

## ●原 著

## 高気圧環境下における血液ガス分析

鈴木英一\* 大田英則\*\*\* 日沼吉孝\*  
波出石弘\*\*\* 川村伸悟\*\* 根本正史\*\*

高気圧酸素治療中の血液ガス分析結果を、吸入用マスクの種類、キャリブレーションガス、採血時のヘパリンの面から検討した。対象は脳血管障害患者197例である。血液ガス分析装置にはIL 813(IL)を使用した。純酸素吸入時には、ローキャリブレーションガスに、A:O<sub>2</sub> 50%, CO<sub>2</sub> 2.5%, N<sub>2</sub>-BALANCE, B:O<sub>2</sub> 95%, CO<sub>2</sub> 2.5%, N<sub>2</sub>-BALANCEの2種類を使用した。

ローキャリブレーションガスBを使用した場合、PaO<sub>2</sub>は、2ATA-O<sub>2</sub>において、酸素吸入用マスク(Bard)使用時に725±125mmHg、麻酔用マスク(Acoma)使用時に1088±147mmHgであった。また、ローキャリブレーションガスAを用いた場合では、明らかに低値を示していた(p<0.01)。

液体ヘパリンと粉末ヘパリンの2種類を用いて、ヘパリンの性状がPaO<sub>2</sub>の値に及ぼす影響を検討した。1ATA-airと1ATA-O<sub>2</sub>においては差は認められなかった。しかし、2ATA-O<sub>2</sub>において、PaO<sub>2</sub>は、液体ヘパリンを用いて採血した場合は、明らかに低値を示していた(p<0.01)。著しく高いPaO<sub>2</sub>を測定する場合には、想定される値に近いキャリブレーションガスを使用すべきであり、採血時には、粉末ヘパリンを用いるべきである。

キーワード：高気圧酸素治療、キャリブレーションガス、ヘパリン、マスク、動脈血酸素分圧

### Arterial Blood gas analysis under hyperbaric condition

Eiichi Suzuki\*, Hidenori Ohta\*\*\*, Yoshitaka Hinuma\*, Hiromu Hadeishi\*\*\*, Shingo Kawamura\*\* and Masahito Nemoto\*\*

\* Division of Hyperbaric Medicine, \*\* Department of Surgical Neurology Research Institute for Brain and Blood Vessels-AKITA

Blood gasmety under hyperbaric oxygenated condition was studied clinically in relation to the difference of masks, calibration gases and the effect of heparin in sampling syringe. Subjects were 197 patients of cerebrovascular disease. IL # 813 model (Instrumentation Laboratory Inc.) was employed as blood gas analyzer. During inhalation of pure oxygen, two kinds of low calibration gases were used as follows; gas A (O<sub>2</sub> 50%, CO<sub>2</sub> 2.5%, N<sub>2</sub> balance) and gas B (O<sub>2</sub> 95%, CO<sub>2</sub> 2.5%, N<sub>2</sub> balance).

When gas B was used, PaO<sub>2</sub> at 2 ATA was

725±125mmHg in patients using oxygen mask (Inspiron), and 1088±147mmHg with anesthetic mask (Acoma). But, when gas A was used, PaO<sub>2</sub> showed apparently lower value than that of gas B (p<0.001).

To study the influence of heparin upon PaO<sub>2</sub>, two kinds of heparin were used in sampling syringe; powdered and liquid heparin. Under 1 ATA O<sub>2</sub> and 1 ATA air condition, the property of heparin had no influence upon PaO<sub>2</sub>. However, under 2 ATA O<sub>2</sub> condition, when liquid heparin was used, PaO<sub>2</sub> was significantly lower than those utilized powdered heparin (p<0.01).

When extremely high PaO<sub>2</sub> can be expected, calibration gas should be selected which has approximate properties to the sampled blood gas, and powdered heparin should be also preferred.

(author's abstract)

### Keywords:

Hyperbaric oxygenation  
Calibration gas  
Heparin  
Mask  
PaO<sub>2</sub>

\*秋田県立脳血管研究センター高気圧酸素治療室

\*\*秋田県立脳血管研究センター脳神経外科

	LO Gas (O <sub>2</sub> 50%, CO <sub>2</sub> 2.5%)				LO Gas (O <sub>2</sub> 95%, CO <sub>2</sub> 2.5%)			
	N	pH	PCO <sub>2</sub>	PO <sub>2</sub>	N	pH	PCO <sub>2</sub>	PO <sub>2</sub>
1ATA-Air <sup>o</sup>	87	7.431 ± 0.040	38.1 ± 3.9	76 ± 13	50	7.456** ± 0.034	38.0 ± 4.0	79 ± 12
1ATA-O <sub>2</sub>	46	7.442 ± 0.038	35.5 ± 3.9	315 ± 80	26	7.497** ± 0.032	33.6 ± 3.9	442** ± 87
2ATA-O <sub>2</sub>	46	7.462 ± 0.047	37.9 ± 5.2	696 ± 130	38	7.498** ± 0.037	35.9 ± 3.8	732 ± 117
After HBO <sup>o</sup>	44	7.437 ± 0.037	36.7 ± 3.5	73 ± 15	23	7.460* ± 0.027	37.0 ± 3.3	74 ± 11

<sup>o</sup>: 大気圧空気呼吸時は標準ガス使用

\*: P<0.02

\*\* : P<0.001

表1 : Oxygen Mask 使用時における Calibration Gas と測定結果

## はじめに

高気圧酸素(Hyperbaric Oxygenation: HBO)療法中の動脈血ガス分析は、その治療効果を知る上で重要であるにもかかわらず、その結果および問題点についての報告は極めて少ない<sup>1)</sup>。本稿では、当施設において、HBO 下で行った諸検査の際の動脈血ガス分析結果をまとめ、高気圧環境下で血液ガス分析を行う際の諸問題について述べる。

## 対象及び方法

対象は、大気圧下純酸素吸入(1 ATA-O<sub>2</sub>)及び HBO 下で脳波または脳循環測定を行った脳血管障害患者197例である。年齢は、9歳から75歳、平均56歳であった。

血液ガス分析には、IL-813 (IL, USA) を使用した。キャリブレーションガスについては、空気呼吸時の LO ガスに O<sub>2</sub>20%, CO<sub>2</sub>5%, N<sub>2</sub>-BALANCE を、また純酸素吸入時の LO ガスに、a) O<sub>2</sub>50%, CO<sub>2</sub>2.5%, N<sub>2</sub>-BALANCE, b) O<sub>2</sub>95%, CO<sub>2</sub>2.5%, N<sub>2</sub>-BALANCE の2種類を使用した。HI ガスはいずれの場合も CO<sub>2</sub>10%, N<sub>2</sub>-BALANCE を使用した。脳波検査時の酸素吸入には密着度のあまり高くない Inspiron Oxygen mask (Bard, USA) を使用し、脳循環測定時には麻酔用マスク (ACOMA, Japan) を用いた。

採血は、検査終了後に行ったために、2気圧到達後20~40分の間に行った。動脈血採血に際し、

液体ヘパリンを用いた場合と粉末ヘパリンを用いて採血した場合の PaO<sub>2</sub> の比較を行った。また、タンク内外での測定結果の違いをみるために、2気圧下純酸素吸入(2 ATA-O<sub>2</sub>)時に酸素吸入用マスクを使用した12例について、三方活栓を用いて同時に2本採血し、1本はタンク内で IL 813 により測定し、他の1本はメディカルロックより急速減圧して取り出し ABL 2 (Radiometer, Denmark) で測定した。

## 結 果

### 1) キャリブレーションによる PaO<sub>2</sub> の違い

酸素吸入用マスクを用いた例(表1)でキャリブレーションによる違いをみると、2気圧下純酸素吸入(2 ATA-O<sub>2</sub>)で、O<sub>2</sub>50%のキャリブレーションガスを用いた場合では平均696mmHg、O<sub>2</sub>95%キャリブレーションガスを用いた場合で平均732mmHgと有意差は認められなかった。しかし、麻酔用マスクを用いた場合(表2)では、O<sub>2</sub>50%でキャリブレーションした場合で平均825mmHgであるのに対し、O<sub>2</sub>95%でキャリブレーションした場合では、平均1088mmHgと有意に高い値を示した(p<0.01)。

### 2) マスクによる PaO<sub>2</sub> の違い(表3)

1 ATA-O<sub>2</sub>において、麻酔用マスクを用いた場合は平均518mmHg、酸素吸入用マスクでは、平均442mmHgであり、2 ATA-O<sub>2</sub>でも、麻酔用マスクで平均1088mmHg、酸素吸入用マスクで平均

	LO Gas (O <sub>2</sub> 50%, CO <sub>2</sub> 2.5%)				LO Gas (O <sub>2</sub> 95%, CO <sub>2</sub> 2.5%)			
	N	pH	PCO <sub>2</sub>	PO <sub>2</sub>	N	pH	PCO <sub>2</sub>	PO <sub>2</sub>
1ATA-Air <sup>o</sup>	11	7.412 ± 0.099	41.0 ± 3.3	87 ± 5	49	7.447 ± 0.036	39.7 ± 4.3	86 ± 9
1ATA-O <sub>2</sub>	-	-	-	-	42	7.471 ± 0.033	37.0 ± 4.4	518 ± 81
2ATA-O <sub>2</sub>	11	7.411 ± 0.023	41.0 ± 4.8	825 ± 227	12	7.514*** ± 0.063	34.7* ± 6.1	1088** ± 147
After HBO <sup>o</sup>	-	-	-	-	9	7.465 ± 0.031	36.8 ± 3.0	82 ± 11

<sup>o</sup>: 大気圧空気呼吸時は標準ガス使用  
 \*: P<0.02  
 \*\*: P<0.01  
 \*\*\*: P<0.001

表2: 麻酔用マスク使用時における Calibration Gas と測定結果

	Oxygen Mask				Anesthetic Mask			
	N	pH	PCO <sub>2</sub>	PO <sub>2</sub>	N	pH	PCO <sub>2</sub>	PO <sub>2</sub>
1ATA-Air (Cali. Gas: CO <sub>2</sub> 5%, O <sub>2</sub> 20%)	50	7.456 ± 0.034	38.0 ± 4.1	79 ± 12	49	7.447 ± 0.036	39.7 ± 4.3	86* ± 9
1ATA-O <sub>2</sub> (Cali. Gas: CO <sub>2</sub> 2.5%, O <sub>2</sub> 95%)	26	7.497 ± 0.032	33.6 ± 3.9	442 ± 87	42	7.471* ± 0.033	37.0* ± 4.4	518** ± 81
2ATA-O <sub>2</sub> (Cali. Gas: CO <sub>2</sub> 2.5%, O <sub>2</sub> 95%)	38	7.498 ± 0.037	35.9 ± 3.8	732 ± 117	12	7.514 ± 0.036	34.7 ± 6.1	1088** ± 147
After HBO (Cali. Gas: CO <sub>2</sub> 5%, O <sub>2</sub> 20%)	23	7.460 ± 0.027	37.0 ± 3.3	74 ± 11	9	7.465 ± 0.031	36.8 ± 3.0	82 ± 11

\*: P<0.01  
 \*\*: P<0.001

表3: 使用マスクと測定結果

732mmHgであった。麻酔用マスクを使用した場合は、酸素吸入用マスクを使用した場合に比べ、有意に高値を示した (p<0.001)。

3) 酸素吸入用マスクを使用した時の pH 及び PaCO<sub>2</sub> の変化

図1に、大気圧下空気呼吸 (1ATA-Air), 1ATA-O<sub>2</sub>及び2ATA-O<sub>2</sub>での pH の変化を示した。1ATA-O<sub>2</sub>では、1ATA-Air に比べ有意に上昇したが (p<0.01), 2ATA-O<sub>2</sub>では、1ATA-O<sub>2</sub>と比べほとんど変化を認めなかった。

PaCO<sub>2</sub>は、1ATA-O<sub>2</sub>, 2ATA-O<sub>2</sub>とも1ATA-Air に比べて有意に下降していた (図2)。

4) 粉末ヘパリンと液体ヘパリンを使用した場

合の PaO<sub>2</sub> の差 (図3)

粉末ヘパリンを使用して採血した群 (1ATA-Air 30例, 1ATA-O<sub>2</sub> 17例, 2ATA-O<sub>2</sub> 22例) と液体ヘパリンを使用した群 (1ATA-Air 20例, 1ATA-O<sub>2</sub> 8例, 2ATA-O<sub>2</sub> 15例) について PaO<sub>2</sub> の値を比較したところ, 1ATA-Air 及び1ATA-O<sub>2</sub> では, 差を認めないが, 2ATA-O<sub>2</sub> では粉末ヘパリンを使用した方が, 有意に高値を示していた (p<0.01)。

5) タンク内外での血液ガス測定 (図4)

タンク内では平均794mmHgであるのに対し, タンク外では平均621mmHgと約20%の低下を示した。しかし, 採血に使用したガス分析用シリ

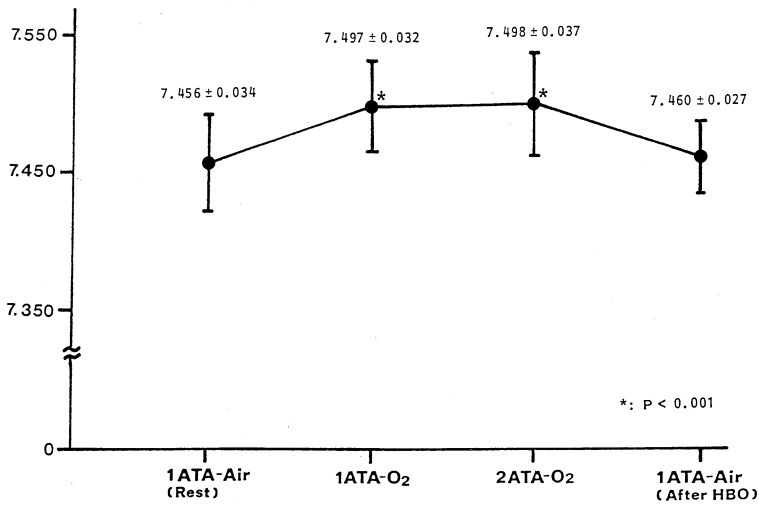


図1 : pHの変化

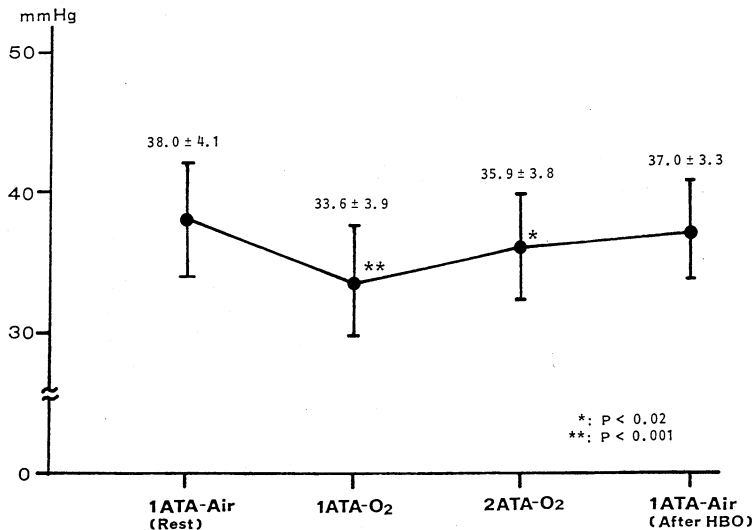


図2 : PaCO<sub>2</sub>の変化

ンジが密閉になっておらず、O<sub>2</sub>が拡散してしまうこと、また、測定機器の相違やキャリブレーションの違い、それに検体数が少ないことなど問題が多く参考値にとどまると考えられる。

考 察

高気圧酸素治療における血液ガス分析は、適切に治療が行われているか確認する上で重要である。また、酸素分圧が高くなっていない場合は、その原因の検討により患者の病態を知ることでも

きる。しかし、それらを行うためには、適切な採血方法で、正確なガス分析装置を用いて測定しなければならない。更に、患者は、高気圧酸素をできるだけ有効に安定して吸入しなければならない。これらの前提があって、初めて血液ガス分析が意義あるものと言えよう。しかし、現状は、これらについての検討は少ない。そこで、これら諸問題を解決するにあたり、ガス分析装置についてはキャリブレーションの問題、採血方法についてはヘパリンの問題、患者の高気圧酸素吸入につい

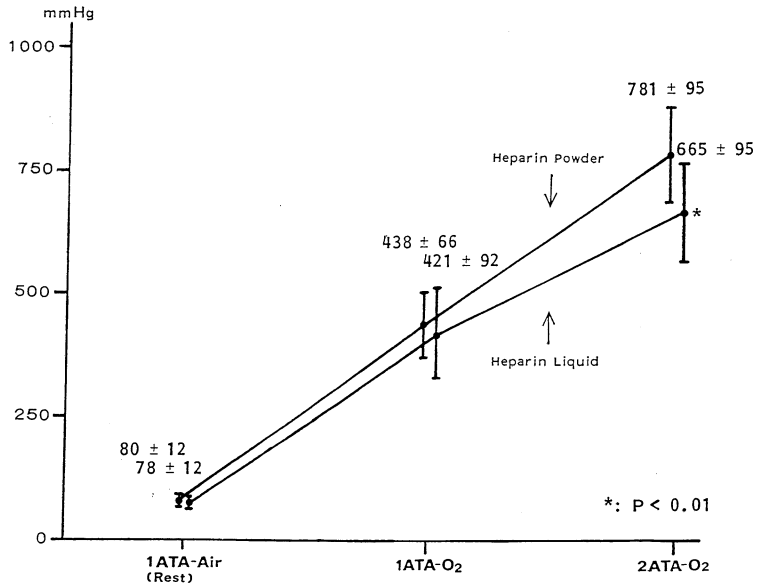


図3：粉末ヘパリンと液体ヘパリンを使用した場合の PaO<sub>2</sub> 較差

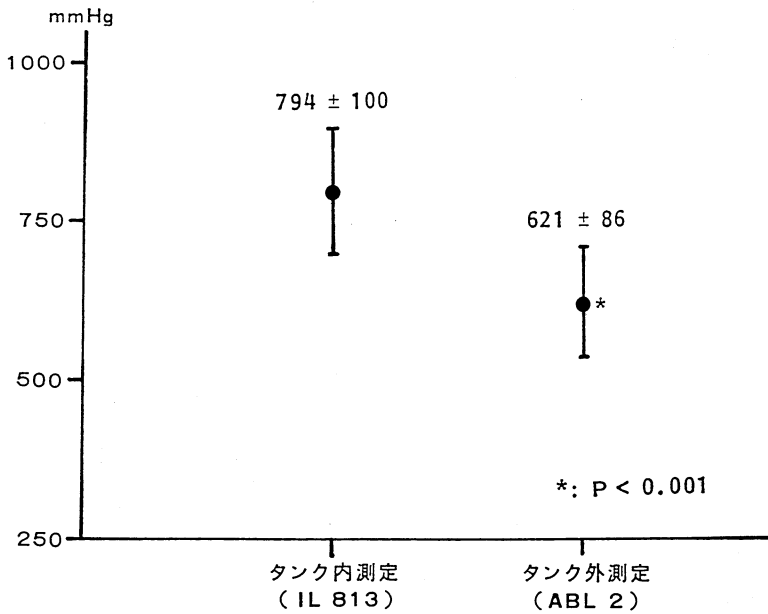


図4：タンク内外の測定における PaO<sub>2</sub> の較差

ては、使用するマスクに注目して検討した。

2 ATA-O<sub>2</sub> 下の今回の結果では、治療用に用いているあまり密着度の高くない酸素吸入用マスクを用いた場合は、O<sub>2</sub>50%のキャリブレーションガス使用時に PaO<sub>2</sub> が平均 696mmHg、O<sub>2</sub>95%のキャリブレーションガス使用時に平均 732mmHg とあまり差はなかった。酸素電極の特性上から真

値も 700mmHg 前後にあると考えられ、この場合は、O<sub>2</sub>50%のキャリブレーションガスを使用してもよいと考えられた。しかし、密着度の高い麻酔用マスクを用いた場合では、O<sub>2</sub>50%のキャリブレーションガス使用時のほうが明らかに低値を示した。これは、稲田が行った実験<sup>2)</sup>で示されているように IL 813 では、較正点を越えて PO<sub>2</sub> が高くな

るに従い、実測値が予測値を下まわる傾向が強くなるためと考えられ、この場合は、 $O_2$ 50%のキャリブレーションガスは使用すべきではなく、 $O_2$ 95%の方が適当だと思われた。即ち、想定される値に近いキャリブレーションガスの使用が大切である。

最近のガス分析装置は、少量の検体で分析可能のためサンプル量も少なくすむ。そのために、液体ヘパリンを使用した場合は、シリンジと針のデッドスペースに残る量での希釈の影響が大きく作用して $PaO_2$ の低下を生じる可能性がある。ヘパリン自体の $PO_2$ は、150～200mmHg<sup>3)</sup>(温度によって変化する)であるため、図3に示したように、 $PaO_2$ が高くなるほど、粉末ヘパリンを使用した場合よりかなり低い値を示した。このことより、HBO時など高い $PaO_2$ の測定の場合は、粉末ヘパリンを使用することが望ましいと言えよう。

理論的には、2 ATAにおいて100%酸素吸入を行わせれば $PaO_2$ は1433mmHgとなる。したがって肺に拡散障害がなければ $PaO_2$ もこれに近い値をとることになり、1400mmHg前後に達するはずだとされている<sup>4)</sup>。しかし、今回、通常治療に用いられている酸素吸入用マスクを使用して15l/minでOver Flowさせた場合では、平均700mmHg前後の値しか得られなかった。この原因としては、測定上の問題、肺の問題、それに、マスクの問題に分けられるだろう。この中で、一番大きな原因となっているのは、マスクの問題ではないかと思われた。芝山らの実験では、使用するマスクにより、呼気ガスの酸素濃度に68～86%のひらきがあった<sup>5)</sup>。このことから推察されるように、当然、吸気酸素濃度にも大きなひらきがあると考えられ、今回、比較的低い $PaO_2$ 値しか得られなかったのは、使用マスクの密着度が高くなく吸気酸素濃度があまり高くなっていないのが大きな原因ではないかと推察された。一酸化炭素中毒患者の治療の場合など高い $PaO_2$ を必要とするような疾患の治療には、治療圧と治療時間の検討だけでなく、使用マスクの検討も重要であると思われた。装着感が快適で呼吸抵抗が低く、かつ、吸気酸素濃度を高くしうるマスクが開発されるならば、治療圧を低く、また、治療時間も短くする

ことが可能となり、より安全な高気圧酸素治療ができると考えられた。他に $PaO_2$ があまり高くなかった原因として、測定時の問題としては、使用機器の特性、採血シリンジの問題、採血から測定までの時間などが考えられ、肺におけるガス交換時の問題としては、HBO下における換気血流不均等の存在や動静脈シャント率の変化なども考えられた。

$PaCO_2$ に関しては、HBO下では上昇することが知られているが、今回の結果では、統計的有意差をもって下降していた。この傾向は、1 ATA- $O_2$ の状態でも存在していることから、マスクをつけたことによる息苦しさのために、努力様呼吸になっているのではないかと思われるその結果 $PaCO_2$ が低下したと推察された。

#### ま と め

##### 1) 測定上の問題

- a) 想定される値に近いキャリブレーションガスの使用が大切である。
- b) HBO下などの著しく高い $PaO_2$ を測定しようとする場合には粉末ヘパリンを用いるべきである。

##### 2) 患者の病態や呼吸状態に応じてマスクを選択することが重要である。

本稿の要約は第20回日本高気圧環境医学会総会、1985年11月28日、沖縄、にて発表した。

#### 【参 考 文 献】

- 1) 梨本一郎：高圧下の全体機能監視。医科器械誌 38：402-408, 1968.
- 2) 稲田晴之、沼田克雄：高濃度酸素吸入時における動脈血酸素分圧測定値の信頼性について。呼吸と循環30：381-386, 1982.
- 3) 星川靖幸、江口正紀：血液ガス分析装置の原理と測定法の実際。高気圧酸素治療法入門講座55-77, 1985.
- 4) 榊原欣作：初心者のための高気圧酸素治療法入門。高気圧酸素治療法入門講座1-9, 1982.
- 5) 芝山正治、水野哲也、高橋茂樹、土井庸正、秋場仁、柏倉章男、真野喜洋：高気圧酸素治療で用いる呼吸器の性能について。日高圧医誌20：222-228, 1985.