

高気圧環境下における脳循環測定— PaO₂ の脳循環 に与える影響、Preliminary Report —

大田英則* 安井信之* 川村伸悟*
根本正史* 日沼吉孝** 鈴木英一**
菊池カヨ子***

はじめに

高気圧環境下における脳循環 (CBF) 測定の報告は少ない²⁾³⁾⁵⁾⁸⁾。秋田脳研では新病院の建設にともない高気圧治療室全体を RI 管理区域として高気圧環境下での CBF 測定も可能な大型高気圧酸素治療装置を導入した。そこで高気圧下をも含めた環境下において動脈血中酸素分圧 (PaO₂) が CBF に与える影響を検討しつつあるので、その一端を紹介する。

対象および方法

正常人男性 8 名 (年齢: 27~44 歳, 平均 32 歳) を対象として, 1) Rest (安静時) -1ATA Air 吸入時, 2) 1ATA-O₂ 吸入時, 3) 2ATA-O₂ 吸入時, の各条件下での CBF 測定を行った。CBF 測定は 32 チャンネルの NaI 検出器を備えた Cerebrograph: Valmet rCBF Analyzer (Valmet BI-1400) を用いて, 10mCi の ¹³³Xe 静注法により行った。脳血流量の計算は 10mCi の ¹³³Xe を bolus injection した直後より 10 分間の測定を行い, two compartmental analysis により F Flow (灰白質血流量), S Flow (白質血流量), ISI (Initial Slope Index) の算出を行った⁴⁾。なお, 8 名中 6 名については各測定時における動脈血ガス分析を高気圧下でも使用可能な血液ガス分析装置 (IL-813) を用いて行った。

高気圧酸素治療室における CBF 測定システム

の模式図を図 1 に示す。この高気圧酸素治療室は副室を準備室, 主室を測定室として, 全体を RI 管理区域としてある。

結 果

全脳循環 (Mean CBF) による測定結果を表 1 に示す。Rest (1ATA-Air) では F Flow: 72.5 ± 10.2 (1SD) ml/100g/min., S Flow: 18.9 ± 1.9 (1SD) ml/100g/min., ISI: 55.4 ± 7.1 (1SD) ml/100g/min. であり pH: 7.376 ± 0.015, PaCO₂: 43.3 ± 2.5mmHg, PaO₂: 94.2 ± 4.6mmHg であった。

1ATA-O₂ 時では F Flow: 54.5 ± 8.7ml/100g/min., S Flow: 17.4 ± 4.7ml/100g/min., ISI: 43.6 ± 6.4ml/100g/min. であり, pH: 7.386 ± 0.018, PaCO₂: 41.8 ± 2.9mmHg, PaO₂: 432 ± 44 mmHg であった。

2ATA-O₂ 時では F Flow: 46.8 ± 7.9ml/100g/min., S Flow: 12.9 ± 4.3ml/100g/min., ISI: 39.2 ± 5.3ml/100g/min. であり, pH: 7.376 ± 0.014, PaCO₂: 44.0 ± 1.8mmHg, PaO₂: 839 ± 95 mmHg であった。

この結果を推計学的にみると (T-test), pH には差は認められず, PaCO₂ は 1ATA-O₂ 下でやや低下するが各 CBF 測定条件下での有意差は認められなかった。これに対して PaO₂ は各測定で明らかに有意差が認められた (P < 0.05)。

CBF の減少は F Flow でみると 1ATA-O₂ 下では 25%, 2ATA-O₂ 下で 35% の減少を示しその変化率は Rest と他の測定では明らかに CBF は低下 (P < 0.05) しており, 1ATA-O₂ 下と 2ATA-O₂ 下でも CBF の低下 (P < 0.1) が認められた。ISI

*秋田県立脳血管研究所脳神経外科

**秋田県立脳血管研究所高気圧酸素治療室

***秋田県立脳血管研究所看護科

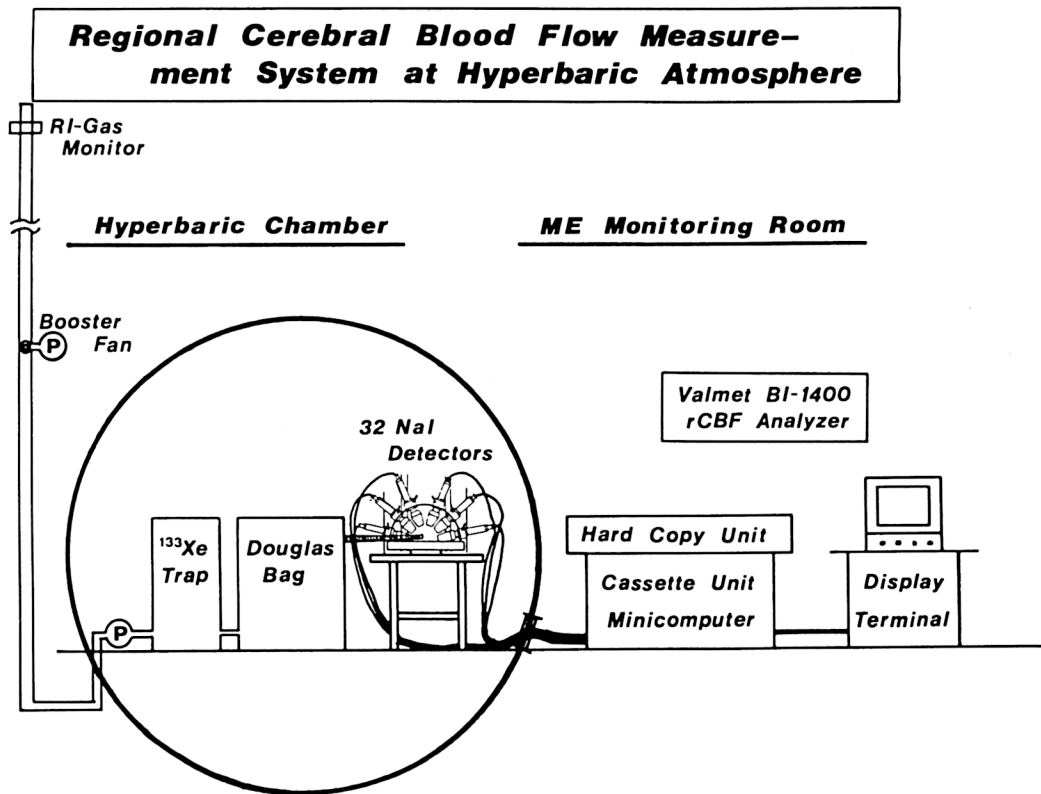


図1 秋田脳研高気圧酸素治療室における高気圧環境下脳循環測定システム

表1 安静時, 1ATA-O₂下, 2ATA-O₂下における脳循環測定値と血液ガス測定結果

	Cerebral Blood Flow and PaO ₂		
	Rest (1ATA-Air)	1ATA-O ₂	2ATA-O ₂
F Flow (ml/100g/min)	72.5 ± 10.2	54.5 ± 8.7 *	46.8 ± 7.9 ***
S Flow (ml/100g/min)	18.9 ± 1.9	17.4 ± 4.7	12.9 ± 4.3 *
ISI (ml/100g/min)	55.4 ± 7.1	43.6 ± 6.4 *	39.2 ± 5.3 *
pH	7.376 ± 0.015	7.386 ± 0.018	7.376 ± 0.014
PaCO ₂ (mmHg)	43.3 ± 2.5	41.8 ± 2.9	44.0 ± 1.8
PaO ₂ (mmHg)	94.2 ± 4.6	432 ± 44 *	838 ± 95 **

(N=8)

* : P < 0.05 (compaired to Rest)
 ** : P < 0.05 (compaired to 1ATA-O₂)
 *** : P < 0.1 (compaired to 1ATA-O₂)

PaO₂ and CBF Evaluated by Fast Flow

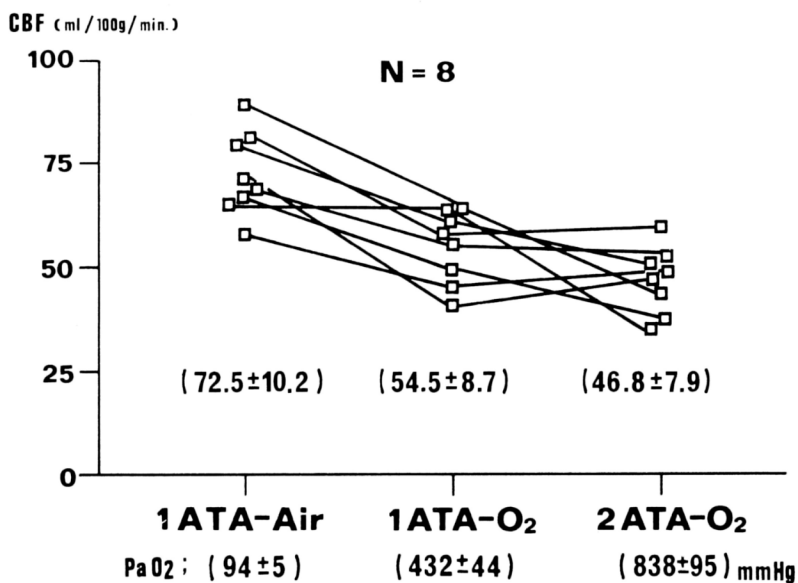


図2-a Fast flow (灰白質血流量) でみた PaO₂と脳循環の変化

PaO₂ and CBF Evaluated by ISI

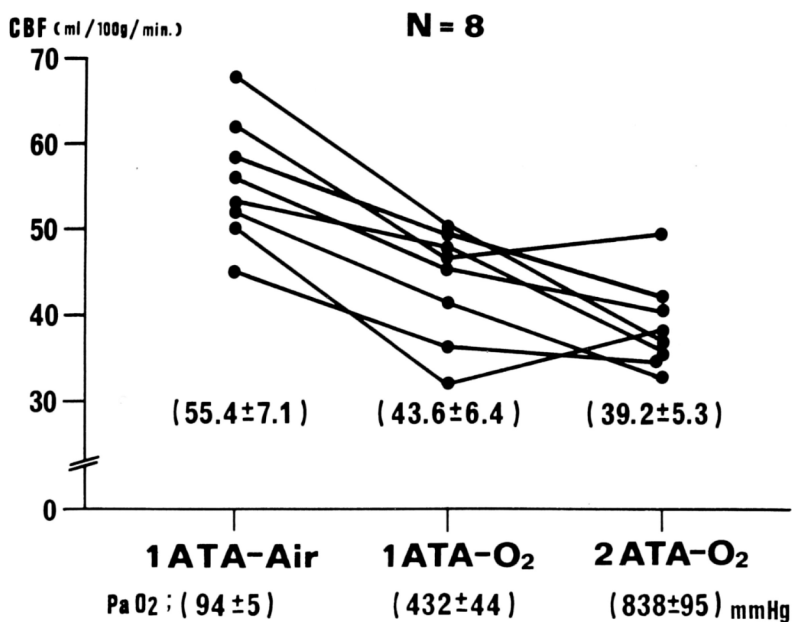


図2-b ISI (Isitial Slope Index) でみた PaO₂と脳循環の変化

PaO₂ and CBF Evaluated by Fast Flow and ISI

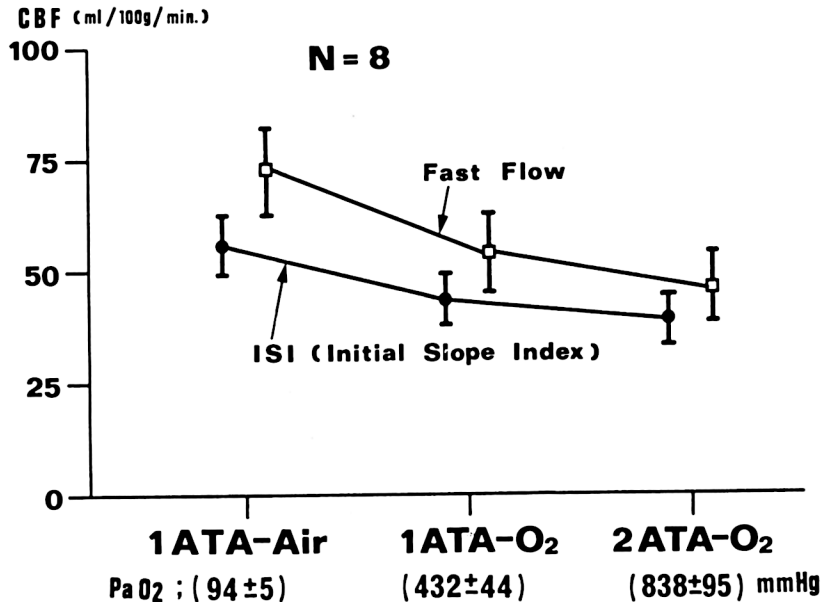


図2-c Fast Flow および ISI でみた脳循環測定結果 (平均値±1SD) の変化
Fast Flow でみると 1ATA-O₂ 下で 25%, 2ATA-O₂ 下では 35% の減少を来し,
ISI でみると 1ATA-O₂ 下で 21%, 2ATA-O₂ 下では 29% の CBF の減少も示した。

では 1ATA-O₂ 下で 21%, 2ATA-O₂ 下で 29% の CBF 減少を示し, Rest と他の測定では差が認められた ($P < 0.05$) もの, 1ATA-O₂ 下と 2ATA-O₂ 下では有意差は認められなかった。S Flow は血流の低下により頭蓋外血流の影響をうけるためか, F Flow や ISI よりも測定値のばらつきが大きかった。F Flow, ISI でみると PaO₂ の上昇とともに CBF は減少しているが, その減少は PaO₂ が上昇するにつれて鈍る傾向がうかがわれた。図 2-a に 8 例の F Flow の変化を, 図 2-b には ISI の変化を示す。また図 2-c には F Flow と ISI の平均値±1SD の変化を示す。

考 察

これまでの諸家の報告によると, 高気圧環境下をも含めた PaO₂ の上昇により CBF は減少するとされている²⁾³⁾⁵⁾⁶⁾⁸⁾。これまでの諸家の報告をまとめたものを表 2 に示す。

CBF 減少の理由は, Jacobson ら²⁾, Kety ら³⁾, Nakajima ら⁶⁾ は PaO₂ の上昇にともなう vaso-

constriction によるものとしているが, Lambertsen ら⁵⁾, Tindall ら⁶⁾ は PaO₂ の上昇とともに PaCO₂ の有意な下降を認めたとして, hyperventilation による PaCO₂ の下降が CBF 減少の主要因であろうと述べている。著者らの今回の結果では PaO₂ は Rest, 1ATA-O₂, 2ATA-O₂ の測定時に明らかに上昇しているのに対して PaCO₂ は 1ATA-O₂ 下で若干下降するもののほとんど差は認められず (表 1), CBF 減少の主要因は PaO₂ の vasoconstriction 作用によるものと推定された。

PaO₂ 上昇による vasoconstriction が何故おこるかはまだ明らかではないが, Nakajima ら⁶⁾ は交感神経系の刺激による vasoconstriction であり, その機序は prostaglandins (そのうちでも時に prostacyclin) によって仲介される catecholamines の vasoconstriction 作用によるものであらうと考察している。

この PaO₂ の上昇にともなう CBF の減少は過剰な酸素供給に対して vasoconstriction により CBF を減少させ脳代謝を正常に保とうとする恒

表2 文献的にみた動脈血中酸素分圧 (PaO₂) と脳循環の関係

Authors	Method	Material	CBF (ml/100g/min.) [% of CBF change]				
			Rest	1ATA-O ₂	2ATA-O ₂	3ATA-O ₂	3.5ATA-O ₂
Kety & Schmidt (1947)	N ₂ O	Man (N=6)	52 ± 10	45 ± 8 [-13%]			
Lambertsen et al. (1953)	N ₂ O	Man (N=8)	55	47 [-15%]			
		Man (N=7)	57 ± 10				43 ± 4 [-25%]
Jacobson (1964)	⁸⁵ Kr-clearance (intracarotid)	Dog (N=7)	94 ± 20	83 ± 16 [-12%]			
		(N=8)	96 ± 20		76 ± 16 [-21%]		
Tindall et al. (1965)	Electromagnetic Flowmeter	Baboon (N=9)	64 ± 14	58 ± 13 [-9%]		52 ± 10 (5 min.) [-19%] 49 ± 9 (10 min.) [-23%]	
Nakajima et al. (1983)	¹³³ Xe-clearance (inhalation)	Man (N=49)	73.9 ± 11 (Fg)	64.9 ± 9 (Fg) [-12%]			
Ohta et al. (1983)	¹³³ Xe-clearance (intravenous)	Man (N=8)	55.4 ± 7.1 (ISI)	43.6 ± 6.4 (ISI) [-21%]	39.2 ± 5.3 (ISI) [-29%]		

常性維持のための生体の防御反応の一つと考えられる。この機構で脳代謝の調節が不可能となった場合、つまり過剰な酸素供給が長時間にわたった場合や、極端に過剰な酸素供給が行われた場合(たとえば3ATA以上で純酸素吸入を行う場合など)にはケイレン発作などの酸素中毒症状を招来するものと推察される。

これまでCBFを調節する機構としては、血圧の変動に対するautoregulationや、PaCO₂の変動によるCBFの変化(CO₂ response)がよく知られているが、表2に示した諸家の報告や著者らの結果からしても、PaO₂の変化もCBFに影響を与える重大一因子であると考えてよかろう。著者らはこれを“O₂ response”と呼ぶことにした。

PaO₂の上昇によるCBFの減少は表2に明らかごとく著者らの結果と、諸家による報告で差がみられるが、この原因としてはCBFの測定方法、対象の違い、麻酔の有無、PaCO₂の変化などが関係しているものと考えられる。また著者らの方法でもF Flow, S Flow, ISIの変化率に差が認められるが今後頭蓋内病変を有する患者と比較することを考慮すればRisbergら⁷⁾が提唱したISIを使用した方が良いかも知れない。

同一の測定方法でヒトを対象として高気圧環境下をも含めた条件下で、吸入ガスおよび気圧を細かく設定してのCBF測定はまだない。著者らは今後、測定条件をさらに細かく設定してPaO₂とCBFの関係を高気圧環境下をも含めて検討してゆく予定である。この際、Ingvarら¹⁾が述べているように¹³³Xeを使用したnoninvasive two-di-

rectional rCBF測定法の欠点を常に念頭に置いておく必要があることは言うまでもない。また高気圧環境下では¹³³Xeのλ(脳血液分配恒数)が変化している可能性があり、これに対する検討も必要であろうと考えている。

脳血管障害をも含めた脳疾患に対する高気圧酸素治療の適応基準の決定と、適切な治療圧の決定のためには高気圧酸素下における病態生理の解明と、その有効性を明らかにすることが必要不可欠である。その意味で高気圧下での脳循環測定は、高気圧酸素下における病態生理解明のための非常に重要な武器となり得ると考えている。

ま と め

8名の正常人男性においてPaO₂がCBFに与える影響を高気圧下をも含めて検討した。CBF測定は安静時、1ATA-O₂下、2ATA-O₂下で行った。Mean CBFはISIで見るとそれぞれ55.4 ± 7.1 (1SD)ml/100g/min., 43.6 ± 6.4(1SD)ml/100g/min., 39.2 ± 5.3 (1SD) ml/100g/min.でありその減少率は1ATA-Air時で21%, 2ATA-O₂時で29%であった。このCBF減少の理由はPaO₂の上昇によるvasoconstrictionによるものと考えられた。この間pHおよびPaCO₂には大きな変化は認められなかった。

今後、測定条件をさらに細かく設定してPaO₂とCBFの関係を検討する予定であるが、高気圧下のCBF測定に関しては¹³³Xeのλ(脳血液分配恒数)の変化についても検討を行う必要があると考えられる。

〔参 考 文 献〕

- 1) Ingvar, HI and Lassen, NA : Atraumatic two-dimensional rCBF measurmants using stationary detectors and inhalation or intravenous adminilstration of 133-Xenon. *J Cereb Blood Flow Metabol*, 2: 271-274, 1982
- 2) Jacobson, I, Harper, AM and McDowell, DG : The effect of oxygen at 1 and 2 atomospheres on the blood flow and oxygen uptake of the cerebral cortex. *Surg Gynecol Obstet*, 119: 737-742, 1964
- 3) Kety, SS and Schmidt, CF : The effects of altered arterial tensions of carbon dioxide and oxygen on cerebral blood flow and ceregral oxygen consumption of normal young men. *J Clin Invest*, 27: 484-492, 1948
- 4) Kuikka, J, Ahonen, A, Koivula, A, Kallaranta, T and Laitinen, J : An intravenous isotope method for measuring regional cerebral blood flow (rCBF) and Volume (rCBV), *Phys Med Biol*, 22: 958-970, 1977
- 5) Lambertsen, CJ, Kough, RH, Cooper, DY, Emmel, GL, Loeschcke, HH and Schmidt, CF : Oxygen toxicity. Effects in man of oxygen inhalation at 1 and 3.5 atomospheres upon blood gas transport, cerebral cisculation and cerebral metabolism. *J Appl Physiol*, 5: 471-486, 1953
- 6) Nakajima, S, Meyer, JS, Amano, T, Shaw, T, Okabe, T and Mortel, KF : Cerebral vasomotor responsiveness during 100% oxygen inhalation in cerebral ischemia. *Arch Neurol*, 40: 271-276, 1983
- 7) Risberg, J, Ali, Z, Wilson, EM, Willis, EL and Halsey, JH : Regional cerebral blood flow by 133Xenon inhalation: Preliminary evaluation of an intial slope index in patients with unstable flow compartments. *Stroke* 6: 142-148, 1975
- 8) Tindall, GT, Wilkins, RH and Odom, GL : Bffect of Hyperbaric oxygenation on cerebral blood flow. *Surg Forum* 16: 414-416, 1965