

●原 著

合成空気による多人数用高気圧酸素治療における 窒素混入換気方式

— ガス消費量削減の一工夫 —

大塚浩司* 石川勝清* 四釜裕睦* 石川岳彦* 劔物 修*

近年、酸素と窒素を混合させた合成空気による多人数用高気圧酸素治療が適用されてきている。圧縮空気に比較して合成空気は多くの長所を持っているが、相当量のガスの消費が依然大きな問題である。換気に用いられる空気は主として、室内最大酸素濃度を23%以下に維持する目的で使用されている。装置内へ窒素を加え酸素を中和することで最終的に換気用ガスの消費量を抑制する新たな換気方式を考案した。種々の換気条件での、装置内酸素濃度、二酸化炭素濃度を評価した。この“窒素混入”方式により、換気用酸素、窒素の消費量をほぼ1/4まで削減することが可能となった。さらに、換気流量が抑制されたことにより装置内騒音が少なくなり、室内温度と湿度制御の観点からも有用であった。経済的な理由のみならず、安全性や快適性の点からも、合成空気を使用した多人数用高気圧酸素治療においては、“窒素混入換気方式”が強く勧められる。

キーワード：高気圧酸素治療，合成空気，多人数用治療装置，窒素ガス，ガス消費

Nitrogen mixture ventilation method in the hyperbaric oxygenation multichamber using the synthetic air: An idea to save gas consumption

Hiroshi Otsuka*, Masakiyo Ishikawa*, Hirochika Shikama*, Takehiko Ishikawa*, Osamu Kemmotsu*

*Hokkaido University School of Medicine Department of Anesthesiology and Critical Care Medicine

Recently, the synthetic air, a mixture of oxygen and nitrogen has been utilized for hyperbaric oxygenation (HBO) with a multichamber. In spite of many advantages of the synthetic air over the compressed air, considerable gas consumption remains a major problem. The chamber is ventilated by air mainly in order to maintain the maximum oxygen concentration under 23%. We developed a new ventilation method of nitrogen gas application into the chamber to neutralize oxygen, and eventually to reduce gas consumption for ventilation. The oxygen and carbon dioxide concentrations were evaluated under several gas flow circumstances. The “nitrogen mixture” method is successfully able to reduce oxygen and nitrogen consumption for ventilation to nearly one fourth. Further, the low flow ventilation reduces a noise inside of the chamber and it is use-

ful for temperature/humidity control. Not only for the economical reason but also for safety and amenity reason, the “nitrogen mixture ventilation” method is highly recommended in the HBO multichamber using the synthetic air.

Keywords :

hyperbaric oxygenation
synthetic air
multichamber
nitrogen gas
gas consumption

はじめに

第2種高気圧酸素治療においては、治療室内の加圧と換気のために空気が使用される。圧縮機を用いた圧縮空気が本目的に広く使用されていたが、近年「合成空気」による与圧および換気が導入されてきた¹⁾。しかし、後者の方法では液化酸

*北海道大学医学部侵襲制御医学講座

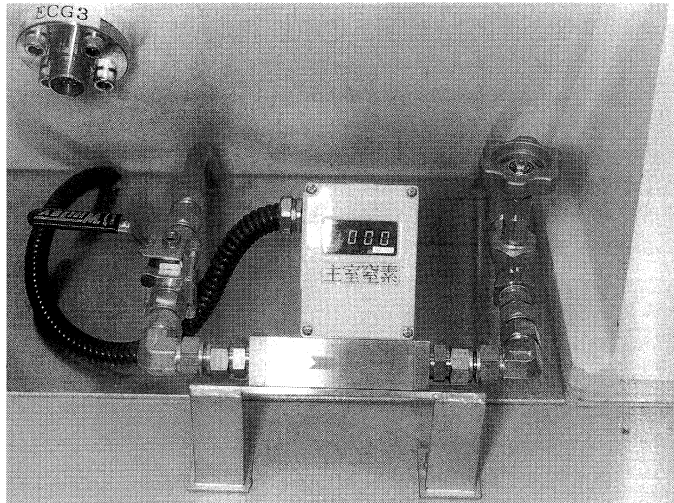


図1 治療装置に設けられた窒素ガス流量制御装置
左に安全コックがある。

素・窒素がコスト高となる点が大きな問題となっていた。換気流量を減じることで使用するガスは節約できるが、室内の酸素濃度の上昇を招いてしまう。今回、合成空気の送気に窒素ガスを合流させる新しい換気方式を採用することで、少ない換気流量で室内酸素濃度の上昇を含めた環境変化を防止できるかを評価した。

使用する装置

本研究には第2種高気圧酸素治療装置としてのKHO-301B（川崎エンジニアリング）、容積24.2m³での主室を用いた。室内の酸素濃度、二酸化炭素濃度は、それぞれOXYGEN ANALYZER（FUJI ELECTRIC）、ZRH（FUJI ELECTRIC）を用いて連続的に測定した。合成空気は、液化酸素と液化窒素をそれぞれ気化させて、ブレンダーで混合の後に、人工空気バッファータンクに蓄えられ供給された（人工空気製造システム、JIK-05、大同ほくさん）。窒素ガスは、液化窒素気化器とブレンダーの間より分岐させ、コック式レバーを設けた最大流量400ℓ/分の流量計（MASS FLOWMETER TF-1531, Tokyo Keiso）を介して（図1）、合成空気吹き出し口へ合流させた。

治療圧力パターンには絶対2気圧1時間の治療時間（図2）を採用し、患者はリザーバー付き酸

素マスクを介して15ℓ/分の酸素を吸入した。治療患者数は1～4名とし、合成空気換気流量は、30, 15, 5 m³/h/人、窒素添加流量60, 80 ℓ/分/人で適宜組み合わせを行った。合成空気による換気は治療開始から終了5分前まで、窒素ガスは加圧終了から終了5分前まで行った。室内の温度は25℃、湿度は50%で設定し、空調は「高速」で実施した。

測定項目は、治療開始時、加圧終了時、減圧開始時、および治療終了時における合成空気酸素濃度と室内酸素濃度、および治療終了時の室内二酸化炭素濃度を記録した。治療過程で、室内酸素濃度の最低値と最高値も記録した。

結 果（表1）

装置内の酸素濃度は、主に加圧の過程で上昇することが示された。合成空気の酸素濃度は一定に保たれていたことから、この酸素濃度上昇は呼気及び酸素マスクからの漏洩と考えられた。装置内に窒素ガスを混入せずに装置内酸素濃度を23%以下²⁾に維持するためには、患者数が少ないときに30m³/h/人程度必要であった。しかし、3～4名の患者を治療する場合にはこの換気流量によっても装置内酸素濃度は次第に上昇し、減圧終了までの間を酸素濃度23%以下に維持することは困難で

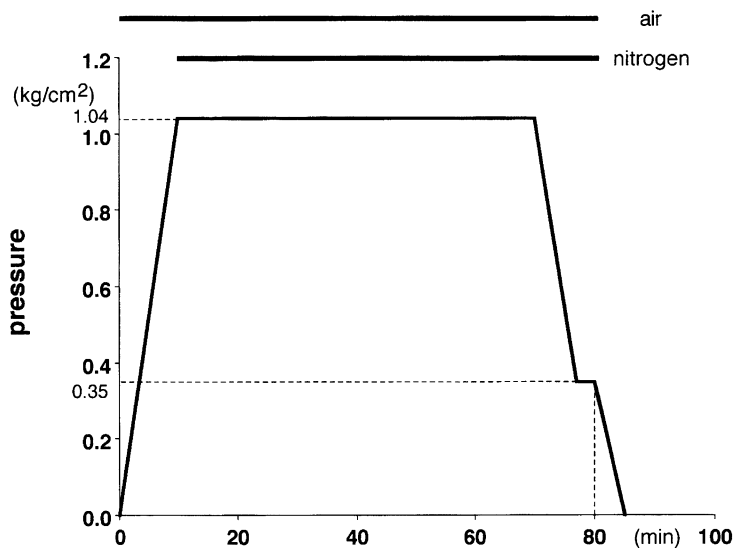


図2 加圧10分，治療60分，減圧15分の治療パターン

合成空気，窒素は共に治療終了5分前まで行う。窒素は加圧終了後に始める。

表1 患者数，空気換気流量，窒素流量と装置内酸素濃度，二酸化炭素濃度の変化

患者数	換気量 (m ³ /h/人)	窒素流量 (ℓ/分/人)	開始時		加圧直後		終了時		二酸化炭素 濃度	酸素濃度	
			合成空気 濃度	室内酸素 濃度	合成空気 濃度	室内酸素 濃度	合成空気 濃度	室内酸素 濃度		最大値	最小値
1	30	0	21.3	21.2	21.3	21.7	21.3	22.8	0	22.8	21.2
1	30	80	21.2	21	21.2	21.5	21.2	21.5	0	21.5	21
1	15	80	21.2	20.9	21.2	21.6	21.3	21.5	0	21.6	20.9
1	5	80	21.3	21	21.2	21.6	21.3	21.5	0	21.6	21
1	5	60	21.3	21.3	21.3	21.7	21.3	21.8	0	21.8	21.3
1	5	40	21.3	21.3	21.3	21.6	21.3	22.1	0	22.1	21.3
2	30	0	21.3	21.3	21.2	21.8	21.2	23.1	0	23.1	21.2
2	30	80	21.3	21.3	21.3	22	21.3	22.3	0	22.3	21.3
2	15	80	21.3	21.2	21.3	21.9	21.2	22.1	0	22.1	21.2
2	5	80	21.3	21.6	21.2	21.9	21.2	21.5	0.02	21.9	20.7
2	5	60	21.3	21.2	21.3	21.9	21.2	22.4	0.01	22.4	21.2
2	5	40	21.2	20.9	21.2	21.6	21.3	22.7	0.02	22.7	20.9
3	30	0	21.3	21.3	21.3	22.2	21.3	23.7	0	23.7	21.3
3	30	80	21.3	21.3	21.3	22.2	21.3	22.3	0	22.3	21.2
3	15	80	21.3	21.3	21.3	22	21.3	22.3	0.02	22.3	21.3
3	5	80	21.3	21.2	21.3	22.2	21.3	22.1	0.03	22.2	21.1
3	5	60	21.3	21.2	21.3	22.2	21.3	22.9	0.03	22.9	21.2
3	5	40	21.3	21.2	21.3	22.2	21.3	23.3	0.04	23.3	21.2
4	30	0	21.3	21.2	21.2	22.3	21.3	23.7	0	23.7	21.2
4	30	80	21.3	21.2	21.3	22.4	21.2	22.2	0.01	22.4	20.8
4	15	80	21.3	21.2	21.3	22.4	21.3	22	0.03	22.4	20.6
4	5	80	21.2	21.3	21.2	22.3	21.2	22.3	0.05	22.3	21
4	5	60	21.3	21.1	21.3	22.1	21.3	22.3	0.03	22.3	21.1
4	5	40	21.3	21	21.3	22.1	21.3	23.8	0.06	23.8	21

濃度の単位はすべて%とした。換気流量を少なくすると，最大酸素濃度が23%を超過する。

あった。窒素ガスを80ℓ/分/人で併用した時には、換気流量を5m³/h/人まで減じることが可能であった。さらに、換気流量を5m³/h/人の状態で窒素ガスを減じたところ、60ℓ/分/人までは問題なかったが、40ℓ/分/人では換気流量が少なすぎて、酸素濃度は基準値を超えてしまった。

装置内二酸化炭素濃度は換気流量が少ない場合に次第に増加したが、その値は最大0.06%に留まり、許容分圧0.01気圧、1気圧下で濃度1%を大きく下回った。

考 察

第2種装置を用いた高気圧酸素治療の機能上の問題として、加圧や換気を目的とした大量の圧縮空気を必要とする点があげられる。圧縮機を用いる従来の方式では、高温あるいは寒冷空気を取り入れに伴う種々の問題が指摘されている。ブレンダの性能が向上しているため合成空気を用いた加圧換気方式では性能上の長所は多いが、高コストが大きな支障となっている。圧縮空気方式においても、治療室内の酸素濃度の増加を抑制する目的で大量の空気を換気に用いることは、装置への負担が大きく種々の点で望ましくない。換気流量を多くする方法以外に、治療室内酸素濃度の上昇を抑制するためには、① 酸素濃度を低くした合成空気での換気、② 酸素を「中和させる」窒素を混入する、ことなどが対策として考えられる。現状では、①の方式による安定した合成空気の製造は確立しておらず、②の方式を採用することになった。配管の追加工事が必要となったが、合成空気を利用してため窒素ガスの分岐は比較的安価に容易に行われた。

室内酸素濃度を23%以下に保ちながら治療を行うために必要な換気流量は、患者一人当たり合成空気5m³/h、窒素60ℓ/分(3.6m³/h)と判断された。二酸化炭素濃度は、患者数が多く換気流量が少ない程増加する傾向を示したが、最大でも0.06%に留まったため、換気流量低下に伴う問題は認めなかった。患者一人当たりの換気流量が同じにもかかわらず治療患者数が多い場合に二酸化炭素濃度が上昇する理由としては、治療開始までの酸素マスクの装着、吸入開始、安全確認などにより多くの時間を要するためと考えられる。患

者数の違いによる酸素濃度の違いについては、装置内の酸素濃度はあくまで総排気管のものが反映されているため、換気流量の多寡による攪拌能力の違いが影響している可能性がある。

温度と湿度の調節は自動的に制御しているが、換気流量が増大するとその制御は次第に困難となり過剰加湿や過剰加温を招きやすくなる。換気流量を少なくすることで、室内環境の制御に余裕が得られ、結果的に温度と湿度の変化を少なくすることも示された。

治療中の換気流量を少なくすることで明らかに騒音は減少した。特に、合成空気を100m³/h以上の流量で換気する場合には室内との会話が困難となることがあったが、窒素ガスを混入することで全体の換気流量が著しく少なくなり、騒音面では明らかな改善を認めた。高流量の窒素流入に伴う高周波音は、ガス吹き出し口への消音対策により解決された。

第2種高気圧酸素治療における必要な換気流量は、主に合成空気の酸素濃度と吸入用酸素流入量に規定される。特に合成空気の酸素濃度が23%に近くなると、酸素のwash outのために極めて大量の換気流量が必要となる。合成空気の酸素濃度21.3%で標準的な2ATA高気圧酸素治療(図2)を行う場合、窒素ガスの混入の有無でどの程度ガスが節約できるかを計算すると以下ようになる(加圧後の吸入酸素流量は圧力に対する補正がかかる可能性があるため、概算のガス消費量を示している点をお断りしておく)。

<合成空気単独(40m³/h)による換気>

*酸素使用量(ℓ)

=吸入+換気+加圧

=15×85+40×1000×(80/60)×0.213+24,200
×0.213

=1,350+11,360+5,155

=17,865(ℓ)

*窒素使用量(ℓ)

=換気+加圧

=5×1,000×(80/60)×(1-0.213)+24,200
×(1-0.213)

=41,973+19,045

=61,018(ℓ)

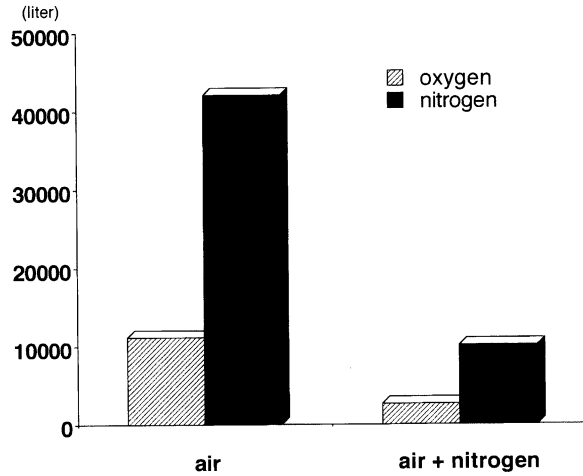


図3 二つの換気方式による換気に用いられるガス消費量の比較
装置内酸素濃度を維持するためには膨大な量のガスを必要とすることがわかる。窒素混入方式により換気必要量は著しく減少した。

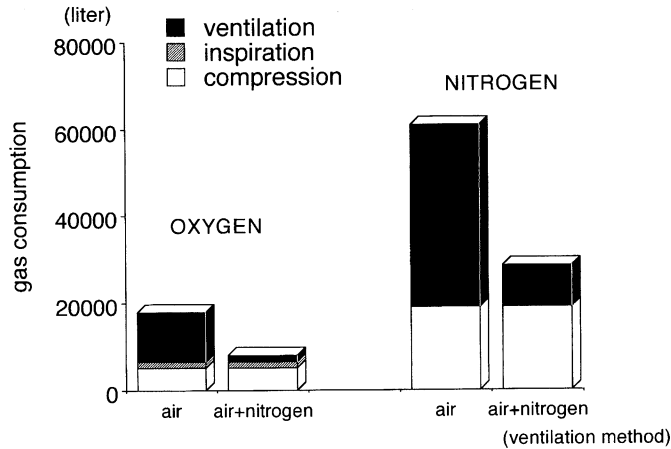


図4 二つの換気方式によるガスの使用目的比率の変化
合成空気単独では換気に消費されるガスの割合が多いが、窒素混入方式では加圧で使用される量が多くなる。

〈合成空気 (5 m³/h), 窒素 (3.6m³/h) による換気〉

* 酸素使用量 (ℓ)

= 吸入 + 換気 + 加圧

= 15 × 85 + 5 × 1,000 × (80/60) × 0.213 + 24,200 × 0.213

= 1,350 + 1,420 + 5,155

= 7,925 (ℓ)

* 窒素使用量 (ℓ)

= 換気 + 加圧

= 5 × 1,000 × (80/60) × (1 - 0.213) + 60 × 70 + 24,200 × (1 - 0.213)
= 5,247 + 4,200 + 19,045
= 28,492 (ℓ)

酸素と窒素、それぞれ9,940 (ℓ), 32,526 (ℓ) の節約が可能となる。換気に要するガスは、約1/4に減少できた (図3)。ガスの使用用途別に分けたところ、合成空気単独では換気目的で消費されるガスの割合が最も多く、その分が節約された

ことで相対的に加圧の使用比率が増加したことが確認される(図4)。加圧に用いるガスは節約不可能であることから、室内容積が大きい場合や治療圧力が高い場合ではガス節約効果は少なくなる。この方式により標準的治療によるガスのコストは約5,115円にまで節約できたが、第1種装置における酸素のコスト3,464円をいまだ上回っている。しかし、同時に複数の患者を治療することで加圧に要する空気のコストは分担可能であり、安全性や快適性の向上などを考慮すると妥当なコストレベルと考えられる。

窒素ガスを装置内へ直接流入することの安全性を高めるために、流量計の上流側にレバー式コックを設けたため、機械の誤作動が万が一起きたときにも窒素の流入は直ちに止めることが可能である。理想的には窒素の流量も合成空気の自動制御システム下で調整されることが必要であろう。最大流量を400ℓ/分に制限しているため、誤った操作によっても装置内の酸素濃度の大きな低下は認めない。消音器を設けたことで、高流量時の高周波雑音は軽減した。しかしながら、窒素流量制御が操作パネルでは行えない、加圧中では窒素流量が一定しない、副室の治療を併用したときの安定

性は未評価である点などが今後の課題として残っている。

合成空気による第2種高気圧酸素治療は、圧縮機を使用しない点で多くの長所を有し、さらに清浄ガスの使用により安全性の点からも画期的治療方式である。大きな欠点であるガスのコストは、私共が考案した窒素混入方式によりかなり緩和させることが期待できる。医療資源節約の観点からも、合成空気による第2種高気圧酸素治療装置には、酸素濃度の任意の調整あるいは窒素ガスを混入、何れかの方式を可能とすることが必須ではないかと思われる。ただし、加圧に用いられるガスは節約不可能であることから、副室単独で治療可能とする、主室容積の調整を可能とする、などの新たな治療装置の開発が強く望まれる。

〔参考文献〕

- 1) 廣谷暢子, 村田奈美恵, 田代嗣晴, 近藤幸夫, 那須野修一, 馬杉則彦: 高気圧治療における圧縮空気と合成空気の比較検討, 日高圧医誌 29: 58, 1994
- 2) 日本高気圧環境医学会: 高気圧酸素治療の安全基準 第84条第1項, 1995