

## 呼気ガス中の最低酸素濃度で評価したヒトの 酸素取り込みに及ぼす口すぼめ呼吸の効果

Effect of Pursed Lips Breathing on Human Oxygen Uptake Evaluated  
by Lowest Oxygen Concentration in Expired Gas

被服学科 身体運動研究室  
Dept. of Clothing, Physical Education

藤本 浩一  
Koichi Fujimoto  
島津 大宣  
Daisen Shimazu

佐古 隆之  
Takayuki Sako\*  
佐藤 和人  
Kazuto Sato\*\*

**抄 録** 先行研究によれば、口すぼめ呼吸はヒトの酸素の取り込みを促進するものと推測されている。筆者らは、非人為的方法（人為的方法は高気圧酸素チャンバー、日本では特に“酸素カプセル”と呼ばれる）によってヒトの酸素取り込みを促進させる方法を模索するために、その端緒的研究として、この口すぼめ呼吸がヒトの酸素の取り込みに及ぼす効果を検討した。7名の健康な成人男性について、口すぼめ呼吸と通常呼吸中の呼気ガス最低酸素濃度を測定し、その差を比較した。口すぼめ呼吸中の呼気ガス最低酸素濃度は、通常呼吸に比べて有意に低値（それぞれ、 $14.78 \pm 2.21$  vs.  $17.00 \pm 1.75$  %、値は平均値  $\pm$  SD、 $P < 0.05$ ）を示した。口すぼめ呼吸中の動脈血ヘモグロビン酸素飽和度（ $SpO_2$ ）は変化を見せなかったため、より多く取り込まれた酸素は血漿中に溶存型酸素として拡散したことが推測された。肺気量のパラメーターと呼気ガス最低酸素濃度との間には、両呼吸法ともに有意な回帰を認めなかった。口すぼめ呼吸は、ヒトの酸素取り込みを有意に促進させることが本研究の呼気ガス分析によって明らかとなったものの、人為的方法に頼らない酸素の取り込み向上の方策を議論するには、血液ガス分析も必要となるであろう。

**キーワード**：口すぼめ呼吸，呼気ガス分析，酸素取り込み，ヒト

**Abstract** According to previous studies, pursed lip breathing is assumed to have a positive effect in human oxygen uptake. To explore the non-artificial (the artificial way is the hyperbaric oxygen chamber, in Japan called “oxygen capsule”) way to enhance human oxygen uptake, as a first step study, we investigated the effect of pursed lip breathing on human oxygen uptake. The lowest oxygen concentration in expired gas was examined and compared during pursed lip breathing and normal breathing in seven healthy adult males. The lowest oxygen concentration during pursed lip breathing was significantly lower than that during normal breathing ( $14.78 \pm 2.21$  vs.  $17.00 \pm 1.75$  %, respectively, values are mean  $\pm$  SD,  $P < 0.05$ ). Because of there was no change in oxygen saturation of arterial blood hemoglobin ( $SpO_2$ ) during pursed lip breathing, the over-uptaked oxygen was supposed to diffuse blood plasma as dissolved oxygen. There were no significant regressions between the parameters of lung capacity and lowest oxygen concentration in expired gas during trials of both breathing methods. Although this study demonstrated that pursed lip breathing has a significant positive effect in human oxygen uptake when observed by the oxygen concentration in expired gas analysis, blood gas analysis would be needed for further study and to explore the non-artificial way to enhance human oxygen uptake.

**Keywords** : pursed lip breathing, expired gas analysis, oxygen uptake, human

\* 食物学科 身体運動研究室 \*\* 食物学科

## 1. 緒言

一般的に「酸素カプセル」と呼ばれる医療行為に該当しない高気圧酸素チャンバーの生理学的効果や ergogenic aid については、筆者らの知る限り、未だ学術的報告がない。一方で近年、サッカーワールドカップの出場選手や日本の高校野球選手などが、怪我からの早期回復、疲労回復などの目的で使用するケースが報道されるようになった。このように世界的傾向にある本件については、世界アンチドーピング機構においても、ドーピングに該当するか否かの論議が行われている<sup>11)</sup>。

この論議の元となる禁止条項は、「酸素摂取や酸素運搬、酸素供給を人為的に促進すること」というものである<sup>12)</sup>。この人為的という言葉に、酸素カプセルが抵触するか否かが問題となる。

しかしながら酸素の取り込みを促進する方法は、このような人為的方法に頼るもの以外にも存在する可能性が、以下の3つのエビデンスによって考えられる。

i) 慢性閉塞性肺疾患 (Chronic Obstructive Pulmonary Disease, COPD) 患者は、肺の機能的、解剖学的変容によって酸素の取り込みが低下し、経皮的動脈血酸素飽和度 (SpO<sub>2</sub>) が健康なヒトより低値を示すことが知られている<sup>4)</sup>。このような患者に対して口すぼめ呼吸 (Pursed Lips Breathing) を行わせると、SpO<sub>2</sub> が急速に回復する現象が認められている<sup>4)</sup>。

ii) 高所環境において、いわゆる高山病の症状を軽減するために口すぼめ呼吸が利用される。高所においては、気圧の低下に伴う肺内の酸素分圧低下により SpO<sub>2</sub> は低下する。この際、口すぼめ呼吸を行うことによって SpO<sub>2</sub> が回復することが報告されている<sup>9)</sup>。

iii) 日本の海女は磯笛と呼ばれる独特の呼吸法を用いる<sup>7)</sup>。この磯笛は、口すぼめ呼吸と極似するものである。日本の海女の歴史は、3世紀の魏志倭人伝まで遡ることが出来る<sup>8)</sup>。長い経験の蓄積がこのような呼吸法を生み出したという事から、素潜り漁という間欠的低酸素状態に相応する生理学的利点があるが、この呼吸法に備わっているものと予測される。

以上の3つのエビデンスより、ヒトは口すぼめ呼吸を以て、人為的方法に頼ることなく酸素の取り込みを促進できることが示唆される。この口すぼめ呼

吸は鼻や口から息を吸い込み、はき出す際にのみ口をすぼめて行うものである<sup>3)</sup>。よって口すぼめ呼吸が酸素の取り込みを促進させるメカニズムは、口すぼめ呼吸が呼気の気流抵抗上昇→肺内の酸素分圧上昇→酸素の血液への拡散能を亢進、以上のカスケードにより説明できるだろう。

本研究は前述したスポーツ選手が怪我からの早期回復、疲労回復のために「酸素カプセル」を用いる事に代わる方法として、口すぼめ呼吸の有用性を探るテーマにおける端緒的研究である。本研究で焦点とするのは、口すぼめ呼吸が酸素の取り込みを促進させるか否かについて、SpO<sub>2</sub> という動脈血中のヘモグロビンと結合する酸素の飽和度による評価ではなく、体内に取り込まれる酸素の総量を示す呼気ガス中の酸素で評価することである。また、促進させるのであれば、その酸素量の絶対値を明らかにしたい。さらに上記の有用性の検討に、本研究で焦点とした結果を結びつけるためには、先行研究で対象となった COPD 患者や高所登山者ではなく、常圧下、さらに安静状態の健康なヒトという条件設定で検討を試みる必要があるだろう。よって、本研究では健康な成人男性を対象として、安静、常圧という条件の下、口すぼめ呼吸と通常の呼吸における呼気ガス最低酸素濃度にどのような差異が存在するのかについて、比較検討を行った。

## 2. 方法

### (1) 被験者

18～37歳の健康な7名の成人男性が実験に参加した。身体特性は Table 1 に示す通りである。被験者には本実験のプロトコルを印刷物として提示し、実験の全般を説明した後、実験参加に関するインフォームド・コンセントを得た。

### (2) 実験プロトコル

被験者には全員、同一日の同時刻 (2008年11月29日14時) に実験室へ集合してもらい、食事は測定が始まる6時間前に済ませよう、事前に指示をした。実験の1時間前より安静状態を保ち、本研究では通常の呼吸と口すぼめ呼吸の2種類の呼吸を行ってもらった。

口すぼめ呼吸の方法について、「吸うときは鼻でも口でもよく、通常の呼吸と同じく吸い込んで、息を吐く時のみ口をすぼめて口から吐く」<sup>3)</sup>、という

**Table 1** Physical characteristics of subjects

| Subjects | Height (cm) | Weight (kg) | VC* (L) | PVC** (L) |
|----------|-------------|-------------|---------|-----------|
| A        | 183         | 65          | 5.92    | 4.56      |
| B        | 159         | 50          | 4.55    | 4.03      |
| C        | 165         | 63          | 3.58    | 4.05      |
| D        | 159         | 51          | 3.65    | 3.89      |
| E        | 161         | 71          | 4.11    | 4.27      |
| F        | 168         | 68          | 4.17    | 4.11      |
| G        | 170         | 60          | 5.39    | 3.97      |

\*Vital capacity.

\*\*Predicted vital capacity =  $[27.63 - (0.112 \times \text{age})] \times \text{height (cm)}^1$ .

内容を書面にして、測定の前1週間に伝達し、被験者各自に事前に数回の練習を行わせた。また実験直前に、被験者全員に対して口すぼめ呼吸法の確認とチェックを行った。さらに実験中も、「なるべく口すぼめ呼吸と通常呼吸の息の吸い込み具合が同じになるように、また深呼吸にならないように注意し、呼気吸気に掛かる時間も両呼吸法で同じになるように」との指示を、試行毎に被験者に対して行った。

この2種類の呼吸の測定は1時間の間隔を置いて実施した。また7名の被験者のうち、最初に通常呼吸を行ったものは3名、口すぼめ呼吸を行ったものは4名であった。

口すぼめ呼吸と通常呼吸は、ガスマスクを被験者の口と鼻を覆うように装着し、顔に密閉して装着された事を確認した後、吸気呼気1サイクルを5サイクル行なわせた。

また、通常呼吸と口すぼめ呼吸の測定終了後に肺気量の測定を行った。

### (3) 測定項目

#### a. 呼気ガス最低酸素濃度

ブレス・バイ・ブレス法によるエアロモニタ (AE300; ミナト医科学株式会社) を用いて、5サイクルの吸気呼気中、呼気期の酸素濃度を観察し、最も酸素濃度が低下した値を計測した。この5つの値のうち、最も高い値と低い値を除いた3つの値の平均値を、それぞれの試行における呼気ガス最低酸素濃度の代表値とした。

#### b. 経皮的動脈血酸素飽和度 (SpO<sub>2</sub>) と心拍数

パルスオキシメーター (TuffSat; General Electric/Datex-Ohmeda) を用いて SpO<sub>2</sub> と心拍数を測定した。なお、プローブは耳朶に装着した。

#### c. 肺気量

スパイロメーター (Handy Spiro SK330; 株式会社スズケン) の肺気量分画測定プロトコルを用いて肺気量の測定を行った (Table 1)。予測肺活量 (predicted vital capacity, PVC) は本機に組み込まれている以下の計算式によって算出されたものである。

$$PVC = [27.63 - (0.112 \times \text{age})] \times \text{height (cm)}^1$$

### (4) 統計的分析

呼気ガス最低酸素濃度に関する口すぼめ呼吸 vs. 通常呼吸の統計的分析には、*T*-test (paired) を用いた。

また、肺活量と%肺活量 [(肺活量/予測肺活量) × 100] と両呼吸法における呼気ガス最低酸素濃度との回帰分析には単回帰分析を用い、*F*-test によって有意性の検討を行った。いずれの統計的処理においても、有意水準は *P* < 0.05 とした。なおアプリケーションソフトは GraphPad Prism 5.0 Mac を用いた。

## 3. 結果および考察

### (1) 呼気ガス最低酸素濃度

口すぼめ呼吸時の呼気ガス最低酸素濃度は  $14.78 \pm 2.21\%$  を示し、通常呼吸の  $17.00 \pm 1.75\%$  よりも有意に低値 (値は平均値 ± SD, *P* < 0.05; Fig. 1) を示した。よって平均絶対値で 2.22%, この値を空気の酸素含有量 20.94% に対する割合として見れば 10.62% の割合で、口すぼめ呼吸は通常呼吸よりも有意に酸素を多く取り込んだこととなる。COPD 患者、高所登山者を対象とした先行研究により、口すぼめ呼吸が、低下した SpO<sub>2</sub> 値の回復に貢献する

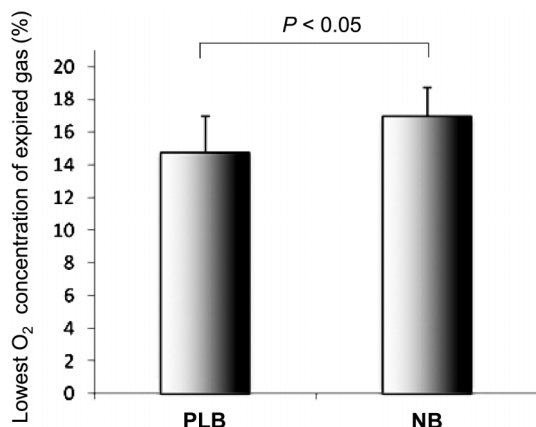


Fig. 1 Lowest O<sub>2</sub> concentration of expired gas during PLB and NB. Values are mean and SD. PLB, Pursed Lips Breathing; NB, Normal Breathing. *T*-test (paired) was used for statistical analysis.

ことは明らかとなっていたが、常圧下において健康な被験者を対象とし、呼気ガスという酸素を取り込んだ総量による評価によっても、同傾向の結果を得ることができた。さらに本研究では、具体的に取り込まれた酸素量絶対値、相対値の差も明らかにすることができた。

## (2) SpO<sub>2</sub> および心拍数との関係性

取り込まれた酸素は肺胞で血液に拡散するので、SpO<sub>2</sub>も安静正常値である95～98%<sup>5)</sup>から、口すぼめ呼吸により酸素の取り込みが促進されたならば、上限値の100%まで上昇することが予測された。しかしながら口すぼめ呼吸時のSpO<sub>2</sub>は、被験者Bで1%上昇したのみ(97%→98%)であり、他の被験者では変化しなかった。また本実験で使用したパルスオキシメーターも含めて<sup>5)</sup>、一般的なパルスオキシメーターには±2%の測定誤差がある<sup>6)</sup>。従って測定機器の性能的問題で、SpO<sub>2</sub>が100%まで上昇することを観察できなかった可能性も考えられる。本研究では、口すぼめ呼吸により呼気ガスレベルでの酸素の取り込み量は約1割亢進したものの、これはパルスオキシメーターで計測されるSpO<sub>2</sub>値には反映されないことが示唆された。

動脈血の採取を本研究では行っていないため厳密な論議は出来ないが、口すぼめ呼吸により、酸素の取り込み量は約1割亢進したことから、おそらく肺

胞レベルの酸素分圧は通常安静時(常圧下)のPaO<sub>2</sub> = 100 mmHgよりも高くなっているだろう。単純な濃度勾配により動脈血中に酸素が拡散すると、ヘモグロビン結合型酸素の指標である動脈血酸素飽和度(SaO<sub>2</sub>)は95～98%となり<sup>5)</sup>、ほぼ飽和状態となる。もし口すぼめ呼吸が肺胞の酸素分圧を常圧下の値である100 mmHg以上に上昇させたとしても、分圧の上昇した酸素は、ほぼ飽和状態にあるヘモグロビンに対してさらなる酸素との結合を促進することなく、あるいは促進したとしても、その程度は小さく、ほぼ血漿中に溶存型酸素として拡散することが予測された。本研究のテーマに関する次なる課題として、同様のプロトコルによって動脈血を採取し、動脈血の酸素含有量(CaO<sub>2</sub>)、溶存型酸素の指標ある動脈血酸素分圧(PaO<sub>2</sub>)、さらにSaO<sub>2</sub>を測定することが挙げられる。

パルスオキシメーターにより心拍数も計測したが、いずれの被験者、いずれの試行においても、安静→呼吸→安静の過程において、心拍数の変化は認められなかった(データ未掲載)。この結果から、口すぼめ呼吸自体の身体への負担度は高いことが予測された。口すぼめ呼吸が呼吸筋、特に横隔膜ではなく肋間筋の動員を高めるという報告もあるが<sup>2)</sup>、本研究では呼気吸気5サイクルという短時間の試行であったことなども考慮すれば、口すぼめ呼吸が呼吸筋における酸素消費量を増大させる程度は低いレベルであり、本研究で口すぼめ呼吸における呼気ガス中の酸素濃度が低値を示し、なおかつSpO<sub>2</sub>に変化が見られなかったのは、主としてより多く取り込まれた酸素が血液中に溶存型酸素として拡散したこと由来するものと、推察するのが妥当であろう。なお追記として、呼気ガス中の炭酸ガス濃度もいずれの被験者、いずれの試行においても、安静→呼吸→安静の過程において、変化は認められなかった(データ未掲載)。前述のとおり本件に関する厳密な検討には、動脈血を採取し、血液ガス分析を行う必要がある。

## (3) 肺活量および%肺活量 [(肺活量/予測肺活量) × 100] との関係性

一般的に肺活量の個人差は、体表面積や個人の肺の大きさなどの影響を受ける。この差は肺の圧縮率とコンプライアンスに影響を及ぼすものである。さらに正常肺ではその容積と胸腔内圧が正の相関関係

にあることが知られている<sup>10)</sup>。本研究でも以上の件を考慮し、例えば肺活量の大きい被験者においては、胸腔内圧が低くなっていることが予測されるため、肺活量の大きい被験者ほど呼気ガス最低酸素濃度は高く（酸素が体内に取り込まれにくく）なるのではないかという仮説を持ち、肺気量と呼気ガス中の最低酸素濃度との関係を検討してみた。

Figure 2には肺活量および%肺活量と呼気ガス最低酸素濃度の回帰図を示した。口すぼめ呼吸および通常呼吸のどちらにおいても、肺気量と呼気ガス中の最低酸素濃度との間に、統計的分析によって有意な回帰式を認めることはできなかった。

回帰分析の結果、*F*値については肺活量、%肺活

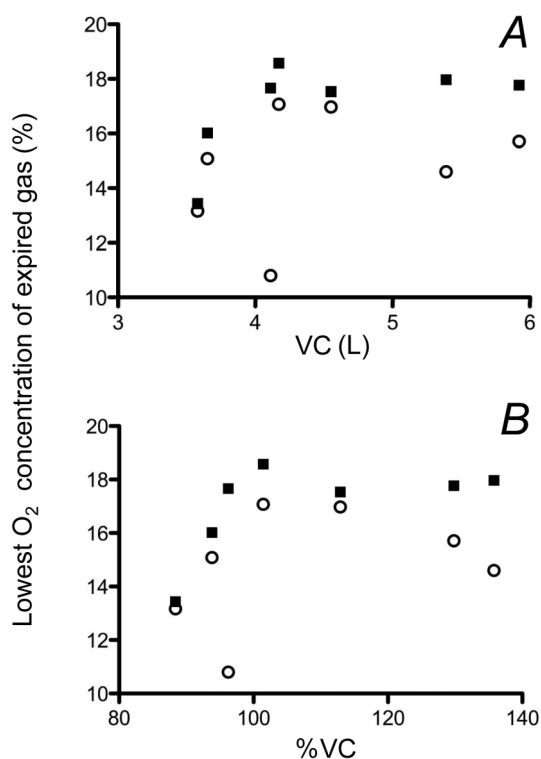


Fig. 2 Regression analysis between lowest O<sub>2</sub> concentration of expired gas and VC (panel A) and % VC (panel B). ○ PLB, Pursed Lips Breathing; ■ NB, Normal Breathing. VC, vital capacity; % VC = (vital capacity/predicted vital capacity) × 100. Predicted vital capacity = [27.63 - (0.112 × age)] × height (cm)<sup>1)</sup>. No significant regression was found. *F*-test was used for statistical analysis.

量ともに通常呼吸が低値を示したことから、通常呼吸においては本研究の仮説が当てはまる可能性が予測されるものの、口すぼめ呼吸による酸素の取り込みに、肺気量は影響を及ぼさなかったと言えるであろう。

#### 4. 結語

口すぼめ呼吸中の呼気ガス最低酸素濃度は、通常呼吸よりも有意に低値（それぞれ、14.78 ± 2.21 vs. 17.00 ± 1.75 %, 値は平均値 ± SD, *P* < 0.05)を示した。よって口すぼめ呼吸は絶対値で2.22 %, 相対値で10.62 %の酸素を、通常の呼吸より有意に多く体内に取り込むことができることが明らかとなった。このように、より多く取り込まれた酸素は血漿中の溶存型酸素として拡散することが予測された。また、口すぼめ呼吸による酸素の取り込み度は肺容積に影響を受けないことが示唆された。今後、人為的な方法に頼らない呼吸法による酸素の取り込み向上の方策を科学的証拠によって確立するには、血液ガス分析も必要となるであろう。

#### 引用文献

- 1) Baldwin DeF. E., Cournand A. and Dickinson R. D.: Pulmonary insufficiency: I. physiological classification, clinical methods of analysis, standard values in normal subjects, *Medicine*, **27**, 243-278 (1948)
- 2) Breslin E. H.: The pattern of respiratory muscle recruitment during pursed-lip breathing. *Chest*, **101**, 75-78 (1992)
- 3) Canadian Lung Association: Ask the breathworks coach. [http://www.lung.ca/\\_resources/Breathlessness\\_COPD\\_LungAssoc.pdf](http://www.lung.ca/_resources/Breathlessness_COPD_LungAssoc.pdf) (2008)
- 4) Fregonezi G. A., Resqueti V. R. and Güell R. R.: Pursed lips breathing, *Arch. Bronconeumol.*, **40**, 279-282 (2004)
- 5) GE Healthcare : タフサット パルスオキシメーター 取扱説明書とサービスマニュアル (2005)
- 6) 長谷川誠, 佐藤光夫: 睡眠中の酸素飽和度モニタリング (解説特集 睡眠の生体計測技術), 生体医工学, **46**, 149-153 (2008)
- 7) 加藤久美: 海女の磯笛 環境倫理観形成におけるサウンドスケープの役割, サウンドスケープ,

- 9, 33-38 (2007)
- 8) 額田 年, 椿 恒城: 海女の体力医学研究 (第1報): 海女の業態・分布及び労働について, *体力科学*, **11**, 184-187 (1963)
- 9) Tannheimer M., Tannheimer S., Thomas A., Engelhardt M. and Schmidt R.: Auto-PEEP in the therapy of AMS in one person at 4,330 m, *Sleep Breath*, **13**, 119-120 (2009)
- 10) 坪井 實 編: 呼吸, 人体の生理学—機能と形態—, 廣川書店, 東京, 122-138 (1981)
- 11) World Anti doping Agency: WORLD ANTI-DOPING AGENCY HM&R Committee Meeting Minutes September 3rd-4th, 2006. [http://www.wada-ama.org/rtecontent/document/HMR\\_3\\_4\\_Sept\\_2006.pdf](http://www.wada-ama.org/rtecontent/document/HMR_3_4_Sept_2006.pdf) (2006)
- 12) World Anti doping Agency: 2009 prohibited List. [http://www.anti-doping.or.jp/doc/downloadfile/2009\\_ProhibitedList\\_EN.pdf](http://www.anti-doping.or.jp/doc/downloadfile/2009_ProhibitedList_EN.pdf) (2008)