調査報告

窒素酸素潜水の減圧時間短縮および減圧症 予防効果に関する実験的研究

小 林 浩

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE EFFECTS OF ENRICHED AIR NITROX DIVE ON SHORTENING OF DECOMPRESSION TIME AND REDUCTION OF RISKS OF DECOMPRESSION SICKNESS

Koh KOBAYASHI*

Enriched air nitrox diving has been conducted to shorten decompression time as well as to reduce risks of decompression sickness. Nine volunteer divers served as subjects for nitrox (-a: 60% N₂ and 40% O₂, and -b: 67.5% N₂ and 32.5% O₂) and air chamber dives of 20 m/60 min, 30 m/60 min and 40 m/60 min. Venous gas emboli (VGE) were examined after surfacing in a series of nitrox dives and of air dives to compare the risks of decompression sickness (DCS). Three divers as a group were compressed in a chamber for each dive. Decompression was carried out according to the Norwegian Navy nitrox decompression tables for the nitrox dives, and for the air dives the Japanese Ministry of Labor tables were used. Decompression time was much shorter in nitrox diving than in air dives for the same dive profiles. All of nitrox-a and air divers showed no VGE nor DCS symptoms after surfacing of 20 m dives. In case of 30 m dives, VGE appeared in one diver (33%) without DCS symptoms in nitrox-a dive but no VGE nor DCS in nitrox-b dive, whereas for the same air dives two subjects (66%) had VGE and DCS symptoms. When the depth was increased to 40 m in the nitrox dive, nitrox-b did not show both VGE and DCS, while the air dive showed one VGE and one DCS. These results suggest that the nitrox dive with suitable decompression schedule reduces the risks of DCS as well as shortening decompression obligation.

Key words : diving ; hyperbaric ; bubble ; nitrox ; bends ; Doppler ; decompression sickness ; decompression table

I. は じ め に

潜水作業や高気圧作業では、環境圧力に応じた高圧空気を呼吸するため、吸気中の窒素分圧 (PIN₂) が上昇し、内外の分圧差により体内に窒素が吸収され組織に溶解する。この窒素溶解量は、窒素負荷 (N₂ gas load) とも呼ばれ、潜水深度や作業圧力が高くなり、また在底 (暴露) 時間が長くなるほど大となる。一方、作業を終了し水面もしくは地上に戻ると、PIN₂ が低下し組織溶解窒素の過剰分は、循環、呼吸系を介して外部に排泄される。こ

の際、減圧が急激、かつ過大であると組織溶解窒素は過飽和となり、遂には脈管内もしくは脈管外に気泡を形成し、減圧症の病因となることは Bert 以来よく知られている¹⁾。したがって、減圧症の予防の基本的原理は、潜水深度 (作業圧力) と在底時間 (暴露時間) に基づく、体内の窒素 gas load を考慮し、減圧症の原因となる体内の減圧性気泡を形成しないように減圧することであり、そのために各種の減圧スケジュールが考案され実用に供されてきている²⁾。

ところで、空気使用の場合、潜水深度が大となり在底時間が長くなると、窒素 gas load は必然的に増大し、減圧症予防のために減圧をより緩徐にすることが不可欠となる。減圧の過程は、潜水作業では通常水中で、また高気圧作業は狭い気密室内で行われる。いずれも作業者

* 埼玉医科大学衛生学教室
平成4年11月19日受付

* Department of Hygiene, Saitama Medical School
Received for publication, November 19, 1992

を拘束するので、それが長びくことは作業者らに精神的、肉体的苦痛を与えるのみならず、危害防止の点からも好ましくない。減圧時間を短縮するため、減圧中に純酸素呼吸を行い体内溶解窒素の洗い出しを促進する方法があるが、高圧下での、特に潜水中の酸素の使用は酸素中毒のリスクが大きいので、その使用は制限されている。

減圧時間の短縮を可能にする一つの方法としては、空気よりも酸素濃度の高い窒素酸素混合ガス (enriched air nitrox; 以下 Nitrox と略す) を呼吸ガスとして使用することである³⁻⁵⁾。窒素濃度の相対的低下は、体組織への窒素 gas load を減少させる。この現象は、減圧時間の短縮とともに減圧症の予防に対しても有効であり、この概念に基づき Nitrox 潜水が一部であるが実用化されてきた。しかしながら、Nitrox 潜水の減圧時間短縮および減圧症予防効果を空気潜水の場合と対応して検討した研究は見られない。

こうした観点から、Nitrox と空気をそれぞれ呼吸ガスとして、同一深度/暴露時間の組合せにより、高圧チャンパーによるシミュレーション潜水を行い、被験者の潜水後の減圧症候などの異常所見の有無と、超音波法による血行性気泡の出現の有無をもとにして、減圧症罹患リスクの面から両者を比較し、Nitrox 潜水の効果を検討した。

II. 方 法

1. 被験者

被験者は、実験の目的と内容、方法等について十分に説明し、理解したうえで自発的に協力してくれた9名の健康な男性職業ダイバーであった。各被験者の年齢、体格を Table 1 に示した。なお、1回の潜水において3名が1グループとなり実施した。

2. シミュレーション・チャンパー潜水 (chamber dive)

潜水プロフィールは、港湾潜水作業での基本的な作業形態の深度 20 m から 40 m、在底時間 60 分をもとに、20 m/60 分 (実験 I)、30 m/60 分 (実験 II・III)、および 40 m/60 分 (実験 IV) とした (気圧の単位は潜水深度相当圧として m で表した)。使用した高圧チャンパー (北井製作所製) は、直径 2 m、長さ 4.5 m の主室と副室よりなる最大使用圧力 5.0 kg/cm² ゲージ (潜水深度 50 m 相当) であった。加圧は空気で行い、高圧暴露後 Nitrox 群では Nitrox 用に作成された減圧スケジュールを、空気群では空気潜船用減圧スケジュールに従って減圧した。なお、空気潜水の場合は高圧チャンパー内

Table 1. Physical status of the subjects.

Subjects	Age	Height (cm)	Weight (kg)
A	22	179	75
B	22	166	68
C	20	168	54
D	38	181	65
E	45	162	75
F	30	169	61
G	39	168	70
H	40	166	56
I	25	171	63

雰囲気空気を呼吸したが、Nitrox 潜水では室内設置の全面マスク式呼吸装置を介し、chamber dive の全期間を通して Nitrox 呼吸を行った。さらに、チャンパー内に炭酸ガスが貯留しないように換気は十分に行った。

同一深度条件における Nitrox と空気の組合せにおいては、同一被験者を潜水させることによって、可及的に個体差を排除するようにした。また、30 m/60 分の chamber dive では、Nitrox を2種類使用したので、これらに対応しておのおの異なる被験者の空気潜水を行った。繰返し潜水による体内窒素蓄積の影響を除くため、同一被験者の潜水は 24 時間以上の間隔を置いて実施した。

また、実験にあたり、減圧症が発生した場合には直ちに実験を中止し、酸素再圧治療が実施できる態勢をとった。

3. 呼吸用 Nitrox の組成

潜水や高気圧作業では、呼吸ガス中の酸素分圧の上昇による急性酸素中毒の発症を防ぐため、酸素分圧/暴露時間による安全限界値が設定されている⁶⁾。これにより潜水深度と在底時間による Nitrox 中の酸素濃度の上限が決定される。これらの点を考慮し、本実験での Nitrox の組成は Nitrox 潜水について実績があるノルウェー海軍の基準⁶⁾に従い、潜水深度 20 m では 60% 窒素-40% 酸素 (以下 Nitrox-a とする) を、40 m では 67.5% 窒素-32.5% 酸素 (以下 Nitrox-b とする) を用い、30 m の場合には Nitrox-a、Nitrox-b の2種類を用いた。

4. 減圧スケジュール

Nitrox 潜水に関して、日本では減圧スケジュールに対する規定がないので、ノルウェー海軍で開発された減圧スケジュールを用いた⁶⁾。また比較対照とする空気潜水では、労働省の高気圧作業安全衛生規則、別表第2に

Fig. 1. Chamber dive profiles of Nitrox-a, Nitrox-b and air dives. Solid lines indicate Nitrox decompression tables, and broken lines indicate air decompression tables.

による減圧スケジュール⁷⁾を用いた。両減圧スケジュールを Fig. 1 に示した。

5. 減圧症罹患リスクの評価

被験者の減圧症発症を疑わせる症状や異常所見は、減圧中および減圧後 2 時間まで観察した。減圧により生じる血行性気泡の発現状況は、超音波ドプラー法（以下ドプラー法とする）と超音波断層法（以下断層法とする）による 2 種類の 방법으로、減圧後約 2 時間まで、30 分ごとに検査を行った。ドプラー法では超音波ドプラー気泡検知器（Doppler ultrasonic bubble detector, 5 MHz, Model 1032 H, IAPM, Seattle）を用い、気泡検知方法として一般的に行われる前胸部にて、肺動脈起始部付近の右心で調べた。気泡出現度は、Table 2 に示した Spencer の評価グレード⁸⁾に従った。また、断層法では超音波エコーカメラ（echo camera, 5 MHz, Model 500, Aloka）を用い、M モードおよび B モードで右心室

Table 2. Bubble grades for precordial Doppler signals.

Grade	Description
Zero	No bubbles heard
1	Occasional bubbles
2	Bubbles heard in less than half of the cardiac cycles
3	Bubbles heard during more than half or all cardiac cycles
4	Bubble signal obscures normal heart sounds and is continuous

(Spencer MP, 1974)⁸⁾

Table 3. Bubble grades for two-dimensional detection.

Grade	Description
Zero	No bubbles seen
1	Occasionally bubbles seen
2	Steady flow of a few bubbles
3	Steady flow of many bubbles but countable
4	Bubbles fill ventricle and uncountable

(Eda F, 1987)⁹⁾

内における気泡出現を調べた。その際の気泡出現度は、Table 3 に示した江田の報告の分類⁹⁾に従った。

III. 結 果

実験 I の 20 m/60 分潜水では、Table 4 に示したごとく、Nitrox-a、空気両群ともに減圧症発症の症候は認められず、また、気泡検査においても検知例はなかった。

実験 II と実験 III の 30 m/60 分 Nitrox 潜水では、Table 5 および Table 6 に示したごとく、a, b いずれの Nitrox でも減圧症の発生は見られなかったが、実験 II の Nitrox-a では 1 名に断層法でグレード 2 の気泡の出現があり、それは短時間内にグレード 1 に低下した。一方、空気潜水では、実験 II で被験者 B, C の右前腕部に搔痒感が認められ、被験者 A, C に気泡が検知された。また、実験 III においても被験者 D の全身に、F の上肢および下肢に搔痒感の出現が認められ、被験者 E, F に気泡が検知された。これらの搔痒感は、減圧後 60 分間持続した。

Table 4. Bubble grades and DCS symptoms of experimental group I.

Diving depth : 20 m Bottom time : 60 min							
Breathing gas	Subjects	Bubble detector	After surfacing time (min)				DCS symptoms
			0-30	30-60	60-90	90-120	
Nitrox-a	A	DP	0		0		—
		EC		0	0		
	B	DP	0		0		—
		EC		0	0		
	C	DP	0	0			—
		EC		0	0		
Air	A	DP	0			0	—
		EC		0		0	
	B	DP	0		0		—
		EC		0		0	
	C	DP	0			0	—
		EC		0		0	

DP : Doppler ultrasonic bubble detector, EC : Ultrasonic echo camera, DCS : Decompression sickness.

Table 5. Bubble grades and DCS symptoms of experimental group II.

Diving depth : 30 m Bottom time : 60 min								
Breathing gas	Subjects	Bubble detector	After surfacing time (min)					DCS symptoms
			0-30	30-60	60-90	90-120	120-	
Nitrox-a	A	DP	0	0	0			—
		EC	0	0	0			
	B	DP	0	0	0			—
		EC	0	2	1			
	C	DP	0	0	0			—
		EC	0	0	0			
Air	A	DP	0	0	0	0		—
		EC		0	2	1		
	B	DP	0	0	0		0	Itching
		EC	0		0		0	(r. arm)
	C	DP	0	0	0		0	Itching
		EC		1	1		1	(r. arm)

実験Ⅳの 40 m/60 分 Nitrox 潜水では、酸素中毒発症リスクの観点から酸素濃度 32.5% の Nitrox-b のみを使用した。Table 7 に示したごとく、気泡、減圧症の出現は全被験者に皆無であった。一方、空気潜水では被験者 G の右腕全体に搔痒感が発生し 30 分間持続した。また、気泡検査では同被験者にドブラー法でグレード

4、断層法でグレード 3 の気泡が出現し、減圧後 2 時間経過しても検知された。Fig. 2 に、断層法によって検知された被験者 G の気泡出現例を示した。M モードの断層像に、気泡が顕著に認められる。

実験Ⅰから実験Ⅳの各 chamber dive における気泡出現率と減圧症発生率を、Table 8 に示した。すべての

Table 6. Bubble grades and DCS symptoms of experimental group III.

Diving depth : 30 m Bottom time : 60 min								
Breathing gas	Subjects	Bubble detector	After surfacing time (min)					DCS symptoms
			0-30	30-60	60-90	90-120	120-	
Nitrox-b	D	DP	0	0			0	—
		EC	0	0			0	
	E	DP	0	0			0	—
		EC	0	0			0	
	F	DP	0	0			0	—
		EC	0	0			0	
Air	D	DP	0		0			Itching
		EC		0	0			(whole body)
	E	DP	0		0			—
		EC		1	1			
	F	DP	3		0			Itching
		EC		1		1		(limbs)

Table 7. Bubble grades and DCS symptoms of experimental group IV.

Diving depth : 40 m Bottom time : 60 min								
Breathing gas	Subjects	Bubble detector	After surfacing time (min)					DCS symptoms
			0-30	30-60	60-90	90-120	120-	
Nitrox-b	G	DP	0	0		0		—
		EC		0	0	0		
	H	DP	0	0		0		—
		EC	0		0		0	
	I	DP	0		0	0		—
		EC	0		0		0	
Air	G	DP	4	4		4		Itching
		EC		3	3		3	(r. arm)
	H	DP	0	0		0		—
		EC	0		0		0	
	I	DP	0	0	0			—
		EC	0		0	0		

Nitrox 潜水において、悪心、口唇の攣縮等の酸素中毒を疑わせるような症状はまったく認められなかった。また、本実験で減圧症症状として取り扱った皮膚の掻痒感、再圧治療などの必要のない自然緩解するものであり、それが認められた例においても、症状は 60 分以内に消失した。

IV. 考 察

Nitrox 潜水は、空気よりも酸素濃度の高い窒素酸素混合ガスを用いることによって、潜水時に体内に取り込まれる窒素 gas load を軽減し、減圧症罹患のリスクを増大することなく減圧時間を短縮することを目的とする。

Fig.2. Ultrasonic image of the numerous small bubbles in the right ventricle (RV) after surfacing (Subject G).

Table 8. Bubble appearance and DCS symptoms.

Exp. group	Depth (m)	Bottom time (min)	Breathing gas	T. dec. time (min)	Bubble appearance	DCS symptoms	Subjects
I	20	60	Nitrox-a	2	0/3	0/3	A, B, C
			Air	11	0/3	0/3	
II	30	60	Nitrox-a	10	1/3	0/3	A, B, C
			Air	35	2/3	2/3	
III	30	60	Nitrox-b	30	0/3	0/3	D, E, F
			Air	35	2/3	2/3	
IV	40	60	Nitrox-b	80	0/3	0/3	G, H, I
			Air	127	1/3	1/3	

T. dec. time : Total decompression time.

しかしながら、一方では高い酸素濃度のため、潜水時の急性酸素中毒発症を起こすリスクがある。これを回避するため、一般に Nitrox 潜水では吸気酸素分圧の上昇を最大潜降深度下で 1.6 気圧と規定し、実用範囲は潜水深度 18~35 m 酸素濃度 32~50% としている³⁾。本実験では 15~50 m での実地潜水作業で、Boe ら¹⁰⁾が 4,500 回の潜水で 1 例という低い減圧症発症率を示したノルウ

ェー海軍の開発した Nitrox 減圧スケジュール⁶⁾を用い、潜水深度 20 m, 30 m では 60/40 の Nitrox-a を、潜水深度 30 m, 40 m では 67.5/32.5 の Nitrox-b の 2 種類の Nitrox を用いた。その結果、 PIO_2 は 1.2~1.625 bar の範囲となり、実験 IV の潜水深度 40 m では酸素中毒発症の限界値をわずかに越えるものであったが、酸素中毒の症状はまったく見られなかった。

実験Ⅰの 20 m/60 分潜水において, Nitrox-a および空気潜水のいずれにおいても体内気泡の出現や, 減圧症の発生が認められず, 両減圧スケジュールの減圧症罹患リスクに対する安全性が高いことを示した。なお, Nitrox-a では 20 m の吸気中の窒素分圧より換算した等価空気深度 (equivalent air depth; EAD)⁴⁾ は 13.2 m となり, 空気潜水に比べてはるかに窒素 gas load が低い。その結果, Nitrox-a 潜水では途中の減圧停止を必要とせず, 2 分間の減圧で済むのに対し, 空気潜水では途中 3 m の減圧停止 9 分を含め, 計 11 分と長い減圧を要し, Nitrox 使用による減圧時間短縮の効果があることが知られた。

実験Ⅱの 30 m/60 分の Nitrox-a 潜水と空気潜水では, 気泡発現は Nitrox-a で 3 名中 1 名に断層においてグレード 2 の気泡が認められたが, 次の検査時点ではグレード 1 に低下した。また, 空気潜水では 2 名に断層法で気泡の出現 (グレード 1 および 2) が認められた。双方ともに, ドブラー法では気泡が検知されなかったが, 江田の報告⁹⁾ においても, 断層法がドブラー法より気泡検出率の高いことを実験的に証明しており, 本実験においても同様の現象が見られた。

一方, 空気潜水において, 掻痒感を訴えた被験者 2 名のうち 1 名には気泡の出現を認めなかった。実験Ⅲにおいても空気潜水の被験者のうち 1 名が同様の結果であった。これらは, 減圧後に手首, 軀幹, 頸部等に生じる掻痒感が必ずしも血行性気泡による皮膚血行障害に基づくだけでなく, ドライ環境での高圧暴露時に, 皮膚の汗腺や毛孔から吸収されたガスが, 減圧により局所に気泡を形成するために引き起こされるという説¹⁰⁾ を裏付けていることも考えられる。しかしながら, 掻痒感や発疹などの皮膚症状は, 皮膚型減圧症 (skin bends) として Type 1 減圧症に分類される。また, 実験Ⅱおよび実験Ⅲにおける Nitrox 潜水各群では, 掻痒感の症状が認められなかったことより, 本実験で見られた掻痒感は減圧症とみなした。

さらに, 20 m/60 分の空気潜水減圧スケジュールでは, 減圧時間が 35 分であるのに対し Nitrox-a 潜水では 10 分であり, 減圧症罹患リスクは低かったにもかかわらず, 減圧時間を短縮できることが知られた。

実験Ⅲの 30 m/60 分潜水において, Nitrox-b の潜水では, 全被験者に気泡, 減圧症の出現を認めなかったが, 空気潜水では 3 名中 1 名にドブラー法でグレード 3, 断層法でグレード 1, 他の 1 名は断層法でグレード 1 の気泡の出現が認められた。また, 3 名中 2 名は掻痒感を訴えた。この結果は, 実験Ⅱと同様に Nitrox-b よ

りも長い減圧を要する空気潜水の減圧スケジュールのほうが減圧症罹患リスクの高いことを示していた。

実験Ⅳの 40 m/60 分潜水では, Nitrox-b の潜水において, 気泡はドブラー法, 断層法とも, いずれの被験者にも出現しておらず, また, 減圧症の発生もなかった。一方, 空気潜水では被験者 1 名にのみドブラー法でグレード 4, 断層法でグレード 3 といった高グレードの気泡が出現し掻痒感もあった。同一被験者の Nitrox-b では気泡, 減圧症ともに出現していない。Nitrox-b の潜水における減圧停止段階では, 空気潜水での空気減圧よりも吸気酸素分圧が高い Nitrox を呼吸していることによって, 減圧時の窒素の排泄が促進され, 気泡の出現, 減圧症発症が抑えられたと思われる。さらに, Nitrox-b の減圧時間は 80 分であったのに対し, 空気潜水では 127 分と長い減圧であり, 減圧症の罹患リスクはむしろ高いことが示された。

減圧スケジュールの安全性の評価に関しては, 動物実験による外挿が困難であるため, 諸外国においてもボランティアの被験者に依存しているのが現状である。しかしながら, 被験者を対象とした場合には, 酸素中毒や減圧症等が発生するリスクがあるため, 容易に実施することがきわめて困難であるが, 本実験では安全対策を構ずるとともに, 実験内容を十分に認識し参加を承諾した 9 名の被験者の参加を得られて実施できた。

本実験において Nitrox 潜水は, 空気潜水と比較して減圧時間の効率化, 気泡発現からみた減圧症罹患リスクの減少が認められたが, 現在国内における潜水作業は空気潜水が主流であり, また作業深度もほとんどの場合 20 m 前後の浅深度が中心である。したがって, Nitrox を適切な安全管理の下に, 潜水作業に応用することにより, 潜水作業者の減圧時間短縮が可能となり, 災害発生リスク, 減圧症罹患リスク等の軽減が図れることが示唆された。

V. 要 約

潜水深度 20 m, 30 m および 40 m, 在底時間 60 分とする圧暴露プロフィールにおける chamber dive を行い, 酸素濃度が 40% および 32.5% の窒素-酸素 (Nitrox) 潜水と空気潜水の浮上後の気泡出現率と減圧症罹患率を比較した。

深度 20 m では, 空気潜水および空気潜水の総減圧時間が 11 分に対して 2 分であった 60/40 Nitrox 潜水, いずれも気泡出現例, 減圧症罹患例はなかった。深度 30 m では, 60/40 Nitrox 潜水の総減圧時間は空気潜水の 35 分に対して 10 分としたが, 気泡出現率は Nitrox が

33% (1/3), 空気が 66% (2/3) であり, 減圧症罹患率は Nitrox が 0% (0/3), 空気が 66% (2/3) であった。また, 同一深度における 67.5/32.5 Nitrox 潜水では, 総減圧時間を 30 分としたが, 気泡出現例と減圧症罹患例はなく, これに対する空気潜水では気泡出現率, 減圧症罹患率ともおのおの 66% (2/3) であった。深度 40 m では, 67.5/32.5 Nitrox 潜水の総減圧時間は空気潜水の 127 分に対して 80 分としたが, Nitrox 潜水では気泡出現例と減圧症罹患例はなく, 空気潜水では気泡出現率, 減圧症罹患率ともに 33% (1/3) であった。以上の実験結果から, 潜水深度 20~40 m の範囲では Nitrox を使用することにより, 減圧時間を短縮することが可能であるとともに, 減圧症の予防にも有用であることが知られた。

本論文作成にあたり, 終始 ご指導を賜りました埼玉医科大学衛生学教室, 梨本一郎教授, ならびに後藤與四之助教授, また実験に際しましてご協力いただきました江田文雄博士に深謝いたします。さらに, 実験にご協力いただきました潜水士諸氏および社団法人日本潜水協会に対して深謝いたします。

文 献

- 1) Bert P. Barometric pressure. Translated by Hitchcock MA and Hitchcock FA. Columbus Book Company, 1943, republ. Bethesda: Undersea Medical Society, Inc., 1978, 1055 pp.
- 2) Hempleman HV. History of evolution of decompression procedures. In: Bennett PB, Elliott DH, eds. The physiology and medicine of diving, 3rd ed. London: Bailliere Tindall, 1982: 319-351.
- 3) Hamilton RW, Crosson JD, Hubert WH, eds. Workshop on enriched air nitrox diving. National Undersea Research Program Research Report 89-1. Rockville: NOAA Office of Undersea Research, 1989: 153.
- 4) Miller JW, ed. Mixed gas and oxygen diving. In: NOAA diving manual, 2nd ed. San Pedro: Best Publishing Co., 1979: Section 11.
- 5) Ornhagen H, Hamilton RW. Oxygen enriched air—"nitrox"—in surface oriented diving. FOA report C 50068-5.1. Stockholm: National Defence Research Establishment, 1989: 80.
- 6) Arnzen AJ. Norwegian diving tables. Tables and procedures for diving with air and nitrox as breathing gas. Norwegian Underwater Institute, 1984: 63.
- 7) 労働省労働衛生課編. 高気圧作業安全衛生規則. 潜水士テキスト. 東京: 中央労働災害防止協会, 1989: 第4編, 第3章, 291-300.
- 8) Spencer MP, Johanson DC. Investigation of new principles for human decompression schedules using the doppler ultrasonic blood bubble detector. ONR Technical report No. 0014-73-C-0094. Seattle: Institute of Environmental Medicine and Physiology, 1974.
- 9) 江田文雄. 超音波断層法による減圧性気泡の検知. 埼玉医科大学雑誌 1987; 14: 147-154.
- 10) Boe I, Hartung KH. Employment of the polycom 101 gas mixing unit for divers in a major project in Norway. Dräger Rev 1983; 51: 26-28.
- 11) Francis TJR, Dutka AJ, Hallenbeck JM. Pathophysiology of decompression sickness. In: Bove AA, Davis JC, eds. Diving medicine, 2nd ed. Philadelphia: Saunders, 1990: 170-187.

著者への通信先: 小林 浩, 〒350-04 埼玉県入間郡毛呂山町毛呂本郷 38 埼玉医科大学衛生学教室 Reprint requests to Department of Hygiene, Saitama Medical School, 38 Morohongo, Moroyama, Iruma-gun, Saitama, 350-04 Japan (K. Kobayashi)