

原 著

富士山山頂（標高 3776 m）における 酸素補給水が低酸素症に及ぼす効果 —脈拍数，動脈血酸素飽和度，末梢組織酸素飽和度の変化—

野口いづみ^{1), 2)}

1) 前鶴見大学歯学部麻酔学教室, 2) 東京高尾看護専門学校

Effects of High-concentration Oxygen Dissolved Water on Hypoxia at the Summit of Mt. Fuji
(3776 m): Changes in the Pulse Rate, SpO₂, and StO₂

Izumi Noguchi^{1,2)}

1) *Previously at Dept. of Dental Anesthesiology School of Dental Medicine, Tsurumi University*

2) *Tokyo Takao Nursing College*

ABSTRACT. High-concentration Oxygen Dissolved Water (Wox[®], Medi-Science Espoir Inc.) is made by dissolving high concentrations of oxygen (50 ppm (mg/L) or more) using the latest gas-liquid mixing technology. Oxygen clathrate hydrate dissolved in water has recently been patented in the U.S., China, and Japan. A substance patent is granted when a substance created in the field of chemistry or biotechnology is recognized as novel.

The present study examined the effects of Wox[®] water on hypoxia at the summit of Mt. Fuji (3776 m). Nine subjects participated in this study. After subjects had started to drink 500 ml of the water, pulse rate, SpO₂, and peripheral tissue oxygen saturation (StO₂) were measured for 45 minutes. Decreases were observed in the pulse rate between 15 and 35 min after starting to drink the water. SpO₂ increased by 2.5% from 5 to 20 min, while StO₂ also increased from 15 to 45 min after starting to drink the water.

An increase in SpO₂ was observed immediately after the start of drinking, indicating the rapid absorption and transportation of the water into the body. The water appeared to attenuate hypoxic hypoxia. The increase in StO₂ was slower and persisted for longer than that in SpO₂, and was attributed to the time required for oxygen to diffuse into peripheral tissues. We previously reported an increased pulse rate under hypoxic conditions, which was attenuated by acclimatization to altitude and the wearing of oral appliances. This decrease also suggested that hypoxia was ameliorated by the water.

Okabe et al. recently demonstrated that enteral ventilation via the anus oxygenated the systemic circulation and ameliorated respiratory failure in mammals, and potentially provides an adjunctive means of oxygenation for patients under respiratory distress. Future developments in research on the absorption of oxygen from the intestines are expected.

However, since 500 ml of the water only contains 17.5 ml of oxygen, it currently remains unclear why this small volume of oxygen increased SpO₂ for several minutes. Therefore, the mechanisms underlying the absorption of oxygen from the gastrointestinal route warrant further study.

Key words: ●●●●●●●●

I. 序言

酸素補給水 (Wox[®], エスポア社) は最新の気液混合技術によって高濃度酸素 (50ppm (mg/L) 以上) を溶存させたものである。すなわち逆浸透膜装置を用いて純水 (RO 水) を製造し、低温装置で純酸素を溶存酸素濃度が 50 ppm 以上になるまで注入したものである。新物質「酸素包接水和物」が溶解しており、最近、米国物質特許 (US 10,913,037,B2 (2021 年)), 中国物質特許 (ZL 2015 8 0071029.1(2022 年)), 日本物質特許 (7087235 (2022 年)) を取得した。物質特許とは化学、バイオ分野などで創出された物質が新規なものであると認められた場合に与えられるものである。

一般に市販されているいわゆる「酸素水」は多数あるが、飲用しても酸素摂取に有効性は見られないとする報告が多い¹⁾。しかし、中には 2001 年のウサギの研究で、「酸素溶解水」を経管投与したところ、酸素は胃から腹腔、門脈へ広がり、容量依存性が確認されたとする報告がある²⁾。この実験で用いた酸素溶解水は製造後 2 時間で酸素濃度が半減するものだったという²⁾。現在、市販されている多くの「酸素水」は細かなバブル (泡) を発生させて分散させたもので、泡を発生させる方法として、高速旋回式、加圧溶解式、電気分解式などがある。方法によって発生する泡の種類 (大きさ)、発生量、持続時間などが異なる。これらの「酸素水」は、開栓すると短時間で酸素濃度が低下するが、酸素補給水は開栓した状態で長時間放置しても、溶存酸素濃度を高濃度に維持することが観察されている³⁾。このような性質を有する酸素補給水の生体へ及ぼす効果について検証が必要と考えられた。

著者は高所、低酸素環境における低酸素症について研究してきた⁴⁻⁶⁾。大気圧は標高が上がるにつれ低圧となり、酸素分圧はそれに伴って低下し、動脈中の酸素分圧は低下し、低酸素性低酸素症が生じる⁷⁾。その結果、頭痛などの高山病の症状が惹起される。例えば、平地の気圧

が 1013 hPa の場合、富士山頂 3776 m の気圧は約 650 hPa で、平地の約 64% となり、SpO₂ は 90% 以下となる。森らは富士山山頂の短期滞在者の覚醒時の SpO₂ の平均値は 80% 台前半であることを報告している⁸⁾。このような低酸素環境下においては、酸素補給水の SpO₂ への効果を観察しやすいと考えられる。あわせて末梢組織酸素飽和度 (StO₂) を観察することで、酸素補給水の末梢組織への効果も観察できると考えられた。

今回、富士山山頂において、低酸素症に及ぼす酸素補給水の効果について、脈拍数、SpO₂、StO₂ を測定し検討したので報告する。

II. 対象と方法

富士山山頂の測候所跡地 (標高 3776 m) に夏季に設置される研究施設にて実験を行った。

対象は特に全身的疾患を持たない健康成人 9 名とし、男性 6 名、女性 3 名とした。詳細を表 1 に示した (表 1)。研究に際し、エスポア社に設置されている倫理委員会の承認 (承認番号 7) を得た。被検者には研究の趣旨、実験の方法、同意撤回書を書面で示しながら説明し、同意を得た。署名された同意書は著者が管理保管した。

被検者は朝に居住地 (首都圏の自宅) を出発し、富士吉田登山口に到着して 1 時間程度滞在してから登山を開始し、当日夕刻に山頂の測候所跡地の研究施設に到着した。実験は翌日の午前中に実施した。測定項目は脈拍数、SpO₂、StO₂ とした。脈拍数と SpO₂ の測定にはパルスッ

表 1 対象

被検者	9 名 (男性 6 名、女性 3 名)	
	mean ± SD	range
年齢	54.4 ± 10.7 歳	38 ~ 72 歳
体重	60.6 ± 11.9 kg	45 ~ 80 kg
身長	167.0 ± 11.1 cm	156 ~ 180 cm
BMI	21.4 ± 1.8 kg/m ²	18.5 ~ 24.2 kg/m ²

クス® 300i (コニカミノルタ社製) を用い、左手の人差指にプローベを装着し測定した。StO₂ の測定はアステム® (アステム社製) を用いた。アムテム® は近赤外分光式モニターで、筋組織内の酸素飽和度を測定する機器である。測定に際し、大腿部の脂肪厚を入力し、大腿部にプローベを装着し、外側広筋の StO₂ を測定した。

プロトコールは 15 分間の安静後、酸素補給水 500 ml を 10 分以内で飲用させ、その後、45 分間安静を維持させた。飲用開始 15 分前から安静終了までの 60 分間、脈拍数 (平地での成人正常値 60 ~ 80 回 / 分), SpO₂ (同 96 ~ 99%), StO₂ (同 70% 程度) を測定した。測定時間ごとに 10 秒間の数値を検討の対象とした。

結果について数値は平均値 ± 標準偏差で示した。統計的検討は、飲用 5 分前値を対照値として各測定時間の測定値との比較を ANOVA で検討し、有意差のある場合に paired t-test を行った。なお、危険率 5% 未満を有意差ありとした。

Ⅲ. 結果

脈拍数は、飲用開始 5 分前値は 80.9 ± 7.8 回 / 分で、飲用開始 15 分後値から 35 分後値まで減少した。5 分前値に対する最大の減少は 30 分後値でみられ、76.7 ± 8.1 回 / 分だった (図 1)。

SpO₂ は、飲用開始 5 分前値は 80.0 ± 7.2% で、5 分後値から 15 分後値まで上昇し、30 分後値と 35 分後値で低下した (図 2)。5 分前値に対する最大の上昇は 5 分後値でみられ 82.5 ± 8.8% だった。最大の低下は 30 分後値でみられ、78.7 ± 8.1% だった。

StO₂ は、飲用開始 5 分前値は 68.1 ± 2.8% で、飲用開始 15 分後値から測定終了の 45 分後値まで上昇した (図 3)。5 分前値に対する最大の上昇は 25 分後値でみられ、68.6 ± 2.5% だった。

Ⅳ. 考察

富士山山頂にて酸素補給水 500ml を飲用すると、脈拍数は飲用開始 15 分後から 20 分間減少し、SpO₂ は飲用開始 5 分後から 10 分間上昇し、

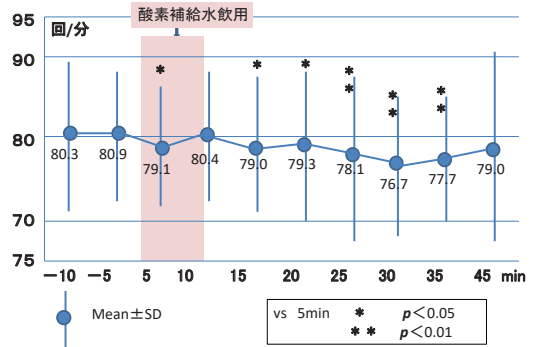


図 1 脈拍数の変化。脈拍数は飲用開始 15 分後から 35 分後値まで減少した。5 分前値に対する最大の減少は 30 分値でみられた。

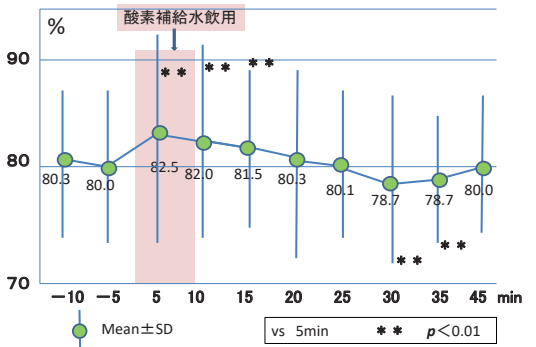


図 2 動脈血酸素飽和度 (SpO₂) の変化。SpO₂ は飲用開始 5 分後値から 15 分後値まで上昇し、30 分後値から 35 分後値で低下した。5 分前値に対する最大の上昇は 20 分後値でみられた。

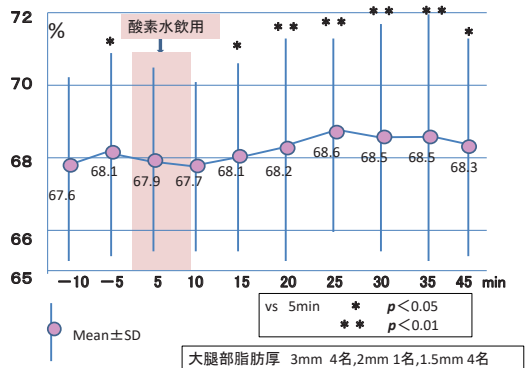


図 3 組織酸素飽和度 (StO₂) の変化。StO₂ は飲用開始 15 分後値から測定終了の 45 分後値まで上昇した。5 分前値に対する最大の上昇は 25 分後値でみられた。

StO₂は飲用開始15分後から測定終了までの30分間上昇した。SpO₂は飲用開始直後から上昇するが、StO₂はそれよりも遅く生じ、長く持続することが示された。

脈拍数は低酸素症では脈拍数は増加する。著者らは脈拍数の増加は高所順応や口腔内装置の装着で減少することを示した^{4,6)}。本研究では脈拍数が減少したが、これは酸素補給水の飲用によって低酸素症が改善され、脈拍数の増加が軽減されたことを示していると考えられる。脈拍数の減少はSpO₂の上昇よりも長く持続したが、これは安静による効果を反映している可能性がある。

SpO₂は、飲用開始後すぐに上昇し、このことは酸素補給水の体内への吸収と運搬が速やかに生じた可能性を示す。同時に、低酸素性低酸素症に対して酸素補給水が改善効果を示すと思われる。また、萩原らは酸素補給水の飲用が慢性閉塞性肺疾患(COPD)患者の症状を軽減することを報告しており⁵⁾、SpO₂上昇による結果の可能性がある。

SpO₂は30分後と35分後に低下がみられた。これは脈波数をもっとも減少した時間に一致しており、安静による効果と思われる。安静状態では呼吸数と換気量が減少し、SpO₂の低下も認める場合があるが、身体活動を行うことで改善する。高山病による頭痛は身体活動を行うことで改善することはよく経験する。他方、StO₂は15分から上昇し、高値をほぼ維持している。このことは、SpO₂の低下は軽度で低酸素症の悪化は起こっていないことを示唆する。実験終了直前に脈拍数とSpO₂が上昇しているが、心理的に刺激を受けて、呼吸循環系が賦活されたことを示すと思われる。

StO₂については、酸素の運搬・消費のバランスを示しており、医療の分野では脳や末梢組織の低酸素の早期発見や安定した組織循環を維持する際の指標として活用されている¹⁰⁾。また、運動生理学の分野でもトレーニングの指標などに活用されている¹¹⁾。今回、生じたStO₂の上

昇は、酸素消費は安定していたので、末梢の筋肉の酸素化を示すと考えられる。StO₂の上昇がSpO₂の上昇に遅れて生じるのは、酸素が濃度勾配に従って全身末梢組織に拡散するための時間経過が必要であることが影響していると考えられる。また、StO₂はSpO₂の上昇よりも長く持続しており、SpO₂とStO₂の、酸素補給水摂取後の生体内における動態の時間的経過の相違も興味深い課題と思われる。

他方、Matsumotoらは2型糖尿病について微小循環障害による低酸素症である可能性を指摘したが¹²⁾、萩原らは糖尿病患者において酸素補給水の飲用がHbA1c低下させることを報告している¹³⁾。Matsumotoらの仮説に従うと酸素補給水によるStO₂の上昇が、糖尿病患者においてHbA1cを低下させる可能性も考えられる。

通常、酸素は呼吸によって肺胞壁から体内に吸収されるが、本研究で見られたSpO₂とStO₂の上昇は、酸素補給水の酸素が消化器から吸収され、動脈を経由して末梢組織に運搬、分布された可能性を示唆する。2021年に東京医科歯科大学のTakebe, Okabeらのグループは、哺乳類においてEVA(Enteral Ventilation via Anus)が、SpO₂が著しく低下した重症の呼吸不全を改善させたことを報告し、腸に酸素を供給する腸換気によって全身の酸素化が生じる可能性を示した¹⁴⁾。腸からの酸素の吸収についての研究の今後の発展を期待したい。

他方、組織に運ばれる酸素量を主に決めるものはSpO₂、Hb量、心拍出量であり、血中に溶解している酸素は0.003 ml/mlである。Hbに結合している酸素含量は、Hbを15 g/dl、SpO₂を100%とすると20.1 mlであり、(Hb1gの結合酸素量(ml) = 1.34 × 15 (g/dl) × 1 (SpO₂を100%とした場合))、溶解酸素と合わせると20.4ml/100mlとなる。心拍出量を5 l (5000 ml)とすると、1分間で運搬される酸素は20.4 ml × 50 = 1020 ml (Hb結合1005 ml, 溶解酸素15 ml)になる。酸素補給水の酸素濃度は50 ppm以上であり、仮に50 ppmとすると1リッ

トル中に酸素 50 mg を含み、500 ml では 25 mg、17.5 ml を含む。50 kg 体重のヒトの消費する酸素の量は 250 ml/分とされ、17.5 ml の酸素は 4.2 秒で消費されてしまうことになる。本研究では SpO₂ は 10 分間、StO₂ は 30 分間、上昇が観察されたが、このように上昇が長い時間持続した機序は明らかではない。呼吸器系から吸収される酸素とは別の機序、例えば物理的、化学的に何らかのカスケードがトリガーされる可能性などが推測されるが、今後の検討が必要である。

付 記

本論文に関連する開示すべき利益相反はない。

文 献

- 1) 国立健康・栄養研究所構築グループ：「酸素水」の効果に関する情報 (ver 090219), 2006.
- 2) Forth W, Adam O: Uptake of oxygen from the intestine-experiments with rabbits. *Eur J Med Res* 6: 488-492, 2001.
- 3) 松本高明, 大槻公一, 谷口明他：高濃度溶存酸素液 (WOX) 飲用による動脈血酸素飽和度 (SpO₂) への効果. *Prog Med* 36: 127-130, 2016.
- 4) 野口いづみ：動脈血酸素飽和度／脈拍比の体調予測の指標としての可能性 イラン・デマバンド山 (5671m) 登山における検討. *登山医学* 13: 99-106, 1993.
- 5) 野口いづみ, 小阪健一郎, 笹尾真美他：中国青海省の玉珠峰 (6178m) 短期登頂の医学的検証—日中韓三国交流学生登山における検討—。 *登山医学* 30: 125-130, 2010.
- 6) 野口いづみ, 高野宏二, 笹尾真美他：低圧低酸素環境下における睡眠時の低酸素症に対する口腔内装置の効果—中高年者における検討—。 *登山医学* 29: 265-270, 2009.
- 7) West JB: *Respiratory Physiology -the essentials*. p.70, p.77, Williams & Wilkins, Baltimore, 1990.
- 8) 森寿仁, 笹子悠歩, 山本正嘉：富士山山頂における夜間睡眠時の動脈血酸素飽和度—滞頂日数および急性高山病との関連に着目して—。 *登山医学* 36: 114-121, 2016.
- 9) 荻原利且, 山崎勉, 野口いづみ他：慢性閉塞性肺疾患 (COPD) 症状と高濃度酸素 (Wox) の飲用効果. *Prog Med* 36: 571-576, 2021.
- 10) 門崎衛：局所組織酸素飽和度の臨床応用, *日臨麻会誌* 35(4): 482-486, 2015.
- 11) Kime R, Niwayama M, Fujioka M et al: Unchanged muscle deoxygenation heterogeneity during bicycle exercise after 6 weeks of endurance training, *Advan Exp Med Biol* 662: 353-358, 2010.
- 12) Matsumoto Y, Ohno H, Noguchi I et al: Disturbance of microcirculation due to unhealthy lifestyle: Cause of type 2 diabetes. *Med Hypotheses* 66(3): 550-553, 2006.
- 13) 荻原利且, 松本美弥子, 織田慶子他：糖尿病の HbA1c と高濃度酸素液 (Wox) 飲用. *Prog Med* 36: 1711-1713, 2016.
- 14) Okabe R, Chen-Yoshikawa TF, Yoneyama Y et al: Mammalian enteral ventilation ameliorates respiratory failure. *Med* 2(6): 773-783. e5, 2021.