

原 著

登山経験の少ない高齢者における富士登山時の生理応答 —運動時, 安静時, 睡眠時を対象として—

笹子悠歩¹⁾, 山本正嘉²⁾

1) 鹿屋体育大学大学院, 2) 鹿屋体育大学スポーツトレーニング教育研究センター

Physiological and Mechanical Stresses during Climbing Mt. Fuji during Exercise, Rest, and Sleep by a Little Experienced Old Aged People

Yuuho Sasago and Masayoshi Yamamoto

National Institute of Fitness and Sports in Kanoya, 1 Shiromizu, Kanoya, Kagoshima, 891-2393, Japan

ABSTRACT. The purpose of this study was to evaluate various physiological and mechanical stresses induced by climbing Mt. Fuji (3,776m), at various phase such as exercise, rest, as well as sleep. Nine old aged people, 8 males and 1 female, who have a little of mountaineering experiences participated in this study. On the first day, they climbed from 5th station (2,400m) up to the old 7th station (3,010m), and stayed over the night there. On the second day, they climbed up to the top of the mountain, and stayed over the night there. Finally on the third day, they climbed down the mountain. As a result, physiological stresses such as arterial oxygen saturation, heart rate, perceived exertion, dehydration during the exercise, blood pressure and arterial oxygen saturation during staying 7th and summit station (especially in sleep) were much exceeded the guidelines adapted at sea level exercise or medication. Although the physiological stresses seems to be a little less in this two days ascent schedule than that of one day ascent schedule observed in our previous studies, climbing Mt. Fuji put so much physiological stresses onto every people in despite of age, sex, and mountaineering experiences.

Key words: mountaineering, Mt. Fuji, acute mountain sickness, arterial oxygen saturation, sleep

I. 研究目的

日本の最高峰である富士山は、特別な登山技術を必要とせず登れることから、毎夏多数の登山者が訪れる。特にここ数年は登山者が激増し、1年間の登山者は30～40万人にも達する⁴⁾。しかし、4000 m 近い標高を有すること、またどの登山口から登っても標高差は1300 m 以上あることから、身体にかかる負担度は非常に大きい。このため、転倒、滑落、病気、高山病な

どの事故も多い。

そこで著者らは、安全な富士登山を行うための基礎資料を得るため、これまでに登山経験の少ない若年者(年齢: 24 ± 1 歳)¹⁶⁾ や、登山経験豊富な中高年者(年齢: 64 ± 4 歳, 登山歴: 29 ± 14 年)¹¹⁾ を対象として、2泊3日の富士登山(1日目に五合目から山頂まで登り、山頂で2泊し、3日目に下山する)を行わせた。そして、その際の生理的および物理的な負担度について、行動中と生活中の様々な場面において

測定・評価してきた。その結果、登高中の心拍数が登山にとって適度とされるレベルを大きく上回っていること¹¹⁾、行動時、安静時、睡眠時のいずれの場面でも動脈血酸素飽和度が極めて低いレベルにあること^{11,16)}、山頂での安静時の血圧値は正常域を上回っていること¹¹⁾、下山時には身体に大きな衝撃力がかかること¹¹⁾などが明らかになった。

しかし富士山では、このような登山者に加えて、登山経験の少ない高齢者も多く訪れる。このような人では、若年者やベテラン登山者よりもさらに大きな負担が身体にかかると予想されるが、その様相は明らかにされていない。

そこで本研究では、登山経験の少ない高齢者を対象とし、1日目に七合目で宿泊し、2日目に登頂、3日目に下山するという、経験的には最も負担の少ないとされる日程で富士登山をさせた。また歩行ペースも、彼らが最適と判断するペースで行わせた。そして、行動時、安静時、睡眠時の各場面で、身体にかかる生理的・物理的な負担度を測定し、著者らの先行研究等と比較検討することを目的とした。

II. 方法

1. 被験者

被験者は、登山経験の少ない高齢者9名(男性8名,女性1名)であった。身体特性は、年齢: 68 ± 3 歳, 身長: 166.3 ± 8.2 cm, 体重: 57.5 ± 8.7 kg, BMI: 20.7 ± 2.5 であった。彼らの中には、胆石と十二指腸潰瘍の既往歴を持つ者が1名ずついた。また富士登山を行った時点では、2名が高血圧症, 1名が高脂血症, 2名が糖尿病の治療中であり, 2名が降圧剤, 1名が高脂血症, 1名が糖尿病の治療薬を服用していた。彼らは富士登山に先立って, 1年間あまりの間に3回の低山歩きを行い, 2カ月前には富士山の御中道(約2400 m)でのハイキングを行った。すべての被験者には, 本研究の目的, 方法, およびそれに伴う危険性を文書, および口頭で説

明し, 本研究に参加する同意を得た。また本研究は, 鹿屋体育大学の倫理審査小委員会の承認を得て行われた。

2. 登山の概要

1日目は, バスにより富士宮口五合目(2400 m)まで登り, そこで高度に身体を馴らすために約1時間30分滞在した後に登山を開始した。そして, 約3時間をかけて元祖七合目(3010 m)まで登り, 山小屋に宿泊した。2日目は, 元祖七合目(3010 m)から約5時間をかけて山頂にある測候所(3776 m)まで登り, 宿泊した。3日目は, 上山時と同じルートで, 富士宮口五合目(2400 m)まで約4時間をかけて下山した(本稿では, 上りを上山, 下りを下山, 両者を含めて登山と表記する)。

3日間の行動におけるペース配分や休憩は, 全て被験者が最適と考えるペースで行うこととし, 全員がほぼ一緒に行動した。荷物の重量は, 衣類や靴を除いて12 kg程度であった。天候は, 1日目および2日目は快晴であったが, 3日目(下山時)は強い風雨であった。

3. 行動時の測定項目

行動中は常に, GPS(e-Trek Vista C, ガーミン社製)を用いて, 垂直方向への歩行(上昇, 下降)速度を連続的に測定した。歩行中, 着地時に身体が受ける物理的な衝撃強度を, 簡易加速度検出器(ライフコーダ, スズケン社製)を用いて連続的に測定した。

生理応答として, パルスオキシメーター(Pulsox-Me300, Teijin社製)を用いて, 歩行中, 休憩中を通して, 連続的に動脈血酸素飽和度(arterial oxygen saturation; SpO₂)を測定した(ただし下山時は, 風雨のため測定を行わなかった)。また心拍モニター(X6-HR, Suunto社製)を用いて, 歩行中, 休憩中を通して, 心拍数(heart rate; HR)を連続的に測定した。歩行中の主観的運動強度(rating of perceived exertion; RPE)については, ピッチ毎に尋ねて記録した。

この他、休憩時ごとに、 SpO_2 、HR、および急性高山病 (acute mountain sickness; AMS) スコアを記録した。また上山時の1日目と2日目には、行動の開始時および終了時に体重を計測し、行動中に摂取した飲食物や着衣の重量を補正した上で、体重の変化から脱水量を推定した。なお本研究では、行動中に飲んだ水分量(ゼリー飲料等も含む)を飲水量と呼び、脱水量と飲水量との差を、水分需要を補填できていない分と見なし、水分の不足量と呼ぶこととした。

4. 生活時の測定項目

七合目および山頂での生活中には、安静時の SpO_2 、HR、AMSスコアを定期的に記録した。また、就寝時から起床時まで、パルスオキシメーターを用いて SpO_2 を、心拍モニターを用いてHRを連続的に測定し、これを睡眠時のデータとした。なお睡眠中の SpO_2 とHRのデータは、登山に先立って、各人の自宅(100 m以下の低地)でも測定した。また、就寝直後で入眠前の値を、仰臥位安静(覚醒)時のデータとして用いた。

この他に、就寝前と起床直後の安静時血圧を、血圧計 (HEM-7200, Omron 社製) を用いて測定した。低地での血圧値については、定期検診時のデータを用いた。

5. 統計処理

結果は平均値±標準偏差で示した。睡眠時の SpO_2 とHR、および安静時の血圧については、低地での値と比較するため、また先行研究において報告した、登山経験の少ない若年者¹⁶⁾や登山経験豊富な中高年者¹¹⁾と比較するために一元配置分散分析を用い、有意差が認められた項目については多重比較を行った。有意水準は5%未満とした。

Ⅲ. 結果

1. 行動時の負担度

1) 歩行速度

図1は、GPSを用いて測定した、上山・下山時における垂直方向への歩行速度を示したものである。なお破線は、登山のガイドブック¹⁴⁾に示された、標準コースタイムで歩いた場合の速度を示している。

上山時の2日間は、1ピッチごとの歩行速度のばらつきが大きく、0.23～0.35 km/hとなった。標準コースタイムと比べると、この範囲内で歩いている部分もあったが、11ピッチ中8ピッチでは、標準タイムよりも6～45%程度速いペースとなっていた。一方、下山時の平均歩行速度は 0.35 ± 0.01 km/hとほぼ一定で、標準コースタイムと比べると約0.1 km/h(約20%)遅かった。

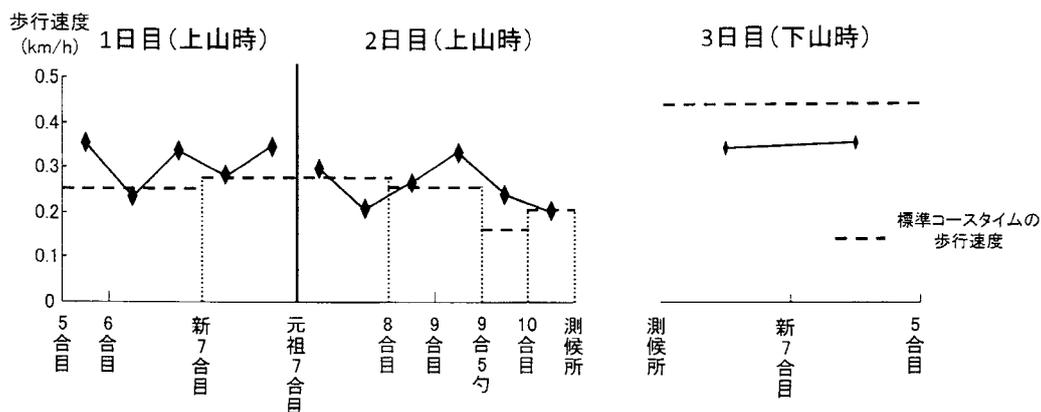


図1 上山時と下山時の垂直方向への歩行速度

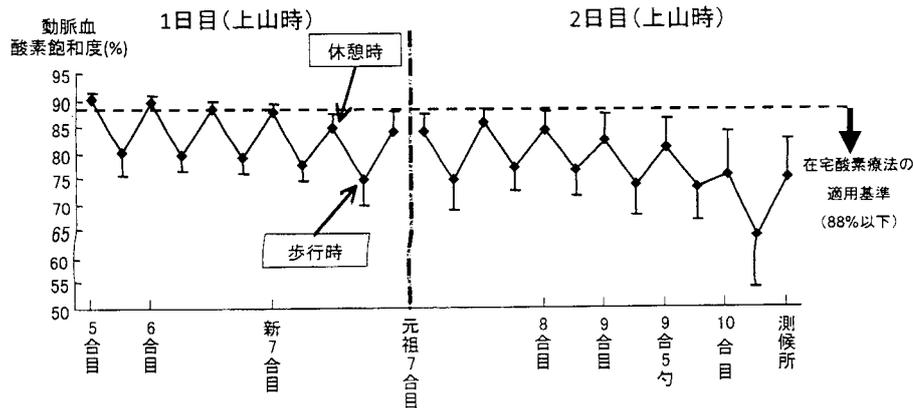


図2 上山時の動脈血酸素飽和度

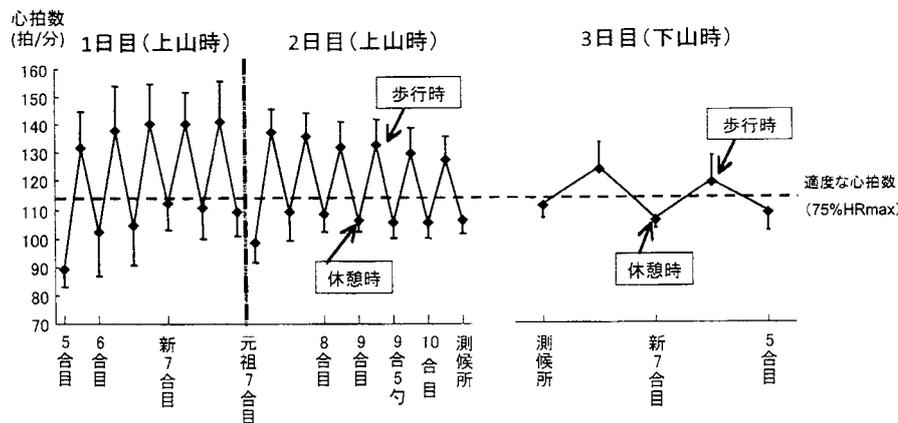


図3 上山時と下山時の心拍数

2) SpO₂

図2は、上山時のSpO₂について、歩行時と休憩時とに分けて示したものである。破線は、佐久間ら¹⁰⁾が提示している、低地における在宅酸素療法の適用基準値(88%以下)を示している。SpO₂は休憩時に高く、歩行時に低い値を示した。そして両者とも、高度の上昇に伴い低下していく傾向を示した。

1日目には、歩行時の値は80.3 ± 4.6%から75.2 ± 5.3%まで、休憩時の値は90.3 ± 1.2%から84.0 ± 3.7%まで低下した。また在宅酸素療法の適用基準と比べると、歩行時においては五合目付近ですでに大きく下回り、休憩時においては、七合目以上で下回った。

2日目の歩行時のSpO₂は、上山1日目のよ

うな高度の上昇に伴う低下は見られず、十合目まではほぼ同じ値だった。特に八合目付近においては、歩行時・休憩時ともに前日の七合目とほぼ同じ値かやや高い値を示した。しかし十合目から最高所である測候所へ登る馬の背の歩行時には、64.1 ± 10.0%と著しく低い値を示した。また、十合目および測候所に到着直後の休憩時においても、それぞれ76.2 ± 8.1%, 75.5 ± 7.2%となり、それまでの休憩時よりもかなり低い値を示した。

3) HR

図3は、上山時および下山時のHRについて、歩行時と休憩時に分けて示したものである。破線は、山本¹⁷⁾が示した登山時における適度な

心拍数のガイドライン (75%HRmax) をもとに、本被験者にとって望ましいレベル (114 bpm) を示したものである。

HR は歩行時に高く、休憩時に低い値を示した。上山時の値を見ると、1日目の歩行時の値は、高度の上昇に伴い増加傾向を示し、五合目付近では 131.7 ± 13.1 bpm (87%HRmax) であったものが、七合目付近では 141.3 ± 14.1 bpm (93%HRmax) まで増加した。休憩時の値は、五合目では 89.0 ± 6.3 bpm (59%HRmax) であったものが、七合目付近では 111.6 ± 8.9 bpm (74%HRmax) まで増加した。ガイドラインと比べると、歩行時では五合目付近ですでに大きく上回っており、特に七合目付近で93%HRmaxと、推定最高心拍数 (220-年齢) の90%を超えるような値であった。

2日目の歩行時には、1日目の後半の値よりもやや低い値で推移した。また七合目付近では 136.8 ± 9.0 bpm (90%HRmax) であったが、山頂付近では 127.6 ± 8.1 bpm (84%HRmax) となり、高度の上昇に伴い低下傾向を示した。休憩時においても、1日目の後半の値よりもやや低値を示した。

下山時の心拍数は、歩行時では 121.7 ± 7.8 bpm (80%HRmax)、休憩時では 108.6 ± 2.5 bpm (72%HRmax) とほぼ同じ値で推移し、ガイドラインよりもやや高い値にとどまっていた。

4) RPE

図4は、上山時および下山時のRPEを示したものである。破線は山本¹⁷⁾が示した、登山時において適度とされるガイドライン (13: ややきつい) を示したものである。

上山時のRPEは、2日間を通して高度の上昇に伴い上昇した。すなわち、五合目付近では 12 ± 3 (楽である~ややきつい) であったものが、山頂付近では 16 ± 2 (きつい~かなりきつい) となった。ガイドラインと比べてみると、五合目と六合目付近ではこれにほぼ沿った値であっ

たが、七合目以上では常時15 (きつい) 以上となり、これを上回っていた。一方、下山時のRPEは、終始 13 ± 2 (ややきつい) 程度で推移し、ガイドラインにほぼ沿った値であった。

5) 衝撃強度

図5は、上山時と下山時に身体が受ける衝撃強度を示したものである。本研究で用いた機器の場合、衝撃強度が1~3の場合、平らな道での普通歩き (70 m/min) に相当する強度となり、3~4の場合、速歩き (100 m/min) に相当する強度となる¹¹⁾。破線はその区分を記したものである。

上山時、下山時ともに、衝撃強度は通常歩行に相当する値であったが、詳細に見ると、上山1日目の値は高度が上がるにつれて、 1.9 ± 0.2 から 1.4 ± 0.4 まで低下した。同様に上山2日目についても、七合目付近で 1.6 ± 0.1 であったものが、十合目付近では 1.3 ± 0.2 まで低下した。ただし、十合目から測候所へ登る馬の背の部分では、 1.7 ± 0.2 まで増加していた。下山時には終始 1.9 ± 0.1 と、上山時よりも高値で推移する傾向を示した。

6) 脱水量

図6は、1日目と2日目の上山時における脱水量、飲水量、およびその差である水分の不足量を示したものである。破線は、脱水の影響が現れる目安とされる体重の1%の脱水率¹⁷⁾ (本被験者の場合580 ml) を示したものである。

1日目の脱水量は 0.5 ± 0.3 kg、飲水量は 300 ± 200 ml であった。したがって、水分の不足量は 200 ± 400 ml となり、脱水率は体重の0.3%と、1%未満にとどまっていた。一方、2日目の脱水量は 1.2 ± 0.5 kg、飲水量は 400 ± 200 ml であった。したがって、水分の不足量は 800 ± 400 ml となり、脱水率は体重の1.4%と、許容レベルを上回る値となった。

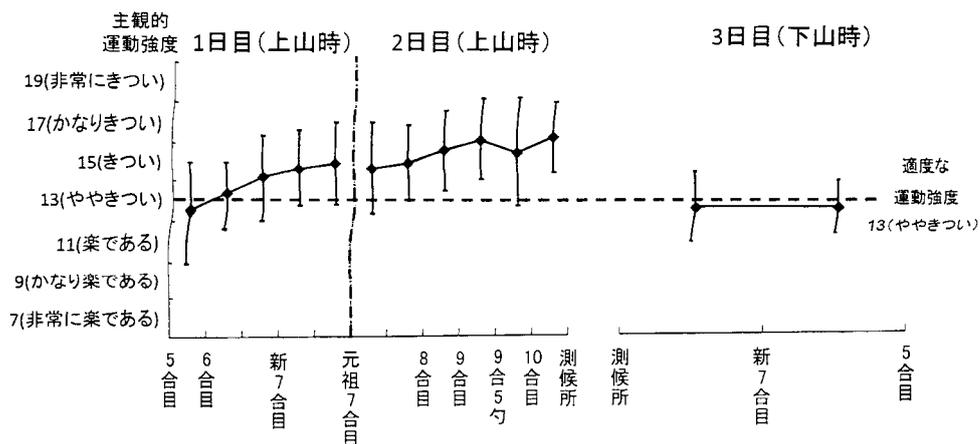


図4 上山時と下山時の主観的運動強度

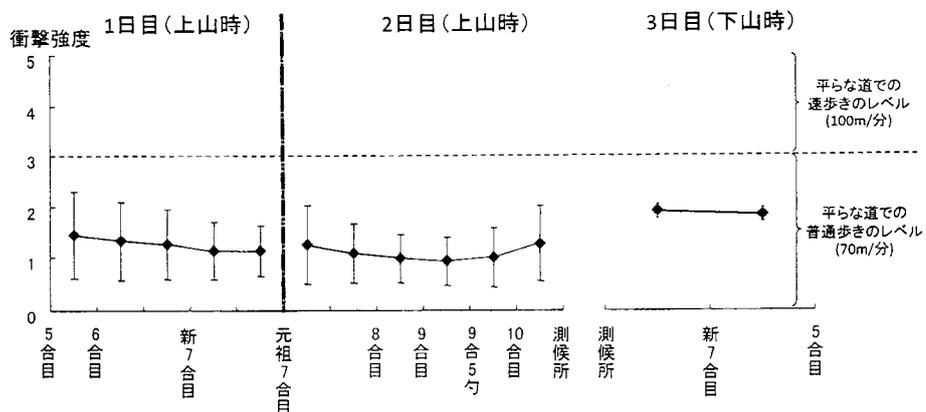


図5 上山時と下山時の衝撃強度

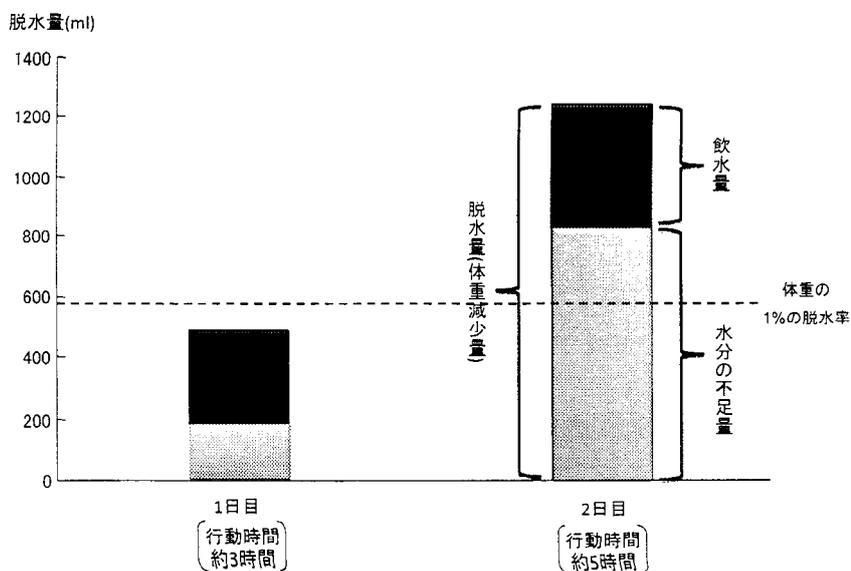


図6 上山時の脱水量

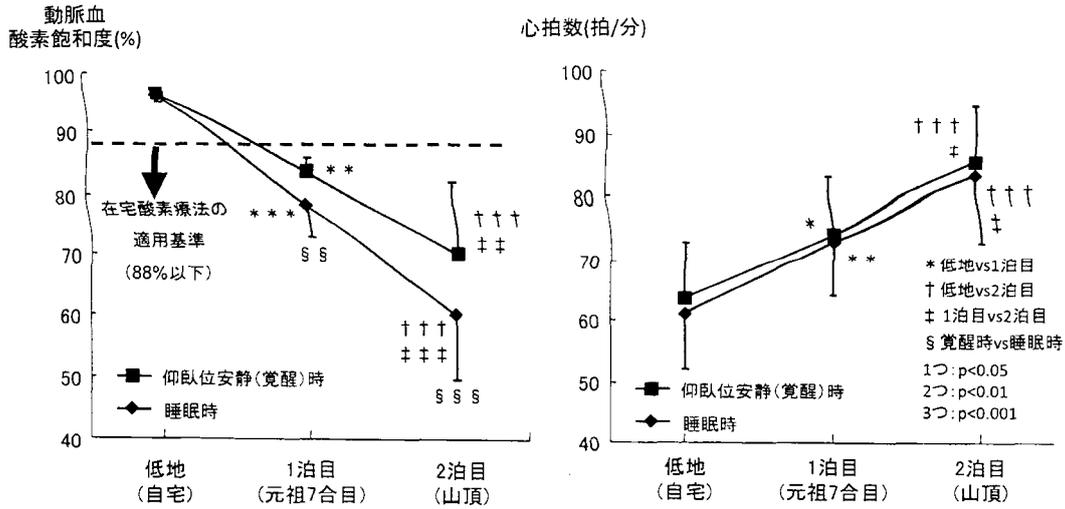


図7 睡眠時における動脈血酸素飽和度と心拍数

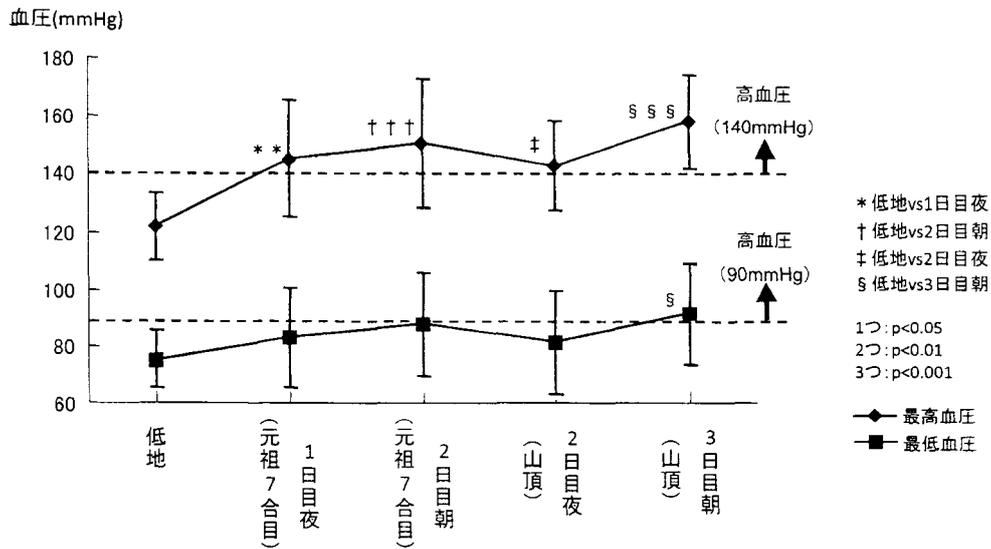


図8 安静時の最高・最低血圧

2. 生活時の負担度

1) 睡眠時における SpO₂ と HR

図7は、睡眠時における SpO₂ と HR について、低地で測定された値、および七合目と山頂で宿泊した時の値を示したものである。破線は佐久間¹⁰⁾が提示した、低地における在宅酸素療法の適用基準値 (SpO₂ が 88% 以下) を示したものである。

SpO₂ は、低地において 96.0 ± 6.9% であった

ものが、七合目では 78.0 ± 5.1%、山頂では 60.0 ± 10.3% と、高度が上がるにつれて低下し、低地の値に対して有意差が認められた。また在宅酸素療法の適用基準と比べてみると、いずれもこの基準値をかなり下まわっており、七合目の睡眠時で約 10 ポイント、山頂の睡眠時では約 28 ポイント低い値であった。

また、就寝直後の仰臥位安静 (覚醒) 時での値と、睡眠中の値とを比べてみると、低地では

その差はほとんど見られなかった（それぞれ $96.2 \pm 0.7\%$ 対 $96.0 \pm 0.9\%$ ）。しかし高度が高くなるにつれて覚醒時よりも睡眠時の方が低くなる傾向を示し、七合目では $83.2 \pm 2.5\%$ 対 $78.0 \pm 5.1\%$ 、山頂では $70.3 \pm 11.3\%$ 対 $60.0 \pm 10.3\%$ というように、それぞれ5ポイントおよび10ポイント程度の差があり、有意差が認められた。

HRは、低地では 61.2 ± 8.9 bpmであったものが、七合目では 73.3 ± 9.0 bpm、山頂では 82.6 ± 9.2 bpmと、高度が上がるにつれて増加し、低地での値と比べて有意差が認められた。なお、就寝直後の仰臥位での覚醒時の値と、睡眠時の値の間には、いずれの高度においても有意差は認められなかった。

2) 血圧

図8は、低地での安静時、および富士山の七合目と山頂で、就寝前と起床直後に測定した血圧値を示したものである。破線は、日本高血圧学会⁸⁾の示す高血圧の基準値を示したものである。

最高血圧については、低地では 121.7 ± 11.5 mmHgと正常域にあったが、登山中では 142.8 ± 15.6 mmHg ~ 158.2 ± 16.4 mmHgとなり、常に高血圧の領域にあった。また低地での値に対して、富士山中で測定した値は、全ての場面において有意に高値であった。

最低血圧は、低地では 75.2 ± 9.9 mmHgと正常域にあったが、登山中では 81.4 ± 17.9 mmHg ~ 91.4 ± 17.9 mmHgと低地での値に比べ高値を示し、山頂に泊まった翌朝の値は、低地での値に比べて有意に高値であった。

3. 登山期間全体を通してのAMSスコア

図9は、上山時、山頂滞在時、および下山時の休憩時や安静時に記録したAMSスコアについて、同じタイミングで測定したSpO₂値とも対応させて示したものである。なおSpO₂については、1泊目と2泊目の睡眠中の平均値(図7)も書き加えた。

AMSスコアの変動を見ると、上山1日目の行動時および安静時には、疲労感以外の各項目では0.2以下であったが、疲労感は常に他の項

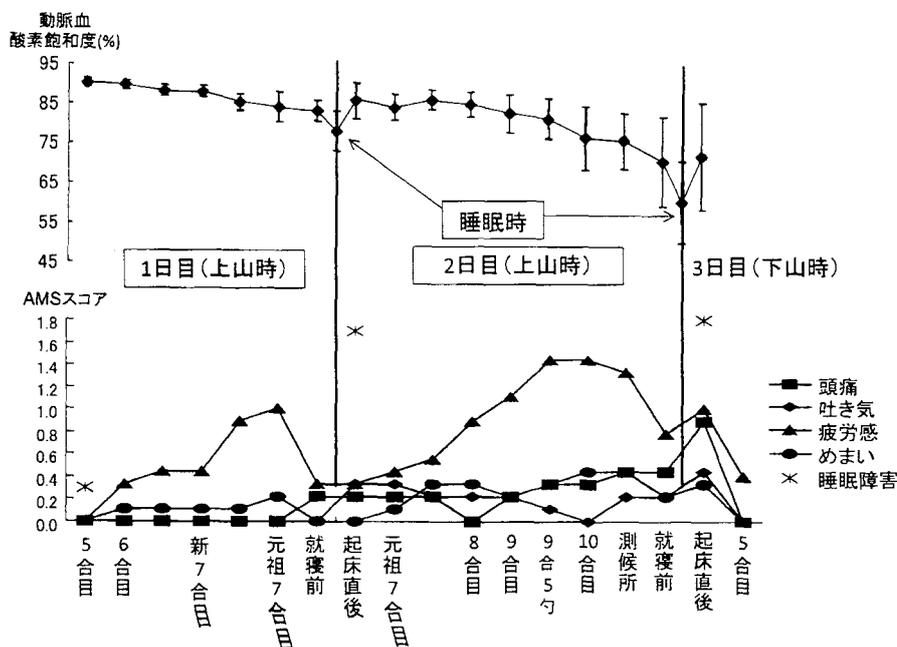


図9 登山期間を通してのAMSスコアと動脈血酸素飽和度の推移

目よりも高値を示し、特に行動の後半ほど高値を示した。上山2日目においても同様の傾向が見られ、疲労感以外の項目は0.4以下であったのに対し、疲労感は最高で1.4まで増加していた。

山頂で宿泊した翌朝の起床直後には、それ以前には比較的低値で推移していた頭痛のスコアが0.9と、明瞭に上昇していた。しかしその数時間後に五合目まで下山した時の値を見ると、疲労感の訴えを除いて、頭痛をはじめすべての項目が0に戻っていた。

睡眠障害の値は、五合目で尋ねた値（前日の低地における値）は0.3であったのに対し、七合目で1泊した後では1.7、山頂で1泊した後では1.8と、他の項目よりも高値を示した。

AMSスコアは、5項目の合計値が3以上の時

に急性高山病と見なされる⁷⁾。この基準を当てはめると、1日目（七合目）の就寝前では9名全員が基準値を超えていなかったが、翌朝には4名が基準値を上回った。また、2日目（山頂）の就寝前では5名が、その翌朝には7名が基準値を上回った。

4. 若年者およびベテラン中高年登山者との比較

表1は、著者らがこれまでに報告した、登山経験の少ない若年者¹⁶⁾、およびベテランの中高年登山者¹¹⁾を対象とした測定結果と、本研究で対象とした登山経験の少ない高齢者の結果とを比較したものである。なお2つの先行研究では、五合目から山頂まで1日で登っている。これに対して、本研究では七合目で1泊するという、経験的に最も負担が少ないとされる方法を

表1 本研究と先行研究における主な生理応答の比較

		経験の少ない若年者 年齢:24±1歳 被験者数:8名(男6,女2) (山本ら 2008)	経験豊富な中高年者 年齢:64±4歳 被験者数:7名(男5,女2) (笹子ら 2010)	経験の少ない高齢者 年齢:68±3歳 被験者数:9名(男8,女1) (本研究)	
行動時	SpO ₂ の最低値(%)	69±5 (60~75)	67±4 (58~71)	64±10 (48~79)	
	%HRmaxの最高値(%)	78±6 (70~86)	89±3 (85~93)* *	95±8 (85~106) ⁺⁺⁺	
	RPEの最高値	18±2 (15~20)	15±1 (13~17)*	17±2 (14~20)	
安静時	SpO ₂ (%)	低地での値	98±1 (96~99)	97±1 (95~98)	97±1 (95~98)
		山頂での最低値	73±9 (53~82)	70±5 (61~76)	66±13 (41~82)
		両者の差(point)	25±9 (17~43)	27±5 (22~34)	31±13 (16~54)
	血压(mmHg)	低地での値	116±9 (97~126) 75±5 (69~85)	126±7 (120~137) 80±8 (70~90)	122±12 (100~135) 75±10 (60~90)
		山頂での最高値	128±18 (102~163) 87±11 (70~107)	159±19 (133~187)* * 103±10 (87~114)	162±18 (139~191) ⁺⁺ 95±18 (65~119)
		両者の差	12±13 (0~41) 12±11 (0~33)	33±13 (13~52)* 23±12 (7~39)	40±16 (14~61) ⁺⁺ 20±16 (1~39)
睡眠時	SpO ₂ (%)	低地での値	97±1 (97~98)	96±1 (94~97)* *	96±1 (94~97) ⁺
		山頂での最低値	69±8 (57~76)	65±7 (54~76)	60±10 (44~75)
		両者の差(point)	28±7 (22~40)	31±7 (21~40)	36±11 (22~50)
AMSスコア	全期間の最高値	4.5±2 (1~7)	5.1±3 (1~9)	5.6±2 (3~9)	

*: 経験の少ない若年者 vs 経験豊富な中高年者 1つ; P<0.05

+: 経験の少ない若年者 vs 経験の少ない高齢者 2つ; P<0.01

3つ; P<0.001

用いており、登山日程が異なる。また、日々の行動状況（ペースや休憩のとり方）も3群間で異なっている。

ただし日々の行動状況については、それぞれのグループが最適と判断したやり方で行われているという意味で共通点がある。そこでこの表では、行動時、安静時および睡眠時の各場面で、3日間のうちで各人の負担度が最も高かった時の値を抜粋し、それを群毎に平均して比較することとした。このような比較によって、それぞれの群が身体への負担度をできるだけ小さくするような登山のやり方をした時に、身体が受ける最大の負担度がどの程度であったかを比較できると考えられる。

表1で、行動時のSpO₂の最低値を見ると、平均値では若年者、中高年者、高齢者の順で低値を示したが、個人差が大きいため有意差は認められなかった。行動中の%HRmaxの最高値は、若年者、中高年者、高齢者の順で高値を示し、若年者に対して中高年者と高齢者は有意に高値を示した。行動中のRPEの最高値は、若年者、高齢者、中高年者の順で低値を示し、若年者と中高年者との間で有意差が認められた。

安静時のSpO₂は、低地では3群ともほぼ同等の値を示し、山頂では若年者、中高年者、高齢者の順で低値を示した。また、低地の値に対する山頂での値の低下量も、この順で大きくなった。ただし有意差はいずれにも認められなかった。

睡眠時のSpO₂は、低地では若年者に対して中高年者と高齢者では有意に低値を示した。また山頂では、若年者、中高年者、高齢者の順で低値を示し、低地の値に対する山頂での値の低下量もこの順で大きくなったが、有意差は認められなかった。

安静時の血圧は、低地では最高、最低ともに有意差は認められなかったが、山頂では若年者に対して中高年者や高齢者では最高血圧が有意に高値を示した。また、低地の値に対する最高血圧の上昇量にも、同じ組み合わせで有意差が

認められた。

登山期間を通してのAMSスコア（5項目の合計値）の最高値は、若年者、中高年者、高齢者の順で高値を示した。ただし有意差は認められなかった。

IV. 考察

本研究では、登山経験の少ない高齢者9名が、2泊3日の日程で富士登山を行った時に、身体にどのような負担がかかるかについて、様々な観点から測定を行った。著者らは過去に、登山経験の豊富な中高年者（以下、前報¹¹⁾）、および登山経験の少ない若年者（以下、前々報¹⁶⁾）が富士登山を行った際のデータについても報告している（表1）、これらとも比較しながら考察する。

1. 上山時における身体への負担度

図1を見ると、上山時の歩行速度は1、2日目ともにばらつきが大きかった。しかも多くの区間では、標準コースタイムに対してオーバーペースとなっており、山頂付近の歩行時（九～十合目）では、標準的なペースよりも約45%も速かった。本被験者は登山経験が少ないために、富士登山に適したペースで歩けなかったことが窺える。

上山時のSpO₂を見ると（図2）、休憩時では七合目以上で、また歩行時では五合目以上で、在宅酸素療法の適用基準を下回っており、休憩時、歩行時ともに体内は著しい低酸素状況にあることが窺えた。HR（図3）も、歩行時では常時、登山における適度な運動強度のガイドラインから大きく逸脱した状態にあり、心肺にも非常に大きな負担がかかっていた。RPE（図4）についても、七合目以上では、ガイドラインの値を大きく上回っていた。以上のことから上山時には、生理的に非常に大きな負担が常にかかること、またその負担は、高度の上昇によりさらに大きくなるといえる。

なお、前報¹¹⁾、前々報¹⁶⁾のいずれにおいても、上山時の SpO₂、HR、RPE については本研究と同様の傾向を示した。このことから、富士登山時には登山経験や年齢によらず、非常に大きな負担がかかるといえる。この点に関して表1を見ると、行動時の SpO₂ の最低値は、有意差は認められなかったものの本被験者が最も低い値を示し、%HRmax の最高値においても本被験者が最も高く、若年者に対して有意差が認められた。その一方で、RPE の最高値に関しては、有意ではないものの本被験者の方が若年者よりも低かった。

このことから、高齢者の場合、若年者やベテランの中老年者と比べて、身体にはより大きな負担がかかっているにもかかわらず、それを十分自覚できない可能性があるといえる。高齢者が運動を行う場合、HR が高すぎると血圧が上昇し、心臓に過大な負担がかかる可能性がある。本被験者では、上山時の歩行速度が標準的なペースよりもかなり速い場合も見受けられるので(図1)、適正な歩行ペースの管理も重要な課題といえる。

なお、前報、前々報の登山日程は、五合目からその日のうちに山頂に到達するという日程であったが、本研究では、七合目で1泊し、2日目に山頂に到達するという日程を用いた。その結果、先行研究では、SpO₂ は高度と共に低下していたが、本研究の場合には、2日目の八～九合目付近では高度の上昇にともなう SpO₂ の低下が抑制される傾向を示した(図2)。HR についても、2日目の行動時には高度が上昇しているにもかかわらず、HR はむしろ低下する傾向を示し、休憩時においても1日目のような高度の上昇にともなう増加傾向は見られなかった。したがって途中で一泊し、翌日に登頂するという方策は、富士登山時の身体への負担を軽減する上で有効である可能性がある。

登山のような長時間運動の場合には、脱水が起こりやすい。脱水が起こると、熱中症や血栓症などの危険性を始め、筋力の低下、作業遂行

時間の低下、最大下作業中の心臓機能の低下、酸素消費量の低下、体内から失われる電解質の増大といった影響を受ける可能性がある^{2,13)}。本被験者の上山中の脱水量を見ると(図6)、1日目の水分の不足量は体重の1%未満であったが、行動時間が長かった2日目には、体重の1%以上の不足量(1.4%)が観察された。

図6を見ると、2日目は1日目に対して行動時間が長いにもかかわらず、飲水量はほぼ同じにとどまっている。山本は¹⁷⁾、一般的な登山の場合、1時間・体重1kgあたり約5gの脱水が起こると報告しているが、本被験者の場合も2日目の脱水量は4.3gと、5gに近い値であった。これとほぼ同量の水分を定期的に補給することが、安全な登山のために必要といえよう。

2. 下山時における身体への負担度

3日目の下山時には、悪天候(強い風雨)であったため、SpO₂ の測定は行わず、歩行速度、HR、RPE、衝撃強度のみの測定を行った。

歩行速度は、天候の影響により、標準コースタイムよりも約20%遅かった。このため、HR(図3)、RPE(図4)、衝撃強度(図5)ともに低値で推移し、いずれも登山にとって適度なガイドラインにほぼ沿った値を示した。

ただし、天気が良く、より速い速度で下った場合には、これよりも高い値となった可能性もある。ベテラン中老年者を対象とした前報¹¹⁾では、標準コースタイムよりも約36%速い速度で下っていた。この場合、HRやRPEはガイドラインに沿った値であったが、衝撃強度は上山時よりも3倍大きな値を示した。

中老年登山者に多い事故様態として、下りで転ぶケースがきわめて多い⁵⁾。これは加齢による脚筋力の低下とともに、下山時の着地衝撃力が大きいことが原因と推察されている¹⁷⁾。したがって本被験者が行ったように、コースタイムよりもゆっくり下ることによって、下りでの事故を予防する上で効果が期待できる可能性がある。

3. 七合目と山頂での滞在時（生活時）における身体への負担度

七合目における安静時の SpO_2 は 85% 程度となり、在宅酸素療法の適用基準にまで低下したが、山頂ではさらに低下して 70% 台前半となった（図 9）。富士山頂での座位安静時の SpO_2 に関する報告^{1,6,12)}を見ると、いずれも 80% 台前半の値が報告されているが、本被験者ではこれらよりもさらに約 10 ポイント低かった。この理由として、若年者に比べ高齢者は SpO_2 が低下しやすいこと⁹⁾が関係しているものと考えられる。

睡眠時の SpO_2 を見ると（図 7）、七合目では $78 \pm 5\%$ であったが、山頂ではより低下して $60 \pm 10\%$ となった。またこの値は、山頂付近での上山時の値（64%）と比べても低かった。

また就寝直後の仰臥位安静（覚醒）時の値と、睡眠中の値とを比べてみると（図 7）、低地においてはほとんど差は見られなかったが、山頂では後者の方が約 10 ポイント低かった。このことから、睡眠中に身体は最も厳しい低酸素状態に曝されることが窺える。

前々報¹⁶⁾で報告した若年者では、山頂での睡眠時の SpO_2 は $69 \pm 8\%$ （表 1）、また前報¹¹⁾で報告したベテランの中老年者では $65 \pm 7\%$ （表 1）であった。一方、本被験者の場合、七合目で 1 泊したにも関わらず、山頂での睡眠時 SpO_2 は $60 \pm 10\%$ とさらに低値を示した。個人差が大きいため有意ではないものの、平均値で見ると若年者よりも約 10 ポイント、ベテランの中老年者よりも約 5 ポイント低い値であった。前述のように、若年者に比べ高齢者は SpO_2 が低下しやすいことから⁹⁾、高齢者が山頂で宿泊する場合には、低酸素に対する細心の注意が必要といえる。

血圧を見ると（図 8）、最高血圧は七合目、山頂とも常に高血圧の領域にあり、低地での値に対して登山期間中の全ての場面において有意差が認められた。また最低血圧は、山頂に宿泊した翌朝では高血圧の領域にあり、低値での値に

対して有意差が認められた。血圧の上昇量をみると（表 1）、最高血圧については若年者やベテランの中老年者と比べて、本被験者が最も高く、若年者と比べて有意差が認められた。被験者の中には高血圧症の者が 2 名いたが、血圧が上昇すると、心筋梗塞や脳卒中などのリスクが高まることから、このような人では特に注意が必要といえる。

4. AMS スコア

図 9 を見ると、1 日目、2 日目ともに、行動の後半に疲労感が高値を示した。また急性高山病の第一義的な症状である頭痛については、山頂で宿泊した翌朝に最高値を示した。睡眠障害については七合目、および山頂のいずれの宿泊時においても高値を示した。

本被験者の場合、急性高山病の判断基準である 3 以上のスコアを示した者は、七合目で宿泊した翌朝には 9 名中 4 名、山頂で宿泊した翌朝は 7 名であり、山頂で睡眠を行った翌日に値が上昇する者が多かった。この傾向は前報¹¹⁾においても同様で、AMS スコアの合計は登山期間を通して、山頂に宿泊した翌朝の値が最も高値を示していた。

この理由として、睡眠時における SpO_2 の大幅な低下（本被験者: 60.0%、ベテランの中老年者: 66.6%）が考えられる。急性高山病は、特に睡眠時に発症しやすいと報告されている^{3,15)}が、本被験者および前報のいずれにおいても、この知見を裏付けるものといえる。

V. まとめ

富士登山を行う人の中でも、最も身体への負担が大きくなると予想される、登山経験の少ない高齢者を対象として、2 泊 3 日の富士登山を行った。そして、身体にかかる様々な負担度（ SpO_2 、HR、血圧、脱水量など）を測定し、これらのデータを著者らがこれまでに報告した若年者やベテランの中老年登山者の値との間で比

較検討した。

その結果、行動時（特に上山時）、安静時、睡眠時という1日のあらゆる場面で、低地での医療や、健康のための運動時に用いられるガイドラインから見て、身体には非常に大きな負担がかかっていた。また、若年者やベテランの中高年登山者を対象として行われた先行研究の値との間で比べた場合、行動中のSpO₂、HR、RPE、安静時や睡眠時のSpO₂、血圧、全期間を通してのAMSスコアにおいて、より大きな負担がかかっていることが窺え、特に行動中のHRと安静時の血圧値については有意差が認められた。

なお、本研究では、1日目に七合目に宿泊し、2日目に登頂するという行程を用いたが、これは1日目に山頂に到達する行程に比べて、行動時、安静時および睡眠時のSpO₂においてより負担が軽減される傾向も窺えた。

本研究および先行研究を総合すると、登山経験や年齢にかかわらず、富士登山時には身体に大きな負担がかかるといえる。またその負担は、登山経験の少ない高齢者では、より大きなものになる傾向があるといえる。富士山における登山事故を防止するためには、これらのデータを元にした、具体的な啓蒙や対策が必要と考えられる。

謝 辞

富士山測候所の利用については、“NPO 法人・富士山測候所を活用する会”のご支援により可能となったものである。ご協力を頂いた関係各位に厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) 浅野勝己, 菊地和夫, 水野 康ほか: 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.
- 2) Fox, E. L.: スポーツ生理学. 大修館書店, 1982, pp.239-276.
- 3) Hultgren, H. N.: High Altitude Medicine. Hultgren Pub., Stanford, 1997, pp. 212-255.
- 4) 環境省関東地方環境事務所 国立公園・保全整備課: 平成 22 年度夏期の富士山登山者数について. 環境省資料, 2010.
- 5) 警察庁生活安全局地域課: 平成 22 年度中における山岳遭難発生状況について. 警察庁資料, 2000.
- 6) 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.
- 7) 宮村実晴: 高所: 運動生理学的基礎と応用. NAP, 2000, pp.210-221.
- 8) 日本高血圧学会: 高血圧治療ガイドライン. 日本高血圧学会資料, 2009.
- 9) 小田慶喜, 森本武利, 平川和文ほか: 最大運動負荷時の動脈血酸素飽和度からみた高齢者の特徴. 体力科学 40: 750, 1991.
- 10) 佐久間哲也, 栗山喬之: 在宅酸素療法の新しい適応基準. 日本内科学会雑誌 84: 813-818, 1995.
- 11) 笹子悠歩, 山本正嘉: 富士登山時の生理的・物理的な負担度; 登山経験の豊富な中高年者を対象として. 登山医学 30: 105-113, 2010.
- 12) 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.
- 13) 田島直也, 武藤芳照, 佐野忠弘: 中高年のスポーツ医学. 南江堂, 1997, pp.187-288.
- 14) 富士山登山道ガイド: 富士山 2004. 山と溪谷社, 2004, pp.39-51.
- 15) West, J. B., Schoene, R. B. and Milledge, M. P.: High Altitude Medicine and Physiology (4th.ed.). Hodder Arnold, London, 2007, pp. 251-269.
- 16) 山本正嘉, 岸本麻美, 烏賀陽信央ほか: 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. 登山医学 28: 145-152, 2008.
- 17) 山本正嘉: 登山の運動生理学百科. 東京新聞出版局, 2000, pp.21-80.