

減圧性気泡のガス分析(第7報) —吸入気CO₂濃度との関連—

石山 明* 眞野喜洋* 芝山正治*
高橋茂樹* 土井庸正* 大串貫太郎*
柏倉章男* 高野尚志* 黒岩京子*
前田 博*

目 的

吸入気二酸化炭素濃度と、減圧症の発症率との関係については、1896年に英国の Snell¹⁾が、Blackwall トンネルの建設に際して、作業中の換気量を増やすことによって、減圧症の発症率が低下することを観察している。続いて1942年に Margaria²⁾は、アヒルを使用した実験で、高濃度の二酸化炭素が呼吸と循環を刺激する結果、減圧時間を短縮することができたとしている。1978年には、眞野³⁾が、圧気作業後、減圧中のマンロック内を換気することによって減圧症の発症率を低下させることができたと報告している。同じく1978年に、Berghase⁴⁾はマウスとラットを使った実験で、環境中の二酸化炭素濃度が高いほど、減圧症の発症率が高くなるとしている。一方、航空減圧症については、なんの変化も認められなかったとの報告が3件、二酸化炭素が減圧症の発症率を高めたとの報告が3件で、見解が異なっている(表1, 2)。このように、吸入気二酸化炭素濃度と、減圧症の発症率との関係についてはいまだ結論を得るに至っていない。今回我々は、環境中の二酸化炭素濃度を変えてラットに減圧症を発生させ、大静脈を流れてくる気泡を採取、分析したので報告する。

方 法

体重 300gr 前後の雄の Wistar 系ラット計36匹を2群に分け、ベントバルビタールで腹腔麻酔(50mg/kg)した後、1回の実験で一匹ずつ動物

用の高圧チェンバー(内容積 24 ℓ)に収容し、空気で加圧した。9ATA に達した後、一方は充分な換気(大気圧換算で毎分 5 ℓ)を行い、もう一方には 38mmHg の二酸化炭素(大気圧換算で 5 % 相当)を加え、40分間おいたあと、減圧は2分間で行った(図1)。減圧終了後、直ちにラットを高圧チェンバーから取りだして開腹し、腹部下大静脈を露出して、そこを流れてくる気泡を肉眼で観察しながら、気泡を静脈血と共に採取した。続いて気泡だけをガスタイトのマイクロシリンジに移し、ガスクロマトグラフで分析を行った。分析方法は、一昨年の本学会で我々が報告した「減圧性気泡のガス分析、第1報」の通りであるが、今回は分析量を 300 μ ℓ から 20 μ ℓ に減らすことができた。同時に採取された静脈血は、血液ガス分析器(I.L.メーター Micro13)によって分析され、酸素、二酸化炭素分圧と、pH の測定を行った。

結 果

結果は表3に示すとおりである。減圧終了から気泡採取までの時間は、5% CO₂群で151秒、換気群で182秒であり、換気群のほうが有意に長かった(p<0.05)。気泡の組成については、酸素と二酸化炭素のいわゆる生理的ガスを中心にみても、二酸化炭素の割合は2つの群で有意な差は認められなかったが、酸素の割合は、5% CO₂群のほうが有意に多かった(p<0.01)。一方、静脈血の血液ガス分析の結果は、pO₂については2つの群で有意差は認められず、pCO₂について、5% CO₂群のほうが有意に高く(p<0.05)、従って pH についても 5% CO₂群のほうが有意に低かった(p<0.05)。以上のことにより、気泡に含まれる

*東京医科歯科大学医学部公衆衛生学教室

表1 Summary of Effects of CO₂ on Decompression Outcome Reported in Eleven Studies

Study	Year	Subjects	Atmospheric Conditions		Results
			Altitude	Surface	
Snell (1)	1896	human		×	adverse
Margaria et al, (2)	1942	ducks		×	facilitate
Mano et al, (3)	1978	human		×	adverse
Berghase et al, (4)	1978	mice		×	adverse
"	"	rats		×	adverse
Gray et al.	1945	human	×		no difference
Harris et al.	1945	frogs	×		adverse
Hodes et al.	1945	human	×		adverse
Catchpole et al.	1946	rabbits	×		no difference
Smedal et al.	1964	human	×		no difference
Philp	1964	rats	×		adverse

Modified from Berghase et al. (4)

表2 Summary of Present Information on Effects of CO₂ on Decompression Outcome

Site of Observation	Adverse Effects	Study Results No	Facilitative Effect
Surface, 1 ATA	3	0	1
Altitude, < 1 ATA	3	3	0
Total	6	3	1

Modified from Berghase et al. (4)

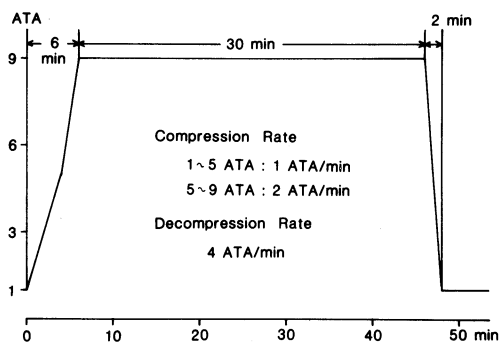


図1 Compression-Decompression Profile

表3 Results

		5% CO ₂ Group	Ventilation Group	
Time from the end of Decompression to Sampling (second)		151.1±36.4	182.1±51.9	*
Bubble Composition (%)	O ₂	11.84±2.58	8.95±2.08	**
	CO ₂	4.76±1.40	4.72±0.91	
	N ₂	83.40±2.70	86.33±2.21	**
Venous Blood	pO ₂ (mmHg)	54.2±9.3	48.0±12.3	
	pCO ₂ (mmHg)	65.3±8.2	58.9±7.2	*
	pH	7.294±0.047	7.328±0.039	*

mean±S.D. n=18 *: p<0.05 **: p<0.01

二酸化炭素の割合は、2つの群で有意差は認められなかったが、減圧終了から気泡採取までの時間が、5% CO₂群では換気群より30秒以上早められた。

考 察

高気圧暴露後、不適切な減圧によって生体内に気泡が形成される場合、生体内にはすでに微小なガス核が存在しているとの考え方が一般的である。このガス核に、血液や組織中に溶解しているガス分子が拡散してくることによって、気泡はどんどん大きく成長することになる。気泡を形成させるためには溶解度の小さいガスほど大きな圧力差が必要であることが知られており、気泡形成には、溶液中のガス分圧よりもむしろガス濃度(gas concentration)が決定的な要因となる。酸素、二酸化炭素、窒素ガスは、溶液中のそれぞれの濃度と、それぞれの拡散性(diffusibility)に応じてガス核中に入りこんでいくが、拡散性(diffusibility)はそれぞれのガスでそれほど大きな違いがないことから、水に対する溶解度の大きい二酸化炭素が気泡形成や成長の初期の段階において重要な役割を果たしている可能性が考えられる(Harrisら⁵⁾)。

今回の我々の実験の結果、5% CO₂群のほうが

気泡採取までの時間が早められたということは、この仮説を支持するものである。

〔参 考 文 献〕

- 1) Snell, EH: Compressed Air Illness. London, HK Lewis, 1896
- 2) Margaria, R, C Talenti, and I Sillani: Sulla possibilita di aeraembolismo negli aviatori. Boll. Soc. Ital. Biol. Sper. 17: 172-173, 1942
- 3) Mano, Y and JS D'Arrigo: Relationship between CO₂ levels and decompression sickness. Implications for disease prevention. Aviat-Space Environ Med, 49 (2): 349-355, 1978
- 4) Berghase, TE, LJ Keating and JM Woolley: Decompression sickness in rats and mice rapidly decompressed after breathing various concentrations of carbon dioxide. In Underwater physiology VI. Proceedings of the sixth symposium on underwater physiology, edited by Schilling, CW, Bethesda, Md, Federation of American Societies for Experimental Biology: 349-354, 1978
- 5) Harris, M, WE Berg, DM Whitaker, VC Twitty, and LR Blinks: Carbon dioxide as a facilitating agent in the initiation and growth of bubbles in animals decompressed to simulated altitudes. J Gen Physiol 28: 225-240, 1945