

中高年女性の高所における循環系の適応

永 野 順 子*

Circulatory Responses in Middle-aged Women at High Altitude

Junko Nagano

要 旨 高所での中高年者の循環系の適応を心拍数と動脈血酸素飽和度によって検討した。安静時の心拍数は標高の上昇とともに増加し、動脈血酸素飽和度は安静時、運動時とも低下した。安静時の心拍数と動脈血酸素飽和度には逆相関が認められた。また、高所における適応能力は個人差が大きく、3000 m 以上の高度になると個人差が現れ始め、4000 m を超えると差が拡大するといわれているが、標高の上昇によって顕著な変化を示すのは個人差よりも登山電車やケーブルで3000 m 以上の地点に着いた時の低酸素暴露による動脈血酸素飽和度の低下であり、3000 m 前後と4000 m 前後には差が見られた。また、4000 m で何らかの高山病の症状が現れ始めるといわれているが、本研究の結果でも4000 m での動脈血酸素飽和度の低下は、心拍数の増加によっても補うことはできなかった。

動脈血酸素飽和度について、先行研究との比較でも加齢による差、性差はともに認められなかった。

国内においても3000 m 周辺の山小屋での宿泊、富士山頂周辺での過度の運動は動脈血酸素飽和度の低下をもたらすことが唆された。

キーワード 高所 (High Altitude) 心拍数 (HR) 動脈血酸素飽和度 (SaO₂)

1 はじめに

夏になると毎年のように中高年登山者の事故のニュースがあり、増え続ける登山中の事故が警告の的となっている。登山者に占める中高年者の割合が圧倒的に多く、必然的に事故の割合も多くなっている。特別な訓練を必要とせず、場合によっては一人でも楽しめる気軽さから愛好者は増加の一方だが、深い自然の中に入ってゆく自覚が薄れてくると無謀な登山になってしまうことがある。

山に登る理由として、中高年登山者の多くが生活習慣病への効果を指摘しているが、山本¹⁾は登山の健康効果として、①心肺持久力に対するトレーニング効果、②体脂肪の減量効果、③脚筋力に対するトレーニング効果の3点に加

えて④精神的な健康の改善をあげている。

一方で、過去に登山の経験が多く、体力的に余裕がある者はより高い山を目指し、日本の高山だけでなく海外のハイキングコースにも多く行くようになってきており、今後は健康目的の登山の範囲を超えた高所での適応不全の問題も起こることが考えられる。

本研究では、高所の低圧・低酸素環境に中高年はどう適応してゆくのか、問題点とともに検討した。また、登山は有酸素運動であるとされながら、低酸素環境で行うのが高所での登山であり、その矛盾に対して一定量の酸素を確保する循環器系（心拍数、動脈血酸素飽和度）の適応に焦点を当てて考察した。

2 被験者と実験方法

被被験者は中高年女性2名であり、1名は年に10回以上は登山をする、登山暦15年以上の

* 本学教授 運動生理学

ベテランであり、1名は年に2回程度の登山しか行わない一般登山者である。身体特性は表1に示した。

4日間にわたり、動脈血酸素飽和度（ SaO_2 ）と心拍数（HR）の測定を行った。いずれもミノルタ製動脈血酸素飽和度測定装置（パルスオキシメーター）PULSOX-3iによって経皮的に測定した。安静時は座位、運動時（登山時）は停止して立位で測定した。高山病の判定は1991年カナダのレイクルーズで行われた国際低酸素シンポジウムの急性高山病評価システム²⁾を基準とした。

高所の設定として、ヨーロッパ登山を行なった。スイスのツェルマットに滞在し、最終的にヨーロッパアルプスでもっとも短時間で登れ、技術、体力も高レベルを必要としない4000 m級の山を登攀することとした。図1に行程に伴う高度の変化を模式的に図示した。はじめの二日間を高度順化のため高所での宿泊とトレッキングに当てた。1日目、3日目、4日目の急激な高度の上昇は、登山電車、ゴンドラ、リフト等によるものである。1日目以外はツェルマット（1620 m）に滞在、宿泊した。結果とし

て“sleeping low, climbing high”の原則³⁾通りとなった。

第1日目：乗り物によって高所暴露した場合の循環系の応答を見ることと、高所適応を目的として登山電車でツェルマット（1620 m）からゴルナグラート（3130 m）まで登り、山頂のホテルで一泊した。

第2日目：高所では激しい運動はひかえるのが一般的であるが、中等度以上の運動を負荷した場合の循環系の応答を知るためにモンテローザヒュッテ（2795 m）へのトレッキングの後半に急登のコースを一回の休憩のみで登りきることとした。

第3日目：ゴンドラとケーブルを乗り継いで山頂駅（3820 m）まで一気に登り、ブライトホルン（4164 m）を目指した。4000 m以上の高度への循環系の反応を調べた。

第4日目：引き続き4000 mを超えるため、アラリンホルン（4027 m）を目指した。

3 結 果

図2に登山列車に乗って高度が上がってゆ

表1 被験者の身体特性

	Sex	Age(yrs)	Height(cm)	Weight(kg)	BMI
NM	F	58	154	45	19.0
JN	F	48	153	50	21.3

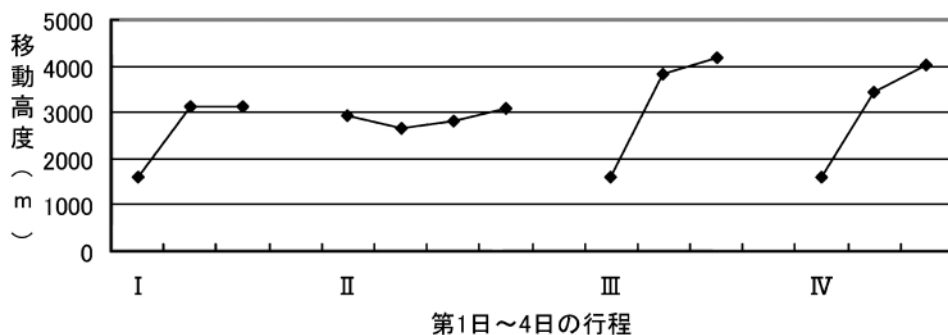


図1 各行程日の移動高度

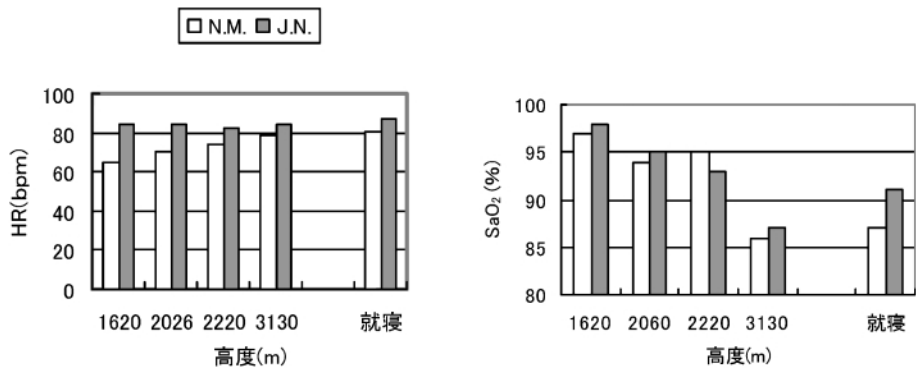


図2 高所暴露とHR, SaO₂の変化（登山電車）

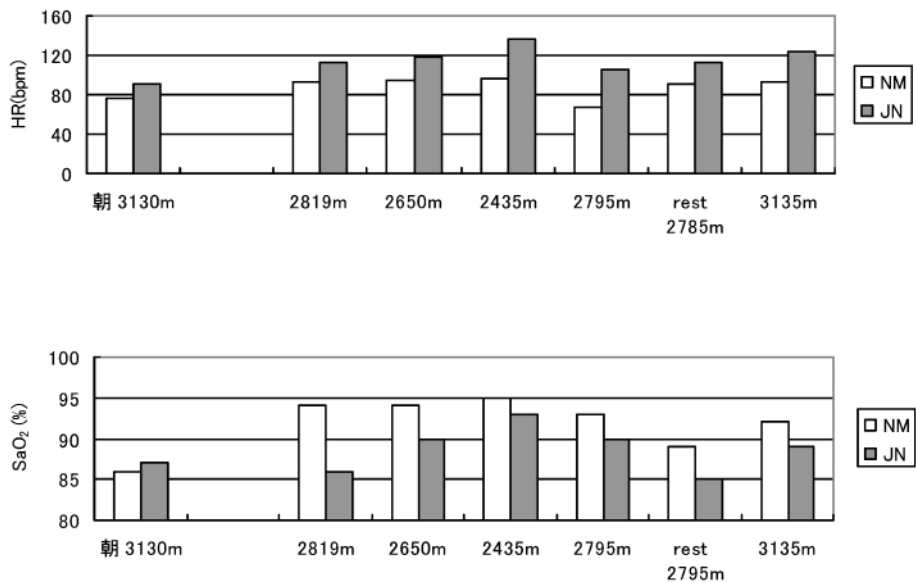


図3 トレッキングとHR, SaO₂の変化

く場合の心拍数（HR）の変化と動脈血酸素飽和度（SaO₂）の変化を示した。HRは被験者JNでは変化が少なく、はじめから一定の水準であるが、NMは、高度が上昇するにつれて増加している。一方、SaO₂は両被験者とも減少傾向を示し、特に3130mでの減少が著しい。被験者NMにおけるHRの増加はSaO₂の低下に対する適応としての上昇であることが示唆された。また、就寝時に両値が両被験者とも上昇傾向であるのは時間の経過によって高度に適応した結果であり、周辺を歩き回ったこと

による循環量の増加の結果であると思われる。

図3に高所でトレッキングを行った後に、急登の連続登攀を行った場合のHRとSaO₂の変化を示した。

朝、起床時のHR, SaO₂は、ともに低く、両被験者とも、前日の就寝時に入眠が妨げられるような頭痛があり、悪心、その他の高山病の判定基準（レイクルーズ急性高山病評価システム）を満たす症状であった。高所では、睡眠によって代謝量が落ち、循環量が減少することによって高山病の発症頻度が高まるといわれている⁴⁾

が、実際、 SaO_2 は就寝時よりも低下している。国内でも3000 m前後の高度にある山小屋では宿泊時に同様の症状に注意しなければならない。ローテンボーデン駅（2819 m）へは登山電車で移動して、駅からモンテローザヒュッテ（2795 m）までの行程は途中からクレバスのある長い氷河の上を渡ってゆく道であり、緊張を強いられた。運動の継続とともに、HR、 SaO_2 ともに上昇し、ヒュッテに着いてから落ち着くが休息後の SaO_2 はこの日の活動中の最低値を示し、高地では休息による代謝量の減少が動脈血の酸素飽和度を低下させ、さらに休息によって筋ポンプ作用が起こらなくなるために循環血液量の減少が SaO_2 の低下につながると考えられる。一方でHRが休息後にもかかわらずむしろ上昇するのは、 SaO_2 の低下に対する補償的な適応のためであると考えられる。運動の継続とともに増加しているHRの増加は運動に必要な酸素量を供給するための適応反応であるが、ヒュッテでの休息後のHRの増加は SaO_2 の低下に対する適応である。高所での運動には酸素需要量増加の条件と低酸素暴露の環境条件を考慮しなければならない。

また、最後の数値は稜線への急登の連続的な登攀による上昇と考えられる。

図4に4000 mの高所におけるHRと SaO_2 の適応反応を示した。1620 mでは SaO_2 が

95%以上を示しており、平地での基準値をクリアしているが、リフトやゴンドラで2000 m以上急上昇した場合、80%を切っており、20%も一気に低下することが示された。登山電車で登った時以上の変化が起こるのは、上昇時間が短いことで急激な低酸素暴露になったためと考えられる。また、4146 mへの登攀を行っても80%に上昇することはなかった。さらに3820 mのリフト乗り場に戻ってきても、運動前のレベルと同様であった。運動によって循環系が活動しても3800 m以上では高い SaO_2 を獲得することが難しいことが示された。日本国内においても富士山の高度の低酸素には注意が必要である。被験者NMでは、4164 mへの登攀でHRがピークとなり、その後の下山途中の休憩とリフト乗り場（3820 m）への下山でHRは減少傾向となっている。被験者JNでは、リフトを降りてから、戻ってくるまでのHRは常に100拍以上を維持していた。HRの増加が運動による酸素需要量の増加への適応なのか、低酸素への適応として起こってくるのか、個人差についてもこの両面から考察しなければならない。

図5に4000 mを続けて登攀した場合（2日目）のHRと SaO_2 の反応を示した。リフトを降りた地点（3456 m）での SaO_2 は85%と90%で両被験者とも80%以上となっている。

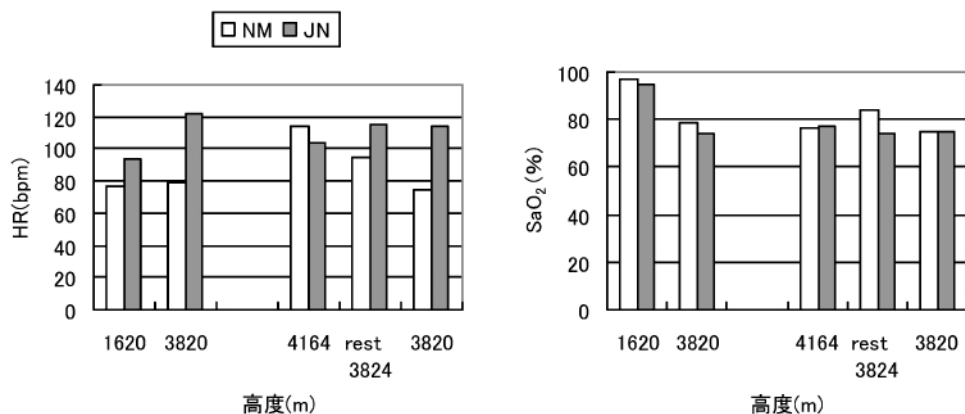


図4 4000 m への HR と SaO_2 の適応（4000 m 暴露，初日）

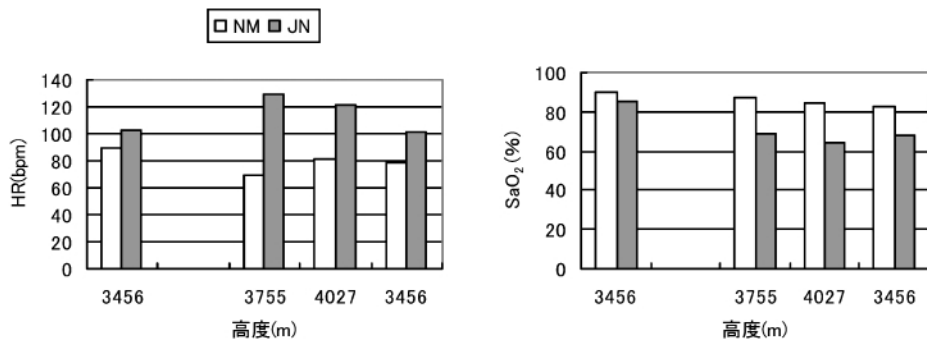


図5 4000 m への HR と SaO₂ の適応 (2 日目)

リフトの山頂駅の65 m の高度差が前日との差になって表れたのか、前日の4000 m への登攀による適応の結果、高い値を示したかは明らかではない。4000 m への登攀とその後について両被験者の反応に大きな個人差が見られる。被験者 NM では高度が上昇しても、SaO₂ は80%以上を維持している。HR もリフト降り場で一過的に上昇したものの80拍前後を維持しており、易々とこなしている。一方、被験者 JN では、高度の上昇とともにSaO₂ が前日以上に低下し、それに伴い、HR は120拍以上の高い数値を示している。高所に対する適応の個人差が現れたと考えられる。また、被験者 NM はベテラン登山家であるが高所登山の経験量と適応力になんらかの関係があるかは検討を要する課題である。

4000 m を超えた場合個人差が拡大する⁵⁾といわれているが、低酸素環境への暴露時間の延長(2 日目)が個人差を拡大することも考えられる。

4 考 察

低酸素暴露に対する反応は、安静にしている時と運動している時では違いが見られる。運動には多くの酸素が必要であり、代謝系の需要を満たすため、呼吸循環系の活性度は高まり、酸素摂取量は増加するのに対して、安静状態では酸素需要量が少なくなるため、呼吸循環系の活

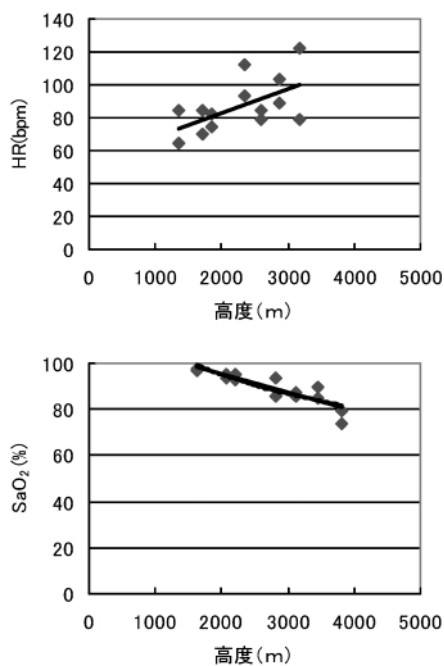


図6 安静時の HR と SaO₂ の反応

性も低下する。これらのことがSaO₂に影響すると考えられる。

ここでは安静時の高所暴露による循環系への影響と運動時の反応をそれぞれ別に考察する。

安静時の高度(低酸素暴露)に対する両被験者のHR と SaO₂ の変化を図6に示した。

高度が上昇するにつれてHR は有意 ($p < 0.05$) に増加する傾向がみられた。同様に安静

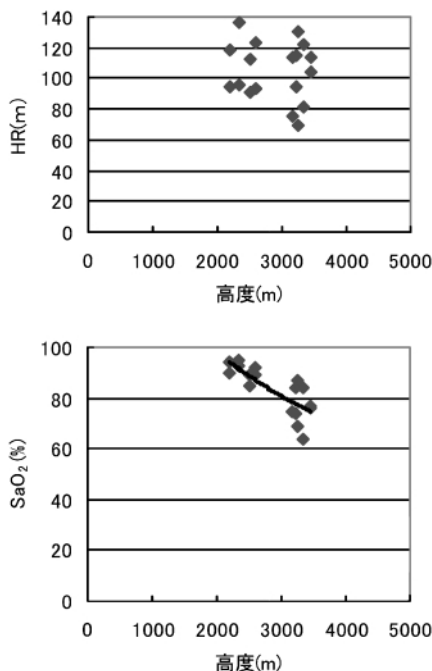


図7 運動時の HR と SaO₂ の反応

時の SaO₂ の変化をみると、高度が上昇するにつれて値は低下し、有意 ($p < 0.01$) な低下傾向であった。

高度（低酸素暴露）に対する両被験者の運動時の HR と SaO₂ の変化を図7に示した。心拍数には一定の明らかな傾向は見られなかったが、SaO₂ は高度が上昇するにしたがって有意 ($p < 0.01$) に低下した。安静時の HR は高度の上昇とともに増加し、SaO₂ は安静時、運動時ともに低下する結果となった。

図8に安静時と運動時の HR と SaO₂ の関係を図示した。安静時には5%水準で有意な逆相関が認められたが、運動時には一定の傾向を示さなかった。これらの結果から、低酸素暴露の影響は HR よりも SaO₂ に顕著に現れ、運動時よりも安静時により顕著に現れることが示唆された。実際に4000 m 付近の高度では休憩時には高山病の特徴的な症状の頭痛が起り、運動を始めると頭痛が弱くなるという症状が観察された。高所順化は緩やかな運動を伴う方法で行

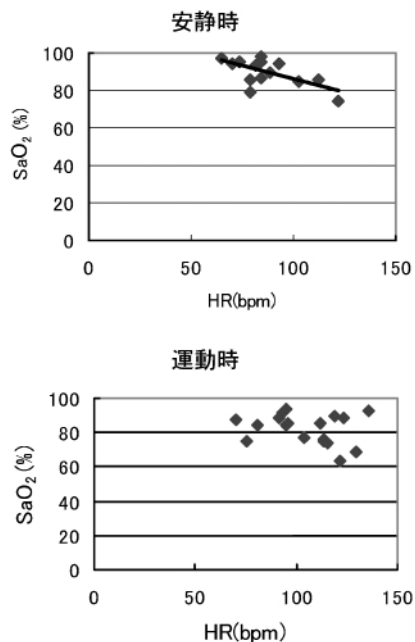


図8 安静時と運動時の HR と SaO₂ の関係

われるべきである。睡眠中の頭痛、悪心という低酸素の影響を最小限にするために低地で就寝することが理想であるとされているが、高地での睡眠は高山病に注意しなければならない。

安静時と運動時の比較を HR と SaO₂ のそれぞれについて図9に示した。安静時と運動時の HR の比較をすると、3000 m 付近までは運動によって HR が増加する傾向が見られるが4000 m 付近になると運動をしても HR は増加するとは言えず、一定の傾向は見られない。また、3000 m と4000 m との間で明確な変化は見られなかった。一方で SaO₂ は3000 m 付近までは運動をしても低下することはないが、4000 m 付近では3000 m での値より低下し、運動による心拍数の増加も見られないことから、このような高度で十分に適応する前の激しい運動には相応の酸素供給量を得ることは困難と思われる。

登山電車やケーブルによって高所へ急速暴露された場合、平地では平均97%前後の SaO₂ が3130 m では86.5%に、3456 m では87.5%に低

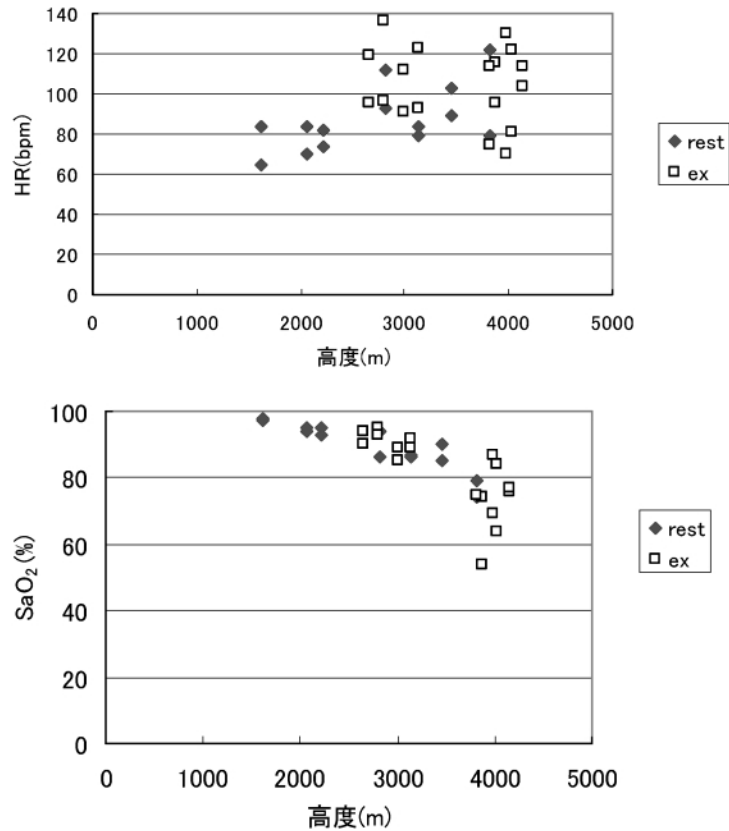


図9 安静時と運動時の HR と SaO₂ の比較

下するのに対して、3820 m に暴露した場合は 76.5% に低下した。3000 m と 4000 m 付近では適応反応に差があると考えられる。

高所での安静は低酸素の影響を受け易く、一般に、3,000 m 前後の高所にある山小屋では到着後すぐの深い休息は避けるべきであるとされているが、反対に富士山頂のような 4000 m 付近で過度に動き回することは注意しなければならない。酸素供給量に見合った運動量でなければならない。3000 m 前後と比較して、4000 m 前後では適応力が十分発揮されにくい結果となったが、低酸素に対する相応の HR の増加が得られないことが一因だと考えられる。

先行研究によると、低酸素暴露による SaO₂ は、おおよそ安静時 3500 m で 88%, 4000 m で 80% であり⁶⁾、運動時は 4000 m で 70% の数

値が示されてきた⁷⁾。本研究とはほぼ同様の数値であり、中高年であること、さらに女性であることによる差を認めることはできなかった。

年齢の条件では、一般に 40 歳以降では体力の個人差が拡大する傾向にあるが、高所への登山を志向する中高年者はハードな登山に耐える自覚があり、トレーニングを積んでいることが多いので体力のレベルが比較的高く維持されている。そのために高所での循環系の適応に年齢差が出にくいと考えられる。また、本被験者は通常、国内で 3000 m 前後の高度を男性とほぼ同様の速度で登っている。一般的に女性の脚筋力は男性の 70% 程度であるが筋量の差だけでなく、女性の体脂肪量が相対的に男性より多いことが不利になっているので荷物の負荷量を軽くすることで結果として男性と同等の速さでの

登高を可能にしている。また、全身持久力は通常男性の80%程度とされているが、被験者NMは日常の登山頻度を高めることで被験者JNは事前のトレーニング登山等によってこれをカバーしている。これらのことが高所においても男性との差を縮める一因になったのではないかと考えられる。

高所への適応について、循環系に焦点を当てて検討したが、4000 mの高度は適応に困難を伴う結果となった。適応不全を起こす場合は、換気量の減少による動脈血酸素飽和度の低下が原因として指摘される⁸⁾ことから、換気量を増加させるような意識的な呼吸（腹式呼吸、深呼吸等）が有効であるとされている⁹⁾¹⁰⁾。今後は、呼吸系の影響に着目し、呼吸法の有効性を検討することが課題である。

5 ま と め

中高年女性が4000 m 高度の低酸素環境に暴露された場合の循環系の適応について検討した。①低酸素による影響は心拍数よりも動脈血酸素飽和度に顕著に現れ、運動時よりも安静時にさらに顕著に現れた。高所にある山小屋では到着後すぐの深い休息は酸素供給量の減少に注意が必要である。②3000 m 前後の標高では心拍数の増加によって速やかに適応し、動脈血酸素飽和度は80%台が維持されるが、4000 m 前後では、運動中も低酸素の影響を受け、運動の酸素需要量を満たすためにさらに低酸素が促進されると考えられる。富士山頂のような高度での運動は適応不全に注意が必要である。③先行研究

との比較によって、加齢や性による適応の差は認められなかった。

参 考 文 献

- 1) 山本正嘉：中高年登山の体力科学、『体力科学』54, 2005 pp. 15-16
- 2) Roach RC et al: Acute mountain sickness scoring system: *Hypoxia and Molecular Medicine*, Queen City Printers 1993 pp. 272-274
- 3) Houston C: Going Higher, Oxygen, Man, and Mountaineers (4th ed), *The Mountaineers* 1998 pp. 82-154
- 4) 松沢幸範：急性高山病とその対策、『高所—運動生理学的基礎と応用—』NAP 2000 pp. 214-215
- 5) 菊池和夫：低圧室を利用した高所順応(2)—九州芸術工科大学での成果—、『高所—運動生理学的基礎と応用—』NAP 2000 pp. 237-243
- 6) 増山 茂：高所医学各論、『登山の医学ハンドブック』（日本登山医学研究会編）杏林書院 2000 p. 188
- 7) 衣川 徹，石部裕一：低圧室を利用した高所順応(1)—鳥取大学での成果—、『高所—運動生理学的基礎と応用—』NAP 2000 pp. 225-227
- 8) Moore L. G. et al.: Low acute active hypoxic ventilatory responses and hypoxic depression in acute altitude sickness: *J. Appl. Physiol.* 60 1986 pp. 1407-1412
- 9) Sakai A. et al.: Relation between breathing pattern and SaO₂ at high altitude, *High Altitude Medicine* Shinshu Univ. Press 1992 pp. 116-122
- 10) 山本正嘉：低酸素環境下で行う各種の呼吸法が動脈血酸素飽和度の改善に及ぼす効果：『登山医学』19, 1999 pp. 119-128