

高所における左心室機能と左心室の壁運動の変化

—心臓超音波断層装置を用いて—

平田和男
三菱京都病院

高所及び高所馴化における心機能の変化を研究する目的で、京都大学シシャパンマ医学学術登山隊（1990）の隊員11人（全員男性で、年齢平均33.9歳）を対象として、2Dの超音波断層装置による登山前と5020mの地点と5650mの地点2回の検査を施行し、登山期間中の隊員の左心室の機能の変化を調べた。測定した内容は心搏数、左心室拡張末期容量、心拍出量、平均短径周囲短縮速度、駆出率、径短縮率、局所壁運動である。心搏数、平均短径周囲短縮速度、駆出率、径短縮率は登山前と比較して、全登山期間で上昇していたが、登山期間を経るにつれて、正常化していく傾向にあった。左心室の拡張末期容積は登山前と比較して全登山期間で減少していた。Center Line Methodによる左心室の局所壁運動を調べると、低酸素肺高血圧症からの右心室圧負荷の影響と考えられる心室中隔の壁運動の低下が認められた。それを補うように左心室後側壁の壁運動は亢進していた。

1. はじめに

高所における低酸素の心臓、循環系に及ぼす影響は、いままで多くの研究者達が研究報告してきたが、いまだ説明されていない課題が数多くある。Operation Everest IIなどの低圧室における実験や、5000m以下の実際の高所における調査研究は行われてきているが、いまだ5000mを越す超高所における研究報告は少ない。私達は、ヒマラヤのシシャパンマ峰(8027m)に遠征して、登山活動中のすべての期間にわたって、種々の医学的検査を施行して、超高所における人体の変化を調べた。今回の報告では、高所における心臓の機能と高所馴化における心機能の変化を研究する目的で、京都大学シシャパンマ医学学術登山隊の隊員を対象として、2Dの超音波断層装置による、登山前、5020mの地点、5640mの地点とにおいて検査した結果から、登山期間中の隊員の左心室の機能がどのように変化したかを報告する。

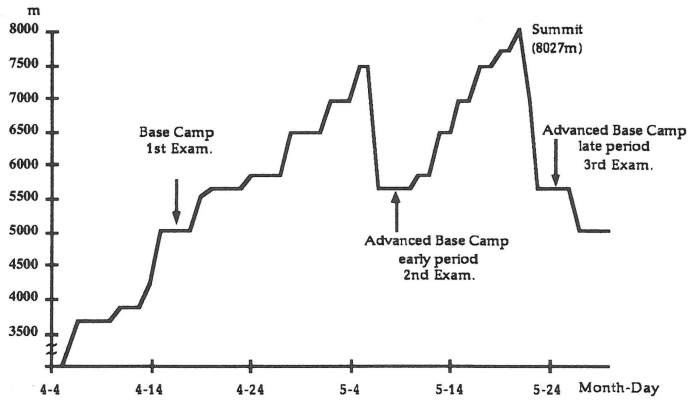
2. 対象

対象は京都大学シシャパンマ医学学術登山隊の隊員11人で、全員男性で、年齢は21歳～43歳（平均33.9歳）であった。検査した地点は登山開始前の日本（標高約40m）と入山直後の登山のベースキャンプ（標高5020m）と前進ベースキャンプ（標高5650m）の三箇所で行った。前進ベースキャンプではシシャパンマ峰登頂前と登頂終了後の2回にわたって検査し、計4回の超音波による心機能の検査を施行した。

3. 方法

心臓超音波断層装置は福田電子製モデルU-2000を用いて、3-MHzのプロローベにて検査して、記録は8mmビデオテープで記録した。心臓超音波検査は安静時の左半側臥位で、施行した。そして胸骨左縁と心尖部とから長軸、短軸などの超音波心臓

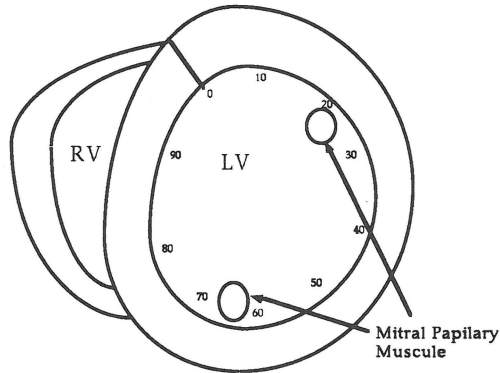
Fig.1



. Altitude/ Date profile of the expedition showing the timing of examina

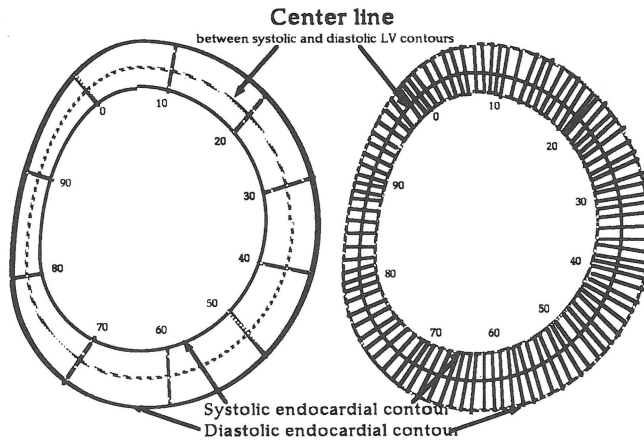
Fig.2

Parasternal short-axis view



Centerline method of regional wall motion analysis
Parasternal short axis views were obtained at high mitral papillary muscle level.

Fig.3



End-diastolic and end-systolic left ventricular endocardial contours
Centerline was constructed by the computer midway between the two contours.
Motion was measured along 100 chords constructed perpendicular to the centerline.
Cord number started at the front-end junction of left and right ventricle and clockwise numbered.

図を得た。また同時にM-modeの超音波心臓図も撮り、左心室の駆出時間はM-modeから左心室の心内膜の径の減少するところから僧帽弁の開口するまでの時間とした。心臓の各部の径の計測にはAmerican Society of Echocardiographyの推奨された方法によって行い、心臓の容量の計測にはSimpson法によって計算した。測定した内容は心搏数、左心室拡張末期容量、心拍出量、平均短径周囲短縮速度、駆出率、径短縮率、分画壁運動である。平均短径周囲短縮速度は(左心室拡張末期容積-左心室収縮末期容積) / (左心室拡張末期容積 x 左心室駆出時間) で計算した。また径短縮率は{(左心室拡張末期容積-左心室収縮末期容積) / 左心室拡張末期容積} x 100で計算した。

左心室の分画壁運動は高位乳頭筋のレベルの左心室の短軸の2D超音波心臓図からCenter Line Methodを用いて計測した。Center Line Methodは左心室の心室造影所見では広く認められた計測方法で、今回はこの方法を超音波心臓図に応用した。実際には左心室の収縮末期の輪郭と拡張末期の輪郭とをX-Y Digitizerでコンピューターに入力して、収縮末期の輪郭と拡張末期の輪郭との間に中線を引く。その中線を100分割して垂線を収縮末期の輪郭と拡張末期の輪郭まで引き、その垂線の長さを収縮長とする。また垂線の番号を左心室と右心室と付着部の前面側から時計周りに番号を付けた。心臓の大きさによる収縮長の違いを補正するために、収縮長の短縮率を以下の式で計算した(Fig.2,3)。

収縮長の短縮率

$$= (\text{収縮長} / \text{拡張末期の輪郭の円周}) \times 100$$

すべての値は平均±標準偏差で示し、統計的処理

はStudent's paired t testで行った。

4. 結果

心搏数は登山前と比較して、高所においては有意に上昇していた。そして登山期間を経るにつれて心搏数は減少するが、前期のABCと後期のABCとには統計的に有意差はない(Fig.4)。

左心室の拡張末期容積：左心室の拡張末期容積は登山前と比較して全登山期間で減少していた。

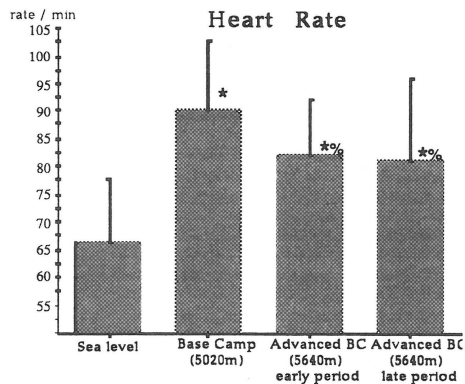


Fig. 4 Heart rate at sea level and at high altitude
Values are means + standard deviation.

*; p<0.05 vs Sea-Level %; p<0.05 vs BC

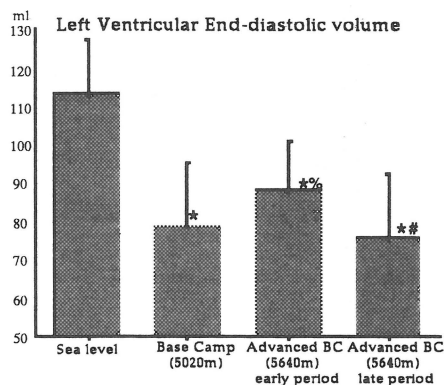


Fig. 5 Left ventricular end-diastolic volume at sea level and high altitude
Values are means + standard deviation.

*; p<0.05 vs Sea-Level %; p<0.05 vs BC #; p<0.05 vs ABC early

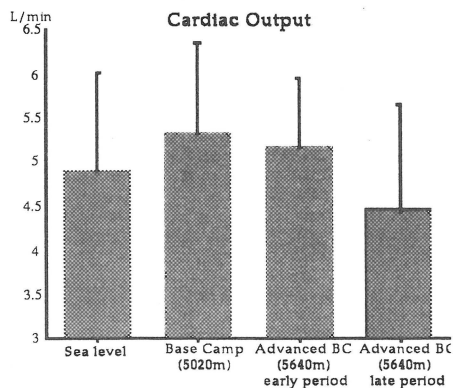


Fig. 6 Cardiac output at sea level and at high altitude
Values are means + standard deviation.

登山期間中の変化は早期のABCで有意に増加していた(Fig.5)。

心拍量は登山前と比較して、統計学的な有意差はないが、増加傾向にあった。そして、登山中の変化としては、登山前と比較して、増加はしているが、徐々に正常化していく傾向が認められた(Fig.6)。

平均短径周囲短縮速度、駆出率、径短縮率は登山前と比較して、全登山期間で上昇していたが、登山期間を経るにつれて、正常化していく傾向があった(Fig.7,8,9)。

Center Line Methodによる左心室の壁運動を調べると、心室中隔の部分が登山前の平地での局所壁運動と比較して低下していた。よりくわしく述べるとBCではSeg84~88, ABC1ではSeg83~91, ABC2ではSeg75~100で統計的に有意差が認められた。一方心室中隔での局所壁運動の低下を補うように、左心室の後側壁で局所壁運動が亢進していた。つまりBCではSeg32~46, ABC1ではSeg33~40, ABC2ではSeg35~39で亢進していた。この統計学的な処理はPaired T testを各々の区域にて、京都における計測値と比較して調べた。

5. 考察

高所における心臓循環系を考えるうえで、2つのことを忘れてはならない。1つは低酸素そのものが直接または交感神経・循環作動物質を介して、心臓循環系に及ぼす影響である。もう1つは低酸素による肺血管抵抗の上昇からくる肺高血圧症の影響である。

以前は多くの研究者が高所低酸素にて左心室機能の低下が進行すると主張してきた。これは心筋細胞が嫌気性代謝が困難で、常に好気性代謝を行っていることから、低酸素そのものの影響で心筋の低酸素状態による心機能の低下であると推論していた。また肺高血圧症からの二次的な右心室の圧負荷からくる心機能の低下、心不全状態であると推論した報告者もいた。

しかし最近の研究では、高所低酸素状態における心臓の機能、特に左心室機能に関しては機能低下は認められず、むしろやや亢進していることが

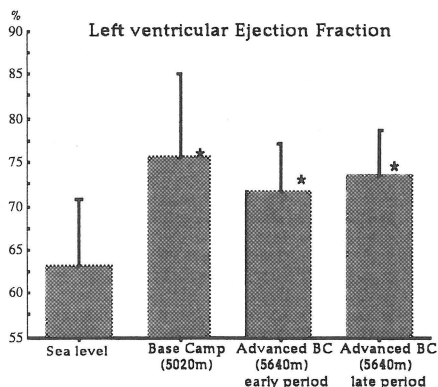


Fig. 7 Ejection fraction of left ventricle at sea level and at high altitude. Values are means + standard deviation. *; p<0.05 vs Sea-Level

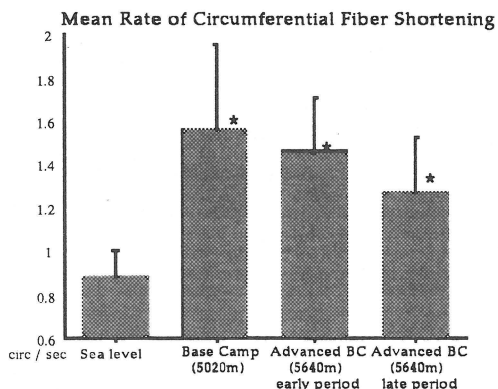


Fig. 8 Mean rate of circumferential fiber shortening at sea level and at high altitude. Values are means + standard deviation. *; p<0.05 vs Sea-Level

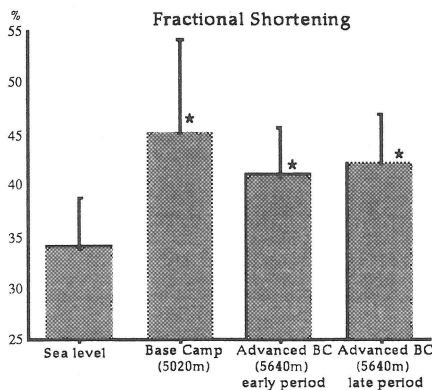
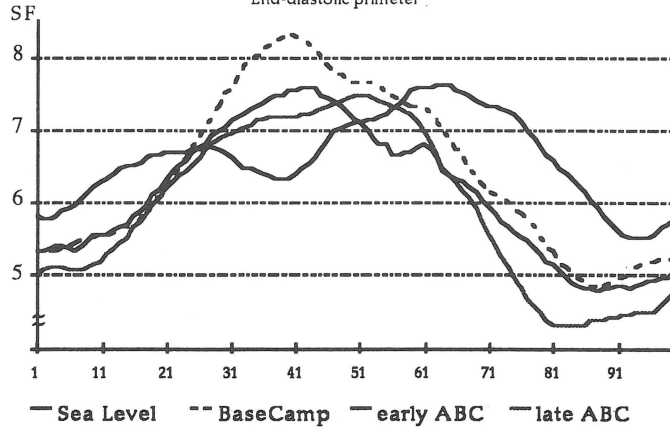


Fig. 9 % Fractional shortening at sea level and at high altitude. Values are means + standard deviation. *; p<0.05 vs Sea-Level

Shortening Fraction

the shortening fraction (SF) at each chord was calculated as :

$$SF = \frac{\text{Chord length}}{\text{End-diastolic perimeter}} \times 100$$



判明してきている。Fowles等は3000mから4000mの地点での左心機能をM-mode超音波心臓図から分析して、左心機能が低下していないことを報告している。また低圧室での実験で、Swan-Ganz catheterと超音波断層心臓図とを用いた実験でも左心機能は低下するよりもむしろ亢進していることを証明した。しかし実際に超高所における現場での検査を施行した報告はなく、また長期にわたって、高所馴化の過程で左心機能がどのように変化するかを調べた実験もいまだ行われていなかった。今回著者等は5000mを越える超高所で、50日以上の特長期間にわたり同一の対象で左心機能を調べることができた。さらにこの報告は超高所の低酸素状態での左心室の局所壁運動の変化を調べた最初の報告である。

高所に登って初期の段階では、心搏数は有意に上昇していた。左心機能としての平均短径周囲短縮速度、駆出率、径短縮率についても、高所において有意に上昇していた。心拍出量は上昇傾向があるものの統計的に有意差はなかった。また左心室の拡張末期容積は平地と比較して、減少していた。これらの結果はFowles等、Operation Everest IIの結果と一致するものである。これらのことから心臓の容量(前負荷)は減少しているにもかかわらず、駆出率や左心室の収縮力は上昇しており、心拍出量は上昇傾向にあることがわかる。このよう

な心機能の亢進は、交感神経系の働きによるものであろうとされている。

高所における長期の滞在による影響をみると、期間を経るにつれて心機能の亢進の程度が減少していくようである。今回の私達の研究では高所馴化の過程で、心搏数は有意に減少していた。平均短径周囲短縮速度、駆出率、径短縮率などの指標も減少傾向がみられた。しかしこのことについては統計的な有意差はなかった。高所における長期間の心搏数の変化については以前より報告があり、高所馴化の過程で、しだいに心搏数が平地の値に復帰しつつあるのは交感神経系の亢進状態が減少するからであるといわれている。私達のそのほかの心機能の指標についての変化も、心搏数の変化と同様に交感神経系の亢進状態の変化によるものと思われる。

つぎに肺高血圧からの二次的な影響による左心室機能の変化について述べる。肺高血圧症の原因は肺胞内の低酸素による肺の毛細動脈の収縮の結果、肺の血管抵抗の上昇に起因する。そして、肺高血圧症による右心室の圧負荷は、心室中隔の壁運動に影響を及ぼす。今回の研究で2-DのUCGを用いて、左心室の局所の壁運動、特に心室中隔の壁運動を調べた。

心室中隔の壁運動については、高所においては全期間で低下していた。一方それを補うように左

心室の後側壁の壁運動が亢進していた。故に左心室機能の亢進は心室中隔の壁運動の低下があるにかかわらず、左心室の後側壁の壁運動の亢進によって維持されていることがわかった。長期による高所滞在の変化では、心室中隔の壁運動の低下は変わらないが、後側壁の壁運動の亢進は次第に小さくなっていく傾向にある。このことは高所において十分に順応しても、肺高血圧による右心室の圧負荷は変わらないこと示唆している。一方高所における順応の結果、左心機能の亢進が小さくなっていくことにつれて、後側壁の壁運動の亢進は小さくなっていくのであろう。

6. 結論

- 1) 高所において心機能の変化は、心臓の容量は減少しているが、心搏数や心機能は亢進していた。長期滞在しての高所順応後の変化でも心機能は亢進していたが、亢進の程度が小さくなる傾向にあった。
- 2) 高所において左心室の壁運動の変化は、右心室の圧負荷の影響による心室中隔の壁運動の

低下が認められた。それを補うように後側壁の壁運動は亢進していた。

- 3) 高所順応後、心室中隔の壁運動は高所順応前と変わらず、低下していた。一方高所順応後の後側壁の壁運動は、高所順応前と比較して壁運動の亢進の程度が小さくなる傾向にあった。

文献

- 1) Fowles RE, Hultgren HN. Left ventricular function at high altitude examined by systolic time intervals and M-mode echocardiography. *Am J Cardiol* 1983 52 862-866
- 2) Suarez J, Alexander JK, Houston CS. Enhanced left ventricular systolic performance at high altitude during Operation Everest II. *Am J Cardiol* 1987 60 137-142
- 3) Reeves JT, Groves BM, Sutton JR, Wanger PD, Cymmerman A, Malconian MK, Rock PB, Young PM, Houston CS. Operation Everest II: Preservation of cardiac function at extreme altitude. *J Appl Physiol* 1987 63 531-539

Summary

LEFT VENTRICULAR FUNCTION AND WALL MOTION AT HIGH ALTITUDE EXAMINED BY 2-D ECHOCARDIOGRAPHY

Kazuo. Hirata

Department of Cardiovascular Surgery, Mitsubishi Kyoto Hospital

To better understand the effects of high-altitude hypoxia on cardiac performance, we studied 11 healthy climbing members in Kyoto Univ. Medical Research Expedition of Xixabangma, 1990. They were examined cardiac function and left ventricular regional wall motion with 2-D echocardiography at sea level, at base-camp(5020m), two times at advanced base-camp(5640m).

At high altitude, heart rate increased significantly, but decreased gradually in degree of increment at early and late ABC(5640m). Echocardiographic measurements of LV function (mVcf, %FS and EF) revealed the enhancement of LV function at high altitude in spite of reduced left ventricular end-diastolic volume, that denoted the decrease of preload. In findings of left ventricular regional wall motion using centerline method, septum wall motion were impaired by the pressure overload of right ventricle owing to hypoxic pulmonary hypertension. On the other hand posteriolateral wall motion compensated.