4 川崎医療福祉大学 医療技術学部 感覚矯正学科

(連絡先) 関 和俊〒701-0193 倉敷市松島288 川崎医療福祉大学

E-Mail: w6304005@mw.kawasaki-m.ac.jp

システムは、AMS の簡便かつ客観的な指標として広く世界で汎用されている。

日本最高峰の富士山は、標高3,776mであり、気圧は平地の約60%の480Torrを示すため、肺胞 O_2 分圧 ($P_A O_2$) は約60Torrに低減している。これは平地で約12%の低濃度 O_2 ガスを吸入している状態に相当しているため、血中 O_2 含量の低下に伴い動脈血 O_2 飽和度 (SaO_2) は平地の値に対し約10%の低減を示していること⁹⁾ から、富士山は低圧低酸素環境下にあると考えられる。登山に関する医学的な報告は、その多くがヒマラヤ登山など標高4,000mを越す本格的な登山に関するものであり、国内の富士山や日本アルプスのような登山に関する報告は少ない。そこで本研究では、心拍数、 SpO_2 および AMS スコアを用い、富士登山における生体変化を明らかにすることを目的とした。

方 法

1. 対象

被験者は健康な成人男女26名 (男性15名 女性11名) であり、身体特性は、年齢 30.1 ± 16.4 歳 (means \pm SD)、身長 165.3 ± 7.9 cm、体重 60.4 ± 6.5 kgであった。被験者には、研究の目的、方法および危険性について説明し、参加の同意を得た。

2. 測定方法および測定項目

富士山登山は、平成18年8月10日に富士山五合目登山口 (海拔2,300m) から出発し、8合目の山小屋 (太子館、海拔3,105m) で約4時間の休息をとり、富士山山頂 (海拔3,776m) まで登山を行った。その後、富士山山頂にて約3時間の休息をとり、富士山五合目まで下山した。被験者には、富士山登山前にAMS 予防のためのアセタゾラミド (ダイアモックス) 250mg を服用させた。登山中の心拍数および SpO_2 は、パルスオキシメータ (SAT-2100, 日本光電) を用いて、登山前 (平地)、五合目登山前、八合目、富士山山頂、五合目下山後および下山後 (平地) において記録した。後日、高山病の診断に用いられている AMS スコアの事後アンケート調査を実施した。AMS スコアは、各被験者に資料を配布し、無記名で申告させた。AMS スコアのうち、頭痛、消化器症状 (吐き気、嘔吐)、めまい・ふらつきおよび睡眠障害に関する項目の調査を行った。資料として本研究で用いたアンケート用紙を示した (末尾添付資料参照)。休息時間を含めた富士山登山時間は、約20時間であった。

3. 統計処理

全ての値は、平均値 \pm 標準偏差 (means \pm SD) で示した。心拍数および SpO_2 は富士登山登頂に成功

した24名のデータを用いた。事後アンケートは有効回答が得られた対象者17人の回答結果を用いた。全ての測定項目とも、一群間の反復測定を伴う分散分析を用い、有意差が認められた場合には Bonferroni 検定を行った。いずれの場合にも有意水準は5%未満とした。統計処理は、統計分析ソフト (SPSS14.0) を使用して行った。

結 果

1. 登山中の各測定ポイントの心拍数と

SpO_2 の変化

図1に富士山登山における心拍数の変化を示した。心拍数の変化は、登山前 (平地) 75.9 ± 9.5 bpm、五合目登山前 88.8 ± 11.8 bpm、八合目 99.3 ± 14.5 bpm、富士山山頂 101.2 ± 19.3 bpm、五合目下山後 104.0 ± 13.6 bpm および下山後 (平地) 94.2 ± 8.6 bpmであった。登山前 (平地) と比較して、すべてのポイントにおいて有意に上昇し ($p < 0.05$)、下山後 (平地) は五合目下山後と比較して有意に低下した ($p < 0.05$)。

図2に富士山登山における SpO_2 の変化を示した。 SpO_2 の変化は、登山前 (平地) $96.9 \pm 1.1\%$ 、五合目登山前 $91.4 \pm 2.0\%$ 、八合目 $84.6 \pm 5.8\%$ 、富士山山頂 $82.1 \pm 6.5\%$ 、五合目下山後 $91.4 \pm 2.7\%$ および下山後 (平地) $95.2 \pm 1.5\%$ であった。登山前 (平地) と比較してすべてのポイントにおいて有意に低下した ($p < 0.05$)。また、富士山山頂と比較して、五合目下山後および下山後 (平地) は有意に上昇した (共に $p < 0.05$)。

2. 登山中の各測定ポイントの AMS スコアの変化

図3に富士山登山における AMS スコアの変化を示した。「頭痛」の変化は、登山前 (平地) 0.00 ± 0.00 、五合目登山前 0.06 ± 0.24 、八合目 0.76 ± 0.97 、富士山山頂 1.24 ± 1.09 、五合目下山後 0.41 ± 0.94 および下山後 (平地) 0.18 ± 0.53 であった。登山前 (平地) および五合目登山前と比較して富士山山頂において有意に上昇し (共に $p < 0.05$)、富士山山頂と比較して、五合目下山後および下山後 (平地) は有意に低下した (共に $p < 0.05$)。「消化器症状」の変化は、登山前 (平地) 0.00 ± 0.00 、五合目登山前 0.12 ± 0.33 、八合目 0.29 ± 0.69 、富士山山頂 1.00 ± 1.22 、五合目下山後 0.71 ± 0.92 および下山後 (平地) 0.41 ± 0.62 であった。「めまい及び/またはふらつき」の変化は、登山前 (平地) 0.00 ± 0.00 、五合目登山前 0.12 ± 0.33 、八合目 0.47 ± 0.62 、富士山山頂 1.00 ± 1.11 、五合目下山後 0.52 ± 0.87 および下山後 (平地) 0.12 ± 0.33 であった。登山前 (平地) および五合目登山前と比較して、富士山山頂において有意に上昇した (共に

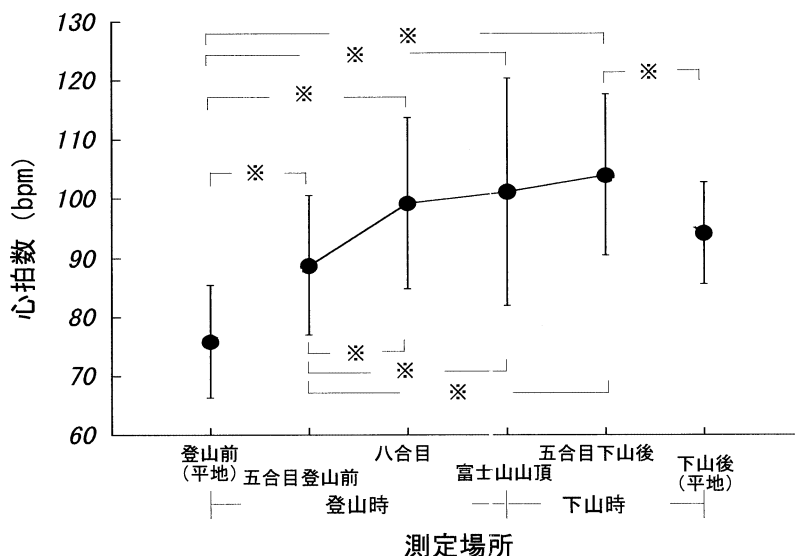


図1 富士山登山における心拍数の変化
: p<0.05

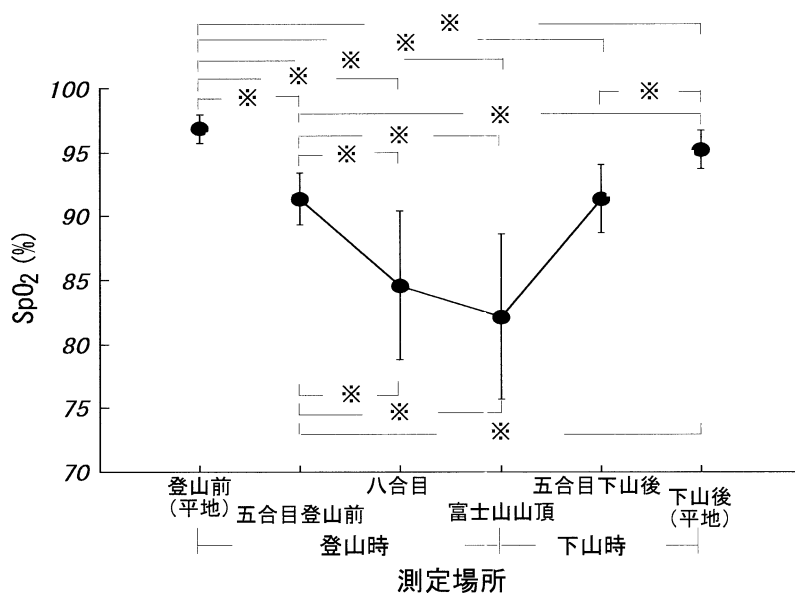


図2 富士山登山における SpO₂ の変化
: p<0.05

p<0.05)。「睡眠障害」の変化は,登山前 0.35 ± 1.00 , 八合目 0.53 ± 0.80 および下山後(平地) 0.12 ± 0.33 であった。

考 察

高所順応の機序として,換気量の増加,心拍出量の増加,2,3-DPG(ビスホスホグリセリン酸)の増加,酸素解離曲線の右方移動,赤血球数の増加,諸臓器のミオグロビン・ミトコンドリアの増加などが明らかにされている¹⁰⁾。これらの順応機序はすべてが同時に機能するわけではなく,高所到着当初は過呼

吸と心拍数の増加による順応が主であるが,漸次ほかの機序も機能するようになる¹⁰⁾。SpO₂が高度に伴って低下すること,およびSpO₂の低下とその改善が高所順応や高所耐性の指標となる可能性については,フィールド^{11,12)}と低圧シュミレータ^{4,13)}を用いた研究において示されている。増田ら¹⁴⁾は化学感受性の低い時期にはSpO₂は低下することを示し,SpO₂の低下と高山病の発症との関連を示唆し,Yoshinoら¹⁵⁾はSpO₂の上昇は2,3-DPGの増加に相関していたと報告している。このことから,心拍数およびSpO₂は,富士山登山における高所順

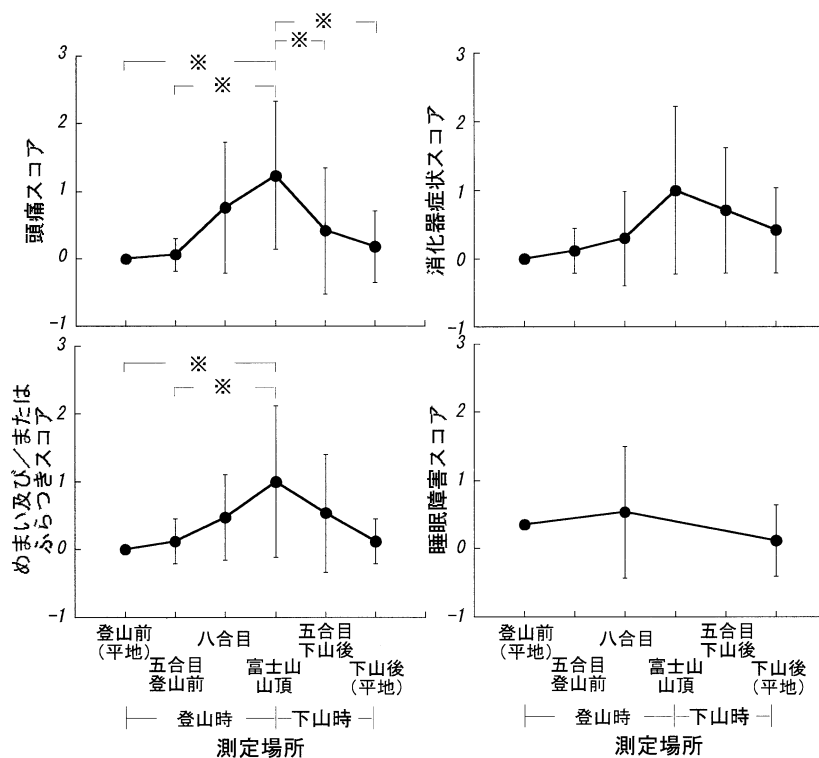


図3 富士山登山におけるAMSスコアの変化
: $p < 0.05$

応に関する有効な指標として評価に用いることができるものと考えられる。

標高が上がるにつれて、安静時心拍数の上昇、 SpO_2 の低下することが明らかになっている。本研究においても同様に、標高が高くなるに従って、心拍数は登山前(平地)よりも有意に上昇し、 SpO_2 は有意に低下していた。先行研究において、安静時の心拍数は低地と高所において差はないが、運動時や運動後の心拍数は低地と高所では増加することが明らかにされている¹⁶⁻¹⁸⁾。Curranら¹⁹⁾は、高地民族は高所での最大運動時の心拍数が低いことを報告している。他方Huichoら²⁰⁾は、高所に適応した民族の安静時の心拍数は適応していない民族と比較し、高所において心拍数が低いことを明らかにしている。このことから、富士山山頂での心拍数が登山口の心拍数より有意に高かったことより、心拍数は SpO_2 と同様に高所順化の指標となることを示唆する。すなわち、高所での滞在時には心拍数は高くなるが、高所順化により高所でも上昇しにくくなり、 SpO_2 も低下しなくなる²¹⁾。今回の富士山登山においても、心拍数や SpO_2 は高所順化の指標となる¹⁶⁻¹⁸⁾ことを示唆する結果となった。

高所順応は、高度や高所に登るまでの時間が主に関係するが、高所耐性の個人差も関与しており、AMSの予測は必ずしも容易ではない⁶⁾。富士登山

登頂に成功した24名中4名においては、富士山登山全行程において SpO_2 の値が90%を超えていた。しかしながら、20名に関しては、標高が高くなるに従って低下していた。さらに、20名のうち1名は、八合目および山頂にかけて SpO_2 の値が約70%と他の被験者と比べて顕著に低下していた。同時に、頭痛や吐き気などのAMSにみられる症状を訴えていた。このことから、高度上昇に伴う SpO_2 の低下には被験者間に個人差が認められた。この結果は河合らの報告¹¹⁾と同様の結果であった。これらのことから、富士山登山においても SpO_2 の測定は高所順応が順調に獲得されているかどうかを知るための適切な指標になることが示唆される。

一般に頭痛、吐き気、嘔吐などのAMS症状は、標高2,500m以上の高地に達したときにみられる²²⁾。事後アンケート調査に用いたAMSスコアにおいて、山頂時に頭痛やめまい・ふらつきの症状を登山前(平地)および五合目登山前に覚えた被験者が多く、富士山登山後には症状は登山前(平地)に戻った。これらの症状は下山により軽快または消失したため高山病と考えられる。しかしながら、26名の被験者のうち、2名は八合目で激しい嘔吐および脱力のAMS症状を訴え、登山続行不可能という医師の判断により山頂まで到達することなく下山した。AMSは一般的に短時間にかなりの標高差を登ること、登山す

るまでの日程が過密であることにより, 発症の危険因子とされている。また, 睡眠不足, 寒冷, 自分のペースで登山できないことも危険因子とされていることから, 富士山登山時に AMS スコアを心拍数および SpO₂ と併用して調査することによって, AMS を事前に防ぐことが可能であると考えられる。

ま と め

標高が高くなるに従って, 心拍数は有意に上昇し,

SpO₂ は有意に減少した。富士山登山時に心拍数, SpO₂ および AMS スコアを用いることによって, AMS 予防の可能性が示唆された。

稿を終えるあたり, 今回の研究にこころよく協力していただきました対象者の皆様に感謝いたします。また, データ収集の際に協力いただきました高橋進先生, 健康体育学科13期生蔵本啓朗氏に御礼申し上げます。

資料. 本研究で用いたAMSスコア用紙

性別 (男・女)
 年齢 () 歳
 身長 () cm
 体重 () kg

【自覚症状スコア】

○頭痛

0: 全くなし 1: 軽い頭痛 2: 中等度の頭痛
 3: 強い頭痛 4: かつて経験したこともないほどのひどい

登山前 (フォトニクス)	五合目 (登山時)	八合目 (宿泊時)	頂上	五合目 (下山時)	登山後 (昼食時)

○消化器症状

0: 食欲良好 1: いつものようには食欲が湧かない
 2: むかついて食欲が湧かない 3: 強いむかつきのために食欲全く無し
 4: 強いむかつき, 嘔吐, 脱力

登山前 (フォトニクス)	五合目 (登山時)	八合目 (宿泊時)	頂上	五合目 (下山時)	登山後 (昼食時)

○めまい, 及び/または, ふらつき

0: まったくない 1: 少し感じる 2: はっきりと感じる
 3: 非常に強く感じる 4: とてもひどく感じる

登山前 (フォトニクス)	五合目 (登山時)	八合目 (宿泊時)	頂上	五合目 (下山時)	登山後 (昼食時)

○睡眠障害

0: 問題全くなし, 快眠 1: 数回目がさめた 2: 何度か目が覚め, よく眠れなかった
 3: 殆ど眠れなかった 4: とてもひどく全く眠れなかった

登山前 (フォトニクス)	五合目 (登山時)	八合目 (宿泊時)	頂上	五合目 (下山時)	登山後 (昼食時)

文 献

- 1) 上田五雨: 高山病. 現代医療, **21**, 617-620, 1989.
- 2) 関東和: 高地肺水腫の susceptibility に関する研究. 信州医誌, **36**, 83-97, 1988.
- 3) 小林俊夫, 久保恵嗣: 高地肺水腫の臨床的検討および覚醒綿羊の低圧低酸素による肺障害について. 日胸疾会誌, **22**, 1098-1103, 1984.
- 4) 種田行男, 田中豊穂, 島岡清: 運動鍛錬者, 被鍛錬者の低圧低酸素耐性. 環境医学研究所年報, **35**, 26-29, 1984.
- 5) チャールズ S. ハウストン: 高みをめざせ—高所への挑戦物語. 岩と雪, **120**, 72-88, 1987.
- 6) 野口いづみ, 三川宏: イランのデマンド山(5,671m)登山時の SpO₂ 値の変化 —SpO₂/脈拍比と体調の予測について—. 臨床モニター, **5**(2), 189-198, 1994.
- 7) 小川実, 石田良樹, 吉岡浩, 吉岡尚文: 高所トレッキングにおける急性高山病の把握と予測. 登山医学, **19**, 59-68, 1999.
- 8) Roach RC, Batsch P and Hackett PH: The lake louise acute mountain sickness scoring system. In: Sutton JR, Houston CS, Coates G eds. Hypoxia and Molecular Medicine. Burlington, Queen City Press, 265-271, 1993.
- 9) 浅野勝己, 菊池和夫, 水野康, 松坂晃, 菊池佑二, 平木場浩二: 富士山頂短期滞在時の安静および運動時生理的応答. 登山医学, **8**, 108-118, 1988.
- 10) ウイルカーソン JA (赤須孝之訳): 12章高所障害(登山の医学). 東京新聞出版局, 114-136, 1990.
- 11) 河合峰雄, 田中義弘, 徳永敦, 小谷順一郎, 佐久間泰司, 上田裕, 永井道夫, 白数力也: 高所における動脈血酸素飽和度について. 登山医学, **10**, 91-98, 1990.
- 12) 中島道郎, 出水明, 遠藤克明, 瀬戸嗣朗, 平田和男, 松林公蔵, 陣内陽介, 足立みなみ, 杉江知治, 菅典道, 久保茂, 斉藤惇生: 高所滞ると, 指尖脈波酸素飽和度(SpO₂)の低下, ならびに息堪え時間(BHT)の短縮について. 登山医学, **12**, 123-136, 1992.
- 13) 浅野功治, 酒井秋雄, 藤原孝之, 柳平担徳, 竹岡みち子, 小原和美, 上田五雨: 低圧タンクによる各種高所環境下での運動負荷に対する心拍および SaO₂ の応答. 登山医学, **10**, 181-189, 1990.
- 14) 増田敦子, 榊原吉一, 小林敏生, 本田良行, 増山茂, 端迫清, 小島彰, 栗山喬之: 高所滞在の呼吸化学感受性に及ぼす影響, 登山医学, **12**, 177-181, 1992.
- 15) Yoshino M, Hayashi R and Katsumata Y: Erythrocyte 2, 3 diphosphoglyce rate level and blood oxygen saturation at high altitude. *Biomedical Research*, **1**, 435-437, 1980.
- 16) Roach RC, Greene ER, Schoene RB and Hackett PH: Arterial oxygen saturation for prediction of acute mountain sickness. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, **69**, 1182-1185, 1998.
- 17) Nishihara F, Shimada H and Saito S: Rate pressure product and oxygen saturation in tourists at approximately 3,000m above sea level. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, **71**, 520-524, 1998.
- 18) Bartscher M, Bachmann O, Hatzl T, Hotter B, Likar R, Philadelphia M and Nachbauer W: Cardiopulmonary and metabolic response in healthy elderly humans during a 1-week hiking programme at high altitude. *European Journal of Applied Physiology*, **84**, 379-386, 2001.
- 19) Curran LS, Zhuang J, Droma T and Moore LG: Superior exercise performance in lifelong Tibetan residents of 3,658m. *American Journal of Physical Anthropology*, **105**, 21-31, 1998.
- 20) Heath D and Willams R: High-Altitude Medicine and Pathology, London, *Butterworths*, 1989.
- 21) 上小牧憲寛, 津田有輝, 西岡修: 脈拍数および動脈血酸素飽和度は高所順化の指標となり得るか. 登山医学, **22**, 55-58, 2002.
- 22) 加藤義弘, 松岡敏男, 城弟知江, 大平幸子: 富士登山における心拍数, 動脈血酸素飽和度, 高山病症状発症の検討 —小児と大人との比較—. 登山医学, **25**, 1-4, 2005.

(平成19年5月15日受理)

Changes of Heart Rate, SpO₂ Levels and AMS Score During the Ascent of Mt. Fuji.

Kazutoshi SEKI, Yasuo ISHIDA, Sho ONODERA and Akio TABUCHI

(Accepted May 15, 2007)

Key words : Mt. Fuji, acute mountain sickness (AMS), heart rate, SpO₂, AMS score

Abstract

The purpose of this study was to investigate in physiological reactions during an ascent of Mt. Fuji (3,776m), by measuring heart rate (HR), SpO₂ levels and AMS score. Twenty-six adults (Fifteen males, Eleven women) volunteered to participate in this study. We measured the HR and SpO₂ levels at six points. In addition, the AMS score questionnaire was carried out at a later date. HR measurements taken at of the summit (101.2 ± 19.3 bpm) showed a significant increase compared to measurements taken at the 5th stage point before ascent (88.8 ± 11.8 bpm) ($p < 0.05$). SpO₂ measurements taken at the summit showed a significant reduction ($82.1 \pm 6.5\%$) compared to measurements taken at the 5th stage point before ascent ($91.4 \pm 2.0\%$) ($p < 0.05$). The AMS score results taken at the summit indicated significantly elevated levels of high-altitude headache and dizziness and / or lightheadedness ($p < 0.05$). These results suggest that there was a direct relation between HR and SpO₂ levels and altitude acclimatization during the ascent of Mt. Fuji. In addition, it suggests that the measurement of SpO₂ became a good index as to whether a subject would acclimatize to the altitude or not. Furthermore, it is considered that we can prevent AMS during the ascent of Mt. Fuji if we take precautions beforehand based on a subject 's HR, SpO₂ levels and AMS score.

Correspondence to : Kazutoshi SEKI

Doctoral Program in Health Science, Graduate School of Health Science and Technology, Kawasaki University of Medical Welfare Kurashiki, 701-0193, Japan

E-Mail: w6304005@mw.kawasaki-m.ac.jp

(Kawasaki Medical Welfare Journal Vol.17, No.1, 2007 113-119)