

## 常圧低酸素環境への

### 急性暴露による換気応答

#### —酸素濃度 14.5%、20.9%の

#### 運動時について—

片山訓博<sup>1, 2)</sup>、井上葉子<sup>1)</sup>・井手雄大<sup>1)</sup>・大菊 覚<sup>1)</sup>・  
中村亮太<sup>1)</sup>・濱田 彩<sup>1)</sup>・大倉三洋<sup>1)</sup>・酒井寿美<sup>1)</sup>・  
山崎裕司<sup>1)</sup>・栗山裕司<sup>1)</sup>・稲岡忠勝<sup>1)</sup>・宮崎登美子<sup>1)</sup>・  
柏 智之<sup>1)</sup>・中野良哉<sup>1)</sup>・藤本哲也<sup>2)</sup>

1) 高知リハビリテーション学院

2) 信州大学大学院総合工学系研究科

#### 【はじめに】

運動に対する換気応答は、運動の強度や環境など多くの条件によって決定される。低酸素環境は、高地などの低圧環境や現在では常圧での低酸素環境が作られている。低圧および常圧での低酸素環境では、先行研究により呼吸循環器系へのほぼ同様な影響があり、身体負荷が通常酸素より多くなる<sup>1)</sup>と後報告されている。気圧の低下および酸素濃度低下といった環境条件の変化により、通常気圧・酸素濃度環境に比べ同一作業強度における呼吸循環器系のストレスが大きくなるという特徴を有している。

本研究では、常圧環境下において酸素濃度低下させ急性暴露させた場合の運動時換気応答について検討したので報告する。

#### 【対象】

対象者は、健康男子学生 11 名、年齢  $20.9 \pm 3.0$  歳、身長  $168.5 \pm 5.6$  cm、体重  $66.2 \pm 11.5$  kg である。低酸素環境での高山病などの既往を輸さず尚、倫理的配慮として研究の主旨・内容及び注意事項について被験者に説明し、同意を得た。

#### 【方法】

被験者は、常圧通常酸素環境で 30 分間の安静後、常圧通常酸素濃度環境（以下、通常酸素）と常圧低酸素濃度環境（以下、低酸素）で負荷運動を施行した。低酸素は、塩化ビニール製テント（容積  $4.0\text{m}^3$ ）と膜分離方式の高・低酸素空気発生装置を用いて設定した（図 1）。常酸素は、酸素濃度 20.9%、低酸素は標高 3,000m に相当する酸素濃度 14.5%、0.7atm とし、各酸素で自転車エルゴメータ（エルゴメータ 232C コンビ社製）による運動負荷を与えた。運動負荷方法は、ramp 負荷（30watt/分）とし、運動負荷

終了基準は心拍数が 170 回/分に達した時点とした（図 2）。

換気応答は、各条件下において分時換気量（以下、 $VE$  : l）、一回換気量（以下、 $VT$  : ml）、呼吸数（以下、 $RR$  : 回/分）について、呼気ガス分析装置（AE-300S ミナト医科学製）を用い、プレスバイブレース法にて連続測定し 1 分間隔のデータを採用した（図 3）。 $VT$  については、Baldwin 予測肺活量（男性： $VC$  (ml) =  $(27.63 - 0.112 \times \text{年齢}) \times \text{身長 (cm)}$ ）に対する割合（% : 以下、 $VT/PVC$ ）で比較した。統計解析は、対応のある  $t$  検定を用い、有意水準は危険率 5% 未満とした。

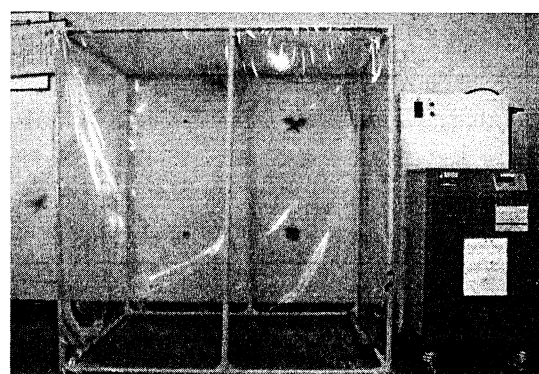


図 1. 低酸素室と各装置



図 2. 運動負荷装置



図 3. 呼気ガス分析装置

（エルゴメータ 232C コンビ社製）

（AE-300S ミナト医科学製）

#### 【結果】

各条件下で負荷運動時心拍数が 170 回/分に至る時間は、低酸素・通常酸素の順に  $312.3 \pm 78.6$  秒・ $328.9 \pm 89.7$  秒であり、低酸素の方が有意に短かった ( $P < 0.05$ )。 $VE$  は、低酸素・通常酸素の順に運動開始 1 分後  $17.9 \pm 3.80$ ・ $17.1 \pm 2.70$ 、2 分後  $22.1 \pm 3.90$ ・ $20.1 \pm 2.90$ 、3 分後  $31.2 \pm 5.10$ ・ $28.7 \pm 4.10$ 、4 分後  $43.6 \pm 6.50$ ・ $39.9 \pm 6.20$ 、5 分後  $56.2 \pm 9.40$ ・ $52.2 \pm 9.00$ 、6 分後  $68.9 \pm 8.40$ ・ $61.6 \pm 7.00$ 、7 分後  $90.6 \pm 3.60$ ・ $73.3 \pm 10.70$  であった。各条

件共に運動負荷量の増加に伴い VE は増加し、低酸素は運動開始 7 分後のみで通常酸素より有意に高値であった ( $P < 0.01$ , 図 4)。

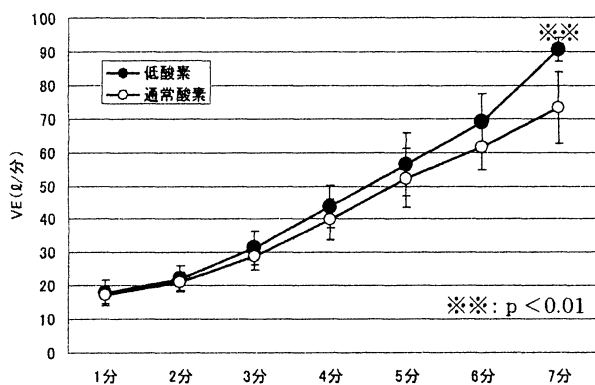


図 4. 各条件での運動開始後の VE 変化

VT/PVC は、低酸素・通常酸素の順に運動開始 1 分後  $24.6 \pm 7.6\% \cdot 21.8 \pm 3.6\%$ , 2 分後  $28.7 \pm 5.7\% \cdot 25.9 \pm 4.0\%$ , 3 分後  $35.7 \pm 7.7\% \cdot 30.7 \pm 4.0\%$ , 4 分後  $40.4 \pm 5.8\% \cdot 37.4 \pm 4.3\%$ , 5 分後  $44.8 \pm 6.9\% \cdot 41.6 \pm 3.5\%$ , 6 分後  $48.4 \pm 5.8\% \cdot 46.2 \pm 4.4\%$ , 7 分後  $48.0 \pm 4.4\% \cdot 49.0 \pm 5.1\%$  であった。低酸素は運動開始 1 分後から 6 分後まで通常酸素より有意に高値を示し ( $P < 0.05$ ), また、低酸素では運動開始 6 分後、通常酸素では 7 分後に最高値の  $48.4 \pm 5.8\%$  および  $49.1 \pm 5.1\%$  を呈した (図 5)。

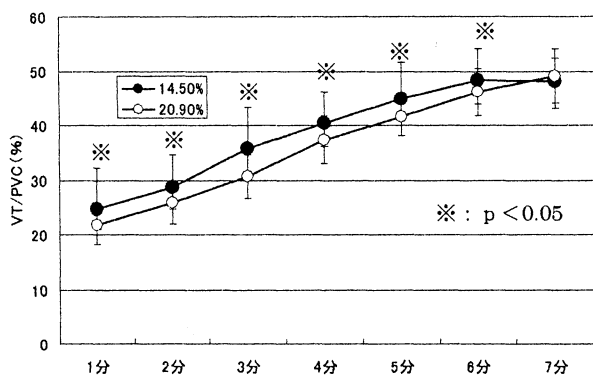


図 5. 各条件での運動開始後の VT/PVC 変化

RR は、低酸素・通常酸素の順に運動開始 1 分後  $17.8 \pm 4.6$  回/分・ $18.2 \pm 3.1$  回/分, 2 分後  $18.6 \pm 4.7$  回/分・ $19.3 \pm 3.4$  回/分, 3 分後  $21.5 \pm 6.1$  回/分・ $22.4 \pm 4.5$  回/分, 4 分後  $26.1 \pm 5.9$  回/分・ $26.9 \pm 6.0$  回/分, 5 分後  $30.6 \pm 9.4$  回/分・ $32.5 \pm 7.7$  回/分, 6 分後  $31.8 \pm 6.5$  回/分・ $35.9 \pm 10.2$  回/分, 7 分後  $46.1 \pm 4.3$  回/分・ $34.8 \pm 6.5$  回/分であった。運動開始 1 分後から 6 分後までの RR は通常酸素が低酸素より多かったが、7 分後では反対に低酸素が有意に多くなっていた ( $P < 0.05$ , 図 6)。

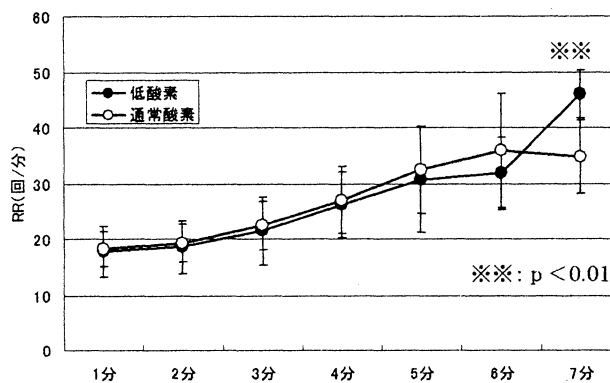


図 6. 各条件での運動開始後の RR 変化

### 【考察】

今回、低酸素環境下に急性暴露させ負荷運動を行わせ、通常酸素で行った場合と比較検討した。

VE は、低酸素が通常酸素に比べ運動開始当初から多く、7 分後は有意差を認めた ( $P < 0.01$ )。

運動開始当初からの VE 増加は、低酸素環境への急性暴露により、肺胞および動脈血の酸素分圧が低下し末梢化学受容器、特に頸動脈小体が刺激され頸動脈小体からの求心性インパルスによって延髄孤束核 (NTS) が刺激され、NTS 内にグルタメートの遊離を引き起こし、呼吸中枢が興奮したからと考える<sup>2)</sup>。運動 7 分後での有意な VE 増加は、運動負荷に加え低酸素環境負荷が加わり、その相乗効果により身体負荷がより多く加わったからと推測する。

VE は、VT と RR の積で決定し、一般に VT (VT/PVC) は、運動負荷が最大酸素摂取量の 70% 以上になれば、VT の VE 増加に関与する量は肺活量の 50% 程度となり、頭打ちとなった後は RR の増加に依存する<sup>3)</sup> と報告されている。

低酸素の VT/PVC が 1 分早期に最高値に到達し、その後一定となること、また RR が運動最終期にのみ両条件下に有意差を認めたことから推測すると、低酸素は通常酸素に比べ 1 分早く最大酸素摂取量の 70% に至っていると考える。その結果 HR が 170 拍/分に至る時間も有意に短くなっていると考えた。

以上より、低酸素は通常環境に比べ呼吸循環への環境負荷が加わった身体負荷の増加に応じ、換気応答 (VE, VT, RR) が多くなっていた。

### 【参考・引用文献】

- 1) 前川剛輝・榎木泰介・禰屋光男: 低圧低酸素環境下と常圧低酸素環境下における安静および運動中の呼吸循環応答の違い. 登山医学. Vol. 25: 55-61, 2005.
- 2) 宮村実晴: 低酸素環境における換気応答. 体育の科学. 51: 281-285, 2001.
- 3) アメリカスポーツ医学協会 (編): 運動処方基礎と実際. 廣川書店. P50. 1994