

海外での高所登山・トレッキングを安全に行うための
身体のアセスメントとコンディショニングに関する研究

鹿屋体育大学大学院 体育学研究科

安藤真由子

平成30年1月

目次

本研究で用いた用語の説明

関連論文（研究業績一覧）

I. 序論

- 1. 序・・・7
- 2. 研究小史・・・8
- 3. 本研究の目的・・・23

II. 本論

- 研究1. 高所に出かける日本人登山者・トレkkerの実態と現地での状況
 - 研究 1-1. 高所登山・トレッキングに出かけていく人の実態・・・・・・・・・・・・・26
 - 研究 1-2. 高所登山・トレッキング時に身体にかかる低酸素の負担度・・・・・・・・・・・・・35
- 研究2. 高所に出かける前に行う身体のアセスメントとそれに基づくコンディショニング法の検討
 - 研究 2-1. 低酸素環境に対する生理応答および行動適応の能力を評価するための常圧低酸素室を用いた「4000 m テスト」の開発・・・・・・・・・・・・・43
 - 研究 2-2. 身体のアセスメントの結果に基づいたコンディショニングの事例・・・・・・・・・・・・・53

III. 総括論議

- 1. 我が国の高所登山者・トレkkerの実態からみた高所でのリスクと対処方法・・・・・・・・・・・・・68
- 2. 高所登山・トレッキングの行程から見たAMSのリスクと対処方法・・・・・・・・・・・・・69
- 3. 常圧低酸素室を用いた身体のアセスメント（4000 m テスト）と
コンディショニングの有用性について・・・・・・・・・・・・・69
- 4. 高所登山・トレッキングを安全に行うための指針の提案・・・・・・・・・・・・・72
- 5. 本研究の身体アセスメント方法の限界と今後の課題・・・・・・・・・・・・・74

IV. 結論・・・77

引用文献・・・79

謝辞・・・89

本論文で用いた用語の説明

本研究で用いた主な専門用語およびその定義は、以下の通りである。

登山

山頂への到達を目的として山を登ること。

トレッキング

山頂への到達を目指すのではなく、山の周遊などを目的として山麓を歩くこと。

高所登山・トレッキング

高度の分類は、その高度に到達した際に表れる症状によって、低地、準高所、高所、高高所、超高所というように分類される (Hultgren, 1997 ; Berghold, 1998 ; Murdoch and Pollard, 1997 ; 山本, 2016)。高所登山・トレッキングとは、準高所以上の高度で登山やトレッキングを行うことを示す。

急性高山病 (acute mountain sickness ; 以下「AMS」と略す)

高所に到達してから約6–12時間後に起こる症状は、急性高山病 (AMS) といわれており、頭痛に加えて消化器症状 (食欲不振, 吐き気, 嘔吐), 倦怠感または虚脱感, めまいまたは朦朧感, 睡眠障害のような症状を示すものである (Hackett et al., 1976)。症状が悪化すると、肺水腫や脳浮腫など、重篤な症状をきたす場合がある。

動脈血酸素飽和度 (percutaneous oxygen saturation ; 以下「SpO₂」と略す)

動脈血中のヘモグロビンが酸素と結合している割合を、パーセント表示で表したものである。パルスオキシメーターを用いて、動脈血中のヘモグロビンと酸素 (O₂) の飽和度 (saturation) を、脈拍動 (pulsation) を利用して測定する。指先にクリップ状のプロブを装着して測定するのが一般的で、非侵襲で簡便な方法のため、医療現場や高所登山・トレッキングの現場でも頻繁に用いられる。一方で、血液を採取して動脈血中の酸素飽和度を実測したものを、arterial oxygen saturation (SaO₂) という。

ハイポキシア (Hypoxia)

臓器, 組織, 細胞などが正常に機能するために必要な, 酸素の供給や消費が阻害された状態。外気の酸素分圧が低下した場合や, 呼吸器疾患を発症した場合などに起こる。本研究では高所環境での状態を表すため, 外気の酸素分圧の低下に伴う身体の状態のことを示す。

アセスメント (4000 m テスト)

看護や介護の現場で用いられる場合、対象者自身の痛みや苦痛などの「主観的指標」と、看護師が客観的に判断できる検査データなどの「客観的指標」をもとに、治療の方向性を理論的に分析する方法のこと。本研究では、対象者が低酸素環境に曝露された際に感じる「主観的指標」と、SpO₂などの「客観的指標」を相互に裏付けながら、対象者の高所環境での身体的状況を分析する「4000 m テスト」のことを示す。

コンディショニング

身体の調子を整える、という意味で、スポーツの現場において頻繁に用いられる。浅見 (2004) は、①目的とする試合に向けて、期間を限定された中での調整と、②日常的なトレーニングをいかにによりよい状態で効果的に継続していくか、ということへの対応が、コンディショニングであると報告している。本研究では、アセスメント (4000 m テスト) の結果と目的地の行程から、対象者の課題点を明らかにして、それを解決するために、高所登山・トレッキングへ出発する前に常圧低酸素室内で行う低酸素トレーニングのことを示す。本研究でのコンディショニング (低酸素トレーニング) は、高所環境に適応するための生理的順応を獲得することと、行動適応を習得すること、という二つの目的を持つ。

口すぼめ呼吸

慢性閉塞性肺疾患 (COPD) などの呼吸器疾患の罹患者が、酸素の取り込みを増加させるために行う呼吸。息を吸って、口をすぼめた状態で息を吐くこと。換気量が増加することや、肺胞内の酸素分圧が上昇することでSpO₂の値が上昇するため、高所登山・トレッキングではAMSを防ぐために有効であるといわれる。

生理的順応

人は暑さや寒さなどの外部の環境に対して、身体を適応させる性質をもつ。本研究では、高所への適応を扱うので、身体が高所環境に適応することを示す。具体的には、高所環境への曝露時間が長くなることにより、SpO₂ (SaO₂) の値が上昇することや、認知能力の向上、心拍数の低下、AMS の改善、身体能力の向上などが起こることである。

行動適応

外部の環境の変化に対して、自ら行動を起こして身体を適応させようとする。生理的順応と同様に、本研究では、高所への適応を扱うので、身体を高所環境に適応させることを示す。高所環境への曝露時間が短い場合は、生理的順応を期待できないことがあるため、口すぼめ呼吸を行うことでSpO₂を上昇させて身体を適応させようとすることを行動適応とする。

関連論文（研究業績一覧）

本論文は以下に示した投稿論文をまとめたものである。

【原著論文】

1. 安藤真由子, 山本正嘉 (2013) 日本人の高所登山者・トレkkerの実態；身体特性, 健康状況, 呼吸機能, 登山状況との関連から. 登山医学, 33: 121- 127.
2. 安藤真由子, 安藤隼人, 宮崎喜美乃, 山本正嘉 (2014) 低酸素環境に対する適性と行動適応能力を判別するための常圧低酸素室を用いた「高所テスト」の開発. 登山医学, 34: 107- 115.
3. 安藤真由子, 笹子悠歩, 山本正嘉 (2016) 動脈血酸素飽和度からみた高所でのトレッキング時における身体への負担度；キリマンジャロ登山, ヒマラヤトレッキング, 富士登山を対象として. ウォーキング研究, 20: 89-95.

I. 序論

1. 序

日本では登山が盛んである。老若男女に関わらず人気が高く、国民的なスポーツの一つと言ってもよい。登山愛好者は800万人程度いると推測されている。そして日本の山を一通り登った登山者の中には、次の目標として海外の高所での登山やトレッキングを目指す人も少なくない。

登山は、健康のために行われている平地でのウォーキング（早歩き）よりも一回り強度の高い運動であり、ジョギング相当の運動強度を持つ。さらに、それを酸素分圧の低い高所（低酸素環境）で行うという性質がある。登山医学の分野では、おおよそ2,500 m以上の高度を「高所」、3,500 m以上を「高高所」と定義している。高所では低酸素の影響により、しばしば急性高山病を発症するが、対処を誤れば重症の高山病にかかり、生命を脅かされる場合もある。特に、高高所以上の山に出かける際には、日数をかけて、身体を徐々に高度に順応させていかないと非常に危険であるとされる。

海外の高所に出かける場合には4,000 m以上の高度、すなわち高高所での生活や活動を行うことが多い。このため、身体のコンドショニングに対する配慮が必要である。しかし一般の登山者はもとより、登山の指導者である、登山リーダーや登山ガイドなどでも、高所に対する知識は十分とは言えないのが現状である。また4,000 m以上の自然の高所は日本にはないため、事前に体験することができないというハンディキャップがある。

加えて、日本人が海外での登山やトレッキングを行う場合、限られた日程の中で行程を消化しなければならないことも多く、高所順応に十分な時間を割くことができず、高所順応が不十分な状況で活動を行う場合が少なくない。その結果として、高所登山・トレッキング中に急性高山病に悩まされて、目的を完遂できないケースは数多い。また、急性高山病が悪化して、肺水腫や脳浮腫といった重症高山病に発展し、緊急搬送されたり死亡するなどの事故も起こっている。

以上のことを考えると、海外の高所に出かける前に日本で、高所に対する身体の適性を評価したり、高所順応を獲得するためのトレーニングを行うことは重要である。しかし、身近には高所が少ないという大きな問題も含めて、このようなことに対する具体的な対策も確立されていない。その結果、多くの登山者は、ぶっつけ本番のような形で現地の高所に行き、そこでの順応に期待するという、リスクの大きいやり方をしているのが現状である。

1990年頃より、常圧低酸素室と呼ばれる使い勝手の良い施設が開発され、これを用いることで高所に対する適性の評価や、トレーニングも可能であることが示唆されるようになった。そこで著者は、民間のスポーツ施設に設置された常圧低酸素室を用いて、過去12年に渡り、高所に出かける登山者やトレッカーの身体適性を評価したり、行動適応や生理適応のためのトレーニングに取り組んできた。本論文では、これらの試みを整理するとともに、新たな研究も加えて、高所を目指す登山者・トレッカーのための、エビデンスに基づいた身体のアセスメントや、コンディショニングの方法論を提示するものである。

2. 研究小史

(1) 日本人と登山

日本には古くから「登山」の文化があり、第二次世界大戦後の1956年に日本人が初めてヒマラヤ山脈のマナスル(8,163m)に登頂した後、第一次登山ブームが起こり、大学生の登山者や社会人登山者の間で山岳部が創部された。そして、1988年の週休2日制の導入や、1990年代に「日本百名山」がテレビや雑誌などのメディアで数多く取り上げられ話題となったことで、第二次登山ブームが起こり、登山やハイキングが一般人にまで広く普及し始めた。

また、近年のフィットネスブーム、そして2010年にユーキャン新語・流行語大賞の候補となった「山ガール」の影響により、登山人口は一気に上昇している。公益財団法人日本生産性本部(2017)によると、その数は、2003年から2006年頃は600万人だったのに対し、2009年は1,230万人、2010年も1,000万人を超えたとされる。震災などの影響で一時的に人数は減ったとされるが、2012年以降においても850万人もの登山者がいる

(図1)。

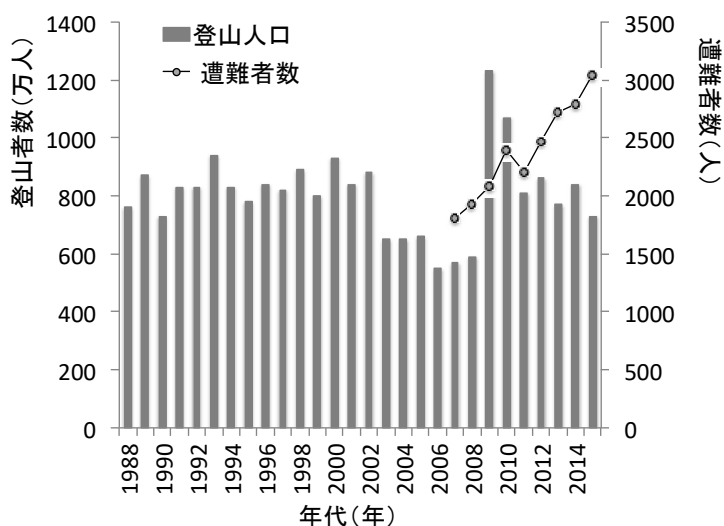


図1. 登山者数と遭難者数の推移

(公益財団法人日本生産性本部「レジャー白書2017」;
警視庁生活安全局地域課「平成28年における山岳遭難の概要」より著者改図)

登山人口の多い日本であるが、その年齢層を調査した総務省統計局(2017)によると、登山・ハイキングを行なっている人の割合は、男性は65 - 69歳、女性は60 - 64歳が最も多く、年間あたりの行動日数は男女ともに70歳以上が最も多いとされている(図2)。

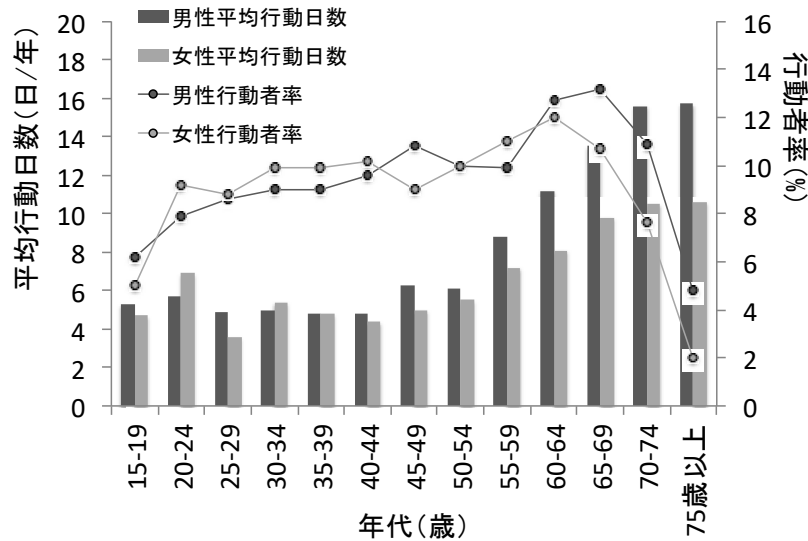


図2. 登山者年齢別にみた平均行動日数と行動者率

(総務省統計局「社会生活基本調査」より著者改図)

しかし、登山人口の増加とともに、登山事故の増加も重要な問題とされるようになってきた(図1)。そのため、登山事故を軽減・防止するため、事故の原因調査や対策に関する研究も行われるようになった。平成28年の登山事故の状況をまとめた警視庁生活安全局地域課(2016)によると、国内の登山事故の要因は「滑落」、「転倒」といった事故が全体の33%を占めており、それらの原因は筋力や体力不足、日頃のトレーニング不足であるとされている(山本, 2016)。また、登山事故の年齢層は、60歳代が突出していることも明らかとなった(警視庁生活安全局地域課, 2016)。

上記の登山事故の次に多いものが「病気(高山病や心疾患など)」、「疲労」で全体の15%であった(警視庁生活安全局地域課, 2016)。中でも、登山医学会山岳診療委員会(2015)が南北アルプスにある山岳診療所(高度1,500m - 3,080m)の受診者情報をまとめた資料によると、総患者数2,617名のうち、急性高山病(acute mountain sickness; 以下「AMS」と略す)の患者数は684名であり、総患者数の26.1%を占めていたとされる。そして、施設の高度とAMSの割合には相関があることも報告されている。さらには、原田ほか(2013)によると、高度3,000mに満たない北アルプス蝶ヶ岳ヒュッテ(高度2,670m)においても肺水腫で死亡した例も報告されている。これらのことから、国内登山においてもAMS発症の危険性があることは明らかにされている。

一方、近年は国内だけにとどまらず、海外の登山やトレッキングに出発する一般登山愛好家も増加している。貫田(2009)が調査・検討したところ、海外の高所ツアー(高度3,800m以上に宿泊)に参加する日本人の数は、年間約5,000人であり、年齢は60 - 70歳の高齢者が多いことを報告している。さらに貫田(2009)は、高齢者特有の高血圧や糖尿病、心臓疾患などの慢性疾患を抱えている状態で、高所登山・トレッキングへ出発している者が多いことも指摘している。

実際に、日本人のヒマラヤでの高所登山・トレッキング中の状況を発表した平松（2008）によると、1996から2005年の間に、21名がAMS関連で死亡したと報告している。また、平松（2008）によると、ネパールでの登山者・トレッカーの死亡頻度は、登山者で2,080/100,000、トレッカーで18/100,000としている。さらに、キリマンジャロでは、年間700 - 1,000人の日本人登山者が訪れており、2003年7月から2006年6月の3年間で3名が死亡したと報告している（井上、2010）。

上記のように国内外でも中高年登山者が多い日本であるが、国内登山者の実態や国内登山中の事故に関しては情報がまとめられている（警察庁生活安全局地域課、2016）のに対し、海外登山者・トレッカーの実態や海外登山中の事故に関しては、上記のような一部の情報しかないのが現状である。

(2) 登山の性質

登山は歩く運動の一種だが、荷物を背負って坂道を上り下りする、という特性を持つ。しかもそれを長時間持続するのが特徴である。場合によっては山小屋などに宿泊をしながら、何日間にもかけて行うこともある。

運動強度に着目すると、平地での早歩きは運動強度は4 Metsだが、登山の場合、ハイキングで6 Mets、無雪期の登山で7 Mets、積雪期の登山では8 Metsの運動とされる（山本、2016）。これらはそれぞれ、ジョギングおよびランニングに相当する運動である。

つまり登山とは、健康のために日常生活の中で行われている平地でのウォーキング（早歩き）と比べると、運動強度が高いうえに運動時間は極めて長く、負担の大きな運動といえる。

さらに、高所登山・トレッキングではこのような運動を低酸素環境下で行うことになるので、負担はより大きくなる（次節参照）。

(3) 高所の性質

高所環境では、海面レベル（低地）よりも気圧が低減する。例えば、低地の気圧を760 mmHgとすると、高度2,000 mでは595 mmHg、高度4,000 mでは462 mmHgとなる。それに伴い、酸素分圧も低下する。低地の酸素分圧を150 mmHgとすると、高度2,000 mでは124 mmHg、高度4,000 mでは97 mmHgとなり、高度4,000 mでの酸素分圧は低地の約69%となる。

酸素分圧が低下すると、体内も低酸素状態（hypoxia；以下「ハイポキシア」とする）となる。そしてその様子は、パルスオキシメーターを用いて動脈血酸素飽和度（SpO₂）を測定することで把握することができる。低地の医療では90%以下になると在宅酸素療法が適用される（佐久間・栗山、1995）、労働衛生の基準では93%以下は酸素欠乏症とされる（中央労働災害防止協会、2013）、などの目安が示されている。また、低地では運動や睡眠を行っても、SpO₂が90%を下回ることはほとんどない（Wilber et al., 2008；山下・山本、2013）。しかし高所では、その高度に応じて安静状態であってもSpO₂は低下する。

富士登山中の SpO₂ を測定した笹子・山本 (2010, 2011) によると、高度約 2,500 m の富士山 5 合目での SpO₂ は 90% であったのに対し、高度約 3,700 m の富士山頂での SpO₂ は 79% であったとされる。さらに、海外のトレッキングや登山中の日本人を対象に SpO₂ を測定した新井・増山 (1999) の研究によると、ヒマラヤのエベレスト街道トレッキング中の SpO₂ は高度 2,800 m で 92%、3,500 m で 86%、3,900 m で 84%、4,400 m で 78%、4,700 m で 80%、5,300 m で 77% であり、キリマンジャロ登山中では高度 1,800 m で 93%、2,700 m で 91%、3,700 m で 84%、4,700 m で 75% であったとされる。このように、高所では安静中にも関わらず、SpO₂ は 90% を下回る場合が多いことがわかる。

また、同じ高度であっても、運動を行うことで安静時よりも SpO₂ は低下する。常圧低酸素室内で安静状態から徐々に運動強度を上昇させながら生理応答を測定した奥島ほか (2012) によると、高度 0 m での SpO₂ の値は運動強度が上昇しても 95% 程度までしか低下しなかったのに対し、高度 1,500 m では安静時に約 97% だった SpO₂ は運動強度の上昇とともに低下し、175 Watt での運動時は約 94% とされる。そして高度 3,500 m では安静時で約 88% であり、175 Watt での運動時では約 80% にまで低下したと報告した。

先行研究によると、同一強度での運動であれば高度に関わらず酸素摂取量 (VO₂) は一定だが、換気量 (VE)、心拍数 (HR)、血中乳酸濃度 (La) などは上昇し、主観的運動強度 (RPE) も上昇するとされている (星川・宮下, 1996)。しかし、上記のように、高度が上昇すると SpO₂ が低下し、身体への負荷が高まることで最大酸素摂取量 (VO_{2max}) が低下するため、絶対強度が同じ運動であっても相対強度が高くなる。例えば、低地の VO_{2max} を 100% とすると、高度 2,000 m では約 90%、4,000 m では約 80%、6,000 m では約 50% にまで低下する (Cymerman, 1989)。これらのことより、高所では滞在する高度だけでなく、運動の強度にも留意することが必要である。

また、高所環境での睡眠時の SpO₂ は、安静時や運動時よりも低下する。森・山本 (2014) によると、高度 3,500 m での SpO₂ は安静時で 83.4%、7 Mets の運動時で 79.4% であったのに対し、睡眠時は 75.4% であったとされる。睡眠時の SpO₂ が安静時・運動時よりも低下する原因は、呼吸数の減少や、呼吸が浅くなるためだといわれる (Block et al., 1979; 山地ほか, 2008)。

さらに、SpO₂ の変化には個人差が大きいこともあげられる。森ほか (2012) が、高所環境で AMS を発症しやすい被検者 3 名の高度 3,000 m での安静時、運動時、仮眠時の SpO₂ を測定したところ、安静時には 3 名中 2 名が基準値よりも低下したのに対し、運動時と仮眠時には、全員が基準値よりも低かったと報告している。また、森ほか (2012) は、個人差に関しては、高度が高くなればなるほど、大きくなると報告している。

(4) 急性高山病

高度が上昇すると急性高山病 (AMS) の発症が見られるようになる。AMS とは頭痛に加えて消化器症状 (食欲不振、吐き気、嘔吐)、倦怠感または虚脱感、めまいまたは朦朧感、睡眠障害のような症状を示すもので、表 1

のような急性高山病スコアが国際的な合意の元に作成されている (Roach et al., 1993) . 頭痛に加えて他の症状の合計が3点以上, もしくは頭痛の有無に関わらず合計が4点以上で AMS とされる。

表1. 急性高山病スコア(Lake Louise Score)

(Roach et al.「Hypoxia and Molecular Medicine」)

頭痛	0 なし 1 軽い頭痛 2 中程度の頭痛 3 強い頭痛、耐え難い
消化器症状	0 なし 1 食欲低下、吐き気 2 中程度の吐き気、嘔吐 3 強い吐き気と嘔吐、耐え難い
倦怠感/ 脱力感	0 なし 1 倦怠感/脱力感 2 中程度の倦怠感/脱力感 3 強い倦怠感/脱力感、耐え難い
めまい/ ふらつき	0 なし 1 軽度のめまい 2 中程度のめまい 3 強い、耐え難いめまい
睡眠障害	0 いつもどおり眠れた 1 いつもどおりには眠れなかった 2 何回も目覚めてよく眠れなかった 3 全く眠れなかった

AMS の主症状は頭痛であるが, その原因は, 人体が低酸素状態に曝されると, 脳への酸素供給量を増加させるために脳血流量が増加し, 脳圧が上昇するためであると言われている (Otis et al., 1989 ; Basnyat and Murdoch, 2003) .

また, 高所では肺胞内の酸素分圧が低下することにより, 肺血管が収縮し, 肺動脈圧が上昇する (Basnyat and Murdoch, 2003) . さらに, 運動中は活動筋の増加に伴い, 血流量を増加させるために肺動脈圧は安静時よりも高くなる. Kashimura and Sakai (1992) が実験室内でラットに対して行なった研究によると, 低地 (高度 610 m) において 10 m/min での歩行時の平均肺動脈圧は 18 mmHg であったのに対し, 高度 2,500 m では 22 mmHg, 高度 5,500 m では 24 mmHg であったと報告している. この肺動脈圧の上昇が急激な場合, 重篤な高山病である肺水腫を発症する危険性がある (Hohenhaus et al., 1995) とされている.

AMS の起こりやすさについて, 急激な高度の上昇 (Luks et al., 2014) , 高度の上昇時に激しい運動をともなう場合 (Ward et al., 2000) , 高い高度で睡眠をとった場合 (Luks et al., 2014) , などに起こりやすいとしている. また Hultgren (1997) は, AMS と性別の関係を見ると, 睡眠中の肺水腫に関しては女性よりも男性の方が発症リスクは高いが, 睡眠時以外では男女差は見られないと報告している. AMS と年齢に関しても, Tang et al. (2014) によると年齢が高い方が AMS の発症が多かったとする報告がある一方で, Mc Devitt et al. (2014) のように, 若い人の方が AMS の発症が多かったとする報告があり, 一致した関係性は見られない. さらに, 低地での体力の有無との関係性もないとされる (Ward et al., 2000)

つまり、AMSは高所に出かける人にとっては、誰にでも起こりうる可能性がある。これが起きた場合、ゆっくり行動をしたり、停滞もしくは高度を下げることで症状は治まるとされる（Hackett et al., 1976 ; Luks et al., 2014）。しかし適正に対処せずに行動を継続した場合などには、重症化して肺水腫や脳浮腫を引き起こす場合もあり、致命傷になることがある。

高度の上昇に伴うSpO₂の低下は連続的なものであるが、登山医学の分野では、AMSとの関連に着目して、目安として次のような高度の分類がなされている。Hultgren（1997）は、1,500 - 2,440 mまでを準高所、2,440 - 4,270 mまでを高所、4,270 - 5,490 mまでを高高所、5,490 - 8,848 mを超高所としている。Berghold（1998）は、1,500 - 2,500 mまでを中高所、2,500 - 5,300 mまでを高高所、5,300 - 8,848 mを超高所としている。Murdoch and Pollard（1997）は1,500 - 2,500 mまでを準高所、2,500 - 3,500 mまでを高所、3,500 - 5,800 mまでを高高所、5,800 m以上を超高所としている。研究者によって多少の違いはあるが、山本（2016）はそれらを総括して高所を表2のように分類している。

表2. 高度の分類と体内に及ぼす影響
（山本正嘉「登山の運動生理学とトレーニング学」）

高度の分類	高度	体内に及ぼす影響
超高所	5800m以上	高峰に登る登山者だけが訪れる高度。この高度に完全に順応することはできず、滞在すれば高所衰退が起こる。高高所での順応がうまくいった人だけがこの領域に到達できるので、高山病の発症はむしろ少ない。しかしこのような人でも、急激に高度を上げたり激しい運動をしたりすると、肺水腫や脳浮腫など重症の高山病を起こす場合もある。
高高所	3500～5800m	ヒマラヤやアンデスなど登山者やトレkkerがよく訪れる高度。安静時のSpO ₂ は90%を切る。登山の場合はこの高度にベースキャンプを置き、数週間にわたり滞在する。この高度に行く場合、徐々に身体を順応させていかないと非常に危険である。
高所	2500～3500m	下界からこの高度まで一日で上がると、高山病はしばしば起こる。多くの登山者や旅行者が訪れる高度でもあり、高山病の発症は目立って多い。肺水腫やそれによる死亡事故も起こる。高山病の程度は、日中に到達した最高高度ではなく、睡眠時の高度の影響を大きく受ける。
準高所	1500～2500m	安静時のSpO ₂ は90%を切らない。普通の人であれば、この高度では目立った高山病は現れない。しかし呼吸循環系に障害のある人や、普通の人でも体調が悪い時（風邪など）には発症することもある。2000mを少し超える高度で肺水腫が起こった例もある。
低地	1500m以下	普通の人には高所の影響は現れない

表2を見ると、2,500 - 3,500 mが典型的な「高所」とされている。この領域ではAMSをはじめとした高所の影響が目立って現れる。国内でもこの高度に該当する山は、多くある。また、3,500 - 5,800 mは「高高所」とされている。この領域では、慎重に高所順応を進めていかなければ非常に危険とされている。日本では唯一、富士山の山頂付近がこの領域に該当するが、海外の高所ではこのような高度は多数存在する。海外の高所登山・トレッキングツアーを計画している国内のツアー会社によると、キリマンジャロ（高度5,895 m）、カラパタール（高度5,545 m）、モンブラン（高度4,800 m）、キナバル（高度4,095 m）、シャンボチェ（高度3,800 m）などがこの領域に該当し、多くの日本人一般登山者が出発しているとされる。

Luks et al.（2014）は、安全性をできるだけ確保しながら高所での登山を行うための指針を示している。それによると①標高2,500 - 3,000 m以上では、前日より300 - 500 m以上高度を上げてはならない。②2 - 4日

間の高度上昇の後には、2晩は同じ高度に滞在すること。③遠征ルートの高キャンプ間の高度差は1,000 m以下にすること、を推奨している。また山本 (2016) は、表2を用いて、高度を上げる際には1日目は準高所、2日目は高所、3日目に高高所というように、高所の分類表で1段階ずつ宿泊高度を上げていくことを推奨している。

しかし、「高所」に該当される国内の登山であっても、上記の指針通りに行われていない、もしくは山小屋などがなくて、できない場合もある。それは海外の高所登山・トレッキングでも同様で、行程上の問題でやむを得ず上記の指針を逸脱した行動が行われることもある。

なお、著者の携わる低酸素トレーニング施設を訪れる登山者100名(年齢 56 ± 16 歳、登山歴 11 ± 10 年、目的地の高度 $5,109 \pm 797$ m)に「高所は何 m くらいからだと思えますか?」という質問をしたところ、平均で3,200 m (最小2,500 m - 最高4,000 m) という答えであった(未発表資料)。この回答結果から、一般登山者が認識している高所の概念は、医学的に見て注意すべき高度を過小に評価していることが窺える。そのため、この高度で行動する際に高山病対策が乏しいことが考えられ、前記でも記述したように、国内登山であってもAMS症状で診療所を訪れる人が多い要因となっている可能性がある。

(5) 登山・トレッキングの行程とAMS

AMSは前記のように、急激な上昇を避ける、激しい運動を避ける、その日に到達した最高高度での宿泊を避ける、などの対策により防止が可能である。しかし現状を見ると、高所の性質に関する知識の欠如により、この対策が行われていないケースは多い。またこのような知識を有しており、対策を行いたくても、登山やトレッキングの行程上、行うことが難しいケースも少なくない。

たとえば富士山では、海面レベルから高高所である山頂まで、夜行日帰りで行復するという方法が昔から多く行われてきた。このやり方は、準高所と高所に宿泊することなく、低地から1日で高高所に達するため、身体には非常に大きなストレスを与えることになる。笹子・山本 (2010, 2011) によれば、高度2,400 mの富士山5合目を出発し、3,776 mの山頂に1日で登山をした場合、半数以上はAMSの症状を示していたと報告している。また図3は、日本人に人気の高い、いくつかの海外登山・トレッキングの初期行程を示したものである

(山本, 2016)。前記のLuks et al. (2014) や山本 (2016) の推奨基準と比較すると、登山開始初日の宿泊高度が高かったり、1日の高度上昇量が大きかったりするなど、基準通りではない行程となっており、高所に順応するための望ましいステップから見て大きな乖離がある。また、高い場所まで乗り物で移動することができる例をみると、高度500 mから飛行機で一気に3,700 mの都市に着く行程(ボリビアのラパス空港からウユニ塩湖に行くコース)や、高度2,650 mの都市から車で高度4,260 mまで移動し、1-2日滞在した後に高度5,699 mの山頂を目指す(メキシコのオリサバ山)など、かなり無理な行程もあることが窺える。

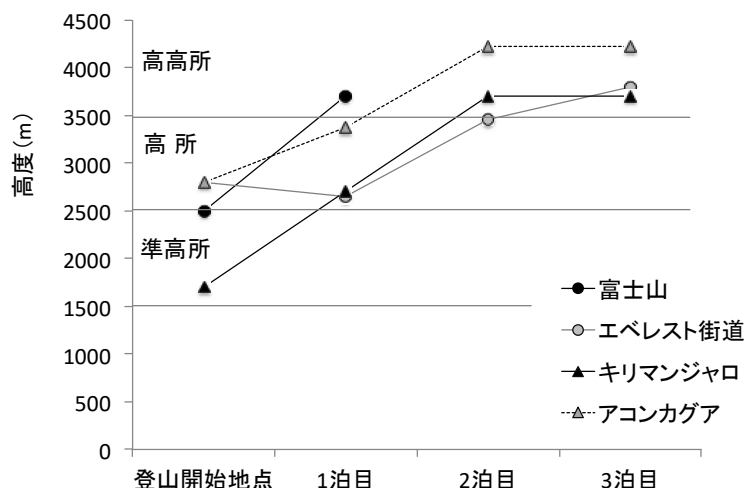


図3. 高所登山・トレッキング時の初期の高度上昇パターン

(山本正嘉「登山の運動生理学とトレーニング学」)

そこで、現地での行程と SpO₂ に関する先行研究を見ると、ネパールトレッキングでの高度 4,200 m での SpO₂ は 86 - 89 % (新井・増山, 1999) , キリマンジャロ登山での高度 4,700 m での SpO₂ は約 79 % (新井・増山, 1999 ; Davies et al., 2009) , メキシコ最高峰のオリサバ登山にて、高度 2,650 m から乗り物で一気に高度 4,260 m まで上昇した際の SpO₂ は 74 - 94 % (Wagner et al., 2012) とされ、同じくらいの高度であっても、SpO₂ には差があることがわかる。つまり、SpO₂ の低下の様相は単純な高度によるものだけでなく、そこに到達するまでの行程に影響を受けている可能性もある。しかし、日本人一般登山者を対象として、海外の高所登山・トレッキング時の SpO₂ の推移を見た研究は、前述の新井・増山 (1999) の研究の他には野口 (1994) の研究と井上 (2014) の研究があるのみで、登山行程による違いなど、詳細な分析を行った研究は見当たらない。

(6) 高所での登山・トレッキングの失敗の状況、事故の様相

前記のように、高所での登山の現状を見ると、医学的・生理学的に見て無理な行程がなされている場合も少なくない。その結果、AMS をはじめとする体調不良によって目的の山に登れなかったり、重症高山病や突然死などによる事故も起こっている。

登頂率についての先行研究を見てみると、富士山での登頂率は 87 - 92 % (山本, 2013 ; フジヤマ NAVI, 2014) であり、下山した理由の半数が AMS とそれに類似した症状であったと報告されている (山本, 2013) 。また、キリマンジャロの登頂率は 51 - 61 % であると言われている (Davies et al., 2009 ; Kayser et al., 2008) 。

また、高山病発症率に関する先行研究を見てみると、ヒマラヤトレッキング中の高度 3,700 m では 22 % である (McDevitt et al., 2014) のに対し、キリマンジャロ登山中の高度 3,700 m では 30 % であるとされる (Karinen et al., 2008) 。さらにキリマンジャロでは、山頂 (高度 5,895 m) に到達した者でも 75 % は AMS を発症している

との報告もある (Karinen et al., 2008) . また, 富士山においては, 登山者の半数以上が AMS を発症していたと報告されている (笹子・山本, 2010, 2011 ; 関ほか, 2007) .

(7) 高所順応

人は高所環境へ曝露されると, 身体はその環境に適応しようとする (Fulco, 1988 ; Fulco et al., 2000 ; Ward et al., 2000 ; Muza et al., 2010) . Muza et al. (2010) は, 高度 4,300 m の高地へ乗り物で移動した際の身体の反応を継続的に研究したところ, 曝露した直後に動脈血酸素飽和度 (SaO₂) の低下, HR の上昇, 身体能力の低下, 認知能力の低下, AMS の上昇が起こり, 日数の経過とともにそれぞれの指標が改善するとした. その順序は, 認知能力の向上, HR の低下, SaO₂ の上昇, AMS の改善, 身体能力の向上としている.

また, 増山 (1996) は, 環境の変化に対して身体が適応していく過程を, それに要する日数や期間によって用語を変えている. それによると, 高所環境に曝露された直後から数時間以内で起こる HR の増加や換気量の増加などの急性反応を「反応」とし, 数日から数ヶ月程度の期間で起こる HR の低下や換気量の低下, ヘモグロビンの増加や毛細血管の増加などを「順応 (acclimatization) 」, 数年から数世代の期間で起こる HVR の改善や肺血管収縮の改善などを「順化 (acclimation) 」としている. その上で, 高所登山・トレッキング中の AMS を防止するためには, それに要する日数を考えると, 高所順応を獲得することが重要なことだとされる.

(8) 高山病防止のための対策

高山病を防止するために, 登山者は古くから低酸素に対する対策を経験的に編み出してきた. 山本 (2000, 2002) は, 高所での登山を行う人を対象として, 高所に対する順応対策を尋ねている. 以下はそれらの報告と, 先行研究で行われている結果を合わせ, 高山病防止のための対策を①行動パターン, ②事前順応トレーニング, ③行動適応 (意識呼吸など) , ④AMS の早期発見となる指標, に分けて紹介する.

①行動パターン

高所登山を行う場合, AMS を防止するために 1 日あたりの高度上昇量を小さくすることや, 睡眠時の高度をその日到達した最高高度よりも下げることなどが推奨されている. この方法の元になったのは, 古くから行われている「極地法」と呼ばれ, 1880 年代後半から 1890 年代前半にかけて北極や南極などの極地探検で用いられた方法である. 1953 年に世界最高峰のエベレスト (8,848 m) に人類が最初に登頂した際にも極地法が用いられた. これは, いくつものキャンプ地に装備を上げる際に, 一度に荷上げすることが難しかったために, 何度かに分ける必要があったことも影響している.

また, 近年では準高所に該当する高度で滞在する「Staging」が高所順応のためには有効であり, それらをまとめると, 4 日間またはそれ以上の順高所での滞在 (Staging) を行い, その後に高所へ移動すると, 滞在

(Staging) しない場合と比較して、AMS が 25 - 85 % 減少したとされる (Hansen et al., 1967; Stamper et al., 1980; Beidleman et al., 2009; Muza et al., 2000) .

上記の極地法では長期間の日数がかかるが、高所での長期間の滞在は、順応を促進する一方で、アスリートにとってのオーバートレーニングに相当する、高所衰退を招く可能性も指摘される (Singh et al., 1969 ; 酒井, 1984) .

②事前順応トレーニング

目的とする高所登山・トレッキングへ出発する前に、予め高所に身体を曝露させ、低酸素環境に順応させる方法は「事前順応トレーニング」と呼ばれている。

・自然の高所を活用した事前順応トレーニング

高所登山・トレッキングを行う際、AMS を防止するために、現地での滞在時間を増やして順応を促す方法の他に、目的とする山よりも低い山に登ることで事前順応を獲得する方法がある。

Bernardi et al. (2017) の先行研究によると、高度 4,559 m に登山をする際、高度 3,647 m で事前に宿泊を行なった方が、行っていないグループよりも、高度 4,559 m での SpO₂ が高かったと報告している。

海外の高所登山・トレッキングに出発する前に、国内で最も高い富士山 (3,776 m) で事前順応トレーニングを行うことも効果があるといわれている。山本 (1997) は、富士登山を 2 日間連続で行った前後で、高度 4,000 m に設定した低圧低酸素室内で SpO₂ と HR の変化を測定すると、登山後には登山前よりも SpO₂ の上昇と HR の低下が見られたと報告している。また、1 泊 2 日の富士登山後にも、登山前より高度 4,000 m での SpO₂ の上昇と HR の低下が見られたと報告している (山本ほか, 2008) . さらに、富士山頂の測候所に 1 週間以上滞在している人は、その日に下界から登ってきた人に比べて、測候所での睡眠時の SpO₂ が著しく高かったという報告 (森ほか, 2016) もある。

また、富士山より低い山でも順応の効果はあるとされている。山本ほか (2000) によると、立山の 2,470 m 地点で 4 泊 5 日滞在した前後において、高度 4,000 m での SpO₂ を測定したところ、滞在後の SpO₂ が滞在前よりも上昇していたことから、目的地よりも低い高度でも高所順応を獲得できる可能性があるとしている。

このように、富士山を始め、国内の自然の高所環境を活用した事前順応トレーニングは一定の成果は上げてきたが、冬季の富士登山は危険を伴うため一般登山者にはトレーニング環境として適さなかったり、高度 3,000 m 級の日本アルプスに登山をするのにも何日間もかかったりするなど、容易に自然の高所環境を訪れることができない現状もある。また、海外の高所を目指すには、富士山では高度が満たないことも考えられる。

・人工の低酸素室 (低圧/常圧) を用いた事前順応トレーニング

自然の高所環境を事前順応トレーニングとする場合、上記のような問題点がある。そこで、人工的に作った低酸素室を用いて高所順応トレーニングを行うという発想が生まれた。表 3-a, b には、人工の低酸素室を用いて事前順応トレーニングを行なった先行研究をまとめた。

まず 1980 年代に用いられたものは、気圧をコントロールすることで低酸素状態を作り出す、低圧低酸素室であった。海外では 1989 年に低圧低酸素室を用いた実験登山が行われた。「Everest Turbo」と呼ばれる実験で、高度 4,800 m のヨーロッパアルプスのモンブラン頂上に 7 日間の滞在を行い、その後、高度 6,000 m, 7,000 m, 8,000 m, 8,500 m に設定した低圧低酸素室に曝露させ、エベレスト登山を行わせたというものである (Richalet et al., 1992)。

近年では、Ricart et al. (2000) の研究において、高度 5,000 m に設定した低圧低酸素室に 1 日あたり 2 時間滞在し、これを 14 日間行うことで、事前順応が獲得できるかを検討している。それによると、トレーニング後に高度 5,000 m で測定された運動中の SaO₂ がトレーニング前よりも上昇し、事前順応の効果があつたと報告している。また、SaO₂ が上昇した要因は換気量と一回換気量の増加によるものだったとしている。

国内では、1980 年にデナリ (6,190 m) に登山を行う前に名古屋大学環境医学研究所内に設置された低圧低酸素室において、事前順応トレーニングを行なった島岡ほか (1983) の実験登山が最初の試みである。その後、島岡らは海外の高所登山を行う際には、低圧低酸素トレーニングを行なっている (島岡, 1982)。

また、浅野・岡崎 (1999) が行った先行研究では、高度 4,000 - 7,000 m 相当に設定した低圧低酸素室を用い、1 週間に 1 度、30 分間の自転車ペダリング運動を合計 11 回行わせたところ、トレーニング後に高度 4,000 m 相当で測定した SpO₂ がトレーニング前よりも上昇し、HR は低下を示したと報告している。このように低圧低酸素室で行うトレーニングは、高所順応への有効性を示したが、設置・運用コストが高価であったり、出入りが容易ではなかったりするため、一般登山者まで普及することはなかった。

しかし、1990 年代に入ると、フィンランドで常圧のまま室内を低酸素状態にする、常圧低酸素室が開発された (Rusko, 1996)。そして、常圧低酸素室を用いた高所順応に関する研究も多く行われるようになった。中でも前川・山本 (2001) や山本ほか (2001)、烏賀陽・山本 (2002, 2003, 2004, 2005) は、一般登山者が行いやすいプログラムを検討し、その方法による高所順応の効果について検証している。その結果、①トレーニング高度は 2,000 m でも効果が生じる場合がある (前川・山本, 2001)、②トレーニング時間は 1 日に 1 時間でも効果が生じる場合がある (烏賀陽・山本, 2002, 2003)、③トレーニング期間は 4 日間でも効果が生じる場合がある (前川・山本, 2001)、④トレーニング様態としては運動、安静、睡眠の 3 つを組み合わせてもよい (山本ほか, 2001 ; 烏賀陽・山本, 2004) が、2 つ (烏賀陽・山本, 2002, 2003) あるいは単独 (前川・山本, 2001 ; 烏賀陽・山本, 2005) でも効果が生じる場合がある、としている。上記の研究では、低酸素トレーニングの前後に高度 4,000 m での SpO₂ を測定しているが、すべての研究において、トレーニング後に SpO₂ が増加したと報告されている。

また、山下・山本 (2013) によると、高度 2,500 m の常圧低酸素室において 1 日 8 時間の低酸素トレーニング

を行なった結果、トレーニング後に低酸素換気感受性（HVR）が増加したことを報告している。低酸素トレーニング後のHVRの増加は、他の先行研究（Benoit et al., 1992； Katayama et al., 2007）でも報告されていることから、低酸素トレーニングでは、高所順化の初期応答であるHVRの増加に伴う、SpO₂の増加が期待できると考えられる。

現在では常圧低酸素室は低圧低酸素室と比較して、設置・運用コストが安価なこと、出入りが容易で安全性が高いことなどから、一般登山者にも普及しつつある。しかし、年齢や登山経験、目的地の高度、目的地までの到達日数など、多種多様な一般登山者の需要に応えられるような低酸素トレーニングのプログラム開発が追いついていないのが現状である。

表3-a. 人工の低酸素室を用いた事前順応トレーニングに関する先行研究

(SpO₂, SaO₂: 動脈血酸素飽和度, HR: 心拍数, RPE: 主観的運動強度, HVR: 低酸素換気感受性, VE: 換気量, VEmax: 最大換気量, VT: 一回換気量, VO₂: 酸素摂取量, VO_{2max}: 最大酸素摂取量, La: 血中乳酸濃度, Lamax: 最高血中乳酸濃度, RBC: 赤血球, Hb: ヘモグロビン, Ht: ヘマトクリット)

著者	発表年	対象者	n(うち対照群)	低酸素トレーニングの環境・内容			トレーニング効果の測定環境・効果			
				環境	高度	期間	トレーニング内容	環境	高度	生理応答の変化
Benoit et al.	1992	健康者	18(9)	常圧低酸素吸入	4500-5700m	3週間	自転車運動2時間	常圧低酸素吸入	5400m	HVR ↑
Richalet et al.	1992	エリート登山家	5	自然高所 低圧低酸素室	4350-4807m 5000-8500m	7日間 4日間	居住	低圧低酸素室	4700m	Hb ↑, SaO ₂ (最大下運動) ↑
Rodriguez et al.	1999	登山家	17	低圧低酸素室	4000-5500m	9日間	安静3-5時間(+自転車運動)	低地	0m	運動持続時間 ↑, VEmax ↑, La ↓, RBC ↑, Hb ↑, Ht ↑
増山	2000	登山家	5	常圧低酸素室	2000-5000m	6日間(3名は3日間)	安静、運動(自転車運動)、睡眠	登山	6190m	測定項目なし、登頂成功
Ricart et al.	2000	健康者	9	低圧低酸素室	5000m	14日間	安静+30%VO _{2max} 強度での自転車運動	低圧低酸素環境	5000m	SaO ₂ (運動時) ↑, VE (運動時) ↑, VT (運動時) ↑
前川・山本	2001	大学生	7	常圧低酸素室	2000m	5日間	睡眠7時間	常圧低酸素室	4000m	VO _{2max} ↑, Lamax ↑, VE ↑, VT (VO _{2max} 出現時) ↑, SpO ₂ (最大下運動時) ↑
山本ほか	2001	登山家	14	常圧低酸素室	2000-6000m	4日間-8日間	安静+運動+睡眠	常圧低酸素室	4000m	7日間以上の低酸素室曝露群でSpO ₂ ↑
Katayama et al.	2001	健康者	6	低圧低酸素室	4500m	7日間	安静1時間	低圧低酸素室	4500m	HVR ↑, VE/VO ₂ ↑, SaO ₂ (最大下運動時) ↑
烏賀陽・山本	2002	成人男性	6	常圧低酸素室	4000m	7日間	安静30分+自転車運動30分	常圧低酸素室	4000m	HR ↓, SpO ₂ ↑, RPE ↓
烏賀陽・山本	2003	登山家	17(8)	常圧低酸素室	4000m	7日間	安静30分+自転車運動30分	常圧低酸素室	4000m	SpO ₂ ↑, RPE (トレーニング期間中) ↓,

表3-b. 人工の低酸素室を用いた事前順応トレネニングに関する先行研究

(SpO₂, SaO₂: 動脈血酸素飽和度, SpO₂CV: 動脈血酸素飽和度の変動係数, HR: 心拍数, RPE: 主観的運動強度, HVR: 低酸素換気感受性, VO₂: 酸素摂取量, Hb: ヘモグロビン, MCH: 平均赤血球ヘモグロビン量, MCHC: 平均赤血球ヘモグロビン濃度, PetCO₂: 終末呼気二酸化炭素濃度)

著者	発表年	対象者	n(うち対照群)	低酸素トレネニングの環境・内容			トレネニング効果の測定環境・効果			
				環境	高度	期間	トレネニング内容	環境	高度	生理応答の変化
烏賀陽・山本	2004	登山家	5	常圧低酸素室	4000-6000m 3000-4000m	7日間	安静および運動 合計4-8時間 睡眠7-10時間	常圧低酸素室	4000m	Hb↑、MCH↑、MCHC↑、SpO ₂ ↑、 SpO ₂ CV(トレネニング期間中)↓
Beidleman et al.	2004	健常者	6	低圧低酸素室	4300m	15日間	78-80%HRmaxでの自転車運動	低圧低酸素環境	4300m	PetCO ₂ ↓、AMSスコア↓、SaO ₂ ↑
烏賀陽・山本	2005	登山家	8	常圧低酸素室	3000-4000m	7日間	睡眠	常圧低酸素室	4000m	SpO ₂ ↑、RPE↓
Foster et al.	2005	健常者	18	低酸素空気吸入	4500m	12日間	安静	常圧低酸素吸入	4500m	SaO ₂ ↑
柴田ほか	2006	健常者	7	低酸素空気吸入	5600m	14日間	間欠的低酸素吸入1.5-2時間	常圧低酸素室	4000m	SpO ₂ ↑、RPE↓
Katayama et al.	2007	陸上競技者	18(6)	常圧低酸素室	2500m 4500m	7日間	安静	常圧低酸素室	2500m	HVR(4500m%でのトレネニング群)↑
Fu et al.	2007	アスリート	22(12)	低圧低酸素室	4000-5500m	20日間	安静	低圧低酸素室	4000-5500m	変化なし
Jones et al.	2008	低地居住者	16(6)	常圧低酸素室	4400m 3100m	7日間	安静2時間 自転車運動1時間	低圧低酸素室	4300m	SaO ₂ (安静時)↑、HR↓、SaO ₂ (睡眠時)↑
Fulco et al.	2011	低地居住者	23(9)	常圧低酸素室	2200-3100m	7日間	睡眠7.5時間	自然高所	4300m	PetCO ₂ (安静時)↓、SaO ₂ (睡眠時)↑、AMSスコア(起床時)↓
Staab et al.	2013	軍人と成人	9(18)	低圧低酸素室	2200m	3日間	安静と運動	自然高所	4300m	AMSスコア↓、PetCO ₂ ↓、VO ₂ (安静時)↓、SaO ₂ ↑
山下・山本	2013	軍人と成人	9(18)	低圧低酸素室	2200m	3日間	安静と運動	自然高所	4300m	AMSスコア↓、PetCO ₂ ↓、VO ₂ (安静時)↓、SaO ₂ ↑

③行動適応

低酸素環境では、意識的に呼吸を行うことにより、SpO₂の増加やHRの減少が報告されており、AMSの予防や改善に有効であるとされている（山本・國分，2003；山本・岸本，2008；大澤ほか，2009）。意識的に呼吸を行い、換気量を増加させることで二酸化炭素の排出量を増やし、酸素をより多く取り込むとともに、肺胞内の酸素分圧を上昇させることでSpO₂を上昇させることができるためである（Mueller et al., 1970）。

呼吸を変化させた際のSpO₂の変化をみた大澤ほか（2009）の先行研究によると、高度4,000 mの常圧低酸素室内で1分間に60 - 70回の早い呼吸を行うと、通常呼吸よりもSpO₂が約13 point増加したと報告している。また、山本・國分（2003）によると、高度4,000 mの常圧低酸素室内で1分間に6回の腹式呼吸を行うと、通常呼吸よりもSpO₂が約15 point増加し、その要因は一回換気量の増加によるものだと報告している。

さらに、Saul et al.（2002）は、1日の高度上昇量が大きく、HVRの増加などによる高所順応を期待できない場合、SpO₂を上げるための意識呼吸を行う行動適応が重要だと報告している。一般の高所登山者・トレkkerが多く訪れる富士山やキリマンジャロでは、前記のように行程上、急激な高度上昇を行うことを余儀なくされるが、このような場合には特に意識呼吸の習得が重要であるといえることができる。

④高山病の早期発見の指標

高所登山・トレッキングを行っている際に高山病を発症してしまうと、目的地に到達できなかつたり、事故につながったりする危険性がある。そのため、実際の高地に出発する前に高山病のリスクを調べるための研究も多く行われている。

Burtscher et al.（2004）によると、2,000 - 4,500 mに設定した低圧低酸素室を用いて、AMS経験者63名と未経験者87名の対象者に安静と運動を行わせ、その際のSpO₂を測定したところ、AMS経験者は未経験者よりもSpO₂の値がどの高度においても低く、それらには有意な相関があったと報告している。

また、被検者32名のHVRと二酸化炭素換気応答と、高度4,300 mおよび5,200 mでのAMSの関係性を見たMilledge et al.（1991）の先行研究では、それらに関係性はなかったと報告している。

このように、海外では一般登山者を対象とした、AMSのリスクを未然に解明するための試みについては、SpO₂（SaO₂）（Burtscher et al., 2004；Roach et al., 1998；Bartsch et al., 2002）やHVR（Moore et al., 1986；Milledge et al., 1991；Bartsch et al., 2002）などを指標として用いることで検討されているが、一致した見解は得られていないのが現状である。

3. 本研究の目的

(1) 本研究の目的

先行研究でも概観してきたように、高所登山・トレッキングの歴史は古く、経験的にはこれまでも様々な工夫がなされてきた。また高所やAMSに関する生理学的・医学的な研究も古くから行われ、現代では一定の指針も示されている。

しかし、実際の現場において直ちに役立つような知見という意味では、いまだに不十分な点も多い。例えば、日本から海外の高所に出かける人は中高年が多数を占めているといわれるが、彼らの健康や体力の状況については、不明な点が多い。また、現地での行動中に、どの程度の低酸素の負荷がかかっているのかに関する研究も、断片的なものにとどまっている。このため、高所登山やトレッキングの現場では、一般的な登山者のもとより、彼らを指導する立場にある登山リーダーや登山ガイドの間でも、経験中心の判断や行動が行われることが多く、エビデンスに基づいた対策が行われているとはいいがたい。

また、AMSを防止するための最良の対策は、時間をかけて高度を上げることであるとされる。しかし現実的には、行程上やむを得ず急激な高度上昇量を強いられることも少なくない。このような問題への対策として、日本にある自然の高地（特に富士山）や、人工の低酸素室を利用した事前順応トレーニングも行われてきた。しかし、前者については高齢の登山者・トレッカーなどにとっては体力的な問題で難しかったり、冬季には極めて危険性の高い山になってしまうという問題がある。また後者に関しては、実験室レベルでの試みの域にとどまっており、現場への活用は十分とは言えない状況にある。

先行研究の部分でも述べたように、海面レベルでの活動能力と、高所での活動能力とは、独立した関係にある。このことは、低地で行うアセスメントのみでは、高所に対する適性や適応能力を十分に評価することができないことを意味する。同様に、低地でのトレーニングによっては高所順応を身につけることができないとも言える。つまり、高所に出かける人のためには、高所環境を用いた身体のアセスメントやコンディショニングが必要だといえる。

著者らはこのような背景を受けて、従来の低圧低酸素室と比べて安全性が高く、利用が容易で、設置および運用コストの安価な常圧低酸素室を用いて、高所に出かける登山者やトレッカーの身体適性を評価したり、行動適応や生理適応のためのトレーニングの試みを、過去12年にわたり行ってきた。本論文では、これらの試みを整理し、その上で新たな研究も加えて、高所を目指す登山者・トレッカーのための、エビデンスに基づいた身体のアセスメントやコンディショニングの方法論を提示することを目的とするものである。

(2) 本論の構成

本研究の目的を達成するために下記の研究を行い、それらの結果を総括的に論議することで結論を導くこととした。具体的には、研究1では現状の把握（横断的研究）を行うこと。そして、研究2では、研究1の結果に

基づいたアセスメント方法を検討し、一般登山者・トレkkerに実施することでその効果を見る（縦断的研究）こととした。

研究1. 高所に出かける日本人登山者・トレkkerの実態と現地での状況

- 1-1. 高所登山・トレッキングに出かけていく人の実態
- 1-2. 高所登山・トレッキング時に身体にかかる低酸素の負担度

研究2. 高所に出かける前に行う身体のアセスメントとそれに基づくコンディショニング法の検討

- 2-1. 低酸素環境に対する生理応答および行動適応の能力を評価するための常圧低酸素室を用いた「4000mテスト」の開発
- 2-2. 身体のアセスメントの結果に基づいたコンディショニングの事例

(3) 倫理的な配慮

本研究は、鹿屋体育大学倫理審査小委員会の承認を得て実施した（承認番号9-23）。すべての調査および測定において、対象者に対して、本研究の目的、方法、研究に伴う危険性とその対策等について文書および口頭で説明を行い、研究参加の同意を得た。

II. 本論

研究1. 高所に出かける日本人登山者・トレッカーの実態と現地での状況

【研究1-1】高所登山・トレッキングに出かけていく人の実態

1. 研究目的

日本には多くの登山者・トレッキングの愛好家があり、海外の高所へ出かける人も多い。高所での登山やトレッキングを行う際に、注意すべき点のひとつに高山病対策がある。しかし、彼らの多くは高山病やその対処方法に関する知識に乏しく、現地でのトラブルや事故も多く起こっている（貫田，2009）。

著者らはこのような背景を受けて、重篤な高山病を防ぎ、より安全で快適な高所登山が行えることを目的として、標高6,000 m相当の高度まで体験できる、民間のレベルで利用可能な常圧低酸素室を、2005年から運用してきた。そして、高所に出かける人のための簡易な適性検査や、低酸素トレーニングプログラムの開発と提供を行ってきた（許斐ほか，2005；安藤ほか，2008）。

本研究では、このサービスを受けた利用者の身体特性、アンケート調査結果、呼吸機能検査などのデータを整理し、我が国の高所登山者・トレッカーの特性についての資料を提示することを目的とした。

2. 研究方法

(1) 対象者

本研究の対象者は、880名（男性510名、女性370名）であった（表4）。対象者は2009年から2012年にかけて、前記の常圧低酸素室で高所適性の検査や、低酸素に対する順応トレーニングを行うため、著者らの運営する東京都内の施設（MIURABASE CAMP）を訪れた者であった。対象者の93%は高所での登山・トレッキングを目的とする者であったが、乗り物で移動する高所への旅行（青蔵鉄道、インカ遺跡など）を目的とする者も7%

表4. 対象者の身体特性, 登山歴, 目的地の標高

※括弧内は最小値～最大値を示す

	男性(n=510)	女性(n=370)
年齢(歳)	53.0±16.1 (14~83)	52.8±14.2 (22~78)
身長(cm)	169.5±6.1 (152.0~188.0)	156.8±6.2 (139.0~174.5)
体重(kg)	67.0±9.4 (51.0~125.6)	52.9±7.1 (36.0~85.7)
BMI(kg・m ⁻²)	23.4±4.7 (16.5~41.0)	21.6±2.9 (16.1~49.6)
体脂肪率(%)	20.7±4.7 (6.2~35.8)	27.6±5.1 (15.3~40.5)
登山歴(年)	15.5±15.6 (0~56)	9.5±11.3 (0~50)
過去の最高到達高度(m)	4,373±1,237 (平地~8,848)	4,158±1,177 (平地~8,848)
目的地の標高(m)	5,347±964 (2,800~8,848)	5,063±1,035 (2,400~8,848)

含まれていた。

(2) アンケート調査

対象者全員に対して、自記式質問紙によるアンケート調査を行った。質問紙は常圧低酸素室を利用する前に記入させ、直接回収を行なった。調査項目は、登山歴、過去の登山の最高到達高度、日頃の登山頻度および登山形態、目的地の標高、既往歴、障害状況および罹患状況であった。日頃の登山形態、既往歴、障害状況および罹患状況に関しては複数回答を認めた。なお、それぞれ未記入者がいる項目に関しては、記入のある数を総数とした。

(3) 呼吸機能測定

呼吸機能測定は、2010年10月以降に導入した。1) 60歳以上の者、2) 喫煙歴が10年以上の者、3) 呼吸器系疾患（喘息、肺気腫、肺水腫など）の既往歴がある者、のうち1つ以上に当てはまる者を対象とした。対象者数は420名で、本研究の全対象者（n=880）の47%であった。

対象者が常圧低酸素室へ入室する前に、スパイロメータ（Microspiro、日本光電社製）を用いて、肺活量、一秒量、一秒率の測定を行った。測定の精度を高めるため、検者は熟練した者が務めた。測定に際し、対象者は起立姿勢で行なった。鼻からの呼気流出を防ぐため、ノーズクリップを装着させた。測定は各2回ずつ行い、高値を示した方を採用した。肺活量と一秒量については、年齢、身長を2001年日本呼吸器学会推奨の予測式（日本呼吸器学会生理専門委員会、2001）に代入して予測値を算出し、それに対する実測値の割合を算出した。

(4) 対象者のプライバシーへの配慮

本対象者には、アンケート調査及び測定を受ける前に、以下の3項目に該当する場合には、プライバシーの保護に細心の注意を払いつつ、情報を開示・提供することについての同意を得た。1) 高所医学に詳しい医師や専門家から、意見や助言を必要とする場合。2) 高山病予防の発展や身体能力の向上を目的として、学会等で発表する場合。3) 対象者が著者らの施設の提携機関（病院や旅行会社）からの紹介で利用した際に、対象者の安全性確保を目的として利用状況や測定結果を提携機関に報告する場合。なお対象者には、質問紙記入において、上記のこととあわせて、質問紙の記入が強制ではないこと、記述内容によって本人に不利益等は生じないことをあらかじめ口頭で説明し、質問紙の提出をもって調査参加の同意とみなした。

(5) 統計処理

アンケート調査における集計、および測定によって得られた値は、すべて平均値±標準偏差で示した。アンケート調査では単純集計を行い、それぞれの質問項目について割合を求めた。対象者の年齢および登山歴と、目的とする山の標高との関係については、Pearsonの積率相関分析を用いて分析した。また対象者の登山頻度と目的とする山の標高との関係は、Spearmanの順位相関分析を用いて分析した。有意水準はすべて5%未満とした。統

計ソフトは SPSS (SPSS statistics20,IBM) を使用した。

3. 結果

(1) 身体特性

表4は対象者の身体特性を示したものである。平均年齢は、男性が 53.0 ± 16.1 歳、女性が 52.8 ± 14.2 歳であった。BMIは、男性が 23.4 ± 4.7 、女性が 21.6 ± 2.9 であった。体脂肪率はそれぞれ $20.7 \pm 4.7\%$ 、 $27.6 \pm 5.1\%$ であった。

図4は対象者の年齢構成を示したものである。60歳代が最も多く、40歳以上の中高年者は全対象者の78%であった。

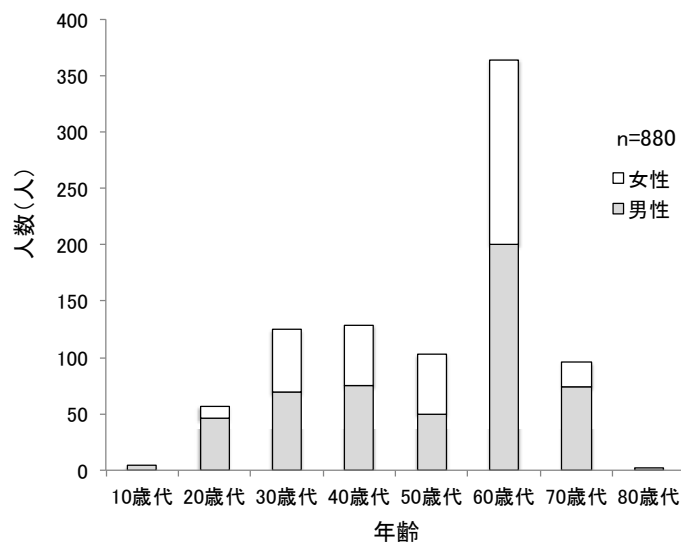


図4. 対象者の年齢構成

(2) アンケート調査結果

表4は、対象者の登山歴をまとめたものである。過去の最高到達高度は、男性が $4,373 \pm 1,237$ mであり、女性 $4,158 \pm 1,177$ mであった。目的とする山の標高は男性 $5,347 \pm 964$ m、女性 $5,063 \pm 1,035$ mであった。

図5は、日頃の登山頻度について集計したものである。「半年に1-2回程度」が24%と最も多く、次に多いのが「2週間に1回程度」で22%、次いで「1ヶ月に1回程度」で18%であった。

図6は、日頃の登山形態について集計したものである。「ハイキング・軽登山」を行っている者が最も多く、全体の60%であった。次いで、「無雪期縦走」「雪山縦走」の順であり、それぞれ全体の46%、20%であった。

図7は、対象者の既往歴、障害、および罹患状況を集計したものである。これらがいずれもない者の割合は約30%であり、残りの70%はいずれかを有していた。その内容を見ると、中高年者によく見られる膝関節痛(16%)、腰痛(15%)を持つ者が多く、生活習慣病である高血圧症(13%)や心疾患(7%)などを有する者も見られた。

なお多くの症状では、完治している者よりも、現在も完治していない者の方が多く、特に高血圧についてはこの傾向が顕著だった。

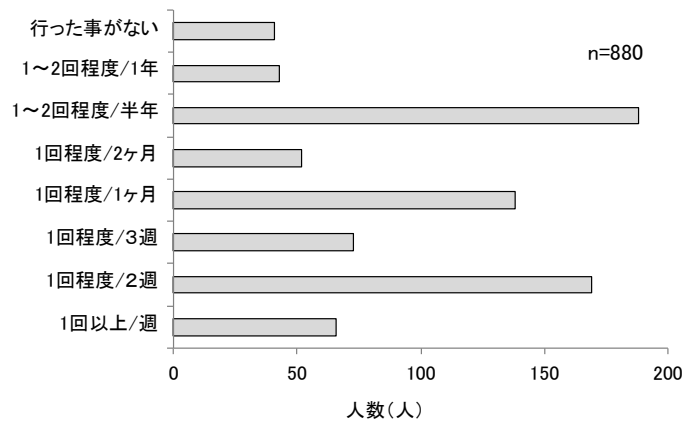


図5. 日頃の登山頻度

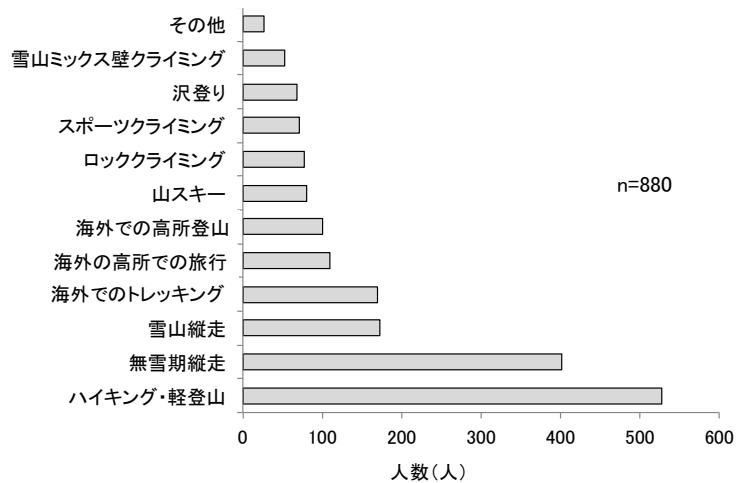


図6. 日頃の登山形態

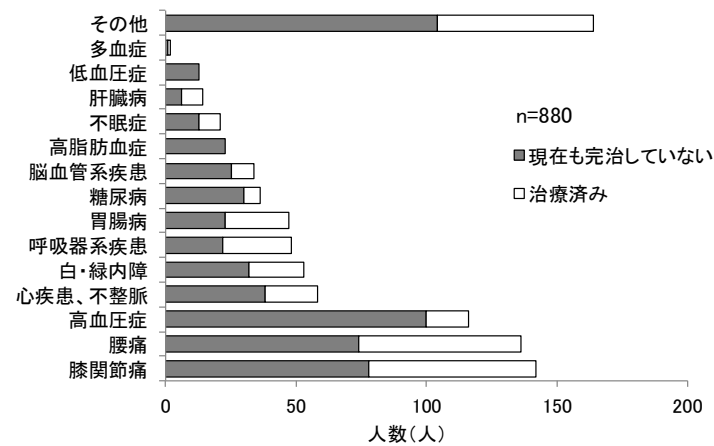


図7. 既往歴, 障害, および罹患状況

(3) 呼吸機能

表5は、呼吸機能測定の結果を示したものである。この測定を行った者の平均年齢は、男性60.2±12.8歳、女性60.7±10.5歳であった。肺活量の平均値は、男性3.93±0.66L、女性2.76±0.51Lであった。一秒量の平均値は男性3.09±0.65L、女性2.15±0.47Lであった。また、一秒率の平均値は男性79±8%、女性78±9%であった。

表5. 呼吸機能の特性 括弧内は最小値～最大値を示す。

	男性(n=252)	女性(n=168)
年齢(歳)	60.2±12.8 (23~83)	60.7±10.5 (28~77)
肺活量(L)	3.93±0.66 (1.60~5.70)	2.76±0.51 (1.39~5.22)
肺活量 (予測値に対する割合, %)	110±15 (50~146)	112±13 (63~145)
一秒量(L)	3.09±0.65 (1.12~4.80)	2.15±0.47 (0.91~4.07)
一秒量 (予測値に対する割合, %)	109±18 (50~144)	109±19 (50~166)
一秒率(%)	79±8 (52~100)	78±9 (44~99)

図8は、一秒率の度数分布である。男女とも85-89%を示す者の占める割合が最も高かった。なお、正常値(70%以上)を下回る者の割合は、男女ともに6%であった。

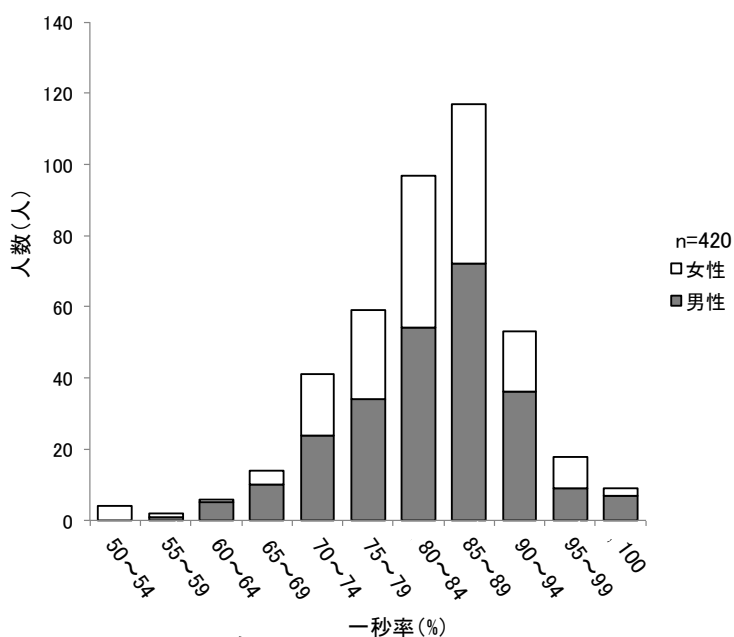


図8. 一秒率の分布状況

(4) 目的地の標高

図9は、対象者の年齢 (a)、登山経験年数 (b)、日頃の登山頻度 (c) と、目的地の最高高度との関係を示したものである。a と b については有意な相関は認められなかった。c については有意な相関が認められたが、相関係数としては低いものであった ($r=0.265$)。

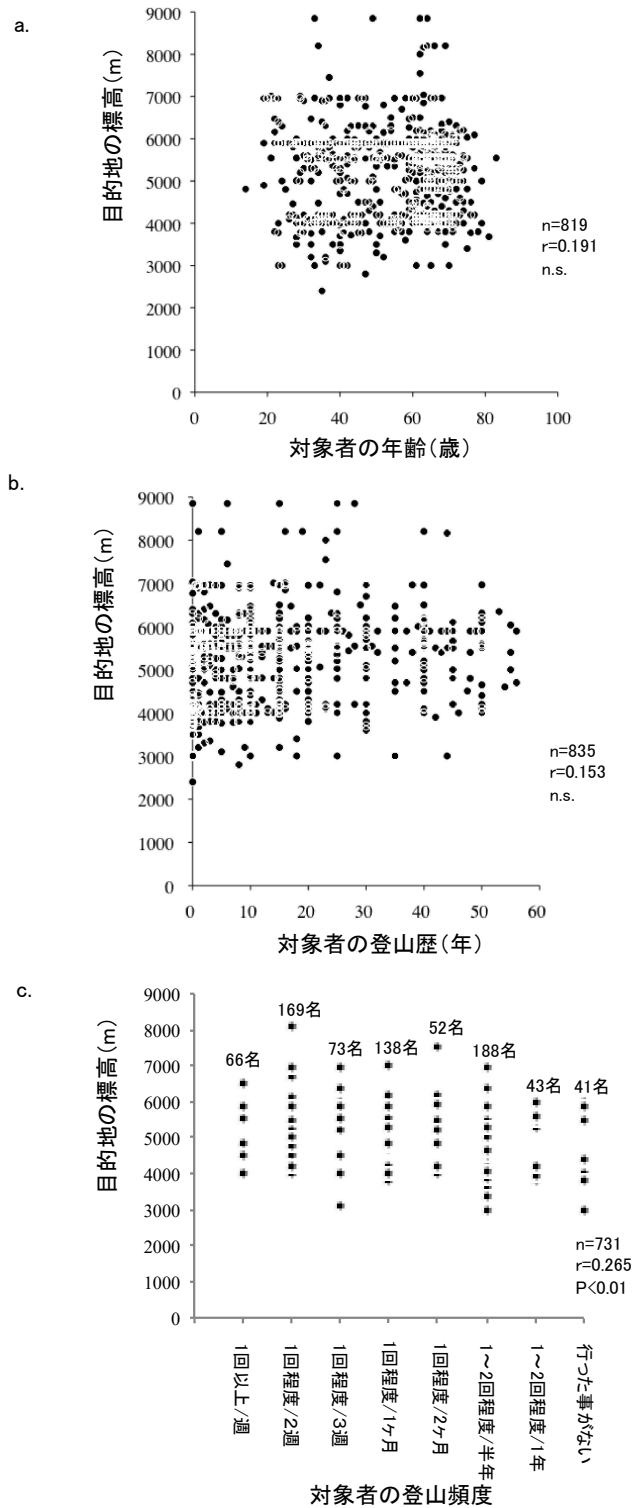


図9. 目的地の標高と対象者の年齢(a)、登山歴(b)、登山頻度(c)との関係

4. 考察

(1) 本対象者の基礎的情報について

本研究の対象者は、高所登山・トレッキングへ出発する前に、低酸素環境に対する適性検査や低酸素への順応トレーニングを行うために、著者らが運用する施設を利用した者であった。著者らが運用する施設は、東京都内にあり、都内に所在する多くのツアー会社との連携による利用もある。1年間の利用者は約500人に達する。これらのことを考慮すると、本研究の対象者は、国内の高所登山・トレッカーの現状を表し得る集団と考えられる。

また、利用者に利用の動機を尋ねてみると、本格的な高所登山を目指す経験豊富な登山者もいる一方で、高所経験が少なく、「目的地に行く前に、実際の標高を体験しておきたい」「旅行会社に勧められたから」と回答した者も多かった。日本における高所登山者・トレッカーという母集団の特性から観察すると、本対象者は高所経験が少なく、高所に対して不安を抱いている人の割合が多いと考えられる。

先行研究をみると、日本人で海外の高所登山・トレッキングに出かける人の多くが中高年であり、平均年齢は64.2歳であるという報告がある（貫田，2009）。本研究においても、40歳以上の中高年が全体の78%で、特に多かったのは60歳代であった。平均年齢は、男性が 53.0 ± 16.1 歳、女性が 52.8 ± 14.2 歳であった（表4）。

既往歴、障害状況および罹患状況については、中高年特有の膝関節痛や腰痛などの障害や、高血圧や心疾患などの生活習慣病の既往がある者も多く、それが完治しないまま高所に出かける者も多いことがわかる（図7）。これらの症状の中には、高所環境や、長時間の登山による脱水などによって症状が悪化するものもある（上小牧，2009）。海外の高所では、国内にはない4,000m以上の高度に行く場合が多く、迅速な救助も期待できないことから、障害、疾病を有したまま出かけることには大きなリスクがあるといえる。

(2) 対象者の登山活動に関する実態について

日頃の登山形態は、ハイキング・軽登山を行っている者が多かった（図6）。登山頻度は、半年に1-2回以下という低頻度の者が最も多く（24%）、登山を行ったことがない、と答えた者もいた（図5）。図9-cの結果から、このような者でも6,000-7,000mの高所を目指す人がおり、体力的・技術的に不十分な能力しかない者が、海外の高所で登山やトレッキングをするケースもあることがわかる。

高所登山・トレッキングの場合は、日帰りの行程で終わることはほとんどない。たとえば、高所登山で人気の高いキリマンジャロ登山（5,895m）の場合、最もポピュラーなマラングルートを選択するツアーの多くは6日間の登山期間で行われる。標高3,720mのホロンボハットに2泊滞在する以外は1日1,000mずつ登高し、歩行距離も10km以上ある。さらに5日目の頂上アタック日は、1,200m登って2,200m下り、歩行距離は合計27km、行動時間は15-16時間という過酷な行程である（山本，2009）。1日の休息日はあるものの、4日間の縦走登山を行った後、さらに日帰りの富士登山を行うような体力が要求されることになる。

対象者の中から、キリマンジャロ登山が目的の者（212名）を抽出してみると、日頃の登山形態は、軽登山や

ハイキングを行っている者が最も多く (64 %)、登山頻度は半年に 1 - 2 回の者が最も多かった (45 %)。したがってキリマンジャロ登山で要求される体力を身につけるための、実際の登山によるトレーニングを十分行えていない者が多いといえる。同様なケースは、他の山を目指す登山者についても観察された。

(3) 呼吸機能測定の結果からみた対象者の登山スタイルの実態について

本対象者の一秒率の平均値は、男性 $79 \pm 8\%$ 、女性 $78 \pm 9\%$ で、最も高い度数を示したのは男女とも 85 - 89% であった (図 8)。日本呼吸器学会生理専門委員会 (2001) によると、一秒率の正常値は 70 %以上とされ、多くの対象者では正常範囲内にあった。しかし、正常値以下の者も、男女ともに 6%いた。その要因として、喫煙習慣が長いことや、気管支喘息を有することが考えられた。

登山者検診ネットワーク (2006) では、一秒率が 70%に満たない者が 5,000 m 以上の高所へ出かけることに注意を促している。本対象者の場合、一秒率が 70 %に満たない者は 25 人いたが、その中で 5,000 m 以上の高所へ出かけようとしている者は、過半数の 14 人 (57%) であった。

喫煙が原因で慢性閉塞性肺疾患 (COPD) の既往がある場合、一秒率が正常値を下回ることが多い。COPD の進行程度と、高所での動脈血酸素分圧 (PaO₂) の低下度合いによっては、高所登山を避けた方がよいという報告もある (増山, 2009)。今後は、呼吸機能が低下している対象者について、呼吸機能と低酸素環境下での動脈血酸素飽和度 (SpO₂) との関係について検討していく必要がある。

(4) 対象者の基礎的情報と目的地の標高との関連性について

図 9-a,b より、年齢、登山歴と目的地の標高には、有意な相関は認められなかった。また図 9-c から、日頃の登山頻度が高い方が目的地の標高も高くなる傾向は認められたが、相関係数は低かった ($r=0.265$)。そして、登山頻度が 1 年に 1 - 2 回しかない者でも、目的地の最高高度は平均値で 4,800 m であり、中には 6,000 m 以上の山を目指す者もいた。すなわち、年齢の大小、登山歴の長短、日頃の登山頻度の多少に関わらず、標高の高い山を目指す人がいることを示している。また、登山経験が全くない中高年でも、標高 6,000 m 以上の高所へ出かけていく者がいることもわかる。

極端な例として、登山歴が皆無で、運動歴もない 60 歳代の女性が、エベレスト (8,848 m) を目的地と設定していたケースもあった。その理由は、「友人に誘われたから」、「テレビで報道されているのを見て、行ってみたくなったから」であった。最近の登山ブームにより登山人口は増加しているが、高所に対する十分な知識やトレーニングの裏付けがないまま出かける者も少なくないことがわかる。

本研究の結果から、目的とする高度や登山内容に対して、十分な準備のないまま出かけていく登山者やトレkkerが、少なからずいることが明らかとなった。彼らの登山の結果については、全てを把握できていないが、今後は、適性検査や低酸素トレーニングの結果と、登山の結果とを関連づけて把握していくことで、より具体的で

有効な資料ができるようになるものと考えられる。

今後はこのような実態を踏まえ、高所登山・トレッキングを遂行するツアー会社、登山者検診ネットワーク、その他山岳関係団体等との連携をとりながら、高所登山・トレッキングが安全に行えるような啓発活動に努めていく必要があるだろう。

5. まとめ

海外の高所登山・トレッキングに出発する前に、適性検査や低酸素トレーニングを行うために、著者らが運用する施設を訪れた 880 名の高所登山者・トレッカーの特性に関して、測定や調査を行った。その結果、対象者の 78%は 40 歳以上の中高年であり、60 歳代が最も多かった。この中には既往歴を有する者が多く、また、それらが完治していない者も多かった。

日頃の登山形態、登山頻度をみると、目的とする登山に見合ったトレーニングが行われていないケースも多かった。呼吸機能のうち一秒率に関しては、正常値と判断される 70%よりも低い者が、男女ともに 6%いた。目的地の標高と、年齢、登山歴、日頃の登山頻度との間には相関性がほとんどみられず、年齢の大小、登山歴の長短、日頃の登山頻度の多少に関係なく、標高の高い山を目指す人が少なくないことが明らかになった。

【研究 1-2】 高所登山・トレッキング時に身体にかかる低酸素の負担度

1. 研究目的

ウォーキングを励行している人がその延長として、技術的に容易な山道を長時間あるいは何日も歩く「トレッキング」を行うケースは多い。日本国内では富士登山 (3,776 m) , 海外ではキリマンジャロ登山 (5,895 m) やヒマラヤ山麓でのトレッキング (おおよそ 5,500 m 以下) などの人気が高い。

高度 2,500 m 以上は「高所」、4,270 m 以上は「高所」と定義されている (Hultgren, 1997)。2,500 m 以上では体内の酸素欠乏が顕著となり、多くの人に急性高山病が発症する可能性がある (Hultgren, 1997 ; Ward et al., 2000 ; 山本, 2016)。高所になると、低酸素に対する順応に配慮しながら高度を上げなければ非常に危険とされる (Hultgren, 1997)。上記の各トレッキングは高所または高所の領域で行われることから、身体にかかる低酸素の負担や、急性高山病 (AMS) の発症に注意する必要がある。

身体の低酸素状態は、パルスオキシメーターを用いて動脈血酸素飽和度 (SpO₂) を測定することで簡易に評価できる。これまでに高所での登山やトレッキング時にこの値を測定した報告は多く、高度が高くなるほど低値を示すことが知られている (山本, 2016 ; 高原ほか, 2003 ; 河合ほか, 1990)。また、高所に一定の期間滞在していると順応が起これり、同じ高度であっても値が上昇すること (山本, 2016 ; 森ほか, 2016 ; 野口, 1994)、も知られている。

上記の性質を考えると、たとえ目的地の到達高度が同じであっても、そこに到達するまでの日数の長短、言いかえると 1 日あたりの高度上昇量の違いにより、SpO₂ の値は異なることが予想される。しかし、高度上昇量にも着目しつつ、高所での SpO₂ の変化について、実際のトレッキング現場を対象として検討した研究はこれまでに見られない。

そこで本研究では、1) 高度 5,895 m で登山口から 5 日目に登頂するキリマンジャロ登山、2) 最高到達高度は 4,900 - 5,150 m だが、そこまでに 11~16 日かかる 3 つのヒマラヤ山麓トレッキング、3) 高度 3,776 m であるが高度 2,400 m の 5 合目から 1 日で登頂する富士登山という、1 日あたりの高度上昇量が異なる 3 つのトレッキングに出かけた者を対象として、各高度での SpO₂ を測定した。そして、3 つのコースにおける高度と SpO₂ との関係、および 1 日あたりの高度上昇量と SpO₂ 変化量との関係から、身体が受ける低酸素の負担度の相違について検討しようとした。

2. 方法

(1) トレッキングのコースおよび対象者

図 10 は、本研究で対象とした 3 つのコースにおける、高度上昇の様相を示したものである。また表 6 は、図 10 をもとに、3 つのコースの特徴 (開始地点の高度や最高到達高度、開始地点の高度と最高到達高度の高度

差, 最高到達地点に到達するまでの1日あたりの高度上昇量, 全体の登山日数) を, コース毎に整理して示したものである.

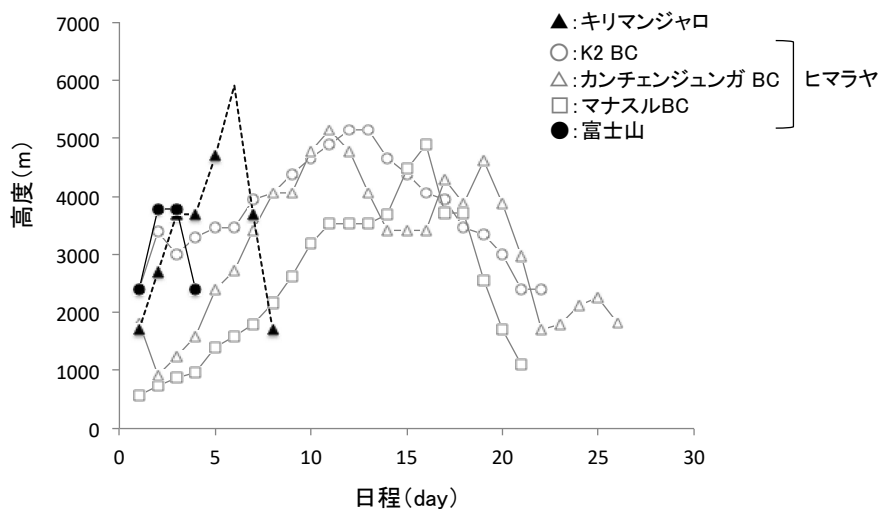


図10. 各コースにおける高度上昇の様相

表6. 各コースの特徴

名称	開始地点の高度 (m)	最高到達高度 (m)	開始地点と最高到達高度の高度差 (m)	最高到達高度までの1日の平均上昇高度 (m)	全体の登山日数 (日)
キリマンジャロ	1,700	5,895	4,195	840	6
K2 BC	2,400	5,150	2,750	250	21
カンチェンジュンガ BC	1,820	5,143	3,323	332	26
マナスル BC	570	4,900	4,330	240	20
富士山	2,400	3,776	1,376	1,376	3

①キリマンジャロ登山

対象者は, キリマンジャロ登山 (以下, キリマンジャロ) を行った一般登山者 8名であった (年齢 41 ± 9 歳, 身長 165.3 ± 5.3 cm, 体重 60.2 ± 8.0 kg). 登山ルートは, キリマンジャロで最も登山者が多い, マラングルート を 5泊6日 で登る行程であった. 高度 1,700 m の登山口を出発し, 高度 3,700 m のホロンボハットに 2泊連続で滞在する以外は, 1日 1,000 m ずつ登高する. さらに, 5日目の頂上アタック日は, 1,200 m 登って 2,200 m 下るといふ行程である.

②ヒマラヤ山麓トレッキング

対象者は, ヒマラヤ山麓トレッキング (以下, ヒマラヤ) を行った一般登山者 17名であった (年齢 67 ± 4 歳, 身長 168.6 ± 5.1 cm, 体重 68.3 ± 5.0 kg). 代表的なコースである, (i) K2 ベースキャンプ (BC) トレッキング (7名), (ii) カンチェンジュンガ BC トレッキング (5名), (iii) マナスル BC トレッキング (5名) の 3つを対象とした. いずれも高度上昇のパターンは異なるが, 約2週間 (11 - 16日) をかけて高度 5,000 m 程度

の最高到達高度に達すること、最高到達高度までの1日の高度上昇量が、平均で270 m (240 - 332 m) であり、他の2つのコースとは明らかに異なる値であることから、ヒマラヤという同じくくりで扱った。

③富士登山

対象者は、富士登山（以下、富士山）を行った登山歴が豊富な中高年登山者7名であった（年齢 63 ± 3 歳、身長 161.4 ± 11.1 cm、体重 57.9 ± 11.6 kg）。前日に車で高度2,400 mの5合目に到着し、そこで宿泊した翌日に登山を開始し、高度3,776 mの山頂の測候所で2泊するという行程であった。なお富士山のデータについては、著者らの先行研究（笹子・山本, 2010）の資料を用いた。

(2) 測定および分析方法

2-1. 測定方法

キリマンジャロでは、高度2,700 m, 3,700 m, 4,700 mの決められた宿泊地で宿泊し、その翌日の起床時に、パルスオキシメーター（B0-750BT, 日本精密測器社製）を用いてSpO₂を測定した。SpO₂の値は、指尖に機器を装着してから30秒経過後に目視で確認し、それを記録した。

ヒマラヤでは、登山道の決められた宿泊地で宿泊し、その翌日の起床時に、パルスオキシメーター（B0-750, 日本精密測器社製）を用いてSpO₂を測定した。SpO₂の記録は、キリマンジャロと同様の方法で行った。

富士山では、著者らの先行研究（笹子・山本, 2010）の資料を用いた。SpO₂の測定は、指尖にパルスオキシメーター（Pulsox-Me300, Teijin 社製）を装着し、登山中、連続的に記録した。本研究では、5合目（2,400 m）および山頂（3,776 m）で宿泊して翌朝に測定した値、そして参考値として、行動中に各高度で休憩した際の値を採用した。

2-2. 分析方法

本研究は複数のコースで測定を実施した。このため、測定した高度、および測定の時刻やタイミングが異なっていたことから、分析には以下のような配慮を行った。なお、本研究での分析に関しては、それぞれのコースの最高到達高度に到着するまでの値を用いた。

①キリマンジャロ

キリマンジャロに関しては、宿泊地が高度2,700 m, 3,700 m, 4,700 mと指定されている。そこで、この3カ所の地点での値を検討に用いた。なお、高度3,700 mでは2泊したが、1泊目の翌朝の値を分析に用いた。

②ヒマラヤ

ヒマラヤに関しては、測定値の高度が多様であったため、高度とSpO₂との関係を見る際には、高度2,000 m以上での測定値について、高度2,000 - 2,500 m, 2,501 - 3,000 m, 3,001 - 3,500 m, 3,501 - 4,000 m, 4,001 - 4,500 m, 4,501 - 5,000 m, 5,001 - 5,500 mと、500 m毎のカテゴリーを設け、各区間での平均値を求めて検討

することとした。

また、3つのコースにおけるほぼ同等の高度での SpO₂ を比較検討するために、測定箇所が限られているキリマンジャロの3つの測定高度（2,700 m, 3,700 m, 4,700 m）を基準とし、他の2つのコースではこれらと近い高度での値を比べることとした。このためにヒマラヤでは、高度2,700 m, 3,700 m, 4,700 mの前後300 mの標高で測定した SpO₂ の値を抜粋し、その平均値を求めた。その結果、 $2,700 \pm 300$ m, $3,560 \pm 220$ m, $4,775 \pm 125$ m となった。

③富士山

富士山以外の2つのコースでの SpO₂ は、宿泊した翌朝に測定した値を用いている。このため、富士山に関しては、5合目（2,400 m）および山頂（3,776 m）以外での値は、登山中の休憩時での値のため、参考値と見なした。

富士山において、高度と SpO₂ の変化を見る際には、高度2,400 m, 高度3,776 m 以外は、2,501 – 3,000 m（参考値）、3,001 – 3,500 m（参考値）と、500 m 毎のカテゴリーを設け、各区分での平均値を求めて検討することとした。また、3つのコースの同等高度での SpO₂ を比較する際には、高度2,780 m（参考値）と高度3,776 m の値を用いた。なお、高度3,776 m での値は、1泊目の翌朝の値を用いた。

(3) 統計処理

測定値は、すべて平均値±標準偏差で表した。表2において、3つのコースで測定した SpO₂ の比較には統計解析ソフト SPSS（IBM SPSS Statistics 22, IBM 社製）を用いて、繰り返しのない一元配置分散分析を行った。項目間に有意差が認められた場合、その後の検定に Tukey 法を用いた。また、高度上昇量と SpO₂ 変化量の相関は、Pearson の相関係数を用いて検討した。なお、有意水準はいずれの検定においても5%未満とした。

3. 結果

図11は、富士山、キリマンジャロ、ヒマラヤで計測された SpO₂ の値について、高度との関係を示したものである。どのコースにおいても、高度の上昇とともに SpO₂ は低下した。ただし、同じ高度における SpO₂ の値は、高度が上がるにつれて、ヒマラヤよりもキリマンジャロ、キリマンジャロよりも富士山が低くなるという関係が見られた。

表7は、3つのコースで測定した SpO₂ の値について、3つのほぼ同じ高度（2,700 m 付近, 3,700 m 付近, 4,700 m 付近）で比較したものである。まず、同じコース内で、異なる高度での SpO₂ を比べてみると、いずれのコースとも高度が上がるほど有意に低値を示した。

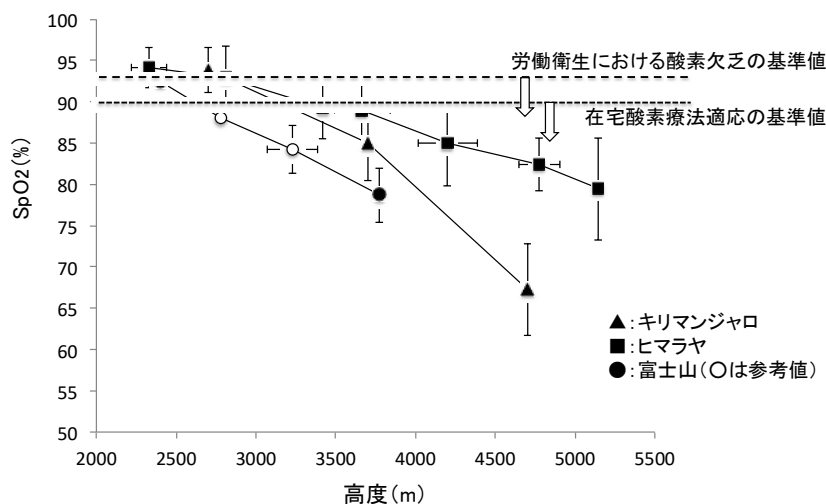


図11. 高度とSpO2との関係

次に、異なる3つのコースにおいてほぼ同じ高度での値を比較すると、2,700 m 付近での SpO2 は、キリマン

表7. 各コースにおけるほぼ同じ高度でのSpO2の比較

	キリマンジャロ (n=8)		ヒマラヤ (n=17)		富士山 (n=7)	
	高度 (m)	SpO ₂ (%)	高度 (m)	SpO ₂ (%)	高度 (m)	SpO ₂ (%)
高度2,700 m付近	2,700	93.9±2.6	2,700±300	93.1±3.1	2,780	88.0±1.6
		b		b		
高度3,700 m付近	3,700	84.9±4.3	3,560±220	90.2±3.0	3,776	78.7±3.3
		a,b		b		
高度4,700 m付近	4,700	67.3±5.2	4,775±125	82.4±3.1		
		a				

a: vsヒマラヤ, b: vs富士山 p<0.001

ジャロでは93.9±2.6%，ヒマラヤでは93.1±3.1%，富士山では88.0±1.6%であり、ヒマラヤとキリマンジャロに有意差はなかったものの、これらに対して富士山での値は有意に低値を示した。

3,700 m 付近での SpO2 は、キリマンジャロでは84.9±4.3%，ヒマラヤでは90.2±3.0%，富士山では78.7±3.3%であり、ヒマラヤ>キリマンジャロ>富士山という関係になり、それぞれの間で有意差も見られた。

4,700 m 付近での SpO2 は、キリマンジャロでは67.3±5.2%，ヒマラヤでは82.4±3.1%であり、前者の方が15.1 pt も低い値を示し、有意差も見られた。さらに、高度4,700 m 付近でのキリマンジャロとヒマラヤの SpO2 と、高度3,776 m での富士山の SpO2 とを比較すると、ヒマラヤ>富士山>キリマンジャロという関係になり、それぞれの間で有意差も見られた。

図12は、3つのツアーにおいて、1日あたりの高度上昇量（到着地の高度－出発地の高度）を求め、これと SpO2 の変化量との関係を表したものである。高度上昇量が大きくなるほど、SpO2 の変化量は大きくなる傾向を示し、有意な負の相関も見られた (r=-0.50)。

また、コース別に平均値で見ると、キリマンジャロでは、1日の高度上昇量が1,000 m で SpO2 の変化量は-12.8 point, ヒマラヤでは、1日の高度上昇量が381 m で SpO2 の変化量は-1.4 point, 富士山では1日の高度上

昇量が1,376 mでSpO₂の変化量は-14 pointであった。つまり、1日あたりの高度上昇量、SpO₂の変化量ともに、富士山>キリマンジャロ>ヒマラヤという関係にあった。

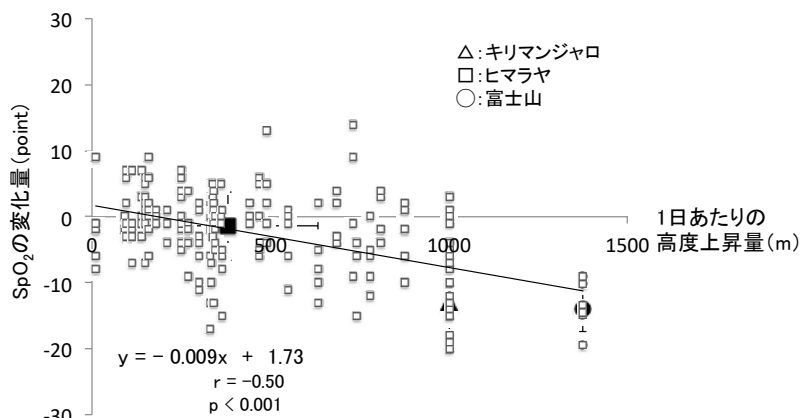


図12. 1日あたりの高度上昇量とSpO₂の変化量との関係

※白抜きは個人値，黒塗りは平均値を表す

4. 考察

本研究の結果，対象とした3つのコースのいずれにおいても，高度上昇に伴いSpO₂は低下した（図11）。

SpO₂は体内のハイポキシアの度合いを簡易に評価できる指標であり，低地の医療では90%以下になると在宅酸素療法が適用される（佐久間・栗山，1995），労働衛生の基準では93%以下は酸素欠乏症とされる（中央労働災害防止協会，2013）などの目安が示されている。

前述の基準を用いて，本研究で対象とした3つのコースのトレッキング中のSpO₂を見てみると，高度による低下には個人差もあるものの，平均値としてみた場合，ヒマラヤではおおよそ3,400 m，キリマンジャロでは3,100 m，富士山では2,600 m付近で90%を下回ることがわかる（図11）。低地でのSpO₂の低下は，呼吸器の疾患や急激な酸素欠乏が要因として考えられ，呼吸機能不全に陥る可能性があるため危険性が高い（佐久間・栗山，1995；中央労働災害防止協会，2013）。一方，高所でのSpO₂の低下は，外気の酸素分圧の低下によるものであるが，ゆっくりと曝露されるので，必ずしも危険というわけではないものの，上記の高度を超えた場合には体調の管理に注意が必要と言える（Luks et al., 2014）。

どのコースにおいても高度上昇にともないSpO₂は低下したが，低下度合いはコースにより異なっており，富士山>キリマンジャロ>ヒマラヤという関係になっていた（図2）。そして，2,700 m付近，3,700 m付近，および4,700 m付近（ヒマラヤとキリマンジャロのみ）という3つの高度でのSpO₂の値を比べてみると，高度が上がるほどコース間でのSpO₂の格差は増大していた（表7）。

例えば，高度2,700 m付近では，富士山（参考値）とキリマンジャロでは5.9 pt，富士山（参考値）とヒマラヤでは5.1 ptの差が生じており，有意差も見られた。さらに，高度3,700 m付近になると富士山とキリマンジャロでは6.2 pt，富士山とヒマラヤでは11.5 ptと差が大きくなった。また，高度2,700 m付近では有意差が見られ

なかったキリマンジャロとヒマラヤでも、高度 3,700 m 付近では 5.3 pt の差が生じた。そして、高度 4,700 m 付近でのヒマラヤとキリマンジャロの SpO₂ の差は 15.1 pt と大きくなった。

なお、高度 3,700 m 付近と高度 4,700 m 付近では比較したコース間の全てで有意差が見られた。さらに、高度 4,700 m 付近でのキリマンジャロとヒマラヤの SpO₂ と、高度 3,776 m での富士山の SpO₂ とを比較すると、ヒマラヤ (82.4±3.1%) > 富士山 (78.7±3.3%) > キリマンジャロ (67.3±5.2%) という関係になり、それぞれの間で有意差も見られた。つまり、ヒマラヤの高度 4,700 m 付近よりも、富士山の高度 3,776 m 地点のほうが、体内の酸素欠乏は大きかった。

図 12 を見ると、1 日あたりの高度上昇量と SpO₂ の変化量との間には有意な負の相関関係が見られた。したがって高度上昇に伴う SpO₂ の低下度合いの違いは、1 日あたりの高度上昇量と関連が深いことが窺える。また、この関係を 3 つのコース毎に見てみると、高度上昇量が 1,000 m であるキリマンジャロでは、SpO₂ の変化量は -12.8 point であるが、1 日の高度上昇量の平均値が 381 m であるヒマラヤは、SpO₂ の変化量の平均が -1.4 point であった。さらに、高度上昇量が 1,376 m と最も大きい富士山では、SpO₂ の変化量は -14 point であった。

このことから、ヒマラヤとキリマンジャロについては最終到達高度が同じ 5,000 m 台ではあるが、SpO₂ の低下度合いからみるとキリマンジャロの方が、身体により大きな低酸素の負担をかけながら登っていることがわかる。また富士山については、最終到達高度は 3,700 m 台と、前の二者に比べて低いものの、SpO₂ の低下は前の二者の値よりも大きく、低酸素の負担がより大きいことを示している。

図 12 の個人の値に着目すると、富士山では、対象者全員が高度の上昇とともに SpO₂ は低下していた。また、キリマンジャロでは、SpO₂ の変化がなかった対象者は 4% のみで、それ以外の対象者は高度の上昇とともに SpO₂ は低下していた。一方でヒマラヤでは、高度が上昇しているにもかかわらず、SpO₂ が上昇している場合もあり、それは全対象者の 33% であった。

このことは、1 日の高度上昇量が大きくなるとほとんど場合、SpO₂ は低下するが、高度上昇量が小さい場合には、翌日には高所順応が進み SpO₂ の上昇が起こる場合もあることを示唆している。高所に一定の期間滞在していると順応が起こり、同じ高度であっても値が上昇すること (山本, 2016 ; 森ほか, 2016 ; 野口ら, 1994) が知られているが、本研究の結果、SpO₂ の上昇は滞在している日数だけではなく、1 日の高度上昇量にも関係していることが示唆された。

高所医学の分野では、高所で登山やトレッキングを行う場合、次の 3 つの場合に急性高山病が発症しやすいとしている。①急激に高度を上げた場合 (Luks et al., 2014), ②高度の上昇時に激しい運動を伴う場合 (Ward et al., 2000), ③前記のような高度上昇をした後にその日の最高到達高度で宿泊した場合 (Luks et al., 2014)。

この観点で各コースの特徴をみると、キリマンジャロと富士山は 1 日で 1,000 m 以上高度を上げ (図 10, 表 7), さらにその日の最高到達高度で宿泊するため (図 10), ① - ③のすべての条件に当てはまる厳しい登山条件といえる。一方でヒマラヤの場合は、図 10 や表 7 を見ると、①が前の二者に比べれば小さい。そして①が小

さいことから、②の条件についても、キリマンジャロや富士山よりは負担が小さくなる可能性が高いと言える。

先行研究を見ると、高所での SpO₂ の高低と、AMS の発症との間には相関があるとされている (Roach et al., 1998 ; Basnyat et al., 1999 ; Karinen et al., 2010 ; 山本, 2016)。したがって、同じ高度でも SpO₂ の値がより低くなる傾向のあるキリマンジャロや富士山では、高山病がより発症しやすい可能性がある。実際に、高度 3,700m 付近での AMS 発症率について報告した先行研究を見ると、ヒマラヤでは 22% であるという報告 (McDevitt et al., 2014) があるのに対し、キリマンジャロでは 30% であるという報告 (Karinen et al., 2008) があり、後者の方が AMS の発症率が高いことがわかる。また、富士山においては、登山者の半数以上が AMS を発症していたと報告されている (笹子・山本, 2010, 2011. ; 関ほか, 2007)。

以上をまとめると、高所において低酸素のストレスに対してより安全なトレッキングを行うためには、物理的な高度の高低のみではなく、1日あたりの高度上昇量に注意を払う必要があることが示唆される。

5. まとめ

日本人にとって人気の高い3つのトレッキングコース (キリマンジャロ, ヒマラヤ, 富士山) について、様々な高度において、体内の低酸素状態の指標とされる動脈血酸素飽和度 (SpO₂) を測定し、高度と SpO₂ との関係、および1日あたりの高度上昇量と SpO₂ の変化量との関係の2点に着目して検討した。

その結果、3つのコースのいずれにおいても、高度上昇とともに SpO₂ は低下するという点では共通していた。ただし、その低下度合いはコースによって異なっており、1日の高度上昇量が多いほど SpO₂ はより大きく低下することが明らかとなった。すなわち、最高到達高度が 5,000 m 台となるキリマンジャロとヒマラヤを比べた場合、1日の高度上昇量が多いキリマンジャロ登山の方が、低酸素による負担がより大きくなることが明らかとなった。また、高度 2,400 m の5合目まで車で移動し、その後 3,776 m まで登山を行う富士山では、他の2つのコースよりも SpO₂ の低下は大きく、富士山の 3,776 m 地点の SpO₂ はヒマラヤの 4,700 m 付近での値よりも有意に低値を示した。

したがって、高所において低酸素のストレスに対してより安全なトレッキングを行うためには、物理的な高度の高低のみではなく、1日あたりの高度上昇量に注意を払う必要があることが示唆された。

研究2. 高所に出かける前に行う身体のアセスメントとそれに基づくコンディショニング法の検討

【研究2-1】低酸素環境に対する生理応答および行動適応の能力を評価するための常圧低酸素室を用いた「4000 mテスト」の開発

1. 研究目的

日本人が海外で高所登山・トレッキングを行う際、4,000 m以上の高度を経験することが多い。このような高所では、急性高山病（AMS）を発症する可能性がある（ウィルカーソン, 1990 ; Ward et al., 2000）。しかし、日本にはこのような高所がないため、事前にその高度を体験したり、高所での行動適応の方法（呼吸や運動の仕方など）を学習したりすることができない。同様に、このような高度に順応するためのトレーニングをすることも難しい。

そこで著者らは2005年に、一般の登山者が利用できるような常圧低酸素室を東京都内に設置した。そして、標高4,000 m相当の低酸素環境を体験し、そこでの行動適応の方法の学習や、事前順応を得るためのトレーニングを実施してきた（許斐ほか, 2005 ; 安藤ほか, 2008）。これまでの利用者はのべ5,000人以上にのぼる。

その一環として、低酸素環境に対する生理的な適性や、行動適応の能力を評価するためのアセスメント方法である「4000 mテスト」を考案した。これは、標高4,000 m相当において、登山中に体験する様々な状況をシミュレーションする意味で、安静、運動、および仮眠を行い、その際の動脈血酸素飽和度（SpO₂）と脈拍数（PR）の値から各人の能力を評価するものである。

このテスト結果を用いて登山者の能力評価をする際、これまでは、自然の高所で測定された先行研究のデータ（関ほか, 2007 ; 山本・岸本, 2008 ; 笹子・山本, 2010 ; 新井・増山, 1999）との比較検討や、評価者の経験をもとに行ってきた。しかし、多数の登山者に本テストを適用したテスト結果をもとに、その平均値や標準偏差を数値的に表すことで、より適確に評価が行えると考えられる。

そこで本研究では、以下の2点について検討することを目的とした。

- 1) 著者らが考案した4000 mテストの概要を提示する。
- 2) このテストを多数の登山者に実施してデータを収集し、SpO₂とPRの特性を数値的に示す。

2. 方法

(1) 高所テストの概要

高所登山を行う場合、標高4,000 m付近の高度では、多くの登山者がAMSを発症する（ウィルカーソン, 1990 ; Ward et al., 2000）。また、AMSは、高度が同じであっても、生活や運動条件の違いにより発症のし易さに違いがある。すなわち、起床時よりも睡眠時に発症しやすいこと（Ward et al., 2000 ; Hultgren, 1997）や、運動の強度が

大きい場合に発症しやすいこと (Ward et al., 2000) があげられる。さらに、症状には個人差が大きいことも知られている (森ほか, 2012)。これらの状況をシミュレーションするため、標高 4,000m 相当に設定した常圧低酸素室で、安静、低強度運動、中強度運動、仮眠の 4 つの条件下でテストを行い、各条件での高所適性を見ることとした。

また、AMS の防止には、口すぼめ呼吸 (山本, 2016) や腹式呼吸 (山本・國分, 2003)、ヨーガ呼吸 (大澤ほか, 2009) など意識的に呼吸を行うことが有効である。そこで、安静時と運動時には、意識呼吸も行い、低酸素環境に対する行動適応能力を見ることとした。

(2) 4000 m テストのプロトコル

図 13 は 4000 m テストのプロトコルである。標高 4,000 m 相当 (酸素濃度 12.7%) に設定した常圧低酸素室に 70 分間滞在し、その間に、20 分間の座位安静、10 分間の低強度運動、10 分間の中強度運動、30 分間の仮眠を行うというものであった。

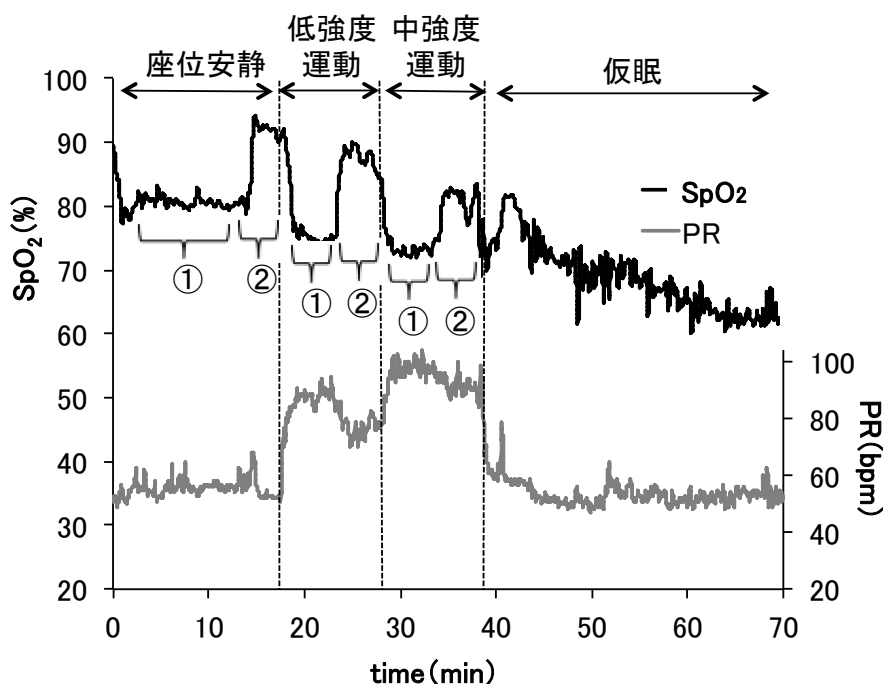


図 13. 4000 m テストのプロトコルと SpO₂, PR の典型例
(①は通常呼吸, ②は口すぼめ呼吸)

運動は、高さ 27 cm の台を用いた踏台昇降運動とした。低強度運動は、40 bpm に設定したメトロノームに合わせて、1 分間に 10 回の頻度で行う昇降運動 (登高速度 162 m/h) とした。中強度運動は、60 bpm に設定したメトロノームに合わせて、1 分間に 15 回の頻度で行う昇降運動 (登高速度 243 m/h) とした。これらをそれぞれ 10 分間、多段階負荷法で行った。なお、アメリカスポーツ医学会による踏台昇降中の酸素摂取量を推定する計算式

(Swain, 2000) から、それぞれの運動強度を算出すると、3.4 Mets と 4.6 Mets に相当するものであった。

なお、座位安静、2種類の踏台昇降運動のそれぞれ後半5分間は、SpO₂が上がるように呼吸を変化（口すぼめ呼吸）させるよう指示した。高所テスト中は、パルスオキシメータ（Pulsox-300i, コニカミノルタ社製）を用い、各状況でのSpO₂とPRを測定した。

図13に高所テストを行った際のSpO₂の典型例を示した。通常呼吸時のSpO₂は安静時>低強度運動時=中強度運動時>仮眠時の順で低値を示した。また、仮眠時以外に口すぼめ呼吸を行うと、全ての状況で通常呼吸よりもSpO₂が高値を示した。

(3) 多数の登山者を対象とした4000mテストの実施

①対象者

本研究の対象者は、2013年12月～2014年7月にかけて、海外での高所登山・トレッキングに出かける前に、著者らの運営する東京都内の施設（MIURA BASE CAMP）を初めて訪れた166名であった。身体特性については表8に示した。

表8. 対象者の身体特性

	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	肺活量(L)	一秒量(L)	一秒率(%)
男性 (n=84)	51.6±17.0 (20.0~81.0)	169.5±7.3 (142.0~182.0)	66.3±9.0 (42.2~94.5)	4.2±0.8 (1.7~6.0)	3.8±0.8 (1.7~5.3)	79.1±8.1 (58.6~92.3)
女性 (n=82)	51.2±14.5 (23.0~78.0)	156.9±5.6 (148.0~170.0)	52.6±6.7 (39.5~69.7)	3.0±0.5 (1.2~4.5)	2.9±0.5 (1.5~4.4)	78.2±6.8 (58.5~91.0)

②4000mテスト中の安全性の配慮

著者らの施設においては、2005年より既に5,000例以上このテストを行ってきた。対象者に対しては、このテストの目的、方法、安全性などに関して十分な説明を行った上で、同意を得て実施している。このテスト中は、SpO₂とPRを測定するとともに、対象者の様子を常に観察し、自覚症状についても尋ねながら、異常があった際にはすぐに退室できるように努めている。

低酸素環境に曝露されると、数時間後に頭痛を主症状とするAMSを発症する可能性があるが、本テストは約70分間で終了することもあり、現在までのところAMSの発症は認めていない。また、特別な症例が現れた際は、東京医科大学渡航者医療センターおよび登山者検診ネットワークの医師と連携して、対策方法を検討する体制を整えている。

③4000mテスト

図 14 は来所から 4000 m テスト終了までの行程である。

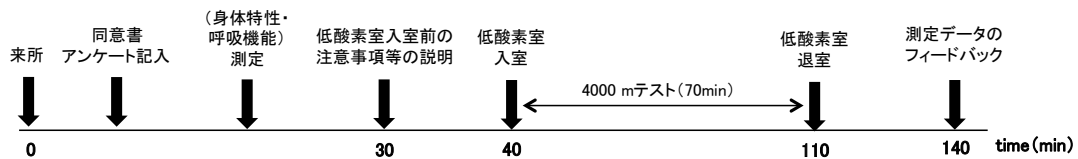


図14. 来所から4000 mテスト終了までの行程

対象者は、低酸素環境についての同意書などを確認した後、呼吸機能を測定した。呼吸機能測定に関しては、対象者が常圧低酸素室へ入室する前に、スパイロメータ (Microspiro, 日本光電社製) を用いて、肺活量、一秒量、一秒率の測定を行った。その後、常圧低酸素室内にて 4000 m テストを行い、その終了後には、測定結果についてのフィードバックを行った。

4000 m テスト時のプロトコルについては、図 13 の方法で行った。なお、安静時、低強度運動時、中強度運動時に行う口すぼめ呼吸に関しては、対象者一人ひとりの SpO₂ の上昇を確認しながら行った。すなわち、通常呼吸時の値よりも SpO₂ が約 10point 上昇することを目安に、また、対象者の様子や主観的症状を確認しながら行った。

このテスト中は、パルスオキシメータ (Pulsox-300i, コニカミノルタ社製) を用い、各状況での SpO₂ と PR を連続的に測定した。安静時、低強度運動時、中強度運動時のそれぞれにおいて、1 分以上安定した値が維持されている部分を抽出し、その平均値を代表値として用いた。また、仮眠時の値に関しては、30 分間のうちの後半 10 分間の値の平均値を代表値として用いた。

(4) 統計処理

測定値は、すべて平均値±標準偏差で表した。4000 m テストの通常呼吸時および口すぼめ呼吸時の安静時、低強度運動時、中強度運動時、仮眠時の SpO₂ および PR の比較については、繰り返しのある一元配置分散分析を用い、有意な差が認められた場合には、Post-hoc test として Tukey 法を用いて多重比較検定を行った。また、通常呼吸と意識呼吸の SpO₂ および PR については、対応のある t 検定を用いた。これらの検定は全て、統計ソフトは SPSS (SPSS Statistics 20, IBM) を用い、有意水準を p<0.05 とした。

3. 結果

(1) 4000 m テスト時の対象者の様子

4000 m テストは標高 4,000 m 相当 (酸素濃度 12.7%) に設定された常圧低酸素室に、約 70 分間急性曝露するものである。本研究の対象者 166 名の内、約半数は「ぼーっとする」「視野が狭い感じがする」「ふわふわする」などの自覚症状を訴えたが、頭痛を主症状とする AMS を発症した者はいなかった。

(2) 4000 m テスト時の生理応答

① 生理応答の特性

表9は男性、表10は女性の4000 m テスト時の SpO₂ と PR の平均値である。

表9. 男性の4000 mテスト中のSpO₂とPR (n=84)

		安静時	低強度運動時	中強度運動時	仮眠時
SpO ₂ (%)	通常呼吸	83.9±4.3	72.6±6.4 ^a #	72.7±5.5 ^a #	70.9±9.4 ^{a,c} #
	口すぼめ呼吸	92.7±2.7 [*]	83.1±5.7 ^A * #	81.8±6.3 ^A * #	
PR (bpm)	通常呼吸	75.5±10.6	97.7±11.5 ^a #	100.9±14.8 ^a #	73.1±9.6 ^{b,c} #
	口すぼめ呼吸	71.9±10.2 [*]	94.2±11.0 ^A * #	96.9±15.5 ^A * #	

表10. 女性の4000 mテスト中のSpO₂とPR (n=82)

		安静時	低強度運動時	中強度運動時	仮眠時
SpO ₂ (%)	通常呼吸	83.0±4.6	70.3±7.0 ^a #	70.3±6.7 ^a #	67.8±10.4 ^{a,c} #
	口すぼめ呼吸	92.8±3.1 [*]	80.9±6.3 ^A * #	79.6±6.6 ^A * #	
PR (bpm)	通常呼吸	75.9±9.2	103.8±12.7 ^a #	111.6±15.1 ^{a,b} #	75.6±11.3 ^{b,c} #
	口すぼめ呼吸	71.1±9.3 [*]	101.4±12.0 ^A * #	106.1±18.3 ^A * #	

a : vs 安静時(通常呼吸)
b : vs 低強度運動時(通常呼吸)
c : vs 中強度運動時(通常呼吸)
A : vs 安静時(口すぼめ呼吸)

*: 通常呼吸 vs 口すぼめ呼吸
#: 男性 vs 女性

※有意水準はp<0.05

通常呼吸時の SpO₂ は、男女ともに、安静時>低強度運動時=中強度運動時>仮眠時の順に、有意に低値を示した。また、中強度運動時に対して仮眠時が有意に低値を示したが、低強度運動時に対しては中強度運動時、および仮眠時に有意差はみられなかった。なお、個人ごとに見ると大きな差があり、仮眠時においては、SpO₂ が45.8%を示した対象者から、88.1%を示した対象者もいた。

口すぼめ呼吸時の SpO₂ は、男女ともに、安静時に対して低強度運動時および中強度運動時が有意に低値を示した。低強度運動時と中強度運動時には有意差はみられなかった。

通常呼吸時の PR は、男女ともに、安静時に対して低強度運動時と中強度運動時が有意に高値を示したが、安静時と仮眠時には有意差はみられなかった。また、低強度運動時および中強度運動時に対して仮眠時が有意に低値を示した。なお、女性のみ、低強度運動時に対して中強度運動時が有意に高値を示した。

口すぼめ呼吸時の PR は、男女ともに、安静時に対して低強度運動時と中強度運動時が有意に高値を示した。低強度運動時と中強度運動時には有意差はみられなかった。

口すぼめ呼吸を行った際の SpO₂ の値は、男女ともに、全ての状況において、通常呼吸時よりも有意に高値を示した。また、口すぼめ呼吸を行った際の PR の値は、男女ともに、全ての状況において、通常呼吸時よりも有

意に低値を示した。

②男女別にみた生理応答

4000 m テスト時の通常呼吸時の SpO₂ の平均値は、低強度運動時、中強度運動時、仮眠時において、男性が女性よりも有意に高値を示し、PR は、低強度運動時、中強度運動時、仮眠時において、男性が女性よりも有意に低値を示した。安静時に有意差はなかった。

口すぼめ呼吸時の SpO₂ の平均値は、低強度運動時、中強度運動時において、男性が女性よりも有意に高値を示し、PR は、低強度運動時、中強度運動時において、男性が女性よりも有意に低値を示した。安静時に有意差はなかった。

4. 考察

(1) 常圧低酸素環境を用いて自然の高所環境をシミュレーションすることの妥当性

本テストは、自然の高所環境（低圧低酸素）を、酸素分圧を等しくした常圧低酸素環境でシミュレーションするものである。また、自然の高所では徐々に低酸素環境に曝露されるのに対し、本テストでは通常環境から直接、標高 4,000 m 相当の低酸素環境に曝されるという急性の曝露である。従って、実際の登山のシミュレーションが出来ているかを検討する必要がある。

先行研究において、富士山頂（関ほか、2007；山本・岸本、2008；笹子・山本、2010）やエベレスト街道（3,900 m）（新井・増山、1999）、キリマンジャロ（3,700 m）（新井・増山、1999）のような 4,000 m に近い標高で測定された SpO₂ の平均値は、安静時が約 83%，運動時が約 67%，睡眠時が約 70% であった。一方、本研究において、高度 4,000 m 相当での SpO₂ の平均値は、それぞれ男女の順に、安静時が 83.9%，83.0%，低強度運動時が 72.6%，70.3%，中強度運動時が 72.7%，70.3%，仮眠時が 70.9%，67.8% であった（表 9，表 10）。

これらの数値は、前述の先行研究との高度差による違いを勘案した場合、ほぼ同等の値と考えられる。また、Ward et al. (2000) は、高所における身体問題の大部分は低圧ではなく、低酸素に起因することを報告している。つまり本テストは、常圧低酸素環境での急性低酸素曝露という特徴を持っているが、実際の高所登山における体内のハイポキシアの状況を、ある程度までシミュレーションできていると考えられる。

(2) 高所テストにおける生理応答の特性

①生活/運動様式の違いによる生理応答の特性

同じ標高でも、生活や運動の状況によって SpO₂ や PR の応答は違うことが知られている。そこで本テストでは、安静、低強度運動、中強度運動、仮眠という 4 つの状況下でのこれらの応答を測定した。

その結果、4000 m テスト時の SpO₂ は、男女ともに、安静時 > 低強度運動時 = 中強度運動時 > 仮眠時という関

係を示した(表9,10)。このような現象が起こる理由として以下のことが考えられる。運動時については、安静時よりも活動筋の酸素消費量が増加するため、SpO₂が低下する(増田ほか, 2009)。また、睡眠時は安静時に比べ、呼吸数の低下や呼吸が浅くなるのが原因でSpO₂が低下する(Mizuno et al., 1993 ; Hoshikawa et al., 2007 ; 山地ほか, 2008) ことがあげられる。

また、4000mテスト時のSpO₂の値は、いずれの状況でも90%を下回っていた。一般的に通常酸素環境下でのSpO₂の正常値は97%以上であり、通常酸素環境においてSpO₂が90%未満の場合には、在宅酸素療法が適用されるレベルである(佐久間・栗山, 1995)。つまり、4000mテスト時には人体は典型的なハイポキシアの状態にあると言える。

②意識呼吸による生理応答の変化

低酸素環境下では、口すぼめ呼吸(Tannheimer et al., 2016)や腹式呼吸(山本・國分, 2003)、ヨーガ呼吸(大澤ほか, 2009)など意識的に呼吸を行うことで、SpO₂を上昇させることができる。また先行研究(山本・岸本, 2008)において、意識呼吸を学習することで実際の山でのAMSの予防に有効であった、との報告がある。そこで本テストでは安静時、低強度運動時、および中強度運動時に、SpO₂を上昇させるために、簡易的に実施できる意識呼吸(口すぼめ呼吸)を行わせた。

その結果、男女ともに、安静時、低強度運動時、中強度運動時において、SpO₂の有意な上昇(約10point)とPRの低下(約5bpm)が見られた。また対象者の多くは「口すぼめ呼吸を行うことで、低酸素室内で感じていたぼーっとした状態がなくなった」「口すぼめ呼吸を身につけておくことで、実際の登山が快適にできた」という内省報告をしていた。したがって、口すぼめ呼吸を行うことで、SpO₂やPR値の改善だけでなく、主観的な症状の改善にも効果があることが伺えた。

③男女差について

安静時のSpO₂については、男女で有意差が見られなかった。しかし、低強度および中強度運動時においては、通常呼吸、口すぼめ呼吸のどちらの状況においても、男性の方が有意に高値を示した。先行研究において、運動時のSpO₂の男女差について検討しているものはなく、本研究の結果についてはさらに検討する必要があると考えられる。

仮眠時のSpO₂は男性よりも女性の方が低値を示すという結果であった。重篤な高山病である肺水腫は、高所での睡眠中に発生することが多い。そしてその発症率は、男性の方が高いと報告されている(Hultgren, 1997)。また、Douglas et al. (1982)は、睡眠時の呼吸の化学感受性は女性の方が変化が小さく、男性と比較して覚醒時に近い状態を保てるため、低酸素環境下での睡眠時のSpO₂は男性よりも女性の方が高いと報告している。本テストの仮眠時のSpO₂が、先行研究と同じ結果を示さなかった理由については、今後さらに検討する必要がある。

(3) 高所テストの意義と活用方法

本テストにおける、安静時、運動時、仮眠時の SpO₂ の値は、富士山頂（関ほか、2007；山本・岸本、2008；笹子・山本、2010）やエベレスト街道（3,900m）（新井・増山、1999）、キリマンジャロ（3,700m）（新井・増山、1999）など、4,000 m に近い実際の高所で測定された値に類似していた。また先行研究と同様、意識呼吸を行うことで SpO₂ の有意な上昇と、PR の有意な低下を示した。

これらのことから、70 分間という短時間の低酸素曝露によっても、4,000 m 相当の高所で登山やトレッキングをした際の身体の応答や行動適応の能力を、ある程度まではシミュレーションできると考えられる。また、本研究で得られた 166 名の平均値や標準偏差との比較から、個人の高所に対する適性や行動適応能力を客観的に評価できる可能性も考えられる。

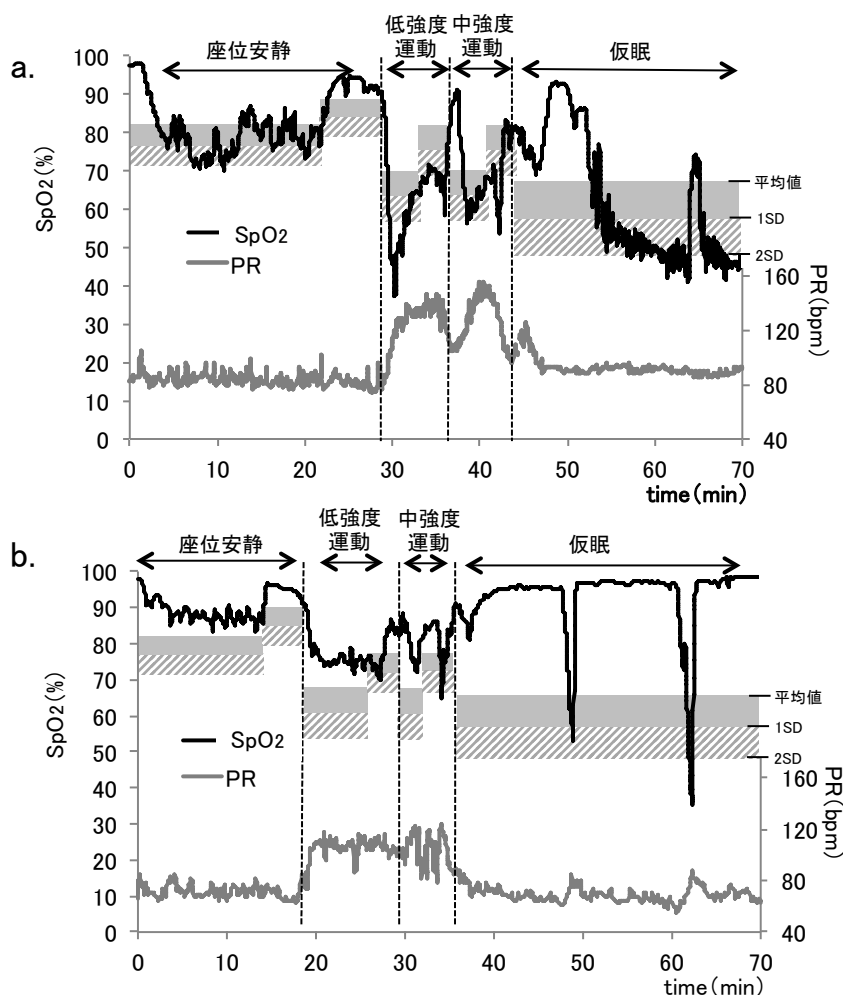


図15. 4000 mテスト時の症例 aは57歳の女性, bは56歳の女性
 (■ 166名の対象者の平均値-1SDの範囲, ▨ は平均値-2SDの範囲を示している。)

図 15-a,b は、本テストの結果において、運動時と仮眠時に、SpO₂ が大きな外れ値（2SD 以上）を示した 2 名のデータを示したものである。

図 15-a は、57 歳の女性の 4000 m テスト時の SpO₂ である。通常呼吸、口すぼめ呼吸の順に、安静時で 77.9%、

93.7%，低強度運動時は47.2%，69.3%，中強度運動時は60.3%，68.4%，仮眠時は55.8%であった。通常呼吸の値は、全ての状況下で平均値より-2 SD 以上低値を示した。

図 15-b は 56 歳の女性の 4000 m テスト時の安静時の SpO₂ である。通常呼吸、口すぼめ呼吸の順に、安静時は 87.1%，95.1%，低強度運動時は 74.5%，84.5%，中強度運動時は 75.7%，85.3%，仮眠時の最低値は 35.3% であった。安静時、低強度運動時、中強度運動時においては、平均値よりも高値を示したが、仮眠時には急激に低下し、その値は-2 SD 以上低値を示した。対象者は「ウトウトすると、息苦しくなって目が覚めた」とコメントした。

この 2 名に尋ねてみると、両者とも高所に行くだけで体調を崩しやすいと述べていた。このように、本テストで得られた 166 名の平均値に対して、大きな外れ値を示すかどうかを見ることで、高所での適性をより客観的に判断できる可能性もある。

また、本テストでは、口すぼめ呼吸に代表される高所での行動適応の能力を評価したり、学習したりできるという効果もある。例えば、①指示を行うことで直ちにできる人、②何度か指示を行うと出来るようになる人、③何度も指示を行っても出来ない人などがおり、行動適応の能力を評価できる。また、③については、呼吸機能に何らかの問題がある可能性もある。

さらに、口すぼめ呼吸の知識をもたない対象者に対して、本テスト時に口すぼめ呼吸を指導した結果、実際の高所登山においても、AMS の防止に有効であったとの内省報告もあった。

この他にも、本テストの結果を参照しながら、運動時や仮眠時に SpO₂ が低下しやすい人は、それぞれの状況下で、複数回の低酸素トレーニングを行って、事前にある程度の高所順応を獲得したり、行動適応の方法を学習したりするといった対策も考えることができる。

今後はこのような様々な現場への活用について、データをもとに検討していくことが必要といえる。

5. まとめ

常圧低酸素室を用いて、一般登山者が取り組みやすく、登山中に経験する様々な状況をシミュレーションできるアセスメント方法（4000 m テスト）を考案し、その意義について検討した。

4000 m テスト時の SpO₂ は、男女ともに、安静時>低強度運動時≒中強度運動時>仮眠時となった。それぞれの値は、自然の 4,000m 付近の高所で測定された値とほぼ同等であった。また、通常呼吸から口すぼめ呼吸に呼吸を変化させた際には、男女ともに全ての状況において SpO₂ は有意に上昇し、PR は有意に低下した。さらに、高所で AMS を発症しやすい人は、本テスト時の SpO₂ が平均値よりも低値を示した。

以上のことから、4000 m テストは実際の高所環境をシミュレーションでき、各個人の高所に対する適性や行動適応の能力を、事前に判別できる可能性もあることが示唆された。

【研究2-2】身体のアセスメントの結果に基づいたコンディショニングの事例

1. 研究目的

研究2-1で、4000mテストを用いたアセスメントの有用性を示唆した。この結果を受けて研究2-2では、実際に海外での高所登山やトレッキングに出かける者に対して、研究2-1でのアセスメントの結果（エビデンス）をもとに、高所に対する弱点がある者については、その改善を目的としたコンディショニングとして低酸素トレーニングを実施し、高所登山・トレッキングがより安全・快適に遂行できるかを検討することとした。

4000mテストは、安静、運動、仮眠という3つの条件での高所登山をシミュレーションし、それぞれの場面での対象者のSpO₂から、体内のハイポキシアの状態を評価できる。また、SpO₂を上昇させるための行動適応の能力を判別することもできる。そして研究2-1の結果からは、対象者によってはある場面では問題ないものの、別の場面では問題があるというように、低酸素環境下の各状況下での特性が異なる場合があることを指摘した。本研究では、このような対象者に対して、その弱点を克服するコンディショニングを行い、その有用性を検討した。

山本（2005）は、高所登山・トレッカーが常圧低酸素室を用いて、高度4,000m相当への高所順応を獲得するための方法について、①トレーニング高度は2,000mでも効果がある、②トレーニング時間は1日に1時間でも効果がある、③トレーニング期間は4日間でも効果がある、④トレーニング様態は安静・運動・睡眠の3つを組み合わせてもよいが、2つあるいは単独でも効果があるとしている。本研究におけるコンディショニング方法の実施にあたっては、上記の山本の知見を用いた。

また、コンディショニング方法を検討する際は、研究1-2で明らかにした高度上昇量とSpO₂の低下度合いの関係を考慮した。研究1-2より、ヒマラヤのトレッキングは1日あたりの平均高度上昇量が約300mであり、高度上昇に伴うSpO₂の低下度合いは小さいことが示唆された。言い換えれば、高度上昇量が大きいキリマンジャロなどへの登山よりも、高所順応を獲得しやすい行程と考えられる。そのため、ヒマラヤトレッキングが目的の対象者で、4000mテスト中のSpO₂の値が平均値よりも低い者に対しては、生理的な高所順応をねらいとした事前順応トレーニングにより、SpO₂を予め上昇させることをより優先すべきであると考えた。

一方で、キリマンジャロ登山や富士登山に代表されるような、一日の高度上昇量が大きな行程の場合には、高所順応を期待するよりも、意識呼吸によってSpO₂を上昇させる行動適応を実施する方が有効（Saul et al., 2002）と言われる。このため、キリマンジャロ登山が目的の対象者で、4000mテスト中に口すぼめ呼吸によるSpO₂の上昇量が小さな者に対しては、口すぼめ呼吸の習得のためのトレーニングをより優先すべきであると考えた。

以下、生理的な高所順応をねらいとして時間をかけて行うコンディショニング（事例1、事例2）と、行動適応による即時的な効果をねらったコンディショニング（事例3、事例4）、の2つに分けて紹介する。

2. 本アセスメントの結果と目的地の行程から検討したコンディショニング事例

○事例 1. 低酸素室で長時間の睡眠を行うことにより、生理的な高所順応をねらいとしたコンディショニング事例

(1) 対象者

対象者 A は、66 歳の男性（身長 165 cm、体重 66.2 kg）であった。登山歴は 20 年で、過去の最高到達高度は富士山（高度 3,776 m）であり、これまでに AMS の経験はなかった。本対象者は 2016 年 4 月 2 日にネパールのヒマラヤトレッキング（高度 4,200 m まで）に出発するにあたり、前年の 12 月 1 日に 4000 m テストを受けた。4000 m テストおよび低酸素トレーニング時のモニタリングと分析は、研究 2-1 の方法を用いて行った。

(2) 4000 m テストとその結果

図 16 は、対象者 A の 4000 m テスト中の SpO₂ の変化を示したものである。安静時における通常呼吸時と口すぼめ呼吸時の SpO₂ は 87% と 95%，低強度運動時では 78% と 94%，中強度運動時では 82% と 93%，仮眠時では 64% であった。研究 2-1 で算出した 4000 m テストの男性 84 名の平均値（以下、基準値）と比較すると、安静時と運動時の SpO₂ は基準値よりも高値を示した（安静時の通常呼吸時で 3 point、口すぼめ呼吸時で 2

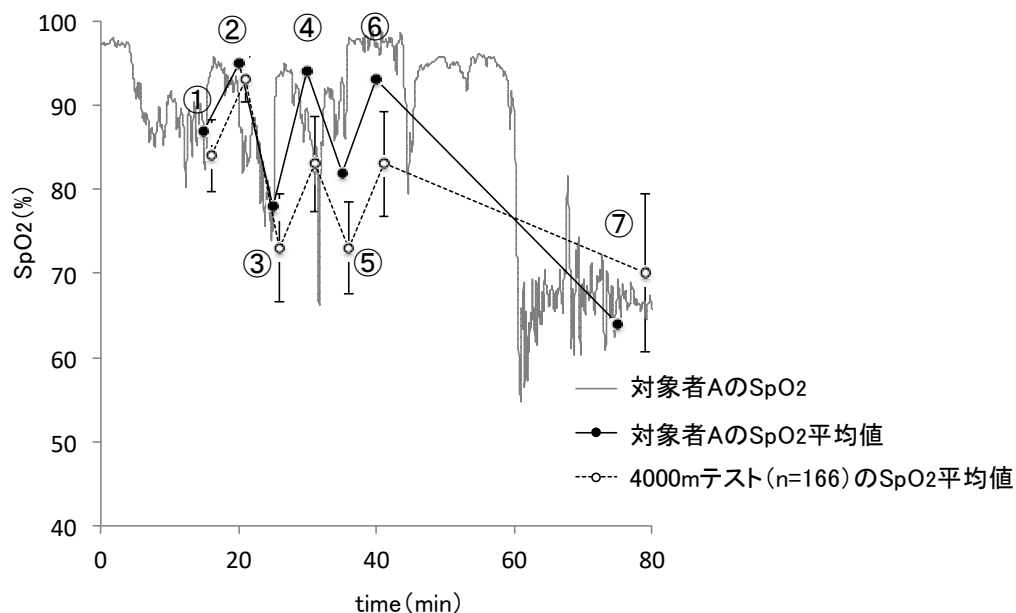


図 16. 仮眠時の SpO₂ が平均値よりも低い対象者 A の 4000 m テスト中の SpO₂ の変化
(①: 安静-通常呼吸時, ②: 安静-口すぼめ呼吸時, ③: 低強度運動-通常呼吸,
④: 低強度運動-口すぼめ呼吸時, ⑤: 中強度-通常呼吸時, ⑥: 中強度-口すぼめ呼吸時,
⑦: 仮眠時)

point. 低強度運動時では5 point, 11 point. 中強度運動時では9 point, 11 point) が, 仮眠時においては基準値よりも7 point 低値を示した.

(3) アセスメントとコンディショニング

4000 m テストの結果から, 本対象者は仮眠時の SpO₂ のみ, 基準値よりも低い値となった. 一般的に, 高所登山・トレッキング中の高山病は, 睡眠中に発症したり, 悪化する可能性が高いとされる (Ward et al., 2000 ; Hultgren.,1997) が, 本対象者では睡眠中に高山病を発症するリスクがより高いと予想した.

本対象者の目的地はネパールのヒマラヤトレッキング (高度 4,000 m) であり, 1 日あたりの高度上昇量が 500 m 以下と小さいため, 生理的な高所順応を目的とした事前コンディショニングを行うこととした. 具体的には, 3 月 20 日と 3 月 28 日に, 高度 4,000m に設定した常圧低酸素室内で 22 時から翌朝 6 時まで睡眠を行なった (以下, 睡眠トレーニング).

図 17 には, 対象者 A が高度 4,000 m 相当の低酸素室で睡眠トレーニングを行った際の SpO₂ の変化を示した. 睡眠 1 回目, 2 回目ともに開始直後から急激に SpO₂ は低下した. その後, 1 回目では大きく上下を繰り返したのに対して, 2 回目では変動が少なかった. 睡眠中の平均値は 1 回目が 72 %, 2 回目が 74 % であり, 1 回目よりも 2 回目の方が値が 2 point 高かった.

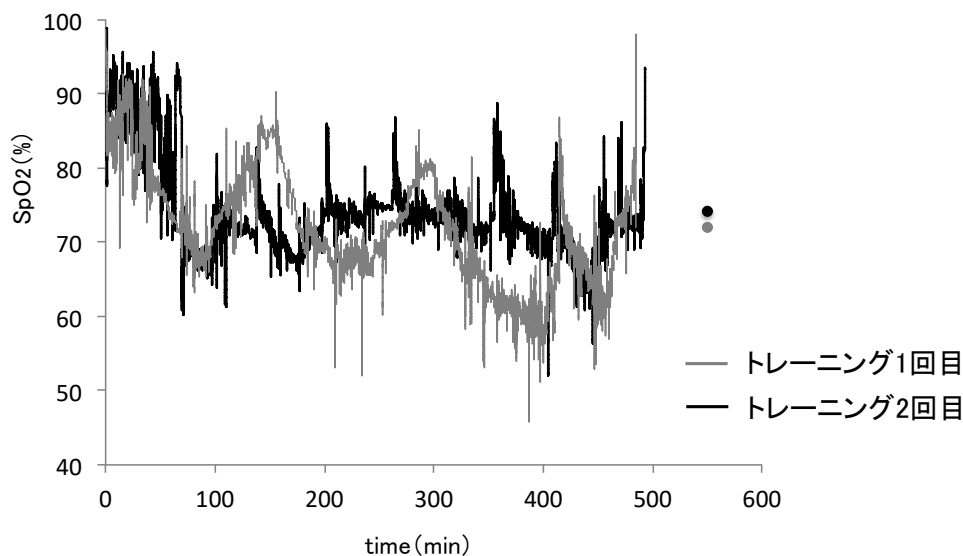


図17. 仮眠時のSpO₂が平均値よりも低い対象者Aの睡眠トレーニングによるSpO₂の変化

(4) 現地での状況

対象者 A からは, 低酸素トレーニング後に出発したヒマラヤのトレッキングでは, 「安静時や運動時だけでなく, 睡眠時にも AMS を発症することなく, 目的を達成することができた」との報告があった. また, 「高所テストを受けることで, 出発前に自身の AMS のリスクを知ることができ, それに見合ったコンディショニングを受けることで, 安心して出発することができた」と述べた.

(5) 考察

AMSにかかりやすい登山者に対して、高所登山の前に低酸素トレーニングを行わせた森ほか（2012）によると、対象者がAMSを発症しやすい状況（安静、運動、睡眠）に応じて低酸素トレーニングの内容を変化させることで、トレーニングの効果はより高くなると報告している。つまり、高所登山の睡眠中にAMSを発症しやすい場合は、睡眠トレーニングを行うことが重要だということである。この知見を参考に、本対象者には睡眠トレーニングを行わせた。

その結果、本対象者の4000 mテスト時の仮眠時のSpO₂は64%であったが、1回目の睡眠トレーニング中のSpO₂の平均値は72%であり、2回目の睡眠トレーニング中のSpO₂の平均値は74%となり、4000 mテスト時よりも上昇した。

先行研究において、高度2,000 - 4,000 mに設定した常圧低酸素室内で睡眠トレーニングの回数を重ねる毎に、SpO₂が増加したり、SpO₂の振幅が小さくなることが報告されている（前川・山本, 2001 ; 烏賀陽・山本, 2005）。また山下・山本（2013）は、高度2,500 mに設定した常圧低酸素室で4日間の睡眠を行なった際、睡眠中のSpO₂に関しては有意な変化は見られなかったものの、低酸素暴露の前後で測定されたHVR（低酸素換気感受性）は有意な増加が見られたと報告している。

これらの先行研究を考慮すると、本研究の対象者Aに関しても、トレーニング1, 2回目のSpO₂の差は小さいが、2回目は1回目よりもSpO₂の振幅が小さくなっており、HVRは増加した可能性がある。そして、その結果として、現地でも高山病を発症することなく、安全にトレッキングを行うことができたと考えられる。

○事例2. 低酸素の曝露回数を増やすことにより生理的な高所順応をねらいとしたコンディショニング事例

(1) 対象者

対象者Bは70歳女性（身長154 cm, 体重55.6 kg）であった。登山歴は40年で、過去の最高到達高度は7,000 mであり、この時に高度5,500 m以上でAMSの経験があった。高所登山の経験は豊富であるが、別の海外登山時にはAMSの症状が重いため目的地に到達できなかったこともあった。

本対象者は、2016年5月10日に、約5年ぶりの高所トレッキングである、ネパールヒマラヤのエベレストのベースキャンプ（高度5,300 m）に出発するにあたり、事前に高所での身体反応を確認するため、同年の3月15日に4000 mテストを受けた。4000 mテストおよび低酸素トレーニング時のモニタリングと分析は、研究2-1の方法を用いて行った。

(2) 高所テストとその結果

図18は、対象者Bの4000mテスト中のSpO₂の変化である。通常呼吸、口すぼめ呼吸の順に、安静時は79%、85%、低強度運動時は63%、70%、中強度運動時は65%、72%、仮眠時は64%であった。研究2-1で算出した4000mテストの女性82名の平均値（以下、基準値）と比較すると、安静時、運動時、仮眠時のすべ

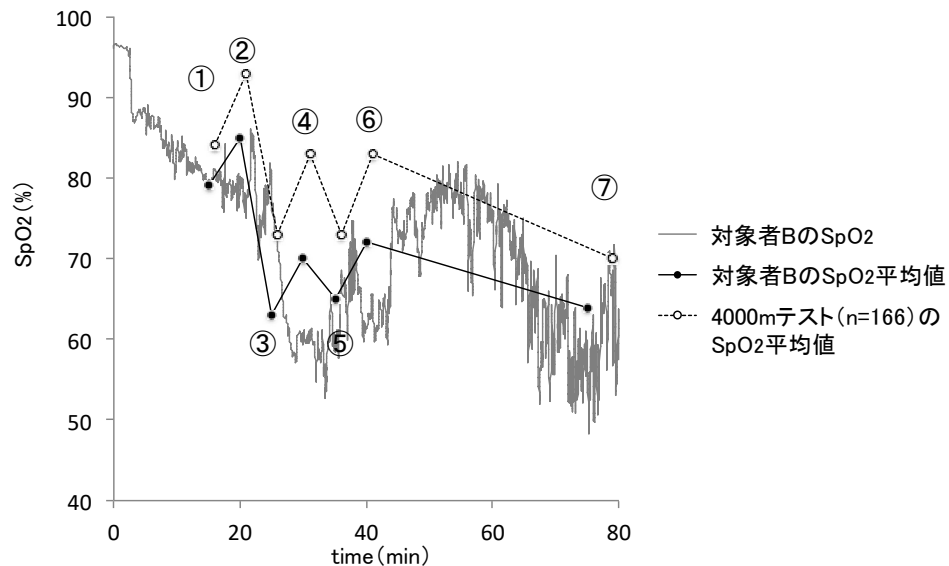


図18. 安静時・運動時・仮眠時のSpO₂が平均値よりも低い

対象者Bの4000 mテスト中のSpO₂の変化

- (①:安静-通常呼吸時, ②:安静-口すぼめ呼吸時, ③:低強度運動-通常呼吸,
④:低強度運動-口すぼめ呼吸時, ⑤:中強度-通常呼吸時, ⑥:中強度-口すぼめ呼吸時,
⑦:仮眠時)

での状況において、基準値よりも低値を示した（安静時の通常呼吸時で4 point, 口すぼめ呼吸時で8 point. 低強度運動時では7 point, 11 point. 中強度運動時では5 point, 8 point. 仮眠時では4 point）。

(3) アセスメントとコンディショニング

4000 m テストの結果、対象者Bは、覚醒時も睡眠時も高山病発症のリスクは高いと予想した。対象者Bの目的地は事例1と同様にヒマラヤであることから、生理的な高所順応を目的とした事前コンディショニングとして、高度4,500 - 6,000 m相当に設定した常圧低酸素室を用いて10回の低酸素トレーニングを行なった。

トレーニングの高度設定に関しては、対象者Bの体調を確認しながら決定した。つまり、対象者Bが設定した高度でトレーニングを行った際、「通常の高所トレッキングと同じ感覚で歩くことができる」と回答した場合は、トレーニングの高度を上昇させた。なお、対象者Bに関しては、鳥賀陽・山本（2002,2003）が行なった先行研究と同様に、安静と運動のみの低酸素トレーニングとした。

表 11 は、対象者 B の 10 回のトレーニング時の高度と、各高度に設定した低酸素室に入室後、座位安静 20 分間のうち後半 5 分間の SpO₂ の平均値の変化を示したものである。

表11. 対象者Bのトレーニング中の設定高度とSpO₂の変化

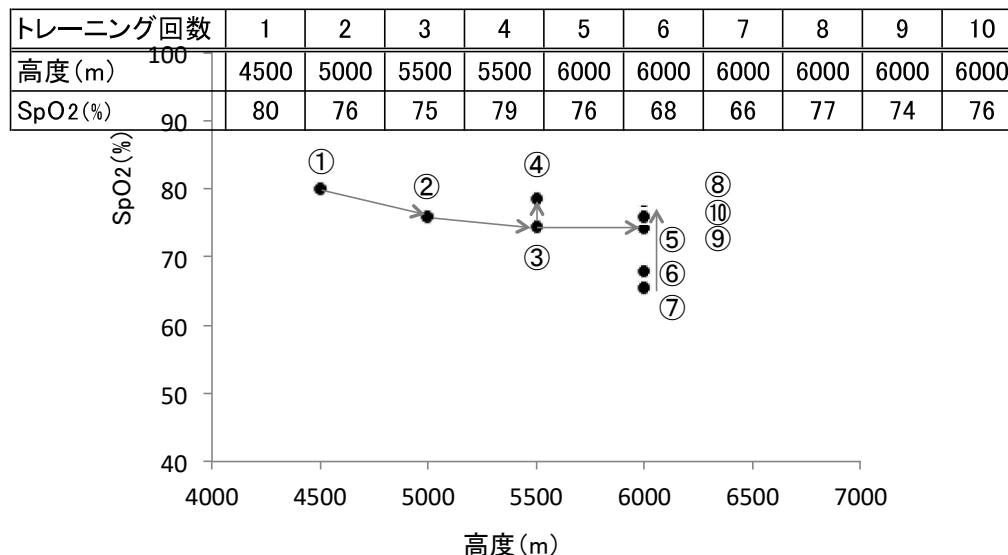


図19. 対象者Bの低酸素トレーニング中の高度変化にともなう SpO₂の変化の様相
(○内の数値はトレーニング回数を表す)

また、図 19 は、表 11 のデータをもとに、10 回のトレーニング中の高度上昇と SpO₂ の変化を示したものである。

トレーニング 1 回目の高度は 4,500 m とし、2 回目は 5,000 m、3 回目は 5,500 m と高度を上昇させた。その際、SpO₂ の値は高度の上昇とともに低下した。トレーニング 3 回目と同等の高度に設定したトレーニング 4 回目の SpO₂ の値は、3 回目よりも 4 point 上昇した。トレーニング 5 回目から 10 回目までの高度の設定は 6,000 m とした。その際の SpO₂ の値は、5 回目から 7 回目までは低下したが、8 回目以降は上昇傾向が見られた。

(4) 現地での状況

対象者 B がトレーニング後に出発したヒマラヤのトレッキングでは、「高山病症状がなく、今までの高所トレッキングと比較すると最も体調が良かった」との報告があった。また、「今回は久しぶりの高所トレッキングで不安があったが、4000 m テストで現在の体調を把握することができた。そして、それに合ったコンディショニングを行うことができ、現地でも快適に過ごせた」と報告があった。

(5) 考察

先行研究において鳥賀陽・山本（2003）は、1日1時間の低酸素トレーニングを6回行った結果、トレーニング前後での高度4,000 mで測定したSpO₂を比較すると、トレーニング後の安静時と運動時においてSpO₂の上昇が見られたと報告している。中でもトレーニング開始1回目でSpO₂が有意に上昇していることから、1日あたり1時間の低酸素トレーニングを1回行うだけでも順応の効果があるとしている。

本研究でも、4000 mテストの安静時のSpO₂は79%であったが、高度を4,500 mに設定したトレーニング1回目のSpO₂は80%であり、4000 mテストの際よりも高度が高かったにも関わらず、両者はほぼ同等の値を示した。その後は、5,000 m、5,500 mと高度を上げたためSpO₂は低下したが、高度の設定を同じ5,500 mにしたトレーニング3回目と4回目では、3回目のSpO₂が75%であったのに対し、4回目は79%と4 point 上昇した。そして、高度を6,000 mに設定したトレーニング5 - 11回目では、5 - 7回目まではSpO₂が低下したが、8回目以降は上昇傾向が見られた。

鳥賀陽・山本（2002, 2003）は高度4,000 mでは、1日1時間の低酸素トレーニングでも順応の効果はあるとしているが、Hultgren（1997）によると、高度上昇とともに、順応にかかる日数は長くなるとされる。対象者Bにおいても、高度6,000 mでの高所順応を獲得するためには、徐々に高度を上昇させながら、少なくとも8回のトレーニングが必要であったことが考えられる。

以上のことから、対象者Bは4000 mテストを受けることによって、安静時、運動時、睡眠時の全ての状況において高山病を発症するリスクは高いことを予測でき、高度を上昇させながら安静と運動による低酸素トレーニングを行うことで、生理的な高所順応をある程度まで獲得できた可能性がある。そして、その結果として、実際の高所トレッキングでは、高山病を発症することなく、今までの高所トレッキングの中で最も体調が良かったことが考えられる。

○事例3. AMSの防止策である行動適応（口すぼめ呼吸）の習得による即時的な効果をねらったコンディショニング事例

(1) 対象者

対象者Cは57歳男性（身長179 cm、体重69.3 kg）であった。登山歴は10年で、過去の最高到達高度は富士山（高度3,776 m）であり、急性高山病の経験はなかった。本対象者は2016年8月24日にキリマンジャロ（高度5,895 m）に出発するにあたり、事前に高所での身体反応を測定するために、7月1日に高所テストを受けた。高所テストおよび高所トレーニング時のモニタリングと分析は、研究2-1の方法を用いて行った。

(2) 高所テストとその結果

図20は、対象者Cの高所テスト中のSpO₂の変化である。通常呼吸、口すぼめ呼吸の順に、安静時は82%、92%、低強度運動時は71%、72%、中強度運動時は71%、72%、仮眠時は78%であった。高所テストの際、

通常呼吸から口すぼめ呼吸に変化させることで、SpO₂を10 pointほど上昇させるように指示しており、通常の対象者であれば、指示通りに行うことができる(安藤ほか, 2014)。しかし、対象者Cは低強度及び中強度運動時において、口すぼめ呼吸によるSpO₂の上昇が小さかった(低強度運動, 中強度運動ともに1 point 以下)。

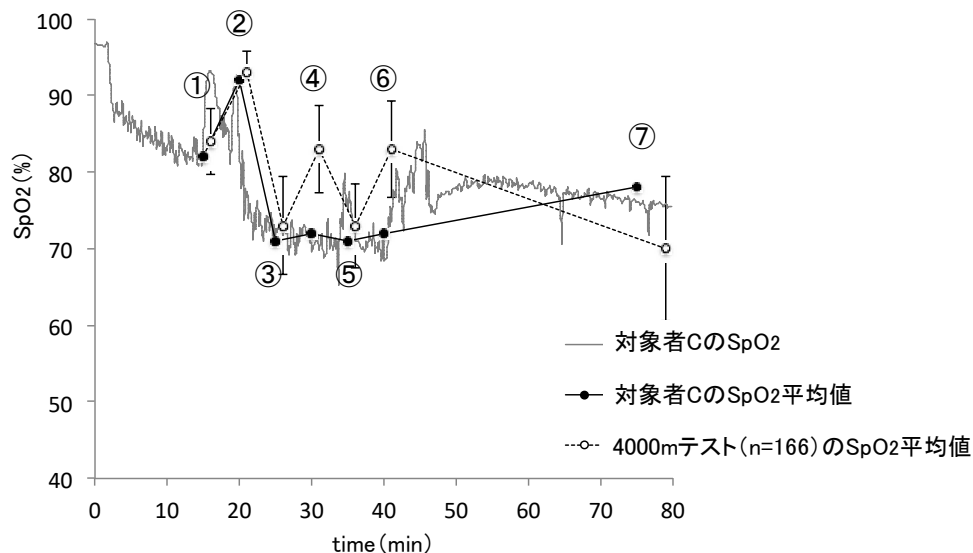


図20. 意識呼吸によるSpO₂上昇が小さい対象者Cの4000 mテスト中のSpO₂の変化
 (①: 安静—通常呼吸時, ②: 安静—口すぼめ呼吸時, ③: 低強度運動—通常呼吸,
 ④: 低強度運動—口すぼめ呼吸時, ⑤: 中強度—通常呼吸時, ⑥: 中強度—口すぼめ呼吸時,
 ⑦: 仮眠時)

(3) アセスメントとコンディショニング

低強度及び中強度運動時において口すぼめ呼吸によるSpO₂の上昇が小さかったため、高度4,500 – 6,000 m相当に設定した常圧低酸素室を用いて、口すぼめ呼吸を習得することを主眼とした4回の低酸素トレーニングを行なった。高度4,500 mから開始し、1回のトレーニングにつき、500 mずつ上昇させた。

トレーニングの内容は、低酸素室に入室後、座位安静を20分間行なった後、口すぼめ呼吸を習得させるため、踏み台昇降運動を行いながら、インターバル形式で、5分毎に通常呼吸と口すぼめ呼吸を交互に繰り返すこととした。その際、呼吸法の変化によるSpO₂の変化を対象者自身に観察させると同時に、体調の変化も観察させた。

図21-a,b,c,dは、対象者Cの4回の低酸素トレーニング中のSpO₂の変化である。高度4,500 mでの運動時において、通常呼吸から口すぼめ呼吸に変化させた際は、約10 pointのSpO₂の上昇が見られた(a)。また、通常呼吸の際の感覚は「フラフラする」としたのに対し、口すぼめ呼吸によってSpO₂が上昇した時の感覚は「スッキリする」「体が軽くなる」と報告した。

しかし、2回目のトレーニングで設定した高度5,000 mでは、運動前半において口すぼめ呼吸によるSpO₂の上昇が見られなかった(b)。そのため、運動後半では、呼吸法のタイミングを変化させた。すなわち、高度

4,000 m と 4,500 m では 1.5 秒毎に 1 秒間の呼息と 1 秒間の吸息を交互に行ったのに対し、高度 5,000 m では、0.5 秒間の呼息を 2 回連続で行った 1.5 秒後に、0.5 秒間の吸息を 2 回連続で行い、それを繰り返すことで呼吸数を増加させた。その結果、口すぼめ呼吸を行うことで、通常呼吸時よりも約 10 point の SpO₂ の上昇が見られた。

高度 5,500 m と 6,000 m では、5,000 m と同様に 1.5 秒毎に 2 回ずつ呼息と吸息を繰り返す口すぼめ呼吸を行うことによって、SpO₂ が通常呼吸時よりも約 15~20 point 上昇した (c, d)。

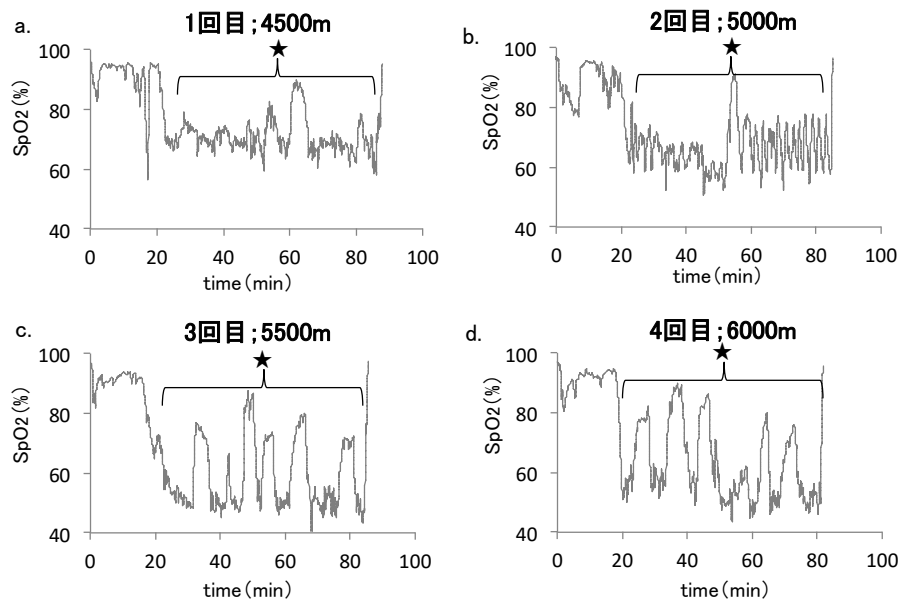


図21.意識呼吸によるSpO₂上昇が小さい対象者CのトレーニングによるSpO₂の変化 (★は通常呼吸と口すぼめ呼吸を繰り返した部分)

(4) 現地での状況

対象者Cが低酸素トレーニング後に出発したキリマンジャロ登山では、「最後まで口すぼめ呼吸を意識することで、AMS症状がひどくならずに登頂できた」「パルスオキシメーターを見なくてもSpO₂が低下した感覚と、口すぼめ呼吸を行なってSpO₂が上昇した感覚がわかった」「低酸素室で体感した高度と、実際の登山中の同程度の高度での感覚は同じくらいだった」と報告があった。

(5) 考察

AMSを防止するためには意識的に呼吸を行うことが重要だといわれている(山本, 2016; 山本・國分, 2003; 大澤ほか, 2009)。それは、意識的に呼吸を行い、換気量を増加させることで二酸化炭素の排出量を増やし、酸素をより多く取り込むとともに、肺胞内の酸素分圧を上昇させることでSpO₂を上昇させることができるためである(Mueller et al., 1970)。しかし、先行研究の多くは安静時を対象としたもので、運動時における呼

吸の変化とそれによる SpO₂ の変化との関係について研究したものはない。また、高度の違いによる、意識呼吸を行なった際の SpO₂ の上昇度合いを比較した研究も見当たらない。

本研究の結果、低酸素環境下において、運動時にも口すぼめ呼吸を行うことで、通常呼吸時よりも SpO₂ が上昇することが確認できた。また、対象者 C は、低酸素トレーニング中の通常呼吸の際の感覚は「フラフラする」としたのに対し、口すぼめ呼吸によって SpO₂ が上昇した時の感覚は「スッキリする」「体が軽くなる」と報告した。実際の登山中はパルスオキシメーターを装着しているとは限らないため、SpO₂ の値を確認しながら呼吸法を変化させる判断を行うことは難しい。しかし、事前のコンディショニングにおいて、通常呼吸時と口すぼめ呼吸時の感覚の違いを見につけておくことは、AMS を早期に発見し、未然に口すぼめ呼吸を行うことができるため、重篤な AMS を防止できる可能性がある。

高度と呼吸法の関係について、日本人のエベレスト最多登頂記録（8 回）を持つ、国際山岳ガイドは「高所登山を行う際、4,000 m での呼吸、5,000 m での呼吸、6,000 m での呼吸、7,000 m での呼吸というように、高度により呼吸法を変化させている」と言う。高所経験が豊富な登山家はその経験から、高度のレベルに応じた呼吸法を身につけている可能性がある。

一方、研究 1-1 の図 9 示したように、一般的な高所登山者・トレッカーは高所登山の経験が少ない者が多く、AMS を防止するための呼吸法についても知識不足なことが考えられる。そのため、呼吸法を変化させることによる行動適応ができるか否かを判別することができる高所テスト、および、呼吸法を習得させるためのコンディショニング方法は有効であると考えられる。

○事例 4. コンディショニングにおいて AMS の防止策である行動適応（口すぼめ呼吸）の習得ができず、目的地の変更に至った事例

(1) 対象者

対象者 D は 61 歳男性（身長 162 cm、体重 64.2 kg）であった。登山歴は 3 年で、過去の最高到達高度は 4,000 m であったが、そこで高山病を発症した経験があった。本対象者は 2018 年 3 月初旬にキリマンジャロ（高度 5,895 m）に出発するにあたり、事前に高所での身体反応を測定するために、前年の 8 月 23 日に高所テストを受けた。高所テストおよび高所トレーニング時のモニタリングと分析は、研究 2-1 の方法を用いて行った。

(2) 高所テストとその結果

図 22 は、対象者 D の高所テスト中の SpO₂ の変化である。通常呼吸、口すぼめ呼吸の順に、安静時は 80 %、84 %、低強度運動時は 63 %、62 %、中強度運動時は 60 %、58 %、仮眠時は 78 %であった。研究 2-1 で算出した高所テストの基準値を比較すると、対象者 D の SpO₂ の値は、安静時、運動時において基準値よりも低値を

示した（安静時の通常呼吸時で4 point, 口すぼめ呼吸時で9 point. 低強度運動時では10 point, 21 point. 中強度運動時では13 point, 14 point）. また, 低強度及び中強度運動時において, 口すぼめ呼吸による SpO₂ の上昇が見られなかった（低強度運動時は-1 point, 中強度運動時は-2 point）.

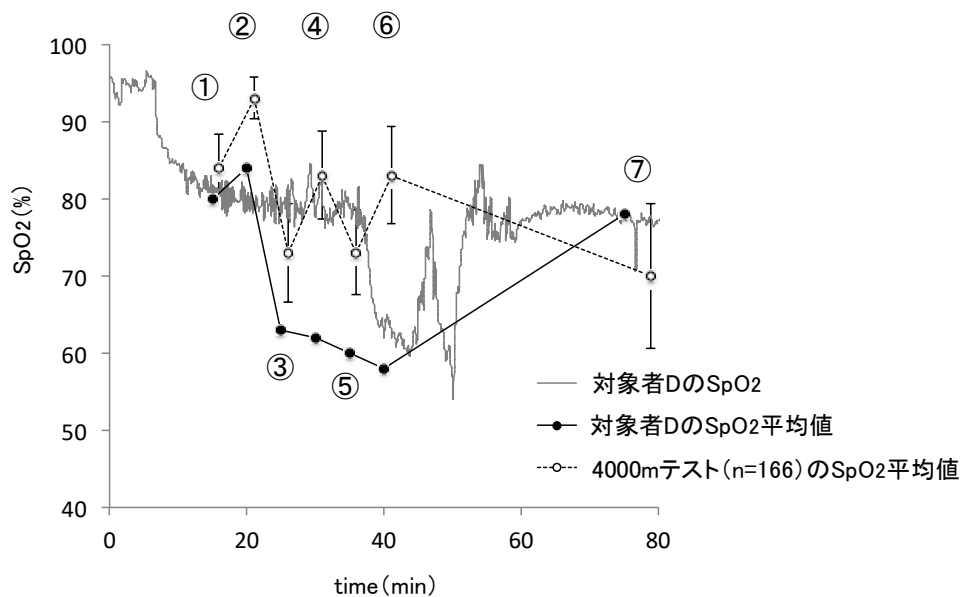


図22. 意識呼吸によるSpO₂上昇が小さい対象者Dの4000 mテスト中のSpO₂の変化
 (①:安静-通常呼吸時、②:安静-口すぼめ呼吸時、③:低強度運動-通常呼吸、
 ④:低強度運動-口すぼめ呼吸時、⑤:中強度-通常呼吸時、⑥:中強度-口すぼめ呼吸時、
 ⑦:仮眠時)

(3) アセスメントとコンディショニング

高度4,000 mでの高所テスト時の低強度及び中強度運動時において, 口すぼめ呼吸による SpO₂ の上昇が見られなかったため, 低酸素トレーニング時の高度は, 高所テストを実施した4,000 mよりも低下させ, 3,500 m 相当に設定した. トレーニングの内容は, 低酸素室に入室後, 座位安静を20分間行なった後, 高所テストと同じ低強度での踏み台昇降運動を行わせた.

その際, 口すぼめ呼吸を習得させるために, 事例3と同様に, 踏み台昇降運動を行いながら, インターバル形式で, 5分毎に通常呼吸と口すぼめ呼吸を交互に繰り返すこととした. また, 呼吸法の変化による SpO₂ の変化を対象者自身に観察させると同時に, 体調の変化も観察させた.

図23は対象者Dの低酸素トレーニング中の SpO₂ の変化である.

20分間の座位安静の後, 踏み台昇降運動を行いながら, 通常呼吸から口すぼめ呼吸に変化させたが, SpO₂ の上昇が見られなかった. そのため, 呼吸数を増やしたり, 呼息を強く行なったりするなど, 呼吸法のパターンを変化させたが, SpO₂ の上昇は確認できなかった (a). そこで, 踏み台の高さを30 cmから10 cmに低下させた (b). その結果, 口すぼめ呼吸によって SpO₂ が約10~15 point 上昇した.

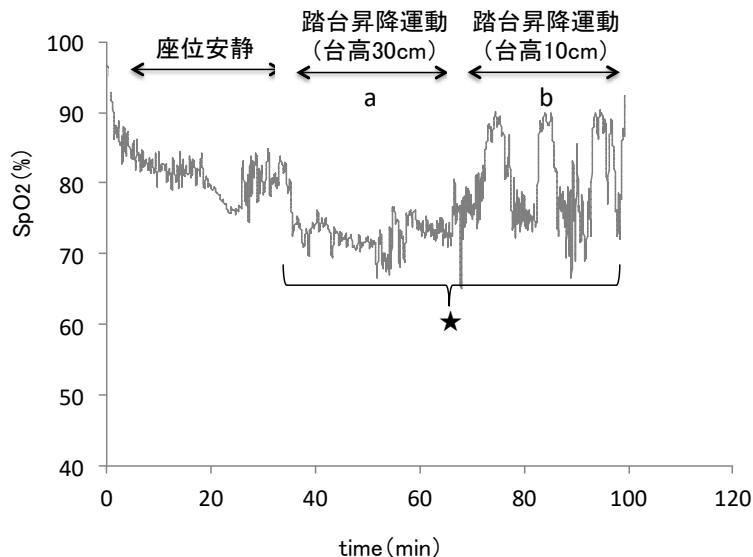


図23.意識呼吸によるSpO₂上昇が小さい対象者DのトレーニングによるSpO₂の変化
 (★は通常呼吸と口すぼめ呼吸を繰り返した部分. aは台高30cm, bは台高10cmとした)

(4) 現地での状況

対象者Dはキリマンジャロ登山を想定し、高所テスト及び低酸素トレーニングを行なった後に、予備登山として富士登山を行った。富士山吉田ルート5合目（高度2,400m）を出発し、8合目の山小屋で宿泊し、山頂を目指すという計画であった。

対象者Dは、計画通りに5合目を出発したが、7合目（高度約2,800m）で頭痛と吐き気、嘔吐のAMSを発症し、下山した。「高所テストで口すぼめ呼吸によってSpO₂を上昇させることができないことを指摘され、高度を下げてトレーニングを行ったり、踏み台昇降運動の強度を変化させたりすることで、SpO₂が改善することがわかった。しかし、本番のキリマンジャロ登山では簡単に高度を下げることはできない。そこで、目的とするキリマンジャロよりも低い富士登山で予備登山を実践することを計画した。その結果、富士登山でも高山病を防止することができなかったため、キリマンジャロ登山を中止した。いきなりキリマンジャロ登山本番を迎えるよりも、高所テストやトレーニングを受けることで、事前対策を検討することができて良かった。」と報告があった。

(5) 考察

対象者Dに関しては、高所テスト中の安静時、運動時においてSpO₂が平均値よりも低く、さらに口すぼめ呼吸を行ってもSpO₂が上昇しなかった。そのため、トレーニングでは高度を下げる、踏み台を低くする、など高度や運動の負担を軽減することで呼吸法の習得を試みた。その結果、SpO₂の上昇を確認することができた。

先行研究において、安藤ほか（2015）は高所テスト中の運動時において、SpO₂の値が平均値よりも低く、口すぼめ呼吸によってSpO₂を上昇させることができない要因について検討した。その結果、対象者の身体特性や

肺活量、一秒量、一秒率などの呼吸機能特性との関連性は見られず、口すぼめ呼吸によって SpO₂ を上昇させることができるか否かは、口すぼめ呼吸の技術に依存すると報告している。

対象者 D の呼吸機能測定の結果を見ると、努力性肺活量が 4.1 L、一秒量が 2.64 L、一秒率が 64.4% であり、一秒率が基準値（70%未満）よりも低かった。このように、一秒率の低値に加えて高所テスト中の SpO₂ が低く、さらに口すぼめ呼吸による上昇も見られない対象者 D のような場合は、高度や運動強度を下げるのが AMS 防止には有効である可能性が示唆された。先行研究において、口すぼめ呼吸を行うことで SpO₂ を上昇させられることは知られているが（山本, 2016）、高度や運動強度の変化と SpO₂ の変化の度合いを検討したものはなく、本研究の結果は今後さらに検討が必要である。

以上のことより、高所テスト及びトレーニングにおいて口すぼめ呼吸の技術を習得することはある程度可能であるが、高度や運動強度を低下させないと SpO₂ の上昇が見られない対象者の場合、高所テスト及びトレーニングの結果が「目的地の変更を検討する」という判断材料になりうるかもしれない。

表 12 は、ここまでに紹介してきた本研究の対象者 4 名のコンディショニング例をまとめたものである。

表 12. 対象者 4 名の低酸素トレーニングの内容

事例	対象者	高度 (m)	1日あたりの入室時間 (h)	トレーニング回数 (回)	総トレーニング時間 (h)	トレーニング様式
事例 1	A	4000	8	2	16	夜間睡眠
事例 2	B	4500~6000	1.5	10	15	安静+運動
事例 3	C	4500~6000	1.5	4	6	安静+運動 (通常呼吸+口すぼめ呼吸の繰返し)
事例 4	D	3500	1.5	1	1.5	安静+運動 (通常呼吸+口すぼめ呼吸の繰返し)

総トレーニング時間を見ると、対象者 A は 16 時間、対象者 B は 15 時間であった。トレーニングを行った結果、SpO₂ の上昇が見られ、実際の登山においても AMS を発症することなく目的地に到達できた。

また、対象者 C と D については、行動適応による即時的な効果をねらったコンディショニングを行わせた。対象者 C の総トレーニング時間は 6 時間、対象者 D は 1.5 時間であり、対象者 A、B よりも短時間であったが、AMS を防止するための口すぼめ呼吸を学習させることができた。その結果、AMS を発症することなく目的地に到達できたり、「目的地の変更を検討する」という判断を行うことができた。

4. まとめ

本研究では、研究 2-1 で作成した高所テストのアセスメント結果に加えて、対象者が目的地とする高所登山・トレッキングの内容も合わせて考慮したコンディショニングを、高所登山・トレッキングへ出発する前に実行することで、高所テストの有用性を検討するとともに、事例を提示した。

まず、生理的な高所順応をねらった時間をかけて行うコンディショニングとして、高所テスト中の SpO₂ が基準値よりも低い対象者に対しては、長時間の低酸素曝露によるコンディショニングを行った（事例 1, 2）。その結果、どちらの対象者にも SpO₂ の改善が見られ、ある程度の生理的な順応を獲得することができた。

次に、行動適応による即時的な効果をねらったコンディショニングとして、高所テスト中の運動時に、口すぼめ呼吸による SpO₂ の上昇が小さかった対象者に対しては、口すぼめ呼吸を習得させるための短時間のコンディショニングを行った（事例 3,4）。その結果、口すぼめ呼吸の習得の有無によって、AMS を発症することなく目的地に到達できたり、「目的地の変更を検討する」という判断材料になりうる可能性が示唆された。

Ⅲ. 総括論議

1. 我が国の高所登山者・トレkkerの実態からみた高所でのリスクと対処方法

我が国の一般登山者は40歳代以上の中高年が多く、60歳代が突出しているといわれている。そして、海外の高所登山・トレッキングを目的としている者でも同様だと予測されてきたが、詳細については不明だった。

そこで、本研究の研究1-1では、実際に高所登山・トレッキングへ出発する一般登山者の実態を調査した。その結果、男女ともに60歳代が最も多いことが明らかとなった。そしてその中には、高所環境が起因となって悪化する、基礎疾患を有するものも少なくなかった。

具体的には、対象者の13%に高血圧症の既往があり、7%には心疾患の既往があることが明らかとなった。日本登山医学会(2017)によると、それらの基礎疾患に高所特有の低酸素や低温、低圧などが加わると、重篤な心疾患を発症する危険性があるとされる。また、1秒率が70%未満であれば慢性閉塞性肺疾患(COPD)とされる(日本呼吸器学会, 2004)が、本研究においても7%の対象者がこれに該当した。COPDの罹患者が高所登山を行うと、SpO₂を維持するために呼吸が亢進する。このため、呼吸筋を含めた全身への負荷が増加し、COPDを悪化させるといわれている(日本登山医学会, 2017)。

高所登山・トレッキング中に重篤な心疾患や呼吸器疾患を発症すると、速やかに下山することができなかつたり、医療機関から遠く離れているためにその場で適切な治療を行うことができなかつたりすることが多く、最悪の場合、死亡に至る可能性もある。そのため、高所登山・トレッキングへ出発する前に、何らかの基礎疾患を有する場合は、登山者検診ネットワーク(堀井ほか, 2006)などを活用し、前もって必要となる検診を受診する必要があると考えられる。

本研究の結果、登山頻度は半年に1-2回という対象者が全体の24%で最も多かったが、それ以下の者を含め、登山頻度が1ヶ月に1回以下の者は、全体の50%という結果であった。宮崎ほか(2015)が一般登山者の脚筋力を測定した結果によると、一般登山者の脚筋力は同年代の一般人よりも高い値であった。しかし、日頃の登山頻度で分類してみると、登山頻度が1ヶ月に1回以下の対象者の脚筋力は、一般登山者の平均値よりも低く、安全に登山を行うためのレベルに達していなかったと報告している。また、宮崎ほか(2012)が登高タイムから登山者の体力評価を行ったところ、登山頻度が1ヶ月に1回以下の者は、歩行能力が低く、安全に登山を行うためのレベルに達していなかったと報告している。

つまり、本研究の対象者の多くに見られたように、登山頻度が半年に1-2回以下の者では、筋力、持久力いずれの体力から見ても、安全に登山をする上では大きな不安があることになる。さらに高所環境では、低地よりもVO_{2max}が低下する(Cymerman, 1989)ため、相対的に運動強度が上がり、身体にかかる負担度はより大きくなる。

以上のことから、高所登山・トレッキングを安全に行うためには、基礎疾患に対する対応だけでなく、基礎体力の強化についての啓発も必要であることが示唆される。

2. 高所登山・トレッキングの行程から見た AMS のリスクと対処方法

Luks et al. (2014) は、安全性を確保しながら高所登山を行うための指針を示している (P. 12 参照)。しかし実際は、その指針通りの行程で行われていない場合も多い。例えば、日本人に人気の高い高所登山として、5 泊 6 日という短期間で登頂することができるアフリカ大陸最高峰のキリマンジャロや、国内最高所である富士登山がある。その行程は、1 日あたりの高度上昇量がキリマンジャロでは 840 m、富士山では 1,376 m であり、Luks et al. (2014) の指針である「高度 2,500 m 以上の登山では 1 日あたりの高度上昇量を 300 - 500 m にすること」を大きく超えている。

そこで本研究の研究 1-2 では、日本人の一般登山者を対象に、行程の違いが身体に及ぼす影響について検討した。その結果、キリマンジャロ登山とヒマラヤトレッキング、そして富士登山中の SpO₂ を比較すると、高度 2,700 m と 3,700 m では富士山が最も低く、高度 4,700 m ではキリマンジャロでの値がヒマラヤよりも低い結果となった。そしてその要因として、1 日あたりの高度上昇の割合が関係していることが明らかとなった。つまり、高度としてはより低い富士登山やキリマンジャロ登山の方が、ヒマラヤでのトレッキングよりも AMS の危険性が大きいことが明らかとなった。

近年、キリマンジャロ登山や富士登山のツアーを主催する旅行会社も増えている。しかし、AMS のリスクや防止策について、詳細に記載していない例も多いため、本研究で示した知見を啓発することが重要である。そして、このように 1 日の高度上昇量が大きい山を目指す場合は、ゆっくりとした登高速度で登ることや、可能であれば途中で宿泊地を一つ増やすなど、負担を軽減させる具体的な方法を実施することも必要である。また、それ以前に日本において事前順化トレーニングを行う必要性があるといえる。

3. 常圧低酸素室を用いた身体のアセスメント (4000 m テスト) とコンディショニングの有用性について

高所登山・トレッキングでの AMS 発症を、未然に防いだり、AMS のリスクを評価するための、常圧低酸素室を用いた試みについては、研究室レベルでは行われてきた。また、それらの研究から、体内の酸素欠乏の度合いを示す SpO₂ は、同じ高度に滞在していても、安静時・運動時・仮眠時などの状況によって値が異なること (森・山本, 2014)、そしてそれぞれの高度での値について、個人差も大きく現れる事が報告されている (森・山本, 2014)。また、AMS の発生にも、SpO₂ と同様の性質があると報告されている (山本, 2016 ; 森ほか, 2012 ; Ward et al., 2000)

これらを踏まえ、研究 2-1 では、常圧低酸素室を用いて、70 分間という短時間で、登山中に経験する様々な状況をシミュレーションできるアセスメント方法 (4000 m テスト) を考案した。その結果、4000 m テストは実際の高所登山をシミュレーションでき、各個人の高所に対する適性や行動適応の能力を、事前に判別できる可能性があることが示唆された。

また研究 2-2 では、2-1 で考案したアセスメントの結果と目的地の標高や行程を考慮して立案したコンディシ

ョニング法と、現地での成果についても検討した。表 13 は、本対象者を高所登山・トレッキングに案内した登山ガイド／添乗員 8 名（年齢 47 ± 9 年、ガイド／添乗員歴 19 ± 13 年）を対象にアンケート調査を行い、本研究のアセスメント及びコンディショニングの受講者の、実際の高所登山・トレッキング中の様子を、非受講者として比較した結果である。

表 13. ガイド／添乗員からみた本アセスメント及びコンディショニング受講者の高所登山・トレッキング中の状況(非受講者と比較した場合)

質問項目	そう思う	ややそう思う	どちらでもない	あまり思わない	思わない
体調が良い	3	2	3	0	0
AMSに対する知識がある	3	5	0	0	0
AMS発症率が低い	2	2	4	0	0
SpO ₂ が低い	0	2	5	0	1
AMS防止策に対する知識がある	3	4	1	0	0
AMS防止策を的確に行えた	1	4	3	0	0

この表を見ると、「体調」「AMS に対する知識」「AMS 防止策に対する知識」「AMS 防止策を的確に行えたか」に関しては 5 名以上が「ややそう思う」および「そう思う」と回答した。その理由として、体調に関しては、「低酸素トレーニングを行うことで、ある程度の高所順応を身に付けていたので、順応期間が短い行程でも、登頂成功率はよかった」「登山行程を短縮できたので、体力の温存ができた」などの回答があった。

「AMS に対する知識」と「AMS 防止策に対する知識」に関しては、「AMS 対策について説明を行った際の理解度が高い」「現地で伝えなくても意識的に呼吸を行っていた」などの回答があった。中には、「キリマンジャロ登山の出発前に、高所テストとコンディショニングを受けた登山者の登頂率は 100%である」との報告もあった。

図 24 - 26 は、事前に本アセスメント及びコンディショニングを受け、高所登山・トレッキングを遂行した対象者 343 名（年齢 56 ± 13 歳、目的地の高度 $5,381 \pm 845$ m）に、現地での AMS の有無や、その対処方法などについてアンケート調査を行った結果である。

図 24 には、全対象者 343 名のうち、目的地に到達した 310 名の中で、現地において AMS を発症した 220 名の症状を調査した結果を示した。それによると、全体の 50%が軽度の頭痛で最も多く、次に下痢・吐き気・嘔吐などの消化器症状、次に眠気の順であった。

図 25 は、現地において AMS を発症した 220 名に対して、AMS の症状を軽減させるために行った対策を調査した結果である。本研究のアセスメント及びコンディショニングで学習させている「口すぼめ呼吸」を行った対象者は、全体の 82%であった。また、アセスメント及びコンディショニングでは、通常呼吸から口すぼめ呼吸に変化させた際の、体調の変化も学習させているが、アンケート結果によると、対象者の 100%が「口すぼめ呼吸で体調が改善した」と回答した。症状に関しては「身体が軽くなった」「視界がすっきりした」などと回答した。

そして全対象者 343 名の 92%が、低酸素トレーニングの効果について「明らかに効果があった」「効果があった気がする」と回答した(図 26)。なお、「わからなかった」と回答した 8%は、「高所登山の経験が少なく、比較ができなかった」「高所登山や低酸素トレーニングを行ったのが初めてだったので、低酸素トレーニングの効果がわからなかった。しかし、重篤な AMS 症状を発症することなく目的地に到達できた」と報告があった。

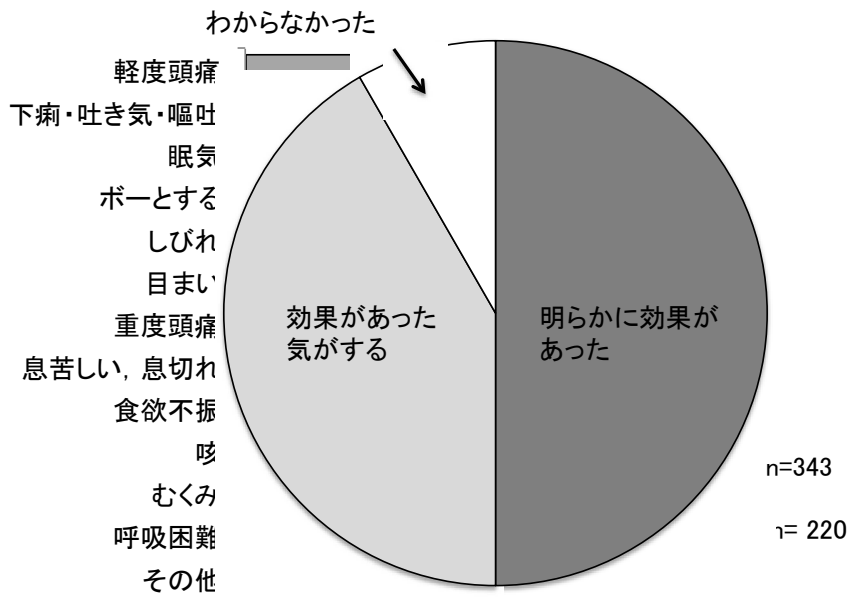


図 26. 本アセスメント及びコンディショニングの効果について(%)

図 24. 目的地到達者を対象とした高所登山・トレッキング中の AMS の症状

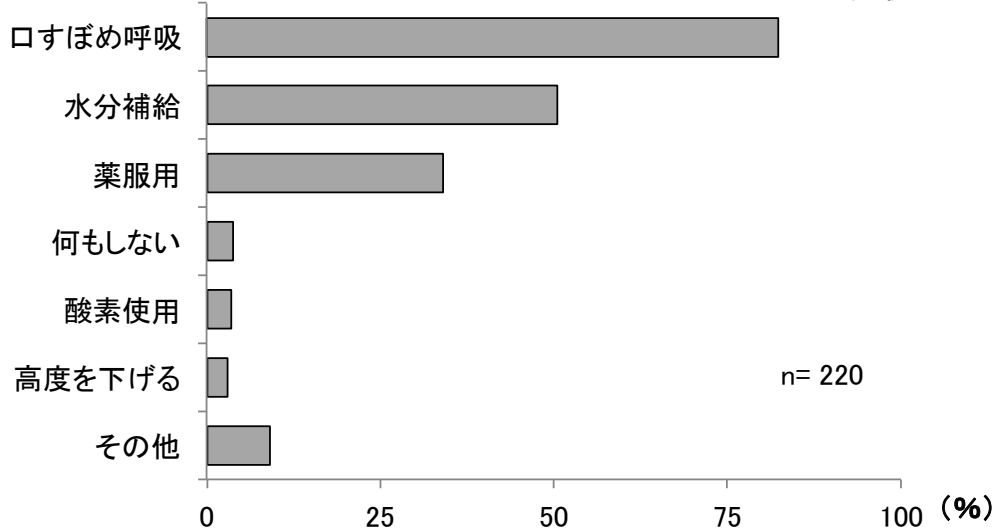


図 25. 高所登山・トレッキング中の AMS への対処方法

アンケート回答者からは、「以前出発したキリマンジャロでは極度の眠気とふらつきに見舞われて登頂することが出来なかった。今回は再度キリマンジャロ登山に挑戦するために、事前に身体アセスメントとコンディショニングを受けた。その結果、低酸素室内では前回同様の眠気とふらつきが起こったが、それを改善するための呼

吸法を身につけることで自信が付き、キリマンジャロの山頂に到達することができた」「どう呼吸をすれば SpO₂ がどのくらい上がるかわかっていたので安心だった」「事前トレーニングにより、高所で自分の身体に起こる異変についての知識を持つとともに、体験もしていたことが役に立った」との報告があった。

本コンディショニングの方針は、事前に行ったアセスメントの結果をもとに、①口すぼめ呼吸の習得による行動適応を学習させること、②生理的順応を獲得させること、であった。前記のように、対象者全員が、実際の登山中に「口すぼめ呼吸を行うことで体調が改善した」ということから、①については良い結果を得ることができた。一方で、②に関しては、「高所テストの受講者と非受講者で現地での AMS 発症率が変わらない」というガイドや添乗員からの指摘もあるため（表 13）、コンディショニング方法を再考する必要性もある。また、コンディショニングを行っても、①および②についても効果が見られない対象者については、目的地の変更を検討する判断資料になり得る可能性もある。

以上のように、常圧低酸素室を用いたアセスメントやコンディショニング方法は、従来から報告されている SpO₂ の上昇などに見られる、生理的な高所順応の目的と合わせて、AMS の症状を未然に防ぐことや、AMS 症状を回復させるための行動適応を学習させるために有効であることが考えられる。

4. 高所登山・トレッキングを安全に行うための指針の提案

本研究は、日本における高所登山者・トレッカーの実態を明らかにすること、そして、高所登山者・トレッカーのための、エビデンスに基づいた身体のアセスメントやコンディショニングの方法論を提示することの 2 点を目的とした。それらの結果をもとに、図 27 に高所登山・トレッキングを安全に行うための指針を示した。

日本人の一般登山愛好家が高所登山・トレッキングを目指す場合、まずは既往歴や障害・罹患状況などの健康状態を確認し、不安がある場合は登山者検診ネットワーク（堀井ほか、2006）を受診することとする。そして日頃の登山回数が1ヶ月に1回以下の者は、登山回数を増やして、安全に登山を行うために必要な、筋力や持久力の強化を行う。それらを踏まえた上で、高所登山・トレッキングに出発する前に、4000mテストを受講してSpO₂の平均値や口すぼめ呼吸の有無について確認し、その結果と目的地の高度や行程を考慮したコンディショニングを行うこととする。（コンディショニングの具体例については研究2-2を参照）

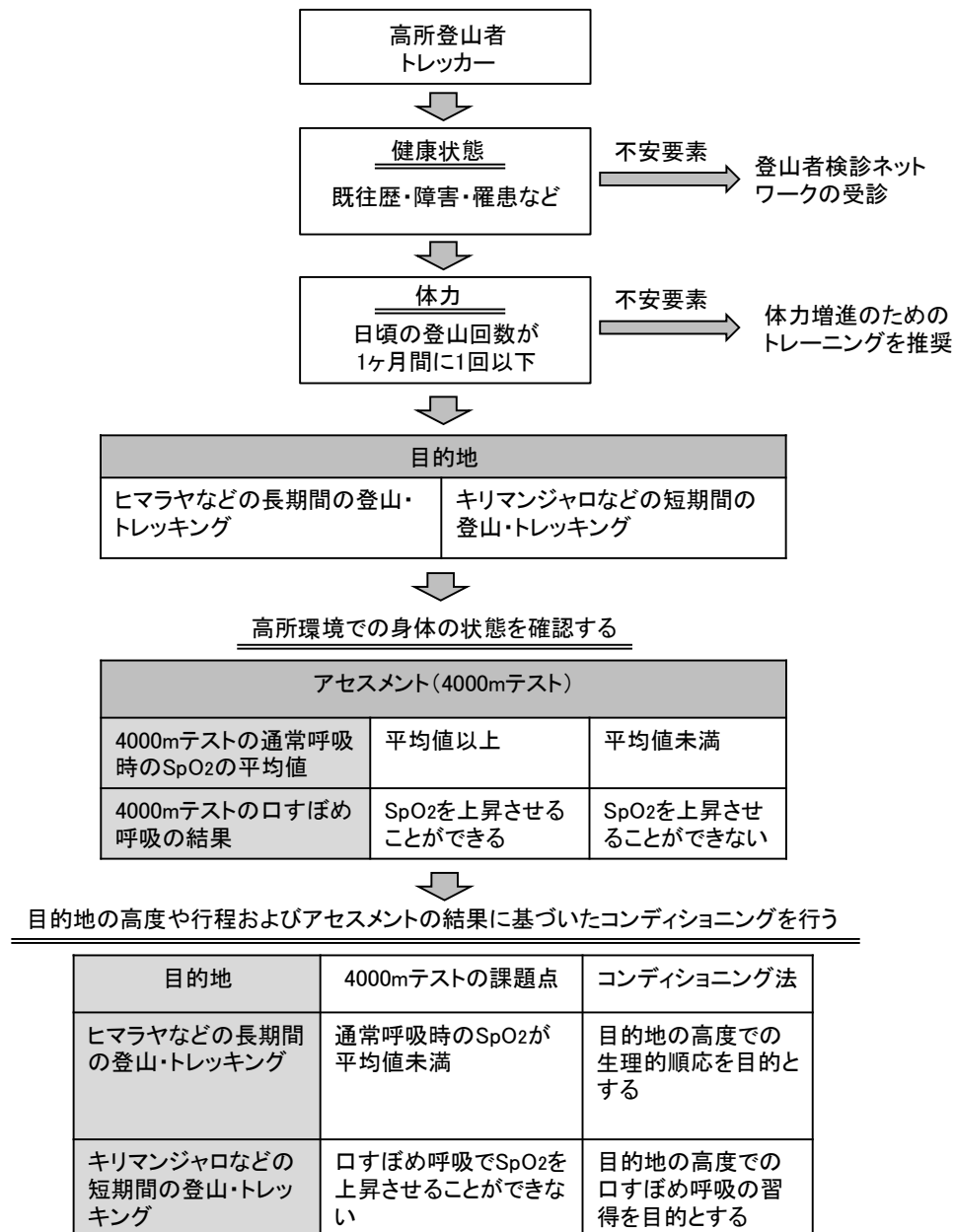


図27. 高所登山・トレッキングを安全に行うための指針

5. 本研究の身体アセスメント方法の限界と今後の課題

本研究では、高所登山・トレッキング中の状況をシミュレーションし、個々の身体反応を測定するとともに、目的とする登山・トレッキングの行程も考慮した、AMS のリスクを検討したり防止策を学習させるための、身体のアセスメント方法を考案した。その結果、対象者のアンケート（図 26）において、92%が「効果があった」「効果があった気がする」と回答した。

また、図 28 は事前に本アセスメント及びコンディショニングを受け、高所登山・トレッキングを遂行した対象者 100 名（年齢 60 ± 10 歳、目的地の高度 $4,617 \pm 736$ m）に行ったアンケート調査の結果である。それによると、対象者の 58%が「低酸素室でのきつさと現地でのきつさは同等だった」と回答した。一方で、対象者の 38%が「低酸素室でのきつさよりも実際の登山のほうがきつかった」と回答した。その理由として、「実際の高所登山の方が荷物が重たかったり、気温が寒かったりするなど、低酸素室よりも条件が厳しかった」「長期間の登山

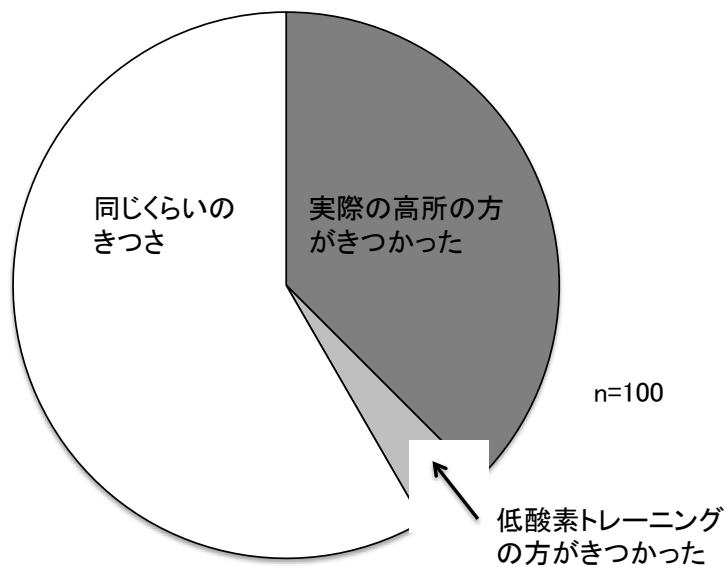


図28. 高所登山・トレッキングと低酸素トレーニングのきつさの比較

で体力が低下した」との回答もみられた。

先行研究では、同じ酸素分圧にした常圧低酸素環境と低圧低酸素環境を比較した場合、低圧低酸素環境の方が SpO_2 は低くなり、身体にかかる負担度は大きいという報告がある (Roach et al., 1996)。本アセスメントやコンディショニングを行った環境は常圧低酸素室であり、実際の高所よりも相対的な負担度が小さかった可能性も考えられる。これらのことより、本アセスメントやコンディショニングを行う際は、荷物を背負って行わせたり、目的地の高度よりも高い高度に設定するなど、相対的な負担度を考慮した強度設定を行うことが必要だと考えられる。

また、実際の高所登山・トレッキングにおいて、目的地に到達した者でも、71%が何らかの AMS 症状を発症していた (図 24)。ガイドや添乗員のアンケート結果 (表 13) においても、アセスメント及びコンディショニング受講者と非受講者で AMS の発症率はかわらないと回答した者が、50%であった。その要因としては、本対象者の低酸素環境での 1 回の滞在時間が、短い者で 90 分間、長い者でも 8 時間程度であるため、十分な生理的順

応までは得られないことが関係しているものと考えられる。そのため、本コンディショニングを行う者に対しては、このような限界があることを周知させることが必要である。また、今後より長い時間をかけたコンディショニング法についても検討していく必要もある。

IV. 結論

高所に出かける登山者の多くはこれまで、高所に対する知識や準備の不足により、ぶっつけ本番のような形で現地に出かけ、高山病に代表される様々なトラブルを起こしていた。その結果、登山やトレッキングを中止せざるをえなかったり、事故につながったりする場合もあった。そこで、これらの問題を解決し、安全で快適な登山やトレッキングを行うための方法論を構築することを目的として、本研究を実施した。

研究1では、日本人における海外での高所登山・トレッキングの実態についての調査を行った。その結果、日本人の高所登山者・トレッカーの78%は40歳以上の中高年であり、60歳代が最も多かった。また、高齢で登山歴や日頃の登山頻度が少ない者でも、標高の高い山を目指していることを明らかにした。さらに、日本人の一般登山者の多くが目指す、富士登山、ヒマラヤトレッキング、キリマンジャロ登山中のSpO₂を比較した結果、身体にかかる低酸素の負担度は、目的地の高度ではなく、1日の高度上昇量が大きい程より大きくなり、富士登山>キリマンジャロ登山>ヒマラヤトレッキングの順であることが明らかとなった。

研究2では、現地に向けて出発する前に日本国内で行う事前準備として、高所に対する各人の身体の適性、および行動適応を行う能力を評価するための、身体アセスメントの方法について検討した。その結果、高度4,000mに設定した常圧低酸素室内で行う「4000mテスト」中のSpO₂は、男女ともに安静時>運動時>仮眠時の順となり、その値は自然の4,000m付近で測定された値とほぼ同等であった。また、過去の登山において睡眠中に高山病を発症した経験のある者は、4000mテストの仮眠時のSpO₂が低いこと、行動中に高山病を発症した経験のある者は、意識呼吸によるSpO₂の上昇が低いことなどを明らかにした。

研究3では、その評価結果（エビデンス）に基づいて、個人の特性に合わせたコンディショニングの方法について検討した。その結果、1日の高度上昇量が大きいキリマンジャロを目的地とした対象者で、4000mテストにおいて意識呼吸によってSpO₂を上昇させることができなかつた者には、意識呼吸を習得させるための低酸素室を用いた行動適応の学習が効果的であることを明らかにした。また、上昇高度の緩やかなヒマラヤトレッキングなどを目的地とした対象者で、4000mテスト中のSpO₂の値が標準値よりも低かつた者には、低酸素室で滞在する時間を増やし、生理的順応を促す低酸素トレーニングを行うことが効果的であることを明らかにした。

本研究の成果を活用することで、事前に各人の高所に対する身体の特長、行動適応の能力を様々な角度から評価でき、課題を明確にしてその解決に取り組むことができる。具体的には、その評価結果をもとに、低酸素環境に対する生理的な順応を身につけたり、低酸素環境下での行動適応の学習をするなど、各人に合わせた事前のコンディショニングが可能となる。これらのことは、高所での登山やトレッキングをより安全かつ快適に実行することに寄与できるものと考えられる。

引用文献

浅見俊雄 (2004) オリンピックにおけるコンディショニング.

<https://www.joc.or.jp/column/playersupport/conditioning/>, 参照日, 2018年1月16日.

浅野勝己・岡崎和伸 (1999) ムスターグ・アタ峰登頂における高所順応トレーニングの成果. 登山研修, 14: 142-153.

新井康弘・増山茂 (1999) 高所トレッキングにおける標準的動脈血酸素飽和度. 登山医学, 19: 53-58.

安藤隼人・安藤真由子・山本正嘉 (2008) 低酸素トレーニングを利用した中高年の高度順応にかかる負担を軽減する試み;カラパタールトレッキングツアーを対象として. 登山医学, 28: 159-166.

安藤真由子・安藤隼人・大澤拓也・山本正嘉 (2008) 民間の低酸素トレーニング施設における高所順化トレーニング;3年間の利用実態と事例. 登山医学, 28: 167-172.

安藤真由子・宮崎喜美乃・山本正嘉 (2015) 標高4,000m相当の低酸素環境下において意識呼吸によるSpO₂の上昇率が小さい登山者の身体および呼吸機能特性. 登山医学, 35: 159-165.

Bartsch P, Swenson E, Paul A, Julg B and Hohenhaus E (2002) Hypoxic ventilatory response, ventilation, gas exchange, and fluid balance in acute mountain sickness. *High Altitude Medicine and Biology*, 3: 361-376.

Basnyat B, Lemaster J and Litch JW (1999) Everest or bust; a cross sectional, epidemiological study of acute mountain sickness at 4243 meters in the Himalayas. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 70: 867-873.

Basnyat B and Murdoch DR (2003) High-altitude illness. *Lancet*, 361: 1967-1974.

Beidleman BA, Fulco CS, Muza SR, Rock P, Staab JE, Forte V, Brothers M and Cymerman A (2009) Effect of six days of staging on physiologic adjustments and acute mountain sickness during ascent to 4300 meters. *High Altitude Medicine and Biology*, 10: 253-260.

Benoit H, Germain M, Barthelemy JC, Denis C, Castells J, Domoins D, Lacour JR and Geysant A (1992) Pre-acclimatization to high altitude using exercise with normobaric hypoxic gas mixtures. *International Journal of Sports Medicine*, 13: 213-216.

Berghold F : 山本正嘉訳 (1998) ザルツブルク大学スポーツ科学研究所オーストリア山岳高所医学会による高度順化の実践的指針; 岳人. 東京新聞出版局: 東京, pp. 143-152.

Bernardi E, Pomidori L, Cavallari D, Mandolesi G and Cogo A (2017) Residence at moderate versus low altitude is effective at maintaining higher oxygen saturation during exercise and reducing acute mountain sickness following fast ascent to 4559 m. *Wilderness and Environmental Medicine*, 28: 122-126.

Block AJ, Boysen PG, Wynne JW and Hunt LA (1979) Sleep apnea, hypopnea and oxygen desaturation in normal subjects; a strong male predominance. *The New England Journal of Medicine*, 300: 513-517.

- Burtscher M, Mlatz M and Faulhaber M (2004) Prediction of susceptibility to acute mountain sickness. *High Altitude Medicine and Biology*, 5: 335-340.
- Chen HC, Lin WL, Wu JY, Wang SH, Chiu TF, Weng YM, Hsu TY and Wu MH (2012) Change in oxygen saturation does not predict acute mountain sickness on Jade mountain. *Wilderness and Environmental Medicine*, 23: 122-127.
- 中央労働災害防止協会；田中茂，椎名孝夫，中島宏，ほか編（2013）「酸素欠乏症等の防止—特別教育用テキスト—」．中央労働災害防止協会：東京，pp. 49-51.
- Cymerman A, Reeves JT, Sutton JR, Rock PB, Croves BM, Malconian MK, Young PM, Wagner PD and Houston CS (1989) Operation Everest II; maximal oxygen uptake at extreme altitude. *Journal of Applied Physiology*, 66: 2446-2453.
- Davies AJ, Kalson NS, Stokes S, Earl MD, Whitehead AG, Frost H, Tyrell-Marsh I and Naylor J (2009) Determinants of summiting success and acute mountain sickness on Mt Kilimanjaro (5895m). *Wilderness and Environmental Medicine*, 20: 311-317.
- Douglas NJ, White DP, Weil JV, Pickett CK, Martin RJ, Hudgel DW and Zwillich CW (1982) Hypoxic ventilatory response decreases during sleep in normal men. *The American Review of Respiratory Disease*, 125: 286-289.
- Foster G, McKenzie D, Milsom W and Sheel A (2005) Effects of two protocols of intermittent hypoxia on human ventilatory, cardiovascular and cerebral responses to hypoxia. *The Journal of Physiology*, 567: 689-699.
- Fu Q, Townsend N, Shiller S, Martini E, Okazaki K, Shibata S, Truijens M, Rodriguez F, Gore C, Stray-Gundersen J and Levin B (2007) Intermittent hypobaric hypoxia exposure does not cause sustained alterations in autonomic control of blood pressure in young athletes. *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 292: 1977-1984.
- 富士急行株式会社（2014）フジヤマ NAVI；富士登山の直前と直後の意識比較調査。
<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000368.000001110.html>，参照日，2018年1月6日。
- Fulco CS (1988) Human acclimatization and physical performance at high altitude. *Journal of Applied Sports Science Research*, 2: 79-84.
- Fulco C, Musa S, Beidleman B, Demes R, Staab J, Jones J and Cymerman A (2011) Effect of repeated normobaric hypoxia exposures during sleep on acute mountain sickness, exercise performance, and sleep during exposure to terrestrial altitude. *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 300: 428-436.
- Fulco CS, Rock PB, and Cymerman A (2000) Improving athletic performance; is altitude residence or altitude training helpful? *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 71: 162-171.
- Hackett PH, Rennie D and Levine HD (1976) The incidence, importance, and prophylaxis of acute mountain sickness. *Lancet*, 2: 1149-1155.
- Hultgren HN (1997) *High Altitude Medicine*. Hultgren Pub; Stanford, pp. 165-180, 212-255.

- Hansen JE, Harris CW and Evans WO (1967) Influence of elevation of origin, rate of ascent and a physical conditioning program on symptoms of acute mountain sickness. *Military. Medecine*, 132: 585-592.
- 原田智紀・村井健美・平林幸生・市川亮介・浦井秀徳・森内優子・奈良真理子・井上大輔・上條剛志・小山徹・相澤信・片山容一 (2013) 蝶ヶ岳から長堀尾根を下山中に標高 2350m 付近で死亡した 16 歳男性について. *登山医学*, 33: 39-152.
- 平松和子 (2008) ネパールにおける外国人旅行者の死亡統計. *日本医事新報*, 75-59.
- Hohenhaus E, Paul A, McCullough RE, Kucherer H and Bartsch P (1995) Ventilatory and pulmonary vascular response to hypoxia and susceptibility to high altitude pulmonary oedema. *European Respiratory Journal*, 8: 1825-1833.
- 堀井昌子・斉藤繁・上小牧憲寛・志賀尚子・黒川恵・許斐真由子 (2006) 「登山者検診ネットワーク」構築の試み. *登山医学*, 26: 23-26.
- Hoshikawa M, Uchida S, Sugo T, Kumai Y and Kawahara T (2007) Change in sleep quality of athletes under normobaric hypoxia equivalent to 2,000-m altitude; a polysomnographic study. *Journal of Applied Physiology*, 103: 2005-2011.
- 星川佳広・宮下充正 (1996) 高度 500m から 3500m までの 4 つの高度で行われる最大下定常運動と最大運動に対する生理応答. *Japanese Journal of Sports Sciences*, 15: 349-355.
- 井上秀丈 (2010) キリマンジェロ登山における高山病リスク. 平成 22 年日本登山医学会学術集会発表資料.
- 井上摩紀 (2014) バルトロ氷河トレッキング時の SpO₂ 値の測定と健康調査の記録. 大谷大學研究年報, 133-178.
- Jones J, Muza S, Fulco C, Beidleman B, Tapia M, Lammi E, Elliott L and Cymerman A (2006) Normobaric intermittent hypoxic exposure improve foot march performance at 4300m. *High Altitude Medicine and Biology*, 4: 333.
- 上小牧憲寛 (2009) 疾患既往者の登山をどのように指導するか? ; 循環器病診療の立場から. *登山医学*, 29: 88-94.
- Kashimura O and Sakai A (1992) Effects of physical training on pulmonary arterial pressure during exercise under hypobaric hypoxia in rats. *International Journal of Biometeorology*, 35: 214-221.
- Katayama K, Sato K, Hotta N, Ishida K, Iwasaki K and Miyamura M (2007) Intermittent hypoxia does not increase exercise ventilation at simulated moderate altitude. *International Journal of Sports Medecine*, 28: 480-487.
- Karinen HM, Peltonen JE and Tikkanen HO (2008) Prevalence of acute mountain sickness among Finnish trekkers on Mount Kilimanjaro, Tanzania; an observational study. *High Altitude Medicine and Biology*, 9: 301-306.
- Karinen HM, Peltonen JE, Kahonen M and Tikkanen HO (2010) Prediction of acute mountain sickness by monitoring arterial oxygen saturation during ascent. *High Altitude Medicine and Biology*, 11: 325-332.
- 河合蜂雄・田中義弘・徳永敦・古谷順一郎・佐久間泰司・上田裕・永井道夫・白数力也 (1990) 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.

- Kayser B, Hulsebosch R and Bosch F (2008) Low-dose acetylsalicylic and analog acetazolamide for prevention of acute mountain sickness. *High Altitude Medicine and Biology*, 9: 15-23.
- 警察庁生活安全局地域課 (2016) 平成 28 年における山岳遭難の概要.
<https://www.npa.go.jp/publications/statistics/safetylife/chiiki/290615yamanennpou.pdf#search=%27%20警視庁+山岳遭難%27>, 参照日, 2018 年 1 月 6 日.
- 許斐真由子・三浦豪太・山本正嘉 (2005) 登山者, スポーツ選手, 一般向けに開発した常圧低酸素/高酸素トレーニング施設とその運用システム. *登山医学*, 25: 63-70.
- 公益財団法人 日本生産性本部 (2017) レジャー白書 2017; 余暇の現状と産業・市場の動向. 生産性出版: 東京, pp. 66.
- Lassen NA (1992) Increase of cerebral blood flow at high altitude; its possible relation to AMS. *International Journal of Sports Medicine*, 1: 47-48.
- Luks AM, McIntosh SE, Grissom CK, Auerbach PS, Rodway GW, Schoene RB, Zafren K and Hackett PH (2014) Wilderness medical society practice guidelines for the prevention and treatment of acute altitude illness; 2014 update. *Wilderness and Environmental Medicine*, 25: 4-14.
- 前川剛輝, 山本正嘉 (2001) 高度 2,000 m での 4 日間の睡眠時低酸素曝露により 4,000 m での最大有酸素性作業能力は改善する. *登山医学*, 21: 25-32.
- 増田敦子・横井麻理・河野俊彦・増山茂 (2009) 低酸素環境下での運動能の簡便な評価方法の検討. *登山医学*, 29: 197-202.
- 増山茂 (1996) 高所環境とその影響, 文部省登山研修所 (編), 高所登山のためのテキスト. pp.11.
- 増山茂 (2000) 低酸素室滞在による高所順化トレーニングとその効果. *登山研修*, 15: 17-29.
- 増山茂 (2009) 疾患既往者の登山をどのように指導するか? ; 呼吸器病診療の立場から. *登山医学*, 29: 95-99.
- McDevitt M, McIntosh SE, Rodway G, Peelay J, Adams DL and Kayser B (2014) Risk determinants of acute mountain sickness in trekkers in the Nepali Himalaya; a 24-year follow-up. *Wilderness and Environmental Medicine*, 25: 152-159.
- Milledge JS, Beeley JM, Broome J, Luff N, Pelling M and Smith D (1991) Acute mountain sickness susceptibility, fitness and hypoxic ventilatory response. *The European Respiratory Journal*, 4: 1000-1003.
- 宮崎喜美乃・山本正嘉 (2012) 山での登高タイムを指標とした登山者の体力評価法に関する研究; “六甲タイムトライアル”を対象とした検討. *登山医学*, 32: 93-102.
- 宮崎喜美乃・安藤真由子・山本正嘉 (2015) 年齢・性別との関連から見た一般登山者の脚筋力と脚パワーの特性. *登山医学*, 35: 120-126.
- Mizuno K, Asano K and Okudaira N (1993) Sleep and respiration under acute hypobaric hypoxia. *The Japanese Journal of Physiology*, 43: 161-175.

- Moore L, Harrison G, McCullough R, Micco A, Tucker A, Weil J and Reeves J (1986) Low acute hypoxic ventilatory response and hypoxic depression in acute altitude sickness. *Journal of Applied Physiology*, 60: 1407-1412.
- 森寿仁・奥島大・山本正嘉 (2013) 3,000 m 台の高度で重度の急性高山病を発症しやすい登山者 2 名を対象とした低酸素順化トレーニングの効果. *登山医学*, 33: 153-162.
- 森寿仁・笹子悠歩・山本正嘉 (2016) 富士山山頂における夜間睡眠時の動脈血酸素飽和度 ; 滞頂日数および急性高山病との関連に着目して. *登山医学*, 36: 114-121.
- 森寿仁・宮崎喜美乃・山本正嘉 (2012) 3000 m 台の高度で重度の急性高山病を発症しやすい登山者の生理的な特性. *登山医学*, 32: 127-135.
- 森寿仁・山本正嘉 (2014) 日本で経験しうる高所および準高所での安静時, 運動時, 睡眠時の生理応答 ; 常圧低酸素環境下でのシミュレーションを用いた検討. *登山医学*, 34: 99-106.
- 森紀喜・渡辺雄二・森田正人・柳澤昭夫 (2000) 中高年ヒマラヤトレッカーの常圧低酸素室滞在による高所順化トレーニングの有効性. *登山医学*, 20: 79-82.
- Mueller RE, Petty TL and Filley GF (1970) Ventilation and arterial blood gas changes induced by pursed lips breathing. *Journal of Applied Physiology*, 28: 784-789.
- Murdoch DR and Pollard AJ (1997) Acute mountain sickness. *Journal of Travel Medicine*, 4: 90-93.
- Muza SR, Beidleman BA and Fulco CS (2010) Altitude preexposure recommendations for inducing acclimatization. *High Altitude Medicine and Biology*, 11: 87-92.
- Muza SR, Jackson R, Rock PB, Roach J, Lyons T and Cymerman A (2000) Interaction of chemical defense clothing and high terrestrial altitudes on lift/carry and marksmanship performance. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 71: 668-677.
- 日本登山医学会山岳診療委員会 (2015) 2015 年, 山岳診療所・救護所アンケート報告. 2015 年日本登山医学会学術集会発表資料.
- 日本登山医学会 ; 高山病と関連疾患の診療ガイドライン作成委員会編 (2017) 高山病と関連疾患のガイドライン. 中外医学社 : 東京, pp.30-58.
- 日本呼吸器学会生理専門委員会 (2001) 日本人のスパイログラムと動脈血液ガス分圧基準値. *日本呼吸会誌*, 39: 1-17.
- 日本呼吸器学会 ; 日本呼吸器学会 COPD ガイドライン第 2 版作成委員会編 (2004) COPD (慢性閉塞性肺疾患) 診断と治療のためのガイドライン第 2 版. メディカルビュー社 : 東京, pp.8-9.
- 野口いづみ (1994) 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: 99-106.
- 貫田宗男 (2009) 高所トレッキング・登山における中高年登山者の諸問題. 登山医学, 29: 24-28.
- 奥島大・一箭フェルナンドヒロシ・山本正嘉 (2012) 高度 0m, 1500m, 2500m, 3500m 相当の常圧低酸素環境下における運動時の生理応答; 高度, 絶対的および相対的な運動強度, および生理応答の相互関係. トレーニング科学, 24: 203-215.
- 大澤拓也・勝村俊仁・山本正嘉 (2009) 高所環境におけるヨーガ呼吸が動脈血, 頭部, および筋酸素飽和度に及ぼす影響. 登山医学, 29: 249-254.
- Otis SM, Rossman ME, Schneider PA, Rush MP and Ringelstein EB (1989) Relationship of cerebral blood flow regulation to mountain sickness. *Journal of Ultrasound in Medicine*, 8: 143-148.
- Ricart A, Casas H, Casas M, Pages T, Palacios L, Rama R, Rodriguez FA, Viscor G and Ventura JH (2000) Acclimatization near home? Early respiratory changes after short-term intermittent exposure to simulated altitude. *Wilderness and Environmental Medicine*, 11: 84-88.
- Richalet JP, Bittel J, Herry JP, Savourey G, Trong JL, Auvent JF and Janin C (1992) Use of a hypobaric chamber for pre-acclimatization before climbing Mount Everest. *International Journal of Sports Medicine*, 13: 216-220.
- Roach RC, Bärtsch P, Oelz O and Hackett PH (1993) The Lake Louise acute mountain sickness scoring system. In: Sutton JR, Houston CS, Coates G, Eds. *Hypoxia and Molecular Medicine*. Queen City Press : Burlington, pp, 272-274.
- Roach RC, Greene ER, Schoene RB and Hackett PH (1998) Arterial oxygen saturation for prediction of acute mountain sickness. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 69: 1182-1185.
- Roach RC, Loeppky JA and Icenogle MV (1985) Acute mountain sickness; increased severity during simulated altitude compared with normobaric hypoxia. *Journal of Applied Physiology*, 81: 1908-1910.
- Rodriguez FA, Casas H, Casas M, Pages T, Rama R, Ricart A, Ventura JL, Ibanez J and Viscor G (1999) Intermittent hypobaric hypoxia stimulates erythropoiesis and improves aerobic capacity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31: 264-268.
- Rusk H (1996) New aspects of altitude training. *The American Journal of Sports Medicine*, 24: 48-52.
- 酒井秋男 (1984) ラットの低圧耐性獲得に対する間欠的低圧曝露の効果. 信州大学環境科学論集, 6: 104-109.
- 佐久間哲也, 栗山喬之 (1995) 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.
- 笹子悠歩・山本正嘉 (2010) 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.
- 笹子悠歩・山本正嘉 (2011) 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. 登山医学, 31: 132-144.

- Saul GD, Lukina WJ, Brakebush SC, Wilmot DE and Tammelin BR (2002) Voluntary hyperventilation into a simple mixing chamber relieves high altitude hypoxia. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 73: 404-407.
- 柴田幸一・大澤拓也・山本正嘉 (2006) 携帯型の低酸素トレーニング機器を用いた Intermittent Hypoxic Training の効果；登山者向けの高所順化を目的として. *登山医学*, 26: 123-130.
- 島岡清 (1982) 低圧訓練と高所順化；登山のルネサンス, 高山研究所編. 山と溪谷社：東京, pp. 290-301.
- 島岡清・森滋夫・原真 (1983) 低圧トレーニングの実際. *登山医学*, 3: 50-55.
- Singh I, Khanna P, Srivastava M, Lal M, Roy S and Subramanyam C (1969) Acute mountain sickness. *The New England Journal of Medicine*, 280: 175-184.
- 関和俊・石田恭生・小野寺昇・田淵昭雄 (2007) 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. *川崎医療福祉学会誌*, 17: 113-119.
- Staab S, Beidleman B, Muza S, Fulco C, Rock P and Cymerman A (2013) Efficacy of residence at moderate versus low altitude on reducing acute mountain sickness in men following rapid ascent to 4300m. *High Altitude Medicine and Biology*, 14: 13-18.
- Stamper DA, Sterner RT and Robinson SM (1980) Evaluation of acute mountain sickness questionnaire; effects of intermediate-altitude staging upon subjective symptomatology. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 51: 379-387.
- Stream JO and Grissom CK (2008) Update on high altitude pulmonary edema; pathogenesis, prevention, and treatment. *Wilderness and Environmental Medicine*, 19: 293-303.
- 総務省統計局 (2017) 平成 28 年社会生活基調調査；統計トピックス NO.96 登山・ハイキングの状況, <http://www.stat.go.jp/data/shakai/topics/pdf/topics96.pdf>, 参照日 2018 年 1 月 6 日.
- Swain DP (2000) Energy cost calculations for exercise prescription; an update. *Sports Medicine*, 30: 17-22.
- 高原勇樹・菊池和夫・柄原裕・深沢太貴子 (2003) 低圧性および常圧性低酸素環境下における酸素飽和度動態と高所身体適性の個人差に関する研究. *登山医学*, 23: 147-152.
- Tang XG, Zhang JH, Qui J, Gao XB, Li QN, Yu J, Ding XH and Huang L (2014) Age as a risk factor for acute mountain sickness upon rapid ascent to 3,700m among young adult Chinese men. *Clinical Interventions in Aging*, 9: 1287-1294.
- Tannheimer M, Tannheimer S, Thomas A, Engelhardt M, Schmidt R (2009) Auto-PEEP in the therapy of AMS in one person at 4,330 m. *Sleep Breath*, 13: 195-199.
- 鳥賀陽信央・山本正嘉 (2002) 常圧低酸素室を用いた短期間かつ短時間の高所順化トレーニング法の開発. *登山医学*, 22: 83-90.
- 鳥賀陽信央・山本正嘉 (2003) 常圧低酸素室を用いた短期間かつ短時間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.

- 烏賀陽信央・山本正嘉（2004）常圧低酸素室を用いた短期合宿形式（1週間）の高所順化トレーニング法の開発；血液性状及び運動時，安静時，睡眠時の生理応答について．登山医学，24: 41-49.
- 烏賀陽信央・山本正嘉（2005）常圧低酸素室を用いた高所登山のための順化トレーニング法の開発；睡眠のみのトレーニング効果．第8回高所トレーニング国際シンポジウム 2004 東京 - 総集編 -, 高所トレーニング環境システム研究会編，pp. 53-54.
- ウィルバー R：川原貴，鈴木康弘監訳（2008）交感神経系；エピネフリンとノルエピネフリン，高地トレーニングと競技パフォーマンス．講談社：東京，pp. 67-69.
- ウィルカーソン JA：赤須孝之訳（1990）改訂新版・登山の医学．東京新聞出版局：東京，pp. 122-123.
- 山地啓司・佐藤智哉・梅野克身・橋爪和夫（2008）中高年者の常圧低酸素環境における睡眠初期の生理的応答．登山医学，28: 60-69.
- 山本清龍（2013）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.
- 山本正嘉（1997）富士山を利用した高所順化トレーニング．登山医学，17: 5-7.
- 山本正嘉・前川剛輝・大村靖夫（2001）常圧低酸素室を用いたヒマラヤ登山のための高所順化トレーニング．登山医学，21: 33-40.
- 山本正嘉（2002）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 登頂者は語る，pp. 10-11, 44-53.
- 山本正嘉（2005）高所登山のための低酸素トレーニング；常圧低酸素室の有効性に関する検討．トレーニング科学，17: 175-182.
- 山本正嘉（2009）運動生理学から見た重症高山病の回避対策；基礎体力および高所順化トレーニングの方法論．登山医学，29: 43-49.
- 山本正嘉（2011）運動と環境．山地啓司，大築立志，田中宏暁（編），スポーツ・運動生理学概説．昭和出版：東京，pp. 231-240.
- 山本正嘉（2016）登山の運動生理学とトレーニング学．東京新聞出版局：東京．pp. 38-57, 64-74, 217-240, 441-561.
- 山本正嘉・岸本麻美（2008）急性高山病にかかりやすい登山者に対する事前の低酸素トレーニングの効果．登山医学，28: 116-121.
- 山本正嘉・岸本麻美・烏賀陽信央・鮮干攝・浅野勝己・前川剛輝・平野裕一（2008）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.
- 山本正嘉・國分俊輔（2003）腹式呼吸の生理学的研究；通常呼吸および深呼吸との比較から．武道・スポーツ科学研究所年報，8: 26-33.
- 山本正嘉・前川剛輝・大村靖夫（2001）常圧低酸素室を用いたヒマラヤ登山のための高所順化トレーニング．

登山医学, 21: 33-40.

山本正嘉・大村靖夫・柳澤昭夫・渡邊雄二 (2000) 登山の運動生理学・体力科学に関する調査研究 ; 1998～1999 年度文部科学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.

山下晋・山本正嘉 (2013) 4 日間の睡眠時低酸素曝露が低酸素換気応答および低酸素環境下での有酸素生作業能力に及ぼす効果. スポーツトレーニング科学, 14: 17-24.

Wagner DR, Knott JR, Fry JP (2012) Oximetry fails to predict acute mountain sickness or summit success during a rapid ascent to 5640 meters. Wilderness and Environmental Medicine, 23: 114-121.

Ward MP, Milledge JS and West JB (2000) High Altitude Medicine and Physiology; 3rd Ed, Oxford University Press : USA, pp. 22-23, 215-231.

謝辭

本論文を作成するにあたり、多くの方にご協力をいただきました。

まず、鹿屋体育大学の山本正嘉教授には、鹿屋体育大学および大学院修士課程在籍中から、多大なるご指導をいただきました。研究や論文作成に関するご指導はもちろん、自身の研究を世の中の多くの方々へ広め、そして現場へ応用することの大切さを教えていただきました。それだけではなく、社会人約10年目で大学院博士課程に進学してからは、研究や論文作成に携わる姿勢を改めて教えていただきました。私自身の弱さや甘えなどによって、多くのご迷惑をおかけしてしまいました。最後までご指導いただきまして、ありがとうございました。これからも、多くの登山者が、安全に楽しく登山を続けることができるよう、ますます努力を続けていきたいと思っております。

次に、2005年より入社しました株式会社ミウラ・ドルフィンズにて共に仕事をさせていただいている社員の皆様、データ集取および身体のアセスメントやコンディショニング方法をともに開発してくださった、三浦豪太さん、安藤隼人さん、宮崎喜美乃さん、ありがとうございました。皆様のご協力なしでは、本研究を行うことはできませんでした。仕事を続けながら、論文を作成するにあたり、皆様には大変ご迷惑をおかけいたしました。これからもミウラ・ドルフィンズから、多くの登山者が安全に高所登山・トレッキングへ出発できるよう、努めさせていただきます。

鹿屋体育大学の先輩方、後輩の方々、いつも変わらず力をお貸しいただきまして、ありがとうございました。中でも森寿仁さんには、いつも私のことを気遣っていただきました。大変感謝しております。これから皆様の研究や論文作成に関して、私も精一杯協力させていただきます。

そして、本論文を作成するにあたり、多くのデータを提供してくださった対象者の皆様、ヒマラヤでの貴重なデータを提供してくださった小木曾光利様、富士登山中のデータを提供してくださった笹子悠歩様、高所登山・トレッキングの現場での意見を頂戴しましたガイドや添乗員の皆様、医学の面からも貴重なアドバイスを頂戴しました登山医学会の先生方、皆様のご協力なしでは本論文を作成することができませんでした。大変感謝しております。

最後に、博士課程に進学してから現在まで、家族には多大なる迷惑と心配をかけてきました。最後まで応援していただき、ありがとうございました。

ここからが新たなスタートだと誓い、これからも多くの登山者が安全に登山を楽しめるような取り組みをしてみたいと思っております。