

#### 4. 研究論文

## 低酸素環境下での腹式呼吸の効果に関する研究

山本正嘉

### 1. 研究目的

海拔3,000~4,000m以上の高地では、酸素分圧の低下により体内が酸素不足となる。その結果、活動能力の低下をはじめ、急性高山病などの障害も起きてくる。このようなときに腹式呼吸を行うと、それらの障害の程度が軽くなることが指摘されている<sup>1)</sup>。また低地でも、呼吸不全患者の場合には、呼吸機能の低下により体内が酸素不足となり、さまざまな症状が現れる。このような患者に腹式呼吸をさせると、やはり症状が軽くなることが知られており、治療にも利用されている<sup>2)</sup>。

登山者の場合は、呼吸機能は正常だが外界の低酸素の影響を受けて体内が酸素不足になる。一方、呼吸不全患者の場合は、外界の酸素は十分だが呼吸機能に障害があるために体内が酸素不足になる。しかし、体内が酸素不足になるという点では共通している。そしてどちらの場合も、腹式呼吸を行うと、酸素不足によって引き起こされた症状が改善するということが興味深い。

このような例から、低酸素環境での腹式呼吸には、体内の酸素不足を改善する効果があることが予想される。そこで本研究では、低酸素環境下で腹式呼吸を行った時に、体内の酸素不足がどのように改善するかということを検討した。

### 2. 研究方法

#### a. 被験者

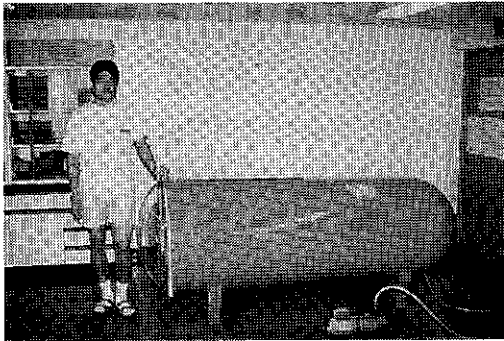
被験者は1名(著者自身)である。被験者の年齢は39歳、身長は177cm、体重は83kgであった。

#### b. 低酸素環境の設定

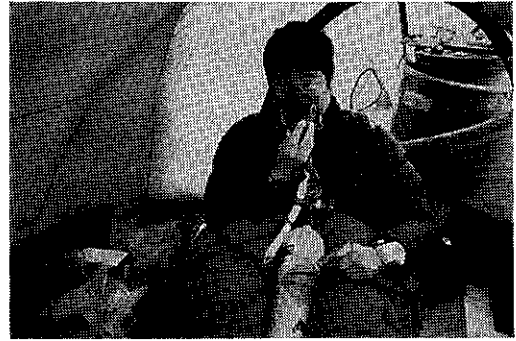
人工的な低圧室と自然の高地という、2種類の低酸素環境で実験を行った。

低圧室での実験は、Gamowが開発した小型の低圧カプセル(高所ベッド, NASA製, USA)<sup>3)</sup>を用いて行った(図1-a)。これはコンプレッサーによりカプセル内の空気を抜いて低圧状態を作り出す装置で、高度に換算して海拔2,000m, 3,000m, 4,000mの3種類の低圧環境を設定できる。本研究では、4,000mの高度を用いた。なお、カプセルの形状的な制約により、被験者は仰臥位姿勢で実験を行った。また実験は、被験者がカプセルに入ってコンプレッサーを作動させてから30分後に開始した。

高地での実験は、ネパール王国・サマ地方にあるマナスル峰の麓で行った<sup>4)</sup>。海拔4,900mの地点にベースキャンプを設営し、そこに滞在し始めてから41日目に実験を行った。姿勢はテントの中であぐらをかいて座った状態とした(図1-b)。



a



b

- 図1 a：低圧カプセル。この中に入り、仰臥位で測定を行う。右手前のコンプレッサーを作動させた状態（低圧条件）と作動させない状態（常圧条件）とで実験を行った。  
b：高地での実験。酸素補給を行ったときの効果を調べているところ。SaO<sub>2</sub>とHRは、左手に装着したパルスオキシメーターで測定する。

対照条件として、海拔50mの低地でも同様の実験を行った。被験者は低圧カプセルの中で仰臥位姿勢をとり、コンプレッサーは作動させず入り口を開けたままの状態、つまり常圧環境下で実験を行った。

#### c. 動脈血酸素飽和度 (SaO<sub>2</sub>) の測定

体内における酸素の充足度を評価するために、パルスオキシメーターを用いてSaO<sub>2</sub>を測定した。低圧カプセルでの実験にはN-20P (Nellcor社製, USA)、高地での実験にはPulsox-3i (Minolta社製, Japan) を用い、いずれも左手の第2指にプローブを装着して測定した。なお、パルスオキシメーターでSaO<sub>2</sub>を測定する際には、同時に心拍数 (HR) も表示されるので、それもあわせて記録した。

#### d. 呼吸法

通常呼吸と腹式呼吸とを行い、SaO<sub>2</sub>やHRにどのような違いがみられるかを検討した。通常呼吸は、被験者が通常行っている無意識な呼吸とした。腹式呼吸は、腹部を大きく、ゆっくりと、ふくらませたりへこませたりすることを意識して行った。ただし、呼吸の速さや深さは厳密には規定しなかった。

この他、酸素補給器を用いて酸素を補給した時のSaO<sub>2</sub>とHRも測定した。低圧カプセルでの実験には、市販のスプレー式の酸素補給器 (Asics O<sub>2</sub>, アシックス社製) を用い、酸素を口元に噴射させて用いた。流量は1分間当たり2.5ℓであった。高地での実験には、高所登山に用いられるロシア製の酸素補給器を用い、専用のマスクを口に当てて補給した。流量は1分間当たり0.5ℓとした (図1-b)。なお酸素補給時の呼吸は、どちらも通常呼吸を行うことにした。

#### 4. 研究論文

### 3. 結果

図2は、低圧カプセルを作動させず、常圧のまま実験を行ったときの結果を示したものである。通常呼吸の合間に腹式呼吸を2回（5分間ずつ）と酸素補給を1回（5分間）行い、 $SaO_2$ とHRの変化を測定した。通常呼吸時の $SaO_2$ は96%くらいだが、腹式呼吸に切り替えるとわずかに上昇し、約98%になった。また、酸素補給を行ったときにもわずかに上昇し、約99%になった。HRは、腹式呼吸や酸素吸入を行うと、ごくわずかに低下する傾向を示した。

図3は、低圧カプセルを作動させて、低圧環境下で同様の実験を行ったときの結果である。 $SaO_2$ は通常呼吸時には75%くらいだが、腹式呼吸に切り替えるとわずか30秒ほどで急激かつ大幅に上昇し、約95%になった。また、酸素補給時にも $SaO_2$ は上昇し、約95%になった。HRは、腹式呼吸や酸素吸入を行うと低下した。特に酸素補給時のHRの低下は顕著だった。なお、腹式呼吸や酸素補給をやめると、 $SaO_2$ とHRは再びもとの値に戻った。

図4は、高地で通常呼吸の合間に腹式呼吸を1回（5分間）と酸素吸入を1回（5分間）行ったときの、 $SaO_2$ とHRの変化を示したものである。低圧カプセルを用いた実験結果（図3）とほぼ同様の結果が得られた。すなわち、通常呼吸時には $SaO_2$ は83%くらいだが、腹式呼吸に切り替えると急激に上昇し、約93%になった。また、酸素補給時にも $SaO_2$ は上昇し、約95%になった。HRは、腹式呼吸や酸素補給を行うと低下した。特に酸素補給時のHRの低下は顕著だった。

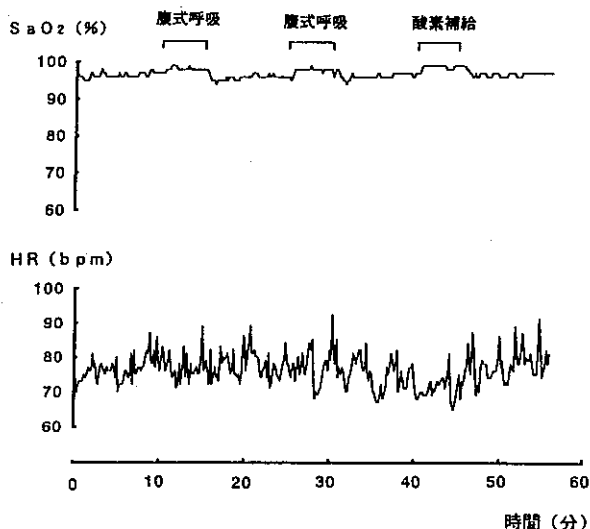


図2 低圧カプセルのコンプレッサーを作動させずに（常圧環境下で）通常呼吸、腹式呼吸、酸素補給を行ったときの $SaO_2$ とHRの変化。

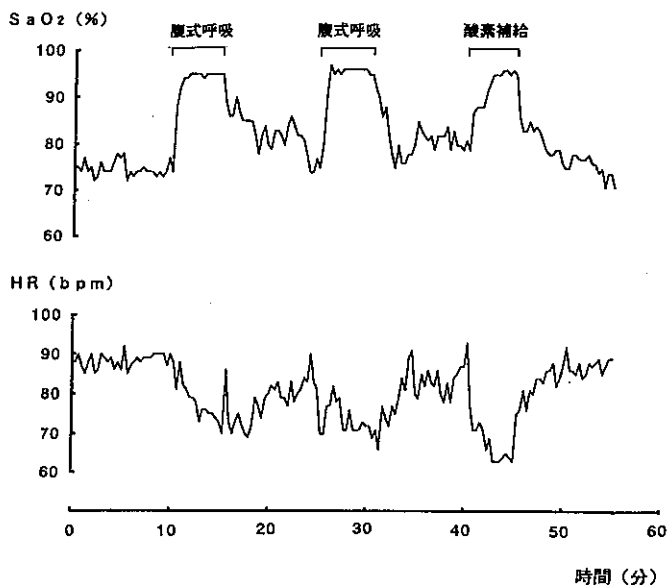


図3 低圧カプセルのコンプレッサーを作動させて（低圧環境下で）通常呼吸、腹式呼吸、酸素補給を行ったときの $SaO_2$ とHRの変化。

表1 常圧環境下と低圧環境下（低圧カプセルおよび高地）で、通常呼吸、腹式呼吸、酸素補給を行ったときのSaO<sub>2</sub>とHRの値の比較。それぞれの数値は、値が安定していると判断された部分（2分間以上）の平均値である。

| 実験環境 |        | 動脈血酸素飽和度(SaO <sub>2</sub> :%) |      |      | 心拍数(HR:bpm) |      |      |
|------|--------|-------------------------------|------|------|-------------|------|------|
|      |        | 通常呼吸                          | 腹式呼吸 | 酸素補給 | 通常呼吸        | 腹式呼吸 | 酸素補給 |
| 常圧   |        | 96.4                          | 98.1 | 98.7 | 76.3        | 75.9 | 71.5 |
| 低圧   | 低圧カプセル | 74.5                          | 95.4 | 95.4 | 88.3        | 73.5 | 64.4 |
|      | 高地     | 83.4                          | 92.6 | 94.8 | 92.7        | 90.3 | 81.5 |

表1は、以上の実験結果を表にまとめたものである。

#### 4. 考察

図2や表1からわかるように、常圧条件でも腹式呼吸や酸素補給によってSaO<sub>2</sub>やHRの値は改善するが、その変化はごくわずかである。これに対して、図3と図4、および表1からわかるように、低圧条件で同様の実験を行うと、SaO<sub>2</sub>の値は顕著に改善（増加）し、HRについても、SaO<sub>2</sub>ほど顕著ではないものの、常圧条件に比べればはっきりと改善（低下）する。

以上のことは、低圧(低酸素)環境下で腹式呼吸を行うと、酸素不足が改善されることを示し

ている。高所で腹式呼吸をすると、急性高山病の症状が軽減することが経験的に指摘されているが<sup>7)</sup>、このデータはそれを裏付けるものといえる。また、図3、図4からわかるように、腹式呼吸によるSaO<sub>2</sub>の改善の様子は、酸素吸入によるSaO<sub>2</sub>の改善の様子とよく似ている。したがって腹式呼吸には、体内の酸素不足を改善する上で、酸素補給に匹敵する効果があるともいえよう。

低酸素環境下での腹式呼吸がSaO<sub>2</sub>を上昇させる理由については、次のような説明が可能であろう。小さく吐いて小さく吸うという通常呼吸の場合、肺の中にある古い酸素分圧の低い空気の多くは吐き出されずに残ってしまうので、そこに新しい酸素分圧の高い空気がわずかに入ってきても、多量にある古い空気と混ざり合い、酸素分圧は低くなってしまふ。これに対して腹式呼吸の場合は、肺の中の古い空気をできるだけ吐き出してから新しい空気を吸うことになるので、肺の中での酸素分圧の低下が小さくなり、その分だけSaO<sub>2</sub>の値も上昇すると考えられる。

本研究では、低圧カプセルと高地という二通りの低圧条件で実験を行った。いずれもよく似た結果が得られたが(図3、図4)、前者の方が腹式呼吸の効果はより顕著に現れた。表1をみると、低圧カ

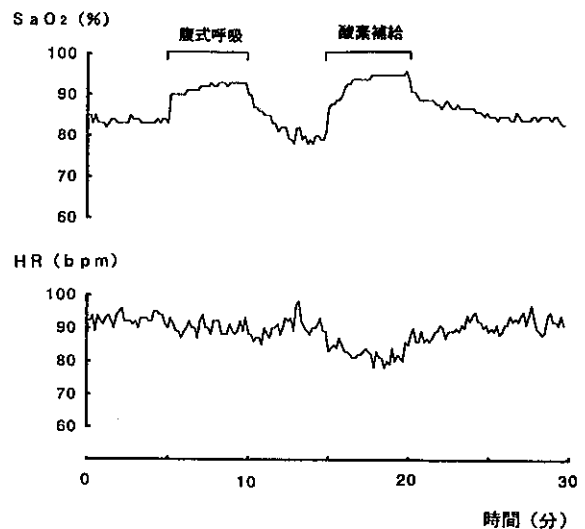


図4 高地で、通常呼吸、腹式呼吸、酸素補給を行ったときのSaO<sub>2</sub>とHRの変化。

#### 4. 研究論文

プセルでの実験の場合、通常呼吸から腹式呼吸に切り換えるとSaO<sub>2</sub>は20ポイント上昇しているが、高地での実験の場合は10ポイントの上昇にとどまっている。

低圧カプセルでの実験の場合、被験者は常圧から急激に低圧に曝されるため、低酸素環境に対して十分に順応することができない。一方、高地での実験の場合、そこに長期間滞在した後に実験を行っているので、被験者は低酸素に対してある程度の順応を獲得している。したがって腹式呼吸の効果は、前者のように体内が急性の酸素不足になっているときの方が、より顕著に現れるといえるかもしれない。高所登山の場合でいえば、高所に到達してからまだ間もない頃や、より高度の高いキャンプに上がったときなど、その高度に対する順応が不十分な場合ほど、腹式呼吸の意義は大きくなるといえよう。

#### 5. まとめ

低酸素環境で腹式呼吸を行うと、体内の酸素不足を改善する効果がある。またその効果は、酸素補給の効果にも匹敵するといえよう。

#### 引用文献

1. 原 真：ヒマラヤ・サバイバル；登山戦略論。悠々社，1994。
2. 谷本普一：呼吸不全のリハビリテーション；腹式呼吸から在宅酸素療法まで（改訂第2版）。南江堂，1996。
3. 山本正嘉：新しく開発された「高所ベッド」の概要とその中での人体の生理的応答。登山医学，15：85-90，1995。
4. 山本正嘉：よりよい高所登山の方法を求めて；マナスルでの実験登山（上）。岳人，608：143-147，1998。

（国際武道大学体育学部）