

《論 文》

富士登山中における気温と血中酸素飽和度との関連性

大槻 毅, 生田目 颯, 坂本 充

Association between ambient temperature and SpO₂ during ascent/descent of Mount Fuji

Takeshi OTSUKI, Hayate NAMATAME, Mitsuru SAKAMOTO

キーワード：気圧, 急性高山病, 心拍数

Key Word : acute mountain sickness, atmosphere, heart rate

Abstract

Previous studies have reported that an elevation in body temperature decreases arterial oxygen saturation during mountain climbing. However, it remains unknown whether ambient temperature is associated with arterial oxygen saturation during mountain climbing. Therefore, we measured pulse oximetry oxygen saturation (SpO₂) and ambient temperature during ascent/descent of Mount Fuji in 6 healthy men. SpO₂ decreased during ascent and increased during descent; the highest point was Ryutsu Keizai University (baseline; 38 m above sea level, 98.1 ± 0.4 %) and the lowest point was the Yoshida trailhead peak (3,710m, 82.0 ± 4.4 %). Heart rate increased with the reduction of SpO₂ from the baseline (73 ± 9bpm) to the Yoshida trailhead peak (110 ± 17bpm). The ratio of subjects with subjective symptoms of acute mountain sickness was highest at the 8th station (3,040m, 5/6 [83.3%]). Comparing ascent and descent, SpO₂ was lower during descent than during ascent at the Original 8th (3,370m, 82.8 ± 2.8 vs 86.9 ± 3.3%, *P* = 0.04) and 7th (2,700m, 90.1 ± 2.0 vs 92.6 ± 2.2%, *P* = 0.04) stations, although there were no differences in atmosphere (684 vs 683 and 744 vs 739hPa, respectively). Ambient temperature was higher during descent compared to during ascent (13.3 vs 12.1 and 18.0 vs 17.3 °C, respectively). An elevation in ambient temperature may be associated with a decrease in SpO₂ during mountain climbing.

1. 緒言

富士山（標高3,776m）は我が国の象徴の一つであり、国内外から多くの観光客が訪れ、登頂に挑んでいる。しかし、標高3,500m以上の登山および2,500m以上の急速な登山を行った場合には急性高山病（Acute mountain sickness, AMS）の症状が頻繁に発生するとされており¹⁾、富士登山は必ずしも容易ではない。実際に、山本^{2, 3)} および山本と荒牧⁴⁾ の調査では、富士登山者の6～9%が登頂を断念しており、その理由の48～72%がAMSまたはAMS症状であった。AMSの発症予測に関連する様々な研究がこれまでに行われているが、高地での運動能力を低地での運動負荷試験により予測することは困難であるなど、登山時の体調変化を予測することは容易でない^{5, 6)}。従って、登山時には体調の変動をリアルタイムで客観的にモニタリングすることが必要だと考えられる。その代表的な方法がパルス・オキシメーターによる動脈血酸素飽和度（Pulse oximetry oxygen saturation, SpO₂）の測定である^{7, 8)}。富士登山においても、関ら^{9, 10)} がSpO₂の変動とAMS得点の変動に関連性があることを報告している。しかしながら、SpO₂の測定には測定機器の携行が必要であるし、手袋を装着したままではSpO₂を測定できないなどの問題点もある。もし、登山中のSpO₂に影響を及ぼす因子が特定され、その変動を容易に予測できるようになれば、AMS発症の予防に有用だと考えられる。

Bohrの効果として知られている様に、体温が上昇するとヘモグロビンの酸素親和性が低下し、SpO₂は低下する。登山時においても、体温の上昇はSpO₂の低下およびAMSの発症と

関連することが報告されている¹¹⁻¹³⁾。例えば、Kamikomaki & Shiba¹³⁾ の研究では、中国新疆ウイグル自治区にあるMuztang Ata（標高7,546m）の登山隊において、SpO₂と体温との間に負の相関関係が認められている。体温には、内因性（炎症および感染症など）および外因性（気温および着衣など）の両因子が影響を及ぼす。富士登山が一般に開かれる夏季は比較的軽装で登山に挑む者が多く、このような場合には、気温は登山中のSpO₂に影響を及ぼす可能性が考えられる。しかしながら、著者らの知る範囲で、登山中の気温とSpO₂との関連性は報告されていない。そこで本研究では、富士登山時にSpO₂および気温を測定し、両者の関連性を検討することとした。

2. 研究方法

(1) 対象者

本研究の対象者は、過去5年間に登山歴の無い健康な男性7人（20～42歳）である。本研究はヘルシンキ宣言を順守し、対象者に研究の内容等について事前に説明して、研究参加に対する同意を得てから実施した。

(2) 研究デザイン

2017年7月31日の12時45分に、富士山五合目でSpO₂等を測定し、吉田ルートによる登山を開始した。その後、およそ30～60分毎の休息と山小屋での夕食および睡眠をとりながら山頂に到達し、吉田ルートで下山した。Table 1は、登山の概要と測定地点を示している。基準値を得るため、流通経済大学龍ヶ崎キャンパス（茨城県龍ヶ崎市、標高38m）でも測定を実施した。

Table 1 Mount Fuji ascent/descent meteorological data.

Time	Point	Altitude above sea level, m	Atmosphere, hPa	Ambient temp., °C	Humidity, %	Whether Conditions	Remark
12 : 45	5th station	2,305	775	24.1	61.0	Cloudy	13 : 40 onset of ascent
15 : 25	7th station	2,700	739	17.3	87.0	Cloudy	
17 : 28	8th station	3,040	710	13.9	93.0	Clear	
19 : 07	Original 8th station	3,370	683	12.1	89.0	Clear	Dinner, sleeping 2 : 00 re-onset of ascent
03 : 44	Yoshida trailhead peak	3,710	655	8.3	90.0	Clear	5 : 00 onset of descent
05 : 40	Original 8th station	3,370	684	13.3	52.0	Clear	
07 : 13	Toilet at 7th station	2,640	744	18.0	95.0	Cloudy	
08 : 41	5th station	2,305	775	18.8	84.0	Cloudy	

Temp, temperature.

(3) SpO₂, 心拍数, 血圧の測定

SpO₂, 心拍数, 血圧の測定は, 高所でのトレッキング時に同様の測定を行った先行研究¹⁴⁾に従い, 5分以上の座位安静をとった後に行った。まず, パルス・オキシメーター(日本精密機器社製, BO-650)を用いた指尖でのSpO₂測定を行い, 次に, オシロメトリー式自動血圧計(日本精密機器社製, WSK-1011)¹⁵⁾を用いた手首での動脈血圧および心拍数測定を行った。測定回数は2回を原則とし, 平均値を分析に用いた。値のばらつきが生じた場合は追加測定を行い, 安定した値を採用した。

(4) 急性高山病スコアの評価

日本登山医学会の高度順化チェックシートに準じ, 頭痛, 消化器症状, めまい・ふらつきそれぞれについて4件法(0~3)による自己記述式の調査票を作成し, AMS症状を評価した。本研究では, 各項目の平均点と, いずれかの項目が1点以上であった者の割合を算定した。

(5) 気象条件

気圧は携帯型気圧計(ニールセン・ケラーマン社製, ケストレル2500)を用いて, 気温および湿度は小型デジタル温度・湿度計(オーム電気社製, HB-T03)を用いて測定した。

(6) 統計解析

値は平均値±標準偏差で示した。SpO₂, 血圧, 心拍数の経時変化は一元配置の分散分析により分析し, *F*値が有意であった場合にはBonferroni/Dunnの方法で事後検定を行った。登りと下りとのSpO₂の比較には, 対応のある*t*検定を用いた。相関分析にはピアソンの単相関係数を用いた。統計学的有意水準は5%未満とした。

3. 結果

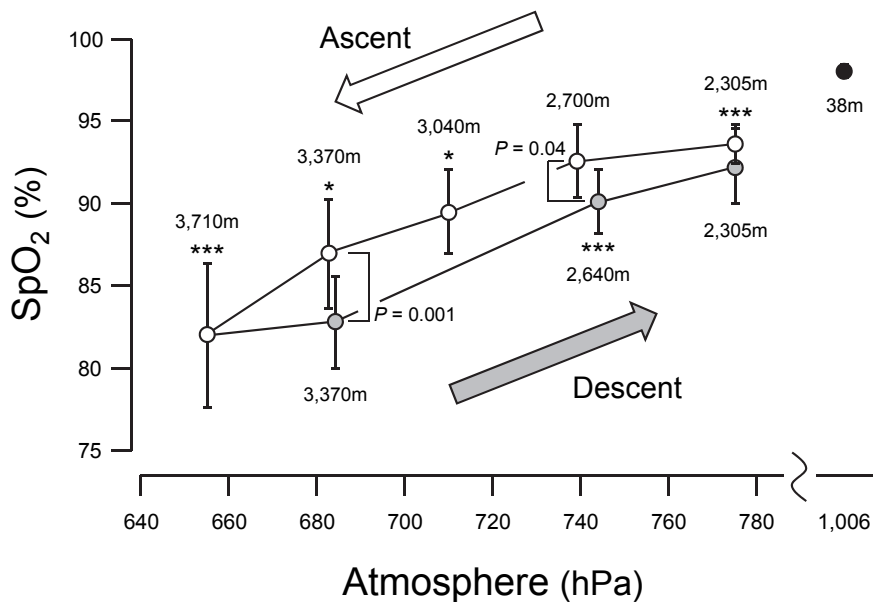
全ての対象者が, 概ね予定通りの行程で山頂に到達し, 出発地点(五合目)に戻る事が

出来た。ただし、1名でSpO₂に欠損値があり、全ての測定地点でSpO₂の値が得られた6人（年齢24.3±8.7歳，身長1.70±0.06m，体重66.0±12.3kg，body mass index 22.6±2.8kg/m²）を分析対象にした。

SpO₂は、山頂までは標高の上昇に伴い低下し、それ以降は標高の下降に伴って回復した（ $F = 40.9, P < 0.0001$; Figure 1）。山頂におけるSpO₂は82.0±4.4%で、その範囲は76.3~88.5%であった。七合目と本八合目においては、登りと下りの両行程で測定を実施することができた。七合目と本八合目のいずれにおいても、登りに比べて下りでSpO₂は低く（Figure 1および2）、気温は高かった（Figure 2）。

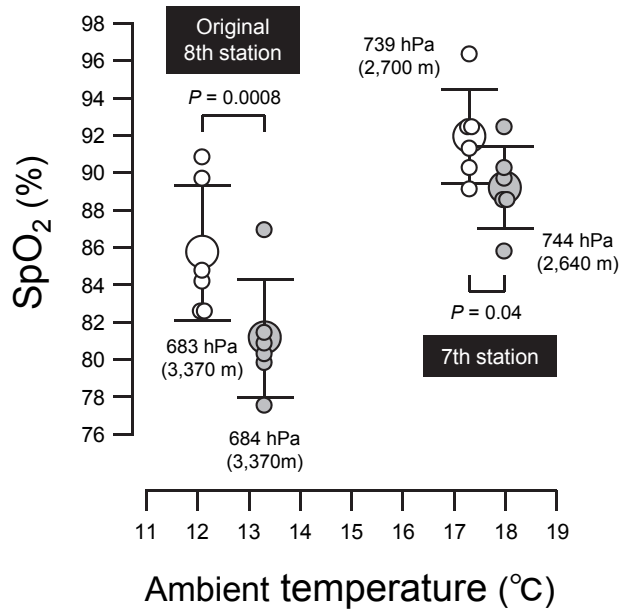
全地点で血圧および心拍数の値が得られた3人の測定値をFigure 3に示した。収縮期血圧（ $F = 1.5, P = 0.22$ ）および拡張期血圧（ $F = 2.1, P = 0.09$ ）に有意の変動は認められなかった。心拍数には経時変化が認められ（ $F = 8.3, P = 0.0002$ ）、登りの七合目以降は基準地点（流通経済大学）および登りの五合目に比べて（ $P < 0.0001 \sim = 0.03$ ）、また、山頂ではその他の地点（登りの本八合目を除く）に比べて（ $P = 0.001 \sim 0.04$ ）、心拍数が高値であった。全データを取得できた3人において、心拍数とSpO₂との間に相関関係が認められた（ $n = 27$ [3人×9地点]， $r = -0.537, P = 0.003$ ）。また、測定可能であった全データにおける相関分析でも、心拍数とSpO₂との間に相関関係が認められた（ $n = 49$ [7人×3~9地点]， $r =$

Figure 1. Altitude above sea level, atmosphere and pulse oximetry oxygen saturation (SpO₂) during ascent/descent of Mount Fuji.



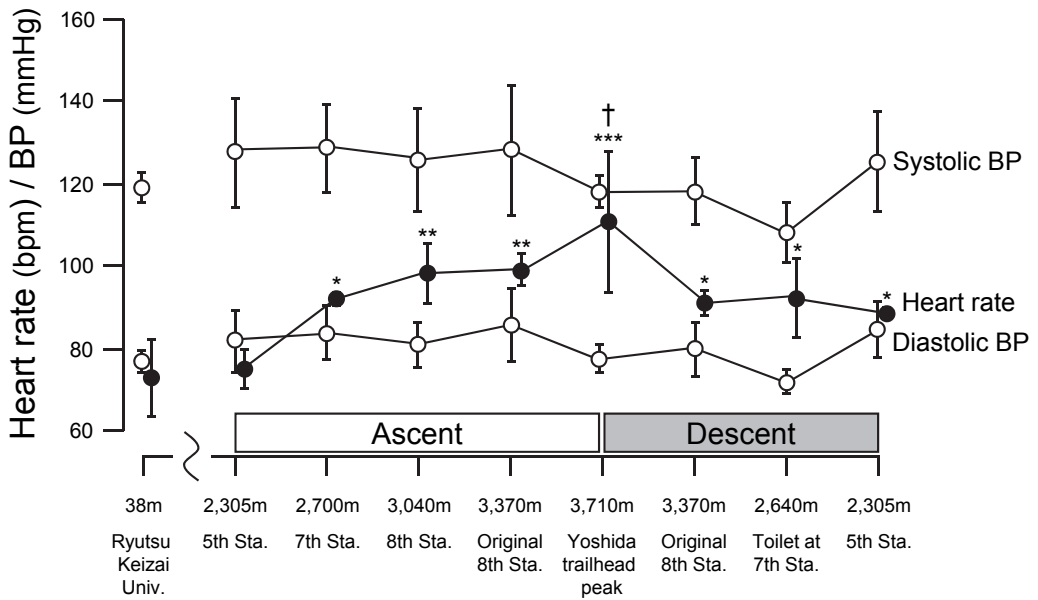
Values are means ± SDs. White circles, values during ascent; gray circles, values during descent; black circle, baseline value measured at Ryutsu Keizai university. * $P < 0.05$ and *** $P < 0.0005$ vs. just before point.

Figure 2. Ambient temperature and pulse oximetry oxygen saturation (SpO₂) at the Original 8th and 7th stations.



Big circles, means ± SDs; small circles, individual values. White circles, values during ascent; gray circles, values during descent.

Figure 3. Heart rate and blood pressure (BP) during ascent/descent of Mount Fuji.



Values are means ± SDs. **P* < 0.05, ***P* < 0.005, and ****P* < 0.0005 vs. Ryutsu Keizai university and the 5th station during ascent; †*P* < 0.05 vs. all points except for the Original 8th station during ascent.

-0.470, $P = 0.0005$)。

AMS自覚症状において、頭痛の得点は、基準地点（流通経済大学）に比べて登りで高値を、山頂に比べて下りで低値を示す傾向にあった（Table 2）。消化器症状およびめまい・ふらつきの得点に有意の変動は認められなかった。何らかの自覚症状を感じた者の割合は、登りの八合目までは増大し、その後、減少する傾向にあった。

研究対象者のうち、1人は年齢42歳、残り6人は20～22歳であった。前述の分析結果と42歳の対象者を除いた分析結果との間に、心拍数の変動が一部の地点で有意水準に到達しなかった以外に相違は認められなかった。

4. 考察

本研究では、富士登山者を対象にSpO₂等の測定を行い、本八合目および七合目で登りと下りの値を比較した。その結果、両地点のいずれにおいても、下りは登りに比べて、気圧は同等か高かったにも関わらずSpO₂は低値であった。Bohrの効果などで知られているように、血液温度の上昇、血液中の水素イオン濃度指数（pH）低下および二酸化炭素分圧上昇などにより、酸素解離曲線は右方にシフトし、ヘモグロビンの酸素親和性は低下する¹⁶⁾。血液温度の上昇がSpO₂を低下させるのはヘモグロビンと酸素との結合性が発熱反応を有するためであり、0～43℃の範囲では、10℃の温度低下によりヘモグロビンの酸素親和性は1.7倍増加する¹⁶⁾。先行研究¹²⁾においては、40人のAustrian

Table 2 Acute mountain sickness score during ascent/descent of Mount Fuji.

Point (altitude above sea level, m)	Headaches	Nausea/ vomiting	Dizziness	Subjects with subjective symptom
<i>F</i> value	2.9	1.4	1.4	<i>n</i> (%)
<i>P</i> value	0.01	0.23	0.23	
Ryutsu Keizai university (38 m)	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0 (0.0)
5th station (2,305 m)	0.5 ± 0.5*	0.3 ± 0.5	0.3 ± 0.5	3 (50.0)
7th station (2,700 m)	0.7 ± 0.5*	0.2 ± 0.4	0.3 ± 0.5	4 (66.7)
8th station (3,040 m)	0.8 ± 0.4*	0.2 ± 0.4	0.2 ± 0.4	5 (83.3)
Original 8th station (3,370 m)	0.7 ± 0.5* [‡]	0.2 ± 0.4	0.2 ± 0.4	4 (66.7)
Yoshida trailhead peak (3,710 m)	0.8 ± 0.8*	0.3 ± 0.5	0.2 ± 0.4	4 (66.7)
Original 8th station (3,370 m)	0.3 ± 0.5 [§]	0.2 ± 0.4	0.2 ± 0.4	2 (33.3)
Toilet at 7th station (2,640 m)	0.3 ± 0.5 ^{‡ §}	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	2 (33.3)
5th station (2,305 m)	0.2 ± 0.4 ^{† ‡ # §}	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	1 (16.7)

Values are means ± SDs or number of subjects (%). * $P < 0.05$ vs. Ryutsu Keizai university; [†] $P < 0.05$ vs. the 7th station; [‡] $P < 0.05$ vs. the 8th station; [#] $P < 0.05$ vs. the Original 8th station during ascent; [§] $P < 0.05$ vs. the Yoshida trailhead peak.

Alps登山者が標高1,000m地点から3,100m地点に移動した際、体温の上昇とSpO₂の低下 ($r_s = 0.408$) およびAMS得点の増大 ($r_s = 0.814$) との間に相関関係が認められている。また、より高い標高 (7,546m¹³) および4,559m¹¹) での検討でも、同様の結果が得られている。標高および気圧が同等でも気温が高い場合にSpO₂は低いという本研究の結果は、登山中の体温はSpO₂と負に相関するという前述の先行研究¹¹⁻¹³) と一致している。

本研究の本八および七合目における登りと下りの気温差は、それぞれ1.2および0.7°Cであった。これらの些少な気温差が実際にSpO₂を変動させるか否かは、慎重に検討する必要がある。残念ながら、本研究では体温を測定しておらず、これらの気温差が体温、特に動脈血の温度に及ぼした影響を検討することはできない。しかしながら、風速などによっては、気温から予測される以上に体温が変動した可能性は考えられる。また、酸素解離曲線はS字状であり、血中酸素分圧とSpO₂との交点がS字の右上に位置する常圧環境下では、気温の変動に伴う同曲線のシフトがSpO₂に及ぼす影響は小さいが、本研究における本八および七合目の様な低気圧環境下では血中酸素分圧も低く、同曲線のシフトが及ぼす影響は比較的大きい。これらのことから、本研究において、本八および七合目における気温の上昇が、SpO₂を低下させた可能性は考えられる。

本研究では、本八および七合目における測定値を、登りと下りで単純に比較し、富士登山時における気温とSpO₂との関連性を検討した。しかし、登りと下りとは、気象条件だけでは

なく、登山開始からの時間が異なっており、研究結果の解釈においては、高地馴化および身体疲労の影響について考慮する必要がある。まず、高地への馴化が進んだ場合は、SpO₂は下降ではなく上昇する。例えば、森ら¹⁷) は、富士山頂での短期滞在者 (二泊三日) と長期滞在者 (一週間以上) を比較し、覚醒時および就寝中のSpO₂は長期滞在者で短期滞在者に比べて高いこと、短期滞在者の二泊目のSpO₂は一泊目のそれに比べて高く、また、二泊目のAMS得点は一泊目に比べて低いことを報告している。従って、登りよりも下りでSpO₂が低かったことが高地馴化に起因する可能性は排除できる。身体疲労については、その評価指標が測定項目に含まれていないことは本研究の限界である。ただし、低酸素環境下で健常若年男性に有酸素性運動 (50%最大酸素摂取量相当の速度、傾斜10%¹⁸)、抵抗性運動 (70%最大挙上重量^{19, 20})、低強度抵抗性運動 (50%最大挙上重量²¹) を行わせた先行研究では、安静時のSpO₂は低酸素暴露により低下したが、その後実施された運動によるSpO₂の更なる低下は認められていない。従って、本研究の本八および七合目において、登りよりも下りでSpO₂が低かったことが身体疲労に由来する可能性は低いと考えられる。

本研究では、心拍数は標高に伴い上昇し、山頂で最高値を示した。また、SpO₂と心拍数は相関関係にあり、SpO₂が低いほど心拍数が高い傾向にあった。これらの結果は富士登山^{9, 10}) およびブータン王国内での登山 (標高2,400~4,430m)¹⁴) における先行研究と概ね一致しており、SpO₂低下に抗して血液循環量の増大で身体組織の酸素需要を満たそうとする高地馴化が進んだことを示唆する。実際に、AMS

の自覚症状を感じた対象者の割合は登りの八合目がピークであり、その後は低下傾向にあって、吐き気などで登山を中断する被験者は皆無であった。ただし、山頂でのSpO₂は平均値が82.0%，最低値が76.3%であり、金森ら²²⁾がシステマティックレビューの結果を基に作成した予測式 (SpO₂ = -0.0038 × 標高 [m] + 98.817) による値 (84.7%) に比べて低値であった。また、軽度とは言え、八合目では6人中5人の被験者が何らかのAMS症状を感じていた。もし、気温の変動がSpO₂に影響を及ぼすという筆者らの仮説が真であり、なおかつ登山中の気温がもっと高かったら、より強い症状を感じたり、登山を中止する者が出たりした可能性は考えられる。いずれにしても、登山中にAMSのリスクに配慮することは必要だと考えられる。

5. 結論

標高および気圧が同等でも気温が高い場合にSpO₂は低いという本研究の結果から、富士登山の際には、標高および気圧に加えて気温もSpO₂に関連する可能性が考えられた。気温が高い日の登山や、登山中に気温が上昇した場合は、気温が低い日および安定している場合以上に、SpO₂の低下およびAMSの予防に努めることが望ましいのかもしれない。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金（基盤研究C, 17K01763）および平成30年度公益社団法人全国大学体育連合大学体育研究助成を用いて実施した。

引用文献

- 1) Imray C, Booth A, Wright A, et al: Acute altitude illnesses. *BMJ*, 343: d4943, 2011.
- 2) 山本清龍: 富士登山者の登頂断念と高山病症状. *環境情報科学学術研究論文集*, 27: 169-174, 2013.
- 3) 山本清龍: 富士登山者が認識する危険因子と安全登山の推進に対する期待. *ランドスケープ研究*, 78 (5): 523-526, 2015.
- 4) 山本清龍, 荒牧重雄: 富士山における登頂断念からみた山岳遭難事故に対するリスク管理と高山病. *環境情報科学学術研究論文集*, 26: 319-324, 2012.
- 5) Bartsch P, Grunig E, Hohenhaus E, et al.: Assessment of high altitude tolerance in healthy individuals. *High Alt Med Biol*, 2 (2): 287-296, 2001.
- 6) Oelz O, Howald H, Di Prampero PE, et al.: Physiological profile of world-class high-altitude climbers. *J Appl Physiol*, 60 (5): 1734-1742, 1986.
- 7) 小川実, 石田良樹, 吉岡浩, ほか: 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 (1): 59-68, 1999.
- 8) 野口いづみ: 動脈血酸素飽和度/脈拍比の体調予測の指標としての可能性—イラン・デマバンド山 (5,671m) 登山における検討—. *登山医学*, 13 (1): 99-106, 1993.
- 9) 関和俊, 石田恭生, 小野寺昇, ほか: 富士登山における心拍数, SpO₂および自覚症状スコアの変化. *川崎医療福祉学会誌*, 17 (1): 113-119, 2007.
- 10) 関和俊, 高木祐介, 川岸岳人, ほか: 日帰り富士登山がSpO₂およびAMSスコアに及ぼす影響—富士山初登山者を対象として—. *登山医学*, 35: 83-89, 2015.
- 11) Maggiorini M, Bartsch P, and Oelz O: Association between raised body temperature and acute mountain sickness: cross sectional study. *BMJ*, 315 (7105): 403-404, 1997.
- 12) Roggla G, Moser B, Wagner A, et al: Correlation between raised body temperature and acute mountain sickness score at moderate altitude. *Wien Klin Wochenschr*, 112 (6): 290-292, 2000.
- 13) Kamikomaki N and Shiba N: Rise in body temperature at high altitude. *登山医学*, 32 (1): 116-121, 2012.
- 14) 山下耕: プータン王国でのトレッキング参加者における高所順応とSpO₂, 心拍数および高山病評価スコア. *ヒマラヤ学誌*, 17 (1): 21-27, 2016.
- 15) Otsuki T and Ishii N: Association between blood pressure changes during self-paced outdoor walking and air temperature. *Clin Physiol Funct Imaging*, 37 (2): 155-161, 2017.
- 16) 真島英信: 生理学. 文光堂: 東京, pp321-353, 2011.

- 17) 森寿仁, 笹子悠歩, 山本正嘉: 富士山山頂における夜間睡眠時の動脈血酸素飽和度: 滞在日数および急性高山病との関連に着目して. 登山医学, 36 (1): 114-121, 2016.
- 18) Richardson A, Twomey R, Watt P, et al: Physiological responses to graded acute normobaric hypoxia using an intermittent walking protocol. Wilderness Environ Med, 19 (4): 252-260, 2008.
- 19) Kon M, Ikeda T, Homma T, et al: Effects of acute hypoxia on metabolic and hormonal responses to resistance exercise. Med Sci Sports Exerc, 42 (7): 1279-1285, 2010.
- 20) Kon M, Ohiwa N, Honda A, et al: Effects of systemic hypoxia on human muscular adaptations to resistance exercise training. Physiol Rep, 2 (6): e12267, 2014.
- 21) Kon M, Ikeda T, Homma T, et al: Effects of low-intensity resistance exercise under acute systemic hypoxia on hormonal responses. J Strength Cond Res, 26 (3): 611-617, 2012.
- 22) 金森雅夫, 林綾子, 坂谷充, et al: 登山前後のヘモグロビンおよび動脈血酸素飽和度・SpO₂の変化: 自験例の再解析およびシステマティックレビュー. 登山医学, 36 (1): 95-104, 2016.