

登山行動中の血行動態の解明 —マルチセンサー自由行動下 24 時間血圧計を用いた計測—

自治医科大学 小 森 孝 洋
(共同研究者) 同 金 澤 英 紀
同 星 出 聡

Measurement of Hemodynamics During Mountaineering by Multi-Sensor Ambulatory Blood Pressure Monitoring Device

by

Takahiro Komori, Satoshi Hoshide
*Division of Cardiovascular Medicine, Department of Medicine,
Jichi Medical University School of Medicine*
Hidenori Kanazawa
*Department of Radiology,
Jichi Medical University School of Medicine*

ABSTRACT

The purpose of this study was to clarify the blood pressure (BP) and physiological response during mountain climbing and stay in high altitude. Six healthy adults climbed Mt. Fuji with measuring blood pressure by multi-sensor ambulatory blood pressure monitoring device. Pulse oximetry was performed during sleep in the research station at the summit of Mt. Fuji. BP during mountain climbing was higher than BP in daily life (24-hour systolic BP: 117.8 ± 5.4 mmHg vs 111.4 ± 5.8 mmHg, $p=0.04$. awake systolic BP: 123.4 ± 6.9 mmHg vs 115.2 ± 7.2 mmHg, $p=0.03$). Awake systolic BP during mountain climbing was correlated with physical activity ($R=0.87$, $p<0.05$). In addition, one subject with acute mountain sickness (AMS) showed abnormal

circadian BP rhythm. The present study showed that BP during mountain climbing was associated with physical activity, and abnormal circadian BP rhythm may occur in AMS. We should pay attention with BP elevation and abnormal circadian BP rhythm during mountain climbing in high altitude.

要 旨

本研究は、健康人を対象に登山行動中および短期間の高所滞在中の血圧、低酸素に関連した生理的応答を明らかにすることを目的として研究を行った。健康人6名にマルチセンサー自由行動下血圧計を装着し、富士登山を行い、山頂に宿泊して下山した。この期間血圧測定を行い、夜間には酸素飽和度測定を行った。富士登山中の血圧値は日常生活に比べて高値であり（富士登山 vs 日常生活 24時間収縮期血圧 117.8 ± 5.4 mmHg vs 111.4 ± 5.8 mmHg, $p=0.04$, 覚醒時収縮期血圧 123.4 ± 6.9 mmHg vs 115.2 ± 7.2 mmHg, $p=0.03$ ）、登山中の覚醒時収縮期血圧値と関連する因子は活動量であった（ $R=0.87$, $p<0.05$ ）。また、急性高山病を発症した被験者には、血圧日内変動異常が認められた。登山行動中の血圧値は活動量と関連することが明らかになった。高山病時には血圧日内変動異常が生じる可能性が示唆された。登山行動は血圧上昇が生じ、高山病発症時には血圧変動異常も生じる可能性があり、注意を要すると考えられた。

まえがき

循環器疾患患者には運動療法として有酸素運動が薦められている。登山は有酸素運動主体の運動であり、運動療法のひとつになりうると考えられる。しかし、高所は低酸素環境であり、登山行動中や短期間の高所滞在中に血行動態がどのように変化するかは明らかでない。高所滞在中では、交感神経の活性化により、心拍上昇が生じることが報

告されているが、血圧については上昇するとした報告もあれば、変化しないとした報告もあり、高所での血圧反応は明らかになっていない^{1,2)}。循環器疾患の患者にとって、登山が運動療法として適しているかは明らかではなく、安全性も不明である。

登山行動中の血行動態は、測定が困難であることから明らかになっていない。中高年の登山愛好者が増加するとともに、登山中の死亡事故も増加している³⁾。警察庁の山岳遭難統計によると、山岳での死者・行方不明者の約90%を40歳以上の中高年者が占めている。登山中の病気による死因としては、心血管疾患による突然死がかなりの割合を占めていることが考えられている。登山行動中は高所による高度変化、気温変化、低酸素などの環境要因や交感神経活動の亢進、登山の労作などから、血圧上昇が生じる⁴⁾。この血圧の変化が心血管疾患発症による突然死のリスク因子となっている可能性がある。

我々は気圧計・温度計・アクチグラフを内蔵するマルチセンサー自由行動下24時間血圧計を開発した。本装置は血圧・脈拍だけでなく、気圧・気温などの環境因子、活動量を同時に測定することが可能である。本装置を登山行動中のモニタリングに用いたという報告はなく、これを登山行動中に用いることにより、登山行動中の血圧に影響を与える因子が明らかになることが期待される。本研究では、健康人を対象に登山行動中および短期間の高所滞在中の血圧、低酸素に関連した生理的応答を明らかにすることを目的として研究を行った。

1. 研究方法

(1) 対象：心血管疾患のない健常人。本研究に関してインフォームドコンセントを行い、書面で同意を得た。

(2) 方法：1日目は富士山吉田口五合目（標高2305m）から吉田ルートを経て山頂登頂（標高3776m）し、富士山頂の富士山測候所に宿泊した。2日目は吉田口五合目まで下山した。登山開始から下山までマルチセンサー自由行動下血圧計による測定を行った。さらに酸素飽和度の測定を行動中は随時行い、就寝中は連続的に行った。登山行動中は24時間血圧測定（気圧計、気温計、アクチグラフを内蔵するマルチセンサー自由行動下血圧計）、レイクルイーズ高山病スコア、SpO₂モニター（登山行動中適宜、夜間就寝中は連続的に測定）、登山行動内容の記録を行った。24時間血圧測定にはTM-2441（A&D社）、SpO₂モニターにはPULSOX-M24（コニカミノルタ社）を用いた。起床就寝は行動記録の時間に基づき定義した。登山日とは別に日常生活中の24時間血圧測定を行った。日常生活時（非登山行動中）の24時間血圧測定およびSpO₂モニターは被験者の通常勤務中に実施した。なお、本研究は本学倫理審査委員会の承認を得て実施した。

血圧変動は夜間血圧の下降度により4群に分類した⁵⁾。夜間血圧下降度は（覚醒時収縮期血圧－睡眠時収縮期血圧）／覚醒時収縮期血圧×100で算出した。夜間血圧下降度>20%をExtreme dipper, 10~20%をDipper, 0~9%をNon dipper, 0%未満をRiserと定義した。夜間の低酸素血症の指標としては、1時間あたりの低酸素の指標であるOxygen desaturation index（以下ODI）を用いた。特に1時間当たり酸素飽和度3%以上の低下を来す回数を3%ODIとして表した⁶⁾。急性高山病の診断・重症度判定のスコアとしては、レイクルイーズスコアを用いた⁷⁾。これはセルフアセスメント

スコアとして頭痛、胃腸症状、疲労・脱力、めまい・ふらつき、睡眠障害の5項目に0~3点のスコアをつけ、計4点以上を急性高山病と判定するものである。

(3) 統計解析：登山行動中、日常生活中の血圧値の比較にはStudent t検定を用いた。血圧値とSpO₂、気温、気圧、活動量の相関関係はPearsonの相関係数を用いて算出した。

2. 結果

平成30年8月4日~5日に研究を実施した。対象者は健常人6名（男性4名、女性2名）。職業は医師5名、会社員1名である。

8月3日は富士吉田市で前泊し、4日午前4時に富士北麓駐車場をシャトルバスで出発、富士山吉田口五合目へ入り、5時15分から登山を開始した。12時30分に吉田口頂上着、14時50分に富士山測候所に到着し、宿泊した。翌5日は午前6時に富士山測候所を出発し、10時に富士山吉田口五合目へ下山した。この間、マルチセンサー自由行動下24時間血圧計を装着して行動した。下山後、平地で日常生活の血圧測定も実施した。表1に被験者の背景を示す。

表1 被験者背景

	年齢（歳）	性別
被験者A	41	男
被験者B	36	男
被験者C	32	女
被験者D	33	男
被験者E	35	女
被験者F	26	男

各被験者の登山行動中の血圧値・血圧変動を表2に示す。被験者A~Eは覚醒時血圧が高く、就寝時血圧が低下するDipper型もしくははExtreme dipper型血圧変動を呈していた。被験者Fは登山行動中に高山病となり、富士山測候所内では2L/分の酸素吸入を行いながら過ごした。被験者Fは就寝時血圧が低下しないNon dipper型

表2 富士登山中の血圧, 脈拍値

	24 時間 血圧 (mmHg)	24 時間 脈拍 (bpm)	覚醒時 血圧 (mmHg)	覚醒時 脈拍 (bpm)	睡眠時 血圧 (mmHg)	睡眠時 脈拍 (bpm)	夜間血圧 下降度 (%)	血圧 変動 パターン	平均酸素 飽和度 (%)	3% ODI
被験者 A	113/79	76	117/83	82	102/68	62	13	Dipper	67.9	62.75
被験者 B	125/84	84	133/92	88	106/66	76	20	Dipper	61.05	88.84
被験者 C	124/84	87	134/92	86	99/65	87	26	Extreme dipper	53.43	47.3
被験者 D	122/80	109	128/84	114	106/70	97	17	Dipper	57.79	70.19
被験者 E	114/79	88	121/84	93	95/66	75	21	Extreme dipper	80.84	7.2
被験者 F	115/74	90	118/77	96	107/66	77	9	Non-dipper	81.03	14.02

ODI: oxygen desaturation index

表3 日常生活での血圧, 脈拍値

	24 時間 血圧 (mmHg)	24 時間 脈拍 (bpm)	覚醒時 血圧 (mmHg)	覚醒時 脈拍 (bpm)	睡眠時 血圧 (mmHg)	睡眠時 脈拍 (bpm)	夜間血圧 下降度 (%)	血圧 変動 パターン	平均酸素 飽和度 (%)	3% ODI
被験者 A	106/70	57	109/73	61	94/61	44	14	Dipper	95.39	2.67
被験者 B	121/87	60	127/93	63	108/69	54	15	Dipper	96.08	7.86
被験者 C	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
被験者 D	112/74	69	115/75	74	105/71	56	9	Non-dipper	95.89	4.48
被験者 E	110/75	72	115/79	77	100/68	62	13	Dipper	95.86	3.56
被験者 F	108/72	66	110/74	69	103/68	58	6	Non-dipper	96.46	5.48

ODI: oxygen desaturation index, NA: not available

血圧変動を呈した。夜間の酸素飽和度については、被験者 A ~ D は 50 ~ 60% 台まで値が低下し、3%ODI も 40 ~ 90 と非常に高値を示した。

日常生活での血圧値・血圧変動を表 3 に示す。検査が実施できた被験者 C 以外の 5 人においては、3 人で Dipper 型血圧変動、2 人で Non dipper 型血圧変動を認めた。酸素飽和度はいずれの被験者も 95% 以上であり、3%ODI も 10 未満であった。

登山行動中と日常生活での計測値の比較を行った (表 4)。登山行動中の 24 時間収縮期血圧、覚醒時収縮期血圧は日常生活に比べて有意に高値であった。3%ODI, 平均 SpO2, 活動量, 平均気圧は、登山行動中と日常生活での比較では有意差はなかった。平均気温は日常生活においては有意に高値であった。

登山行動中の血圧値に関連する因子を検討するために、血圧値と活動量, 気温, 気圧, SpO2 との相関を検討した (表 5)。24 時間拡張期血圧、覚醒時収縮期血圧、覚醒時拡張期血圧、夜間血圧下降度は活動量と有意な相関を認めた。3%ODI, 平均酸素飽和度, 気温, 気圧, レイクルイーズス

表4 富士登山中と日常生活での計測値の比較 (n=5)

	富士登山	日常生活	p-value
24時間収縮期血圧 (mmHg)	117.8±5.4	111.4±5.8	0.04
24時間拡張期血圧 (mmHg)	79.2±3.6	75.6±6.7	0.12
24時間脈拍 (bpm)	89.4±12.2	64.8±6.2	0.22
覚醒時収縮期血圧 (mmHg)	123.4±6.9	115.2±7.2	0.03
覚醒時拡張期血圧 (mmHg)	84.0±5.4	78.8±8.3	0.06
覚醒時脈拍 (bpm)	94.6±12.1	68.8±6.9	0.21
睡眠時収縮期血圧 (mmHg)	103.2±5.0	102.0±5.3	0.37
睡眠時拡張期血圧 (mmHg)	67.2±1.8	67.4±3.8	0.92
睡眠時脈拍 (bpm)	77.4±12.5	54.8±6.7	0.38
夜間血圧下降度 (%)	16.0±5.0	11.4±3.8	0.22
3% ODI	48.6±36.0	4.8±2.0	0.51
平均SpO2 (%)	69.7±10.9	95.9±0.4	0.60
log活動量 (G)	10.6±0.2	9.9±0.5	0.41
平均気温 (°C)	22.3±0.72	29.4±1.2	<0.01
平均気圧 (hPa)	723.3±3.6	1001.0±9.8	0.53

ODI: oxygen desaturation index

コアと血圧値には相関関係は認められなかった。

3. 考 察

富士登山中および日常生活での血圧値および血圧変動を評価した。これまでに高所での血圧変化を検討した研究が報告されているが、登山行動中および短期間の高所滞在中の血圧変化を検討した研究はこれまでにない。本研究では登山行動中の血圧レベルが活動量と有意に関係することが明らかになった。

表 5 富士登山中の血圧, 脈拍値

	24 時間 収縮期血圧 (mmHg)	24 時間 拡張期血圧 (mmHg)	覚醒時 収縮期血圧 (mmHg)	覚醒時 拡張期血圧 (mmHg)	睡眠時 収縮期血圧 (mmHg)	睡眠時 拡張期血圧 (mmHg)	夜間血圧 下降度 (%)
3% ODI	0.64	0.65	0.55	0.58	0.48	0.4	0.17
平均 SpO ₂ (%)	-0.82*	-0.8	-0.81	-0.75	-0.17	-0.2	-0.56
log 活動量 (G)	0.78	0.92**	0.89*	0.95*	-0.31	-0.43	0.92**
平均気温 (°C)	0.51	0.25	0.37	0.26	0.7	0.04	-0.15
平均気圧 (hPa)	-0.26	-0.07	-0.27	0.01	0.08	-0.52	-0.28
ルイクレイブスコア	0.14	-0.4	-0.04	-0.43	0.72	0.42	-0.49

*: p<0.05, **: p<0.01, ODI: oxygen desaturation index

登山行動中の血圧と活動量の関係性は、活動量と血圧を検討したこれまでの研究でも示されている。健常人の運動時に血圧上昇が伴うことは、トレッドミル負荷試験などから明らかであり、アクチグラフを内蔵した 24 時間血圧計での検討でも、活動量と血圧値の間に相関関係が認められることが報告されている^{8,9)}。本研究結果も登山という労作に伴って血圧が上昇したものと考えられる。実際、登山行動中の血圧レベルは、活動量が登山に比べて少ない日常生活の血圧レベルと比較すると有意に高値であった。

本研究は富士山頂でも血圧測定を行っており、高所の血圧への影響も排除できないと考える。しかし、登山中の血圧値と気圧、高山病スコアの間に関連性は認められなかった。高所で生じる急性高山病は血圧値に影響を及ぼすことが推察されるが、今回の研究では、高山病を発症した被検者 F において、Non dipper 型血圧日内変動異常が出現した。Non dipper 型血圧変動異常は睡眠時の血圧が十分低下しないパターンの血圧日内変動異常であり、その一般的な原因としては睡眠時呼吸障害、体液貯留、自律神経障害等が知られている¹⁰⁾。高所曝露も交感神経を亢進させ、心血管系へも影響を及ぼすことが知られている^{4,11,12)}。急性高山病では低酸素に伴い、頭痛、消化器症状、倦怠感、めまい、睡眠障害などの症状が出現する。これらの身体的ストレスや低酸素そのものが交感神経活性を亢進させたと思われる。これらの影響により、日中の富士登山により血圧が上昇していた

にもかかわらず、夜間においても血圧低下が不十分となり、血圧日内変動パターンとしては Non dipper 型を呈したと考えられる。被検者 F へは急性高山病への対処として酸素投与を行ったが、酸素投与を行わなかった場合、睡眠時血圧の上昇する Riser 型血圧日内変動異常が出現した可能性が考えられるため、酸素投与により夜間の血圧上昇が抑制され、Non dipper 型にとどまったと考える。平成 29 年に筆者らが行った先行研究でも高山病の被検者で血圧日内変動異常が出現したことも急性高山病と血圧日内変動異常の関連を示唆する根拠になると考える。

本研究の限界としては、第一に被検者数が少ないことが挙げられる。しかし、今回の研究は登山行動中の測定であり、被検者数をこれ以上増やすことは登山の安全面や、富士山測候所の宿泊者数の制限から困難であったと思われる。第二に日常生活での計測においては、測定環境を完全に同一にできなかったことが挙げられる。しかし、個人間の生活様式は異なっていたが、ほぼ同程度の標高の下で測定が行えた。第三に被検者が高山病を発症したために安定した身体状態でデータがとれなかったことが挙げられる。高山病の発症を事前予測することは困難であるが、高山病時の血圧データが測定できたことは有意義であると考えられる。第四に血圧日内変動異常の関連因子を検討しきれない可能性が挙げられるが、人員、環境の面から測定項目には制限があった。

本研究では登山行動中の血圧値に活動量が関係

していることが示されたが、その他の修飾因子としては自律神経の影響が大きいことが推測された。被検者 F においては、睡眠時脈拍が日常生活で 58 回 / 分に対し富士登山中 77 回 / 分へと上昇しており、酸素吸入下においても交感神経の活性亢進が生じていたことを示唆すると考える。今後は高所での自律神経の影響と血圧値の関係性を検討するための更なる研究が必要である。

4. 結 論

富士登山中の血圧値および血圧日内変動をマルチセンサー自由行動下血圧計を用いて計測した。登山行動中の血圧値は活動量と関連することが明らかになった。高山病時には血圧日内変動異常が生じる可能性が示唆された。登山行動は血圧上昇を生じ、高山病発症時には血圧変動異常も生じる可能性が高く、循環器疾患患者が登山を行う際は注意を要すると考えられた。

謝 辞

本研究に対し、助成賜りました公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に深く感謝申し上げます。また、本研究を遂行するに当たり、宿泊・計測環境を提供していただいた NPO 法人富士山測候所を活用する会、および被検者の皆様、当教室の研究補助員にも感謝申し上げます。

文 献

- 1) Mieske K., Flaherty G., O'Brien T., Journeys to high altitude—risks and recommendations for travelers with preexisting medical conditions, *J. Travel Med.*, 17: 48-62(2010)
- 2) Higgins J.P., Tuttle T., Higgins J.A., Altitude and the heart: is going high safe for your cardiac patient? *Am. Heart J.*, 159: 25-32(2010)
- 3) 平成 29 年における山岳遭難の概況 . https://www.npa.go.jp/publications/statistics/safetylife/chiiki/H30yama_nenpou.pdf
- 4) Bartsch P., Gibbs J.S., Effect of altitude on the heart and the lungs, *Circulation*, 116: 2191-2202(2007)
- 5) Kario K., Pickering T.G., Matsuo T., Hoshida S., Schwartz J.E., Shimada K., Stroke prognosis and abnormal nocturnal blood pressure falls in older hypertensives, *Hypertension*, 38: 852-857(2001)
- 6) Nakamata M., Kubota Y., Sakai K., Kinefuchi S., Nakayama H., Ohdaira T., The limitation of screening test for patients with sleep apnea syndrome using pulse oximetry, *J. Jpn. Soc. Respir. Care*, 12: 401-406(2003)
- 7) Roach R.C. B.P., Hackett P.H., The Lake Louise acute mountain sickness scoring system In: Hypoxia and Molecular Medicine. Burlington: Queen City Press, 265-271(1993)
- 8) Kario K., Schwartz J.E., Pickering T.G., Ambulatory physical activity as a determinant of diurnal blood pressure variation, *Hypertension*, 34: 685-691(1999)
- 9) Kario K., Morning surge in blood pressure and cardiovascular risk: evidence and perspectives, *Hypertension*, 56: 765-773(2010)
- 10) Kario K., Time for focus on morning hypertension: pitfall of current antihypertensive medication, *Am. J. Hypertens.*, 18: 149-151(2005)
- 11) Duplain H., Vollenweider L., Delabays A., Nicod P., Bartsch P., Scherrer U., Augmented sympathetic activation during short-term hypoxia and high-altitude exposure in subjects susceptible to high-altitude pulmonary edema, *Circulation*, 99: 1713-1718(1999)
- 12) Wolfel E.E., Selland M.A., Mazzeo R.S., Reeves J.T., Systemic hypertension at 4,300 m is related to sympathoadrenal activity, *J. Appl. Physiol.*, 76: 1643-1650(1994)