

高所登山と体力

柳 沢 昭 夫

はじめに

高峰の登山は、低圧、低酸素、寒冷、あるいは高峰特有の気象等、異常な環境下における登山である。こうした環境下で、疲労、衰退、障害等の問題を解決し、順調に高所に適応するにはどうしたらいいだろうか。高所に順応できない無理な行動は、登山の失敗や最悪の場合は事故の要因になる。

ことに、高峰登山における死亡率は、魔の山と恐れられ比較的死亡率の高い谷川岳でさえ 0.03% の死亡率であるのに対して、6,000m 峰では 2.998%、7,000m 峰では 2.697%、8,000m 峰では 4.404% の高い死亡率である。(日山協・登山月報) 死亡原因は、転滑落、高所障害、雪崩の三つに大別することができる。高度 4,000~5,000m では、雪崩による事故が多く、高度が増すにつれ、転滑落、高所障害による事故が多くなる。なお、高度が増すにつれ、事故者のうち死亡者のしめる割合が多くなる。ことに、8,000m 級での事故は、傷病者を救出することは不可能に近く、死亡率は高い。転滑落による事故は、技術的ミスと考えられないこともないが、大部分の転滑落は、比較的やさしい場所で起きており、高所登山を実践する者が、基礎技術を習得していなかったとは考えられず、高所における疲労や障害が事故の要因になっていると考えられる。

こうした事故を防ぎ、高所のクライミングに挑むには、適切に高所に順応し、高所障害を防ぐことが重要な課題となる。

仮りに、すみやかに高所に順応するための身体的諸条件を整えることが可能であれば、より一層、クライミングの本質的な課題に入ることができる。むしろ、最良の順応条件をつくりだすことが、より困難なクライミングの課題を解決するための前提条件になる。

高所に順応するための基本的条件は、ゆっくりと高所に到達することである。

初期の高所登山は、クライミングに関する技術や経験の蓄積はあったとしても、平地の $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ の低圧下での環境下におけるクライミングについては、はたして、可能であるのか不明であった。

しかし、時代と経験を重ねるごとに、より効率的な順応方法について、極めて経験的に確立されてきたといえよう。数回の登下降を繰り返して順応する方法、事前にある程度の順応のための小登山を実施してからクライミングに入る方法、ゆっくりとキャンプを進める方法等、方法には多様性がある。いずれにせよ行動と休養のバランスを取りながら、じょじょに新しい高度に順応するが、仮に可能であれば、条件の良い所、あるいは日常的なトレーニングで高所に適応するための条件を準備できないだろうか。

順応のはやさや、良好性等は非常に特殊で、個別的であると言われている。しかし、共通する条件もあ

る。ここでは、こうした身体的条件について考えてみたい。

登山のエネルギー

身体のエネルギー源は全てアデノシン3リン酸 (ATP) であるが、筋肉内におけるアデノシン3リン酸の蓄積量は限られている。

短距離走のように大きなパワーを必要としながらも短時間で終了する運動は、酸素の補給なしにエネルギー源をまかなうことができるが、長時間にわたる運動、つまり、スタミナを要求される運動では、酸素を取り入れてアデノシン3リン酸を再合成しなければエネルギー源がつかない。こうしたことから、登山のように長時間にわたる持久的運動では、どれだけ筋細胞が酸素を取り入れることができるかによってエネルギーの供給量が決定される。持久的運動では、その運動能力のレベルを決定するのは酸素摂取量である。つまり、酸素摂取能力の優れた者が持久的運動では非常に有利になる。

長距離走者の場合は、体重の移動が仕事量になるので、体重当たり毎分どの位の酸素を取り入れることができるかということと、取り入れた酸素をいかに有効に使うことができるかという二つの尺度で評価する。この尺度となるのが最大酸素摂取量/体重/分と無氣的作業閾値 (AT) である。最大酸素摂取量が多いほど大きな運動が可能なので、運動の効率からみると、長距離走者の場合は、同じ酸素摂取量であれば体重が少ない程有利になる。

登山は、荷物を背負ったり、ラッセルなどのように大きな負荷がかかることも多いので、当然筋量も体重も多い。必ずしも長距離走者のように、そう身の者が有利とはならない。

登山の場合は、体重+負荷量 (20~30kg) 当たりの酸素摂取量で計算すると、登山における持久力の目安になるのではないだろうか。

酸素の摂取

体内への酸素の取り込み経過は、気管内空気—肺胞気—動脈血液—毛細血管血液—組織細胞へと運ばれる。酸素の移行は極めて物理的であり、肺胞気酸素分圧と血液酸素分圧との分圧差 (PO_2) があるため、酸素分圧の高い方から低い方へ移行する。同様に、血液からより低い組織細胞へと移行する。こういう酸素分圧差を酸素勾配と呼ぶ。

高所に登るにつれ、大気圧は低下するため肺胞内酸素分圧が低下するので、肺胞内酸素分圧と血中酸素分圧との分圧差 (勾配) が小さくなり、赤血球は十分な酸素を取り込むことができず、血中酸素分圧も低下する。したがって、血液と細胞との酸素勾配も小さくなるので細胞への酸素の供給が不十分になる。細胞への酸素の供給が十分行われないとエネルギー源であるアデノシン3リン酸の再合成能力が低下するので十分なエネルギーを作りだすことができない。そうすると、運動能力が低下する。とともに、ときとして酸素不足によって障害を起こすことになる。

高所に身体が適応するには、大気圧の低下にともない、酸素勾配が小さくなくても、酸素の取り込み効率が改善され、細胞への酸素供給効率が良化しなければならない。こうした身体の低圧への適応を高所順応という。

順応は、肺換気量の増加、赤血球の増加、心拍出量の増加、毛細血管血流量の増加、組織（細胞）での酸素の取り込み能力（拡散能）の上昇等にみられる。

しかし、こうした高所に対する身体の適応も多くの矛盾を含んでいる。

ガス交換における換気量の増加と呼吸中枢の抑制作用、酸素運搬におけるヘモグロビンの増加と血液粘性の増大など多くの矛盾がある。肺動脈圧、脳動脈圧の上昇、血液粘性の増大は身体の水分分布の異状をきたし、肺水腫、脳浮腫の要因になる。

持久的トレーニングは、肺のガス交換機能の発達、心拍出量（1回量及び単位時間量）の増加、心機能の向上、毛細血管の発達をうながす。ことに、細胞レベルでは、ミトコンドリアの増加、酸化酵素の活性化などをうながし、酸素摂取能力を高めるので、高所登山には極めて有効なトレーニングといえよう。

ことに、細胞レベルでの酸素摂取能力（酸素の拡散能）を高めておくことは、高所に適応する最も効果的な条件整備である。

持久的トレーニングによる酸素摂取能力の改善は、筋力のトレーニングと異なり、短期間で効果を上げることができない。高所では、高所に効果的に適応し、細胞レベルでの酸素摂取能力を高めるには時間がかかる。したがって、日常の持久的トレーニングによる身体条件の改善が大変重要になる。

高所住民の優秀な運動能力及び高所経験者の順応の速さなどを考えると、組織（細胞）レベルでの酸素不足に対する適応が考えられる。

国土地理院キャリオル降遠征隊をモデルとした（筑波大、浅野）報告によると、最大酸素摂取量（ $\dot{V}O_2 \max$ ）は、1気圧下条件では遠征後帰国した頃、高所の影響は消失すると考えられるが、4,000 m 高度相当気圧下条件では高所の影響が残存し、4,000 m 高度相当下の酸素摂取量は帰国後も大きかったと報告されている。この場合、最高心拍数が増加しなかったことから、1回心拍出量と動静脈血酸素較差の増加によって酸素摂取量が増加し、残存したと考えられる。

また、無気的作業閾値は、高所順応による持続度が高かったと報告されている。

動静脈血酸素較差の増加は、血液によって運ばれてきた酸素を有効に利用する細胞の機能が高まり、細胞が酸素を取り入れる前の動脈血と酸素を取り入れた後の静脈血と酸素分圧の較差が大きくなったもので、そうした細胞レベルでの適応はなかなか消失しないと考えられる。

最大強度の運動では、酸素の摂取量も最大になるが、取り入れた酸素だけではその運動エネルギーを維持することはできないので、当然体内の無酸素エネルギーも消費する。その結果、疲労物質としての乳酸が蓄積され、その運動を続けることができなくなる。この場合の酸素の不足は運動後に補ぎ

なわれる。（これを酸素負債という）運動強度（負荷）が最大級でなく、酸素負債の起こる直前のレベルの強度であれば、疲労物質である乳酸は蓄積しない。理論的には、エネルギー源であるグリコーゲンや脂肪があれば、そのレベルの運動は継続することが可能である。

無気的作業閾値とは、最大負荷の運動と継続可能な負荷の運動との割合で、運動負荷の上昇にともない乳酸が発生する時点の運動に必要な酸素量は、最大酸素摂取量のどの位の割合に当たるかを見たものである。無気的作業閾値の高い者ほど酸素の有効利用レベルが高いと考えられる。最大酸素摂取量が多く、無気的作業閾値の高い者ほど持久的運動には有利である。

こうした4,000 m 高度相当の無気的作業閾値の上昇や動静脈血酸素較差の増加による高所への適応は、細胞レベルでの適応で、細胞レベルでの酸素摂取能力（拡散能）が改善され、少ない酸素の有効利用が高まったことによる。またこうした細胞レベルでの適応は消失に時間がかかると報告されている。

筋肉がパワーを発揮するエネルギーは、アデノシン3リン酸であるが、酸化エネルギーによるアデノシン3リン酸は、ミトコンドリアで作られる。ミトコンドリアはアデノシン3リン酸の生産工場とも言うべき所で、有気的酸化過程に関係する酵素のほとんど全てがミトコンドリアにある。

持久的トレーニングによりミトコンドリアの数が増加し、形も大きくなる。ミトコンドリア内のクリスティの密度が高くなる。

酵素は、エネルギーを作り出す化学反応の触媒として働くが、運動は生体的化学反応を増進させるので、トレーニングによる化学的適応として酵素活性に変化が起きる。

持久的トレーニングは解糖のような短時間（数秒）の激しい運動にエネルギーを供給する無気的過程の酵素活性には影響を与えない。有酸素エネルギー発生過程に関係する酵素はミトコンドリア膜に配列されているので持久的トレーニングがミトコンドリアの数や形態に影響を与える。チトクロームC、コハク酸水素酵素、クエン酸シンターゼなど有酸素代謝に関係する酵素の活性が増加するとともにミトコンドリア・タンパクも増加する。

乳酸脱水酵素にはH型とM型があり、持久的な心筋やヒラメ筋にはH型が多く、腓腹筋のような骨格筋の速動筋ではM型が多い。この二つの型の酵素は焦性ブドウ酸濃度によって活性度が異なり、焦性ブドウ酸の濃度が高いとM型の活性が高く、濃度が低いとH型の活性が高い。速筋を使う短距離走のようなトレーニングではM型の活性が高まり、持久的トレーニングではM型酵素がH型へ移行する。

エネルギー源はアデノシン3リン酸であるが、こうした高エネルギーリン酸塩（ATP、CP）は主として炭水化物と脂肪から補給される。血糖、肝臓、筋に貯えられているグリコーゲンの貯蔵量とスタミナとは密接な関係があり、最大酸素摂取量の65～69%ぐらい酸素摂取が必要な運動では、筋グリコーゲン貯蔵量がスタミナの制限因子になる。トレーニングにより体内のグリコーゲン貯蔵量が増加し、なおかつトレーニングを積んだ者は、脂肪をエネルギー源の一部として消費するので、トレー

ニングをしない者より、グリコーゲンの消費量は少ない。運動強度が高いほどグリコーゲンの消費は大きい。トレーニングと炭水化物食（ハイカーボン食）によって筋グリコーゲン量を増加させることができるので、高所登山では炭水化物食が有利である。

脂肪は、脂肪組織から遊離脂肪酸を動員しエネルギー源とするが、トレーニングを積んだ者は、積まない者より乳酸産生が低いので、脂肪をエネルギーとして利用しやすい。

海外登山は、日本から無制限に食糧を持ち込む訳にはいかない。現地購入食も限定されるので、十分な栄養補給はできがたいといえよう。ことに、高所では、食欲が落ちるので必要エネルギーを充たすだけの食事を摂ることは不可能とさえいえる。

日本の冬山登山におけるエネルギーの消費量と補給量を調べた結果でも、補給量が大幅に不足しているという報告がある。（順天大、堀田）。食糧内容、摂取量共に、海外登山が日本の冬山より優れているとは言えず、相当量のエネルギー源不足になる。事実、海外登山では5Kg位体重が減少するのは普通であり、多い人では10Kg位も体重減少が見られる人もある。

当然、体脂肪からエネルギー源を動員する。トレーニングを積み、脂肪をエネルギー源として利用する効率を高めておく方が有利であろう。

調査研究事業報告

大学山岳部リーダーおよび登山研修所講師の体力測定結果

登山においては、「体力」および「技術」の両方が必要である。技術に関しては、用具等も含め、年々改善されている。しかし、体力が登山に対して重要であるにもかかわらず、科学的にあるいは継続的に調べられた例はまれである。小川ら²⁾によれば、登山家は背筋力や腹筋は一般人よりややすぐれているが、その他の測定項目は一般人並みであり、他のスポーツ選手と比べて、全体的に体力は劣っていると述べている。

鈴木と青木³⁾は、文部省登山研修所で行われている大学山岳リーダー冬山研修会参加者を対象にして体力測定を実施し、登山者の体力の実態を5年間にわたり比較した。その結果、5年間の大学山岳リーダーの体力は、一般学生と差がなく、総合的な体力向上を目的とした組織的なトレーニングが必要であることを示した。

これらの結果は、昭和40～50年頃のものであり、それから約10年が経過しているが、その間の体力測定に関する報告はなされていない。そこで本年度は、従来行われていた体力測定を実施し、昭和47～51年度のデータおよび一般学生のデータと比較して、最近の大学山岳リーダーの体力の実態を明らかにすることおよび一流登山家（講師）の呼吸循環系体力を調べるために行った。

測定方法

1. 測定対象

測定対象者は、昭和59年度大学山岳リーダー冬山研修会に参加した研修生34名および講師14名であった。

2. 測定場所および測定日

体力測定は、いずれも文部省登山研修所トレーニング室にて、入山前（昭和60年3月2日）および下山後（昭和60年3月8日）にそれぞれ実施した。

3. 測定項目

研修生および講師の形態的特徴を知るために、身長および体重の他に労研式皮脂厚計を用いて上腕部と肩甲骨下の皮下脂肪厚を測定した。また、文部省スポーツテストの体力診断テストにもとづき

- ① 反復横とび
- ② 垂直とび
- ③ 背筋力
- ④ 握力
- ⑤ 伏臥上体そらし
- ⑥ 立位体前屈
- ⑦ 踏台昇降運動

の7項目について体力を測定した。

さらに講師14名については、入山前に自転車エルゴメータを用いた負荷漸増の最大運動を行い、最大酸素摂取量（ $\dot{V}O_2\max$ ）を求めた。