

原 著

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

Matsumoto Takaaki
松本 高明^{1, 4)}
Oda Keiko
織田 慶子⁴⁾

Otsuki Koichi
大槻 公一^{2, 4)}
Hagiwara Toshikatsu
萩原 敏旦^{1, 4)}

Taniguchi Akira
谷口 明^{1, 4)}

Yamazaki Tsutomu
山崎 勉^{3, 4)}

はじめに

近年、われわれを取り巻く環境は悪化の一途をたどっており、大気中の酸素も減少傾向にあるとされている¹⁾。さらに、高齢化に伴い人体の呼吸機能も低下することから²⁾、自然呼吸以外の酸素補給が健康維持に重要となっている。補給法として、最近では高気圧高濃度酸素カプセルが注目されているが、高価で、しかも設置場所を要することや高圧の密閉された中で長時間滞在するなど、個人で日常的に使用するには適していない。一方、欧米を中心に経気道以外からの酸素補給として消化管からの補給が考えられ、これまで飲用高濃度酸素水が開発されてきたが、明確な効果が得られていないのが現状である。そのため、2006年までの文献検索情報では、酸素水での酸素摂取の有効性は認められないという結論に達している³⁾。しかし、同情報には「動物実験での結果ではあるが、ウサギに溶存酸素濃度45, 80, 150 mg/Lの水を強制投与し、胃内、腹腔および門脈の酸素分圧を測定したところ、酸素は胃から腹腔、門脈へ広がり、容量依存が確認された」という資料⁴⁾が参考として記載されている。ただし、当該資料では、試験に用いた酸素水の濃度は製造後2時間で半減することから製造直後に飲用させなければならぬこと、飲用時溶存酸素濃度が80 ppm以上でないと効果はないとしている。

一方、最近になり韓国の大学からニワトリおよびブ

タを用いた動物実験で、高濃度酸素水(45 mg/L、水道水の6.7倍)の飲用によりサルモネラ菌に対する免疫力が高まったと報告された^{5, 6)}。この酸素水は飲用に当たって1日に3回取り替えているが、論文によると取り替え時の残留溶存酸素濃度は38 mg/Lとしており、比較的長く濃度が維持されている。したがって、上述の酸素水に比べ溶存酸素量は比較的安定していると思われるが、動物体内で酸素濃度がどの程度上昇したかについての記載はない。

筆者らは、気液混合装置(特願2010-279153)を新たに開発し、同装置を用いて高濃度溶存酸素液(製品名:WOX)を製造、2011年より市販しているが、WOXは長期にわたって溶存酸素濃度が維持できることを予備試験で確認した。本論文では、改めて大気下でのWOXにおける溶存酸素濃度の経時的変化について検討するとともに、飲用試験協力者への飲用実験で、動脈血酸素飽和度(SpO₂)が上昇するかどうかを検討した。

対象と方法

1. 高濃度溶存酸素液(WOX)製造

逆浸透膜装置を用いて公営水道水より純水(RO水)を製造し、10~15℃の低温装置において、純酸素を溶存酸素濃度が40 ppm以上になるまで注入・攪拌混合して(攪拌時間は原則として30分以上)、500 mLのペットボトルに詰めた。また、試験目的によりフラスコなどに詰め、試験用検体とした。なお、検体は目的によって密栓状態あるいは開栓状態で静置・保管した。保管は原則として室温としたが、長期保管が必要な場合は

1) メディサイエンス・エスボア株式会社 2) 京都産業大学先端技術研究所 3) 若葉こどもクリニック 4) 特定非営利活動法人QOLサポート研究会

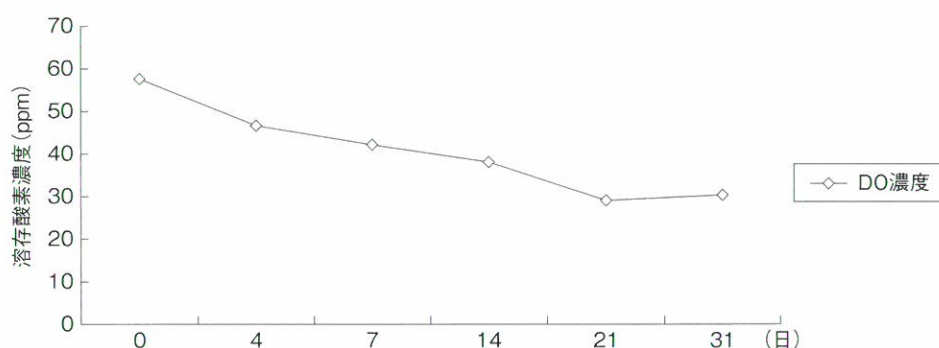


図1 WOXの溶存酸素濃度の経時的変動

4℃とした。保管法の詳細は実験結果に記載する。

2. WOXの溶存酸素濃度測定

溶存酸素濃度測定には隔膜式(タフネスDO CGS-5, セントラル科学, 東京)および蛍光式(ProODO, ザイレムジャパン, 神奈川)の2法を用いたが, 通常の測定には主として前者を用いた。ProODOは主としてタフネスDO CGS-5による溶存酸素濃度測定値の確認のために用いた。なお, タフネスDO CGS-5の測定ではセンサー部分の検体の流速を30 cm/秒以上にするように記載されているが, WOXでは激しく上下に揺動することにより溶存酸素濃度測定値が上昇することから, 当該溶存酸素濃度測定計製造会社との協議に基づき強くより揺動させる変法を採用した。蛍光式は添付のマニュアルの指示に従い検体の揺動はしていない。

3. 外見上健常な飲用試験協力者における動脈血酸素飽和度 (SpO₂) 測定

外見上健常な飲用試験協力者(年齢25歳から82歳)にWOXの飲用方法および検査法について説明するとともに, 個人情報開示なしを条件に関係学会などに発表することの了解を得た。被験者にパルスオキシメータ(コニカミノルタ社, 東京)を装着し, WOX飲用前および飲用後に脈拍数およびSpO₂を測定した。被験者の性別および年齢ならびに一般健康状態はヒアリングにより調査した。なお, 「飲用前のSpO₂測定値が92%以下を示した例は健常者とはいえない」(パルスオキシメータを開発したコニカミノルタ社)の助言により, 集計から除外した。また, 飲用前にパルスオキシメータ測定値が100%を示した例も上昇値の測定ができないため, 集計から除外した。被験者には試験前にWOXの効果・効能についての予備知識は与えていない。

被験者は以下のとおりである。広島市で開催された食品関連学会参加者のうち, 協力の得られた43名(第1日19名, 第2日24名で両日の被験者は異なる)にWOX

を150~200 mL飲用してもらい, 1~2分後にパルスオキシメータでSpO₂を測定した。第1日(試験1)の被験者は女性9名(平均年齢57歳), 男性10名(平均年齢56歳)が参加した。第2日(試験2)では女性16名(平均年齢57歳), 男性8名(平均年齢40歳)が参加した。京都産業大学での飲用試験(試験3)でも同様に150~200 mL飲用およそ2~3分後に測定した25名(女性11名: 平均年齢56歳, 男性14名: 平均年齢60歳)が参加した。本試験はSpO₂測定器による検査のみで, 血圧などの測定はしていない。

結 果

1. WOX製造後の大気下での溶存酸素濃度の経時的変化に関する試験

筆者らが開発した気液混合装置で製造したWOXの大気下での酸素保存性を確認するために, 溶存酸素濃度の経時的変化を測定した。WOXを4 Lフラスコに入れ, 開栓状態で4℃に保管したものを図1に示す。タフネスDO CGS-5を用いる測定では, WOXを入れたフラスコをスターラ上に設置して攪拌子を入れ, 測定器のセンサー部は強く揺動させた。測定は製造直後(0日), 4日後, 7日後, その後14日, 21日, および31日後までとした。溶存酸素濃度は製造直後58 ppmであった。その後経日とともに減少したが, 31日後でも30.2 ppmであった(図1は代表的な1回の測定結果を示した)。

2. 溶存酸素濃度測定計の比較

予備試験ではタフネスDO CGS-5のみ用いたことから, 数値の正確性を確認するために測定原理の異なるProODOを用いて溶存酸素濃度を測定した。試験に用いたWOXは製造日の異なる3検体で, 両測定器によりそれぞれ1回ずつ測定した。溶存酸素濃度は3回の試

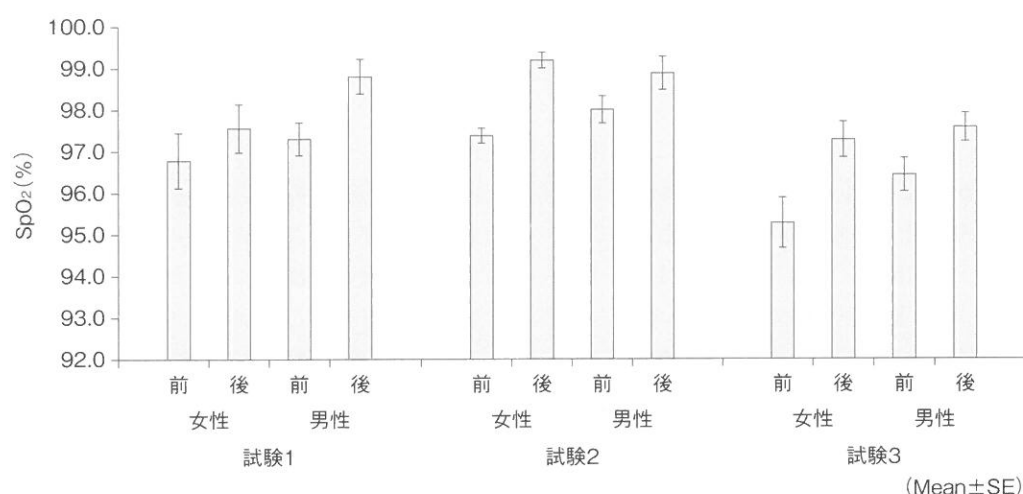
図2 WOX飲用前および飲用後のSpO₂の変動

表1 溶存酸素測定計の比較

試験	溶存酸素濃度 (ppm)	
	タフネスDO CGS-5	ProODO
試験Ⅰ	41.0	42.0
試験Ⅱ	31.8	33.9
試験Ⅲ	23.3	24.9

WOX 2Lを容器に入れ、直後および24時間後に測定。タフネスDO CGS-5についてはセンサーを揺動させた。

験ともProODOにおいてタフネスDO CGS-5より少し高い値を示したが大きな差はみられなかった(表1)。

3. 外見上健常な飲用試験協力者におけるWOX飲用前および飲用後の動脈血酸素飽和度(SpO₂)の変動

外見上健常な飲用試験協力者を対象に室温に保管したWOXを飲用試験に供した。被験者におけるWOXの飲用前および飲用後の平均SpO₂の変動および標準誤差は図2に示した。試験1の被験者は女性9名、男性10名で、SpO₂の平均値は女性が96.8%、男性が97.3%であった。飲用後は女性で97.6%、男性で98.8%と上昇した。試験2では女性16名、男性8名で、飲用前では女性97.4%、男性98.0%であった。飲用後は女性99.2%、男性98.9%といずれも上昇した。試験3では女性11名、男性14名で、飲用前では女性95.3%、男性で96.4%であったが、飲用後は女性97.3%、男性で97.6%と上昇した。なお、図2には示していないが、比較対照のためにA社およびB社の市販高濃度酸素水についても飲用試験を行ったところ、飲用前と飲用後のSpO₂の差は、A社では97.2%から97.0%、B社では97.3%から97.3%と上昇はみられなかった。さらに、A社およびB社製品を飲用した一部の被験者にWOXを飲用させたところ、

飲用後のSpO₂はA社の10名中1名、B社の14名中4名を除いてすべて上昇した。

考 察

酸素は地表水にも溶解しているが(1気圧20℃で1L当たり6~9ppm程度)、高濃度酸素水は通常地表水の溶存酸素濃度よりも多い量の酸素を溶かし込んだ水である。わが国でも自然界の水の5~10倍程度の濃度の酸素が含まれる高濃度酸素水が現在市販されており、飲用効果として「スポーツ時の酸素補給や酸素不足からくる疲れなどの体調不良の解消」「頭がすっきりする」「ダイエットによい」などといわれているが、上述のように効果が検証された論文はない¹⁾。人体内の溶解型酸素量は全酸素量の2%とされているが、溶解型酸素は赤血球と結合していないため、赤血球が通過できないような末梢血管や赤血球のないリンパ液でも運ばれ全身にいきわたり、その役割は大きい。そのため、溶解型酸素を増量させる高気圧高濃度酸素カプセルの効果は健康維持のみでなく、美容、疲労回復、免疫機能亢進など様々な分野での効果が期待されている。一方、高濃度酸素水は活性酸素の増加につながり毒性がある、あるいは飲用により補給される酸素量は大気中の酸素量に比べて極めて少なく、1~2回の呼吸で取り入れる酸素よりも少ないことから無意味であるという否定的意見もインターネットで散見される。しかしながら、高気圧高濃度酸素カプセルで補給される溶解型酸素での活性酸素の増加は否定されている⁷⁾。また、高濃度酸素水の飲用は実験動物に対して遺伝毒性を示さないことが明らかにされている⁸⁾。WOXは清涼

飲料水製造法に基づき製造され、2011年より市販しているが、これまでWOX飲用による有害事象の報告はなく、本試験中にも有害事象はなかった。さらに、本試験でも示したようにWOXを飲用することによる酸素補給効果が明らかになった。高気圧高濃度酸素カプセルは、設置場所や経費、使用可能者が限定されることが問題となるが、今回開発・製造したWOXはペットボトル詰めであり、持ち運びが容易であるだけでなく、高気圧高濃度酸素カプセルに入ったのと同様な効果が期待できることがわかった。したがって、WOXは常圧でも高濃度の溶存酸素の維持が可能であり、手軽に酸素補給ができる製品と考えられる。なお、ボトル内で溶存酸素濃度が長期間維持されている要因については現在解明中である。

本試験では、被験者体内への溶解型酸素の取り込みの簡易測定法としてSpO₂の測定を用いたが、石原の高気圧高濃度酸素カプセルでの実験において、カプセルに入るとSpO₂が上昇するという報告⁹⁾に基づき、SpO₂測定という非侵襲的な方法で溶解型酸素の体内への取り込みが推定できると考えた。なお、表に示していないが、WOXの飲用68名のうち、飲用後のSpO₂は低下の1名と変化なしの11名を除く56名(82.4%)で上昇がみられた。また、性別では女性で効果がみられる例が多い傾向があったが、飲用前のSpO₂は男性に比べ低い傾向にあったためとも思われる。さらに、飲用後のSpO₂に変化なしの例について詳細に検討すると、飲用前のSpO₂が97%：2名、98%：7名、99%：1名であり、いずれも飲用前から高値の傾向にあった。今回の試験では、SpO₂の測定を被験者個々人に任せたが、測定器はSpO₂測定法として汎用されているものであり、測定器を被験者の指に設置したままで飲用前および飲用後のSpO₂測定を行った。したがって、SpO₂の上昇はWOXの溶解型酸素が体内に吸収されたためと推察される。一方、市販の高濃度酸素水はラベルには150 ppmあるいは120 ppmと記載されているが、飲用してもSpO₂は全く上昇しなかったことから、WOXの飲用で得られる効果は従来の製品と異なることがわかった。現在、WOX飲用希望者による予備試験において慢性閉塞性肺疾患(COPD)の症状、うつ症状や糖尿病が改善するという結果を得ているが、高濃度酸素水による症状改善などはこれまでに論文報告がない。

われわれは、WOXがこれら疾患の酸素補給材料として有用と考えており、今後二重盲検などにより飲用効果を確認したい。さらに、WOX中の酸素の形態につ

いて検討中である。

結 語

WOXの溶解型酸素は大気下でも長期に安定して高濃度で存在することがわかった。また、WOXに含まれる溶解型酸素は飲用により体内に吸収され、SpO₂測定値を上昇させることが強く推定された。このことからWOXは体内への酸素補給法として有効であることが示唆された。

謝 辞

広島市でのWOX飲用試験の実施に当たってご協力頂いた県立広島大学 狩谷明美准教授に深謝致します。

追 記

本論文の一部は第9回日本予防医学会(2011年11月)において発表した。

利益相反自己申告

申告すべきものなし。

文 献

- 1) 国立環境研究所地球環境センターニュース, 2012: 23 (8).
- 2) 肺年齢普及推進事務局公式ホームページ(<http://www.hainenrei.net/>)
- 3) 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.
- 4) Forth W, Adam O: Uptake of oxygen from the intestine—experiments with rabbits. Eur J Med Res 2001; 6: 488-492.
- 5) Jung BG, Lee JA, Nam KW, et al: Oxygenated drinking water enhances immune activity in broiler chicks and increases survivability against Salmonella Gallinarum in experimentally infected broiler chicks. J Vet Med Sci 2012; 74: 341-346.
- 6) Jung BG, Lee JA, Lee BJ: Oxygenated drinking water enhances immune activity in pigs and increases immune responses of pigs during Salmonella typhimurium infection. J Vet Med Sci 2012; 74: 1651-1655.
- 7) 活性酸素の影響, 高気圧・高濃度酸素 臨床データ集, (http://www.o2box.info/pdf/clinical_test.pdf) (2016年1月アクセス)
- 8) Speit G, Schütz P, Trenz K, et al: Oxygenated water does not induce genotoxic effects in the comet assay. Toxicol Lett 2002; 133: 203-210.
- 9) 石原昭彦: 高気圧・高酸素濃度は筋疲労及び筋痛を早期に回復できるか, 石本記念デサントスポーツ科学振興財団研究成果報告書 2005; 9: 16-22.