

## 高所登山と心拍数, 血圧の変化

堀井昌子

高所医学を知るには、高所環境が如何なるものを先ず知らなければならない。高所では大気中の酸素濃度、気圧、温度、湿度、風など我々が生活している海面レベルとは大きく異なっている。このうち循環器系で最も関係があるのは酸素濃度である。大気中の空気は主として窒素と酸素の混合体で、その組成は海面からの高さとは無関係に、窒素79%、酸素21%である。海面レベルで大気圧は760ミリメートル水銀柱 (mmHg) であるから、酸素の圧力は $760 \times 0.21 = 160\text{mmHg}$ となる。すなわち海面レベルでの酸素の分圧は160mmHgということになる。一方、空気は質量を持っているから高度が上がるに従って体積当たりの質量は少なくなる。すなわち高度が上がるほど気圧は低くなる、そして体積当たりの酸素の比率は21%と変わらない。これが「高所で酸素がうすくなる」理由である。この酸素分圧は呼吸によってガス交換が行われる肺胞に達するまでの間に、水蒸気で飽和されたり組織に摂取されたりして、肺胞では約三分の二の100mmHgとなる。すなわち平地における動脈血の酸素分圧 (PaO<sub>2</sub>) は約100mmHgである。

肺胞から全身の毛細血管まで酸素を運搬しているのが血液中のヘモグロビン (Hb) で、このHbが酸素と結合しているものの百分率を動脈血の酸素飽和度 (SaO<sub>2</sub>) という。図1は横軸に酸素分圧を、縦軸に酸素飽和度をとるとS字型を示すいわゆる酸素解離曲線で、いろいろな山の高さがどのような条件にあるかを示している。図に見るように高度4000m程度まではHbは90以上の飽和度を保ち得るが、この高度以上になると酸素飽和度は急速に

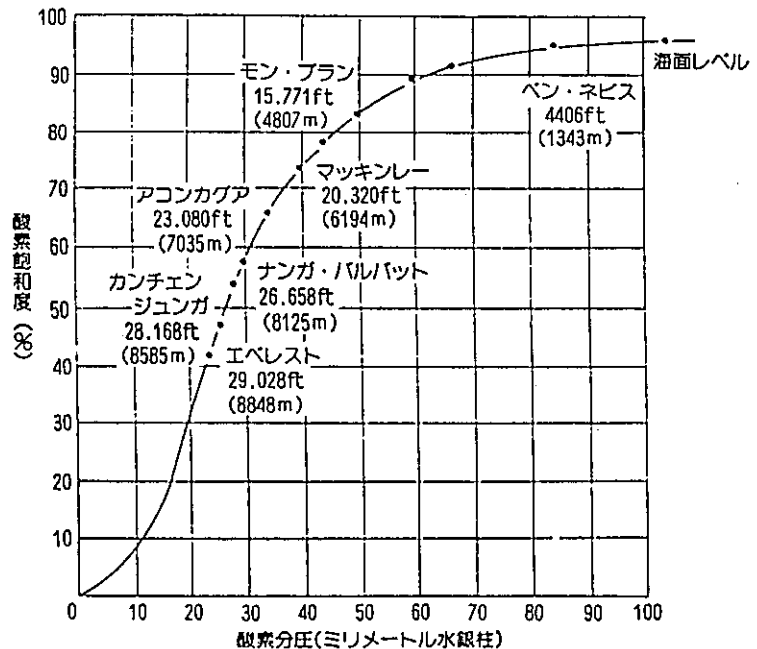


図1 種々の山の高さに相当する条件下での血中酸素飽和度  
 (「高所医学」マイケル・ウォード著, 御手洗洋, 中島寛訳より)

低下し、高度6000mでは動脈血の酸素分圧の値に近くなってしまふ。その上、運動時は酸素を多量に必要とするため、6000m以上の高所で登山活動を行う場合、酸素分圧は15-20mmHgまで低下すると言われている。高所ではこのような低酸素、低圧に加えて寒冷、乾燥、強風などがあるが、周知のように気温は1000メートル上がると摂氏6.5度下がり、風があれば体感温度は著しく低くなるのである。

#### 高所における心拍数の変化

高所の低酸素状態で最も早く現れる循環系の変化は脈が速くなること、すなわち頻脈で、これは、一回拍出量（一回の心臓の収縮で押し出される血液の量）を変えずに心拍出量（1分間に心臓から拍出される血液の量）を増加させようとする反応である。低圧環境が3000メートル以上( $\text{PaO}_2 < 60\text{mmHg}$ ,  $\text{SaO}_2 < 90\%$ )となると、頸動脈体、大動脈体にある化学受容器が興奮し呼吸数および振幅が増大し換気量が増大するが、一方、化学受容器からのインパルスは心における受容体を刺激する交感神経を賦活して心拍数の増加をもたらすとされている。低圧室の実験でも安静時の心拍数は3000m高度相当までは有意の増加を示さないが、4000m相当以上の高度になると増加すると報告されている。

##### 1) 安静時心拍数

ガルワルヒマラヤ登山の女子隊員の場合、自己測定による覚醒時の心拍数は、4000メートル附近で平地の約30%、6000メートル附近で約50%の増加がみられる。また、高度に順応すると心拍数は減少するとされ、副交感神経が優位になった結果、あるいは心肺系に対する順応の結果であるとされているが、この場合もその傾向が認められた。高所登山において覚醒時に脈拍数を測定することは、順化の状況を知る一つの方法として有用であると思われる。

##### 2) 長時間心電図記録による心拍数の変化

近年、軽量化した携帯用心電計の開発により、心電図の長時間にわたる連続記録が可能となっている。これはアメリカのNorman J. Holterという理学博士が開発したもので磁気テープに心電図を連続記録するものである（以下Holter心電図）、そして、ヒマラヤなどの高所登山においては1979年頃から数時間の記録が報告されるようになり、登山中あるいは睡眠中の心拍数を観察する方法としても使用されている。

著者は、ヒマラヤなどの登山隊員10名（男7、女7、平均年齢34.0才）の4400~7800m（平均5450m）の高度におけるHolter心電計による16~24時間連続記録より得られた心拍数の変化について検討したが、登山活動を含めた覚醒時と睡眠時に分けて、かつ平地のそれと比較すると、いずれの場合も、平均、最大、最小心拍数とも高所において有意に大であった。また、年齢の一致した非登山隊員との平地における比較では、登山隊員の覚醒時平均心拍数は有意ではないが小であった。（表1）

5. 高所医学, 運動生理

(表1)

Heart rate variability in nonalpinist and alpinists

	Age (yrs)	Mean heart rate				Maximum heart rate				Minimum heart rate			
		Awake		Asleep		Awake		Asleep		Awake		Asleep	
		S	H	S	H	S	H	S	H	S	H	S	H
Nonalpinists (n=10)	34.5±1.3	85.0±2.0	—	61.7±1.3	—	128.2±4.5	—	84.9±2.8	—	56.8±1.9	—	51.7±1.5	—
Alpinists (n=14)	34.2±1.7	76.3±2.1	94.0±4.9 <sup>a</sup>	61.6±2.1	74.6±6.7 <sup>a</sup>	125.0±4.4	143.7±4.8 <sup>a</sup>	86.4±3.3	109.1±6.2 <sup>b</sup>	58.2±1.8	69.4±5.3	49.8±1.6	61.8±5.0 <sup>a</sup>

Abbreviations: S=sea level; H=high altitude; mean±SE=(beats/min).

<sup>a</sup> p<0.05.

<sup>b</sup> 0.01<p<0.02.

なお、平均心拍数とはその時間帯の1分間の心拍数の平均を、最大(最小)心拍数とはその時間帯の最大(最小)心拍数で、最低2分以上続くものを意味する。

さらに、Holter心電図の記録から一日の心拍数の変動のパターンを知ることが出来る。同一被験者で平地および高所における記録について、心拍数は異なるものの、変動のパターンはほぼ相似の形を示す(図2)、しかし同じパターンを呈さないケースも認められた、図3は、カンチェンジュンガ峰登山における33才男性の24時間の記録を平地のそれと比較したものであるが、高所において、昼夜での明確な差異がみられない。行動日誌によれば特別な症状もなく、睡眠もほぼ良好であったという。高所に順応した登山家あるいは高所住人では基礎代謝率が10~20%増加しているために睡眠中も脈がはやい、あるいは、高所においては昼間の活動中の酸素負債を夜間に返済しているため夜間に頻脈となる。などがその理由として考えられるが、自律神経系の関与も大きいと思われる。

次に、Holter心電

計により4ないし5日間連続記録を行った場合の心拍数の変化について述べる。被験者は高所登山の経験のある38才男性で、1988年4~5月のエベレスト(8848m)登山隊に参加し、5000m以上の高度において約一ヶ月

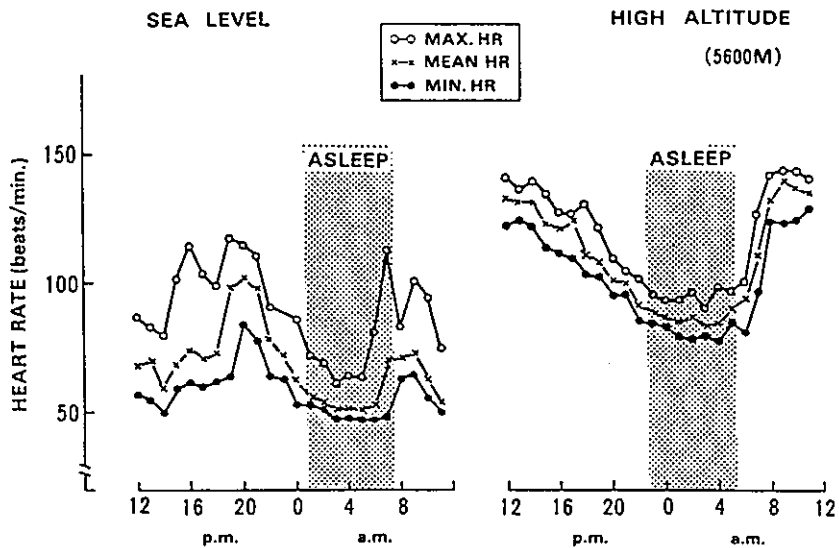


図2 平地および5600mの高度における1時間ごとの最大・平均・最小心拍数トレンド

たのうち、5350mから

(堀井昌子: 高所における循環器系の変化, 臨床スポーツ医学, 4:637, 1987, より)

7980mの間を高度を上げつつ5日間行動し, この間Holter心電図の連続記録を行った。さらに, 1990年8月に崑崙山系のムズターク峰(6638m)登山では約10日間の高所滞在ののち, 4180mから6320mの間を高度を上げつつ行動した4

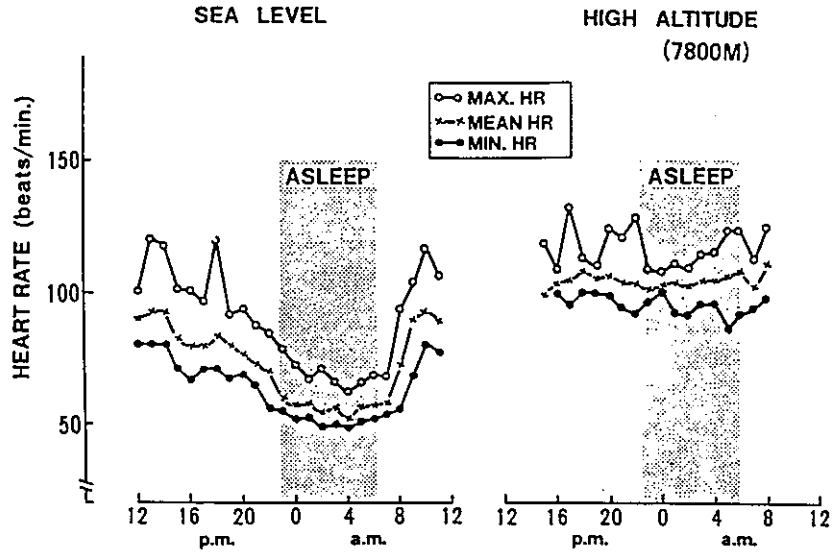


図3 平地および7800mの高度における1時間ごとの最大・平均・最小心拍数トレンドの記録を行なった。(堀井昌子: 高所における循環器系の変化, 臨床スポーツ医学, 4:637, 1987, より)

(表2)

Heart rate variability in Everest mountaineering (1988)

	all day			daytime(awake)			nighttime(asleep)		
	mean	max	min	mean	max	min	mean	max	min
No 1	79	124	50	92	124	56	66	111	50
2	80	124	47	92	124	57	68 <sup>(66)*</sup>	120	47
3	82	132	48	94	132	58	67	113	48
4	95	138	53	102	138	53	81	120	53
5	102	163	51	115	163	92	74 <sup>**</sup>	125	51
control	56	132	39	62	132	44	44	82	39

Altitude : No. 1 5350m No. 2 6000m \* O<sub>2</sub>: 1.5~2.0 l/min  
 No. 3 6000m No. 4 6700m \*\* O<sub>2</sub>: 0.5 l/min  
 No. 5 7400m Control 0m

その結果(表2), 覚醒時では, 平均および最大心拍数は高度上昇と共に増加し, 最小心拍数は最高高度に達した5日間では差がない。睡眠時では, 平均および最大心拍数は高度上昇と共に増加するが, その程度は覚醒時に比して小であり, 最小心拍数については変化をみなかった。なお, 5日間の平均心拍数が毎分74と減少しているが, これは, 睡眠中に酸素吸入(毎分0.5リットル)をおこなっていることによると思われる。記録した5日間の最小心拍数の変動が少ないこと, 心拍数の日内変動のパターンがほぼ同一であることにより, 高度に順応し, かつ安定した状態であったことが推察される。ムズターク峰の場合(表3)は平均心拍数, 最大, 最小心拍数とも覚醒時, 睡眠時いずれの場合も高

## 5. 高所医学, 運動生理

度の上昇に伴って増加を認めた。また、心拍数の日内変動パターンもエベレストの場合と同様いずれも相似の形を示した。

(表3) Heart rate variability in Muztagh mountaineering (1990)

	all day			daytime(awake)			nighttime(asleep)		
	mean	max	min	mean	max	min	mean	max	min
No 1	68	120	38	78	120	54	50	83	38
2	81	135	42	94	135	55	55	93	42
3	102	146	55	123	146	89	72	93	55
4	89	132	53	95	132	64	80	98	53
control	62	142	35	63	142	38	49	66	35

Altitude : No. 1 4180m No. 2 4960m No. 3 5860m  
No. 4 5860m Control 0m

### 高所における心電図の変化

高所においては低酸素の影響で肺動脈の圧が高くなり、従ってこの肺動脈に血液を送る右心室に負担がかかる。高所住人あるいは高所に数日以上滞在した人（登山者）の心電図には右心室に負担がかかった所見が出現し、後者の場合は平地に戻るとこの変化は消失して元に戻るということが1960年頃より報告されている。著者が記録した高所の心電図でも約40%の頻度で上記の心電図所見がみられ、平地に戻った時点で消失している。このような心電図所見は酸素吸入によって変わらなかったという報告、あるいは元に戻ったという報告など様々で、従来より議論のあるところである。しかし、高所における心電図に変化がみられない、あるいは変化が軽度のケースと、変化が明瞭に出るケースを比較すると、印象としては、心電図変化と高度順化の良否とは関係がないように思われた。

### 高所における血圧の変化

アンデス地方など高所住人の血圧は平地の住人より低く、高血圧症は稀であるといわれている。その理由は推論の域を出ないが、高所の影響の他に種族、食餌などが関与している可能性もある。高所環境の影響として、慢性の低酸素血症による末梢血管抵抗の低下、血管平滑筋の弛緩による血管拡張および末梢血管の発達などが考えられる。一方、高所において骨髄機能が亢進するためにおこる多血症は血液の粘稠度を高め、末梢血管抵抗を増加させて拡張期圧を上げる可能性がある。

1967年から1973年にかけてペルーの平地住人について血圧測定を行ったところ、収縮期圧160mmHg以上の男性は平地においては高所の12倍あり、拡張期圧についても差がみられたという。この他、チベット人70名のうち165/90mmHg以上の高血圧者は僅か4%であった。北東ネパールのシェルバ族、天山、パミールの住人には高血圧者はいない、等の報告がある一方、チベット住人特にラサ周辺に高血圧者が多く、バター茶に入れる食塩が原因であろうというレポートもみられる。また、平地住人は高所に一年ほど住むと血圧が下降するという報告もある。しかしながら、高所環境がヒトの血圧に及

ぼす影響についての大規模な研究は未だなされていない。

以上は高所住人についてであるが、低酸素への急性暴露、すなわち高所登山の場合は、4600mの高さまでは血圧の変動はみられないという報告、高度順化した平地住人は拡張期圧が高くなって脈圧（収縮期圧と拡張期血圧の差）が小さくなるという報告などがみられる。著者が検討した登山隊員の場合、一過性に収縮期圧、拡張期圧共に亢進し、高度に順化するに従って元に戻るという傾向がみられた。近年、自動血圧計の軽量化、精度向上がみられており、高所における血圧値が低酸素に対する調整の指標となるならば、血圧をチェックすることは有用であると思われる。（日本山岳会員・医師）