

●原 著

スポーツダイビングの潜水プロフィール

小林 浩* 野寺 誠* 後藤與四之* 梨本 一郎*

スポーツダイバーの減圧症のリスクを評価するために、潜水プロフィールと減圧性気泡の調査を行った。潜水プロフィールは、ダイビングの際に潜水記録器をダイバーに携行させて記録し、1日の最終潜水後に、パーソナルコンピュータのフロッピーディスクまたは、テープに保存した。このデータは、その後再生して解析を行った。

潜水深度/時間区分から米国海軍の減圧表により減圧スケジュールを求めた。それらは、実際の減圧プロフィールと比較した。さらにダイバーの減圧性気泡のモニターを浮上後行った。

54日分の潜水プロフィールが43人のダイバーから得られ、個々の潜水の最大潜水深度の範囲は、5~38mであり、潜水時間は20~71分であった。もし、米国海軍減圧表が使用されたならば、54例のうち32例の潜水が減圧を行わなければならないなかった。減圧性気泡は、20人のダイバーのうち8人に検知されたが、減圧症はみられなかった。

キーワード：減圧，減圧表，減圧性気泡，超音波ドプラー法，スポーツダイバー

Dive profiles in sport divers.

Koh Kobayashi, Makoto Nodera, Yoshiyuki Gotoh and Ichiro Nashimoto.
Department of Hygiene, Saitama Medical School.

Dive profiles and the appearance of venous gas emboli (VGE) were investigated in sport divers to evaluate the risk of decompression sickness. Dive profiles were recorded with dive memory recorder which was carried by divers during his/her dives. After the final dive of each day, dive profiles were transferred to a personal computer on shore through interface system and stored permanently on floppy disc or magnetic tape. The stored data were then analyzed to reproduce dive profiles.

Specific decompression schedules were designed from the maximum diving depth and bottom time according to US Navy decompression tables and were compared with actual decompression profiles. Furthermore, divers' VGE were monitored precordially after surfacing.

Fifty four daily dive profiles were obtained from forty three divers. Maximum dive depth of individual dive ranged from 5 to 38 meters and

the bottom time was 20 to 71 minutes. If USN tables were used, thirty two out of fifty four dives should have undergone decompression stops. VGE appeared in eight out of twenty divers. However, no decompression sickness was found.

Keywords :

Decompression, Decompression tables, Venous gas emboli, Ultrasonic Doppler detector, Sport diver

緒 言

現在、わが国における空気潜水は、漁業、港湾土木工事、スポーツなどで広く行われているが、スポーツダイビングを除く商業ベースの潜水では、職業ダイバーの多くがベテランであり、減圧症を含む潜水による健康障害予防等や安全に関する知識は体験を通じて身につけているが、スポーツダイビングにおいては一部のダイバーを除いてこれらの知識はほとんど皆無に等しい状況である。これは、スポーツダイビングでは原則として浮上停止による減圧コントロールを必要としない範囲の深度/在底時間で潜水するような指導方針が普及しているため、潜水障害の対策に関しても

*埼玉医科大学衛生学教室

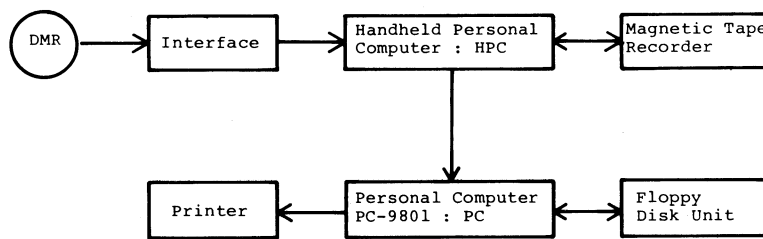


Fig. 1 Block-diagram of diving memory recorder (DMR) system

空気塞栓、鼓膜穿孔などの予防が主眼となっているためである。

また、SCUBA (Self-Contained Underwater Breathing Apparatus: 自給気潜水器) を用いるスポーツダイビングでは潜水深度は、一般に職業潜水よりも浅く、また短時間と考えられてきたが潜水機材などの改良、発達によりアマチュアでも比較的深く、長い潜水が可能となっている。こうしたSCUBAの機能向上により、アマチュアダイバーでも圧暴露条件のより過酷な潜水が容易に行えるようになった結果と思われるが、最近減圧症に罹患もしくは減圧症の疑いにより当教室で受診するスポーツダイバーが職業ダイバーよりも多い現象がみられるようになった。過去に再圧治療を受けたスポーツダイバーの減圧症罹患者は、大部分が趣味で魚突きをするスピーアーフィッシングを目的としたダイバーであり、減圧表を無視した減圧症罹患リスクの高い過大な潜水を行ったダイバーであった¹⁾。しかしながら、この特異な潜水であるスピーアーフィッシングを目的としないレクリエーションのスポーツダイビングにおいても、減圧症罹患者が見受けられるようになった。

そこで、我々はスポーツダイビング（以下スピーアーフィッシングを除く）の実態を調査する目的でスポーツダイビングの潜水プロフィールを記録し、同時に超音波ドプラー法を用いて浮上後のVGE (Venous Gas Emboli) の検査を行った。得られた実際の潜水プロフィールと減圧表とを照合することにより実際のスポーツダイビングが、彼ら自身が唱えている無減圧潜水に該当するか、VGEの出現状況から減圧症罹患のリスクがあるか、また、肺破裂の危険のあるような速度で浮上しているか否かについて検討を行った。

方 法

調査は現在スポーツダイビングの標準的スタイルとなっているダイビングスクールのダイビングツアーに同行して行い、ツアーの行き先は実態を少しでも広く収集できるようにと広範囲にわたった。すなわち東京より日帰りコースの伊豆半島沿岸、1~2泊コースの伊豆諸島、数日間連続して潜水が出来る沖縄諸島のコース、そして潜水専用船による小笠原近海のツアーであった。

潜水プロフィールの記録に使用した装置をFig. 1に示す。ICメモリ式潜水深度記憶器 (Diving Memory Recorder: 以下DMRと略す)²⁾は、データ記録間隔が30秒の固定方式と1~60秒の自動可変方式の2種類を用い、ダイバーの浮力調整具のポケットに収納し、1日の潜水が終了するまで連続的に記録した。記憶されたデータはパーソナルコンピュータに転送し解析して潜水プロフィールを、また浮上速度は高分解能の後者のDMRの記録を解析して得た。

さらに、潜水プロフィールから潜水時間、潜水深度および水面休息時間を求め、これをスポーツダイバーが常用している米国海軍標準空気減圧表³⁾の該当する深度/時間区分と照合して、無減圧潜水の区分に納まるものか否かを判定した。

VGEの検査は、1日の各潜水終了後の1時間以内に超音波ドプラー気泡検知器 (IAPM製 1032 G)によりモニターを約2分間行い、同時にテープレコーダに記録し、後日音響フィルター (リオン社製 SA-33D)を用いて詳細に解析を行い、スペンサーの分類 (Table 1)により評価を行った⁴⁾。

Table 1 Bubble grades of Doppler ultrasound recording

Zero	No bubble heard
Grade I	Occasional bubble
Grade II	Bubbles heard in less than half of the cardiac cycles
Grade III	Bubbles heard during more than half or all cardiac cycles
Grade IV	Bubble signal obscures normal heart sounds and is continuous

結 果

記録できた潜水プロフィールは静岡県伊豆山沖において4例、伊豆海洋公園にて2例、戸田市沖にて3例、伊豆大島にて4例、伊豆神津島にて10例、小笠原近海にて24例そして沖縄座間味島において7例の総計54例であった。また、このうちの20例についてはVGEの検査も行えた。それぞれのダイビングツアーには1~4名のインストラクターが5~10名のダイバーを引率し、数組のパデューを形成して潜水を行っていた。調査対象の被験者のダイバー数は、男性33名、女性10名の総計43名であった。Table 2 に被験者の年齢、身長、体

重および潜水経験年数を示す。

潜水プロフィールから日々の潜水回数についてみると、1日1回の潜水は34例、1日2回の潜水は19例であり、そして夜間に3回目の潜水を行ったものが1例ではあったがみられた。

潜水中の最大深度は、Table 3 に示すように5mから38mと広い範囲にあった。調査者の一人(小林)が潜水中の彼らの行動を直接観察する目的で潜水したところ、ダイバーは海底より少し上方を海底の起伏に沿って移動しながら遊泳していたが、記録された大部分の潜水プロフィールもそれを裏付け、潜水中の深度は時間経過とともに大きく変動していた。潜水プロフィールには最大潜降深度から徐々に浅い深度へ移行しているプロフィールが多いが、逆に浅い深度の地点から更に深い地点に移動しているプロフィールもあり水深の変動については一定のパターンは認められなかった。

“潜水時間”についてみると職業潜水のプロフィール⁵⁾⁶⁾のように、在底と浮上の経過が明確に弁別できるものはほとんどなく、浮上開始の時期が非常に曖昧であった。すなわち Fig. 2 に示すように、Aの深度から海面へ浮上を開始し、浮上の途

Table 2 Physical status and experience of divers

Sub-ject	Age	Sex	Hi (cm)	We (kg)	Exp	Sub-ject	Age	Sex	Hi (cm)	We (kg)	Exp
TU	45	M	174	80	1	MI*	25	M	172	60	5
TO	23	M	171	63	1	MY	26	F	160	49	2
MO	51	M	167	64	1	TT	29	M	169	58	1
KS*	35	M	167	85	9	HS	29	M	167	52	1
MA	39	M	168	51	5	SK	33	M	165	65	1
TS	22	M	180	78	2	TI	31	M	174	68	7
SA	26	M	165	68	6	MY	33	M	178	70	12
TI	34	M	171	53	7	TO	27	M	172	72	3
TS*	31	M	175	85	12	HK	30	M	168	65	8
YS	36	M	173	57	14	MY	25	F	156	45	1
KU	41	M	171	54	4	KK	32	F	160	52	3
NK*	29	M	175	65	8	YN*	40	M	175	60	18
TH	38	M	164	58	8	AI	38	M	173	60	3
HM	27	M	170	53	4	HW	31	M	183	68	6
KT*	35	M	172	85	5	KD*	29	M	178	73	11
SK	31	M	172	67	10	EE	43	F	154	48	1
IW	25	M	158	52	2	MC	22	F	162	46	1
IK	34	M	170	64	1	TK	45	F	156	49	1
MH	23	M	172	58	1	YK	23	F	155	42	1
TM	30	F	155	50	1	SK	23	F	150	50	1
CT	26	F	164	51	2	HI	28	M	170	68	2
KF*	29	M	175	60	5						

M: Male, F: Female, Hi: Height, We: Weight, *: Instructor, Exp: Years of Experience.

Table 3 Calculated decompression schedules from actual diving depth and time

No	Subject	1st Dive		Dec Stp		Inter-val	2nd Dive		Dec Stp		No	Subject	1st Dive		Dec Stp		Inter-val	2nd Dive		Dec Stp				
		Depth (m)	Time (min)	6m	3m		Depth (m)	Time (min)	6m	3m			Depth (m)	Time (min)	6m	3m		Depth (m)	Time (min)	6m	3m	Depth (m)	Time (min)	6m
1	TU	30	29	3	No-D	119	26	41	7	30	28	IW	26	27	No-D	214	26	25	7					
			25	No-D				25	18					14				13						
2	"	21	29	No-D							29	IK	28	27	3	213	28	34	2	24				
			28	"										13	No-D			14						
3	TO	28	30	3	No-D	119	21	41	18		30	MH	26	26	7	155	18	28	2					
			25	No-D				29	8					33	No-D			16						
4	"	10	44	No-D		223	30	25	15		31	TM	25	43	18	144	20	31	14					
			44	"				17	No-D					17	No-D			24						
5	"	28	30	3	No-D	289	21	39	8		32	CT	23	34	No-D	114	21	40	14					
			15	No-D				21	No-D					32	"			28						
6	MO	28	20	No-D							33	KF	20	30	No-D									
			15	"										22	"									
7	"	8	40	No-D		222	36	21	6		34	MI	25	30	No-D									
			40	"				19	6					24	"									
8	KS	20	40	No-D							35	MY	25	36	7									
			28	"										7	"									
9	"	21	32	No-D							36	TT	25	57	17	145	20	40	18					
			20	"										51	17			35	18					
10	MA	18	37	No-D							37	HS	13	71	No-D	138	19	35	14					
			34	"										69	"			33	14					
11	"	38	22	10	No-D						38	SK	15	45	No-D	155	20	40	14					
			14	1	"									34	"			38	8					
12	TS	19	38	No-D							39	TI	13	38	No-D									
			33	"										36	"									
13	"	35	31	5 25	No-D	276	21	23	No-D		40	MY	12	44	No-D									
			22	6	"			18	"					43	"									
14	"	19	28	No-D		223	16	35	No-D		41	TO	10	43	No-D									
			14	"				14	"					42	"									
15	"	26	25	No-D							42	HK	23	21	No-D									
			24	"										18	"									
16	SA	18	38	No-D							43	MY	27	21	No-D									
			36	"										18	"									
17	"	27	31	7	No-D	276	20	24	No-D		44	KK	25	21	No-D									
			23	No-D				14	"					18	"									
18	TI	25	27	No-D		213	8	52	No-D		45	YN	20	26	No-D	204	26	35	18					
			18	"				52	"					22	"			11	No-D					
19	"	32	22	3	No-D						46	AI	22	25	No-D	208	28	32	2	24				
			20	No-D										20	"			13	No-D					
20	TS	21	31	No-D							47	HW	20	26	No-D	209	24	33	10					
			19	"										22	"			11	No-D					
21	YS	30	32	15	No-D	275	16	23	No-D		48	KD	19	46	No-D	145	16	46	14					
			22	No-D				8	"					30	"			43	7					
22	KU	38	27	3 18	No-D	177	28	32	9 28		49	EE	23	37	No-D	157	15	39	No-D					
			20	4	"			16	15					23	"			36	"					
23	NK	35	27	14	No-D	52	31	24	18 36		50	MC	19	44	No-D	148	16	37	7					
			14	No-D				17	2 21					30	"			36	2					
24	TH	35	23	5 25	No-D	180	26	28	25		51	TK	20	45	No-D	148	17	39	7					
			18	2	"			18	7					31	"			36	2					
25	HM	30	30	3	No-D	217	5	59	No-D		52	YK	18	44	No-D	146	16	43	7					
			25	No-D				59	"					29	"			38	2					
	(3rd dive)				No-D	206	10	39	No-D		53	SK	19	48	No-D	145	17	40	7					
					"			39	"					31	"			37	2					
26	KT	21	31	No-D							54	HI	23	49	10	148	16	39	14					
			19	"										22	No-D			35	2					
27	SK	25	26	No-D																				
			18	"																				

Dec stp: Decompression Stops(US Navy), No-D: No-Decompression.

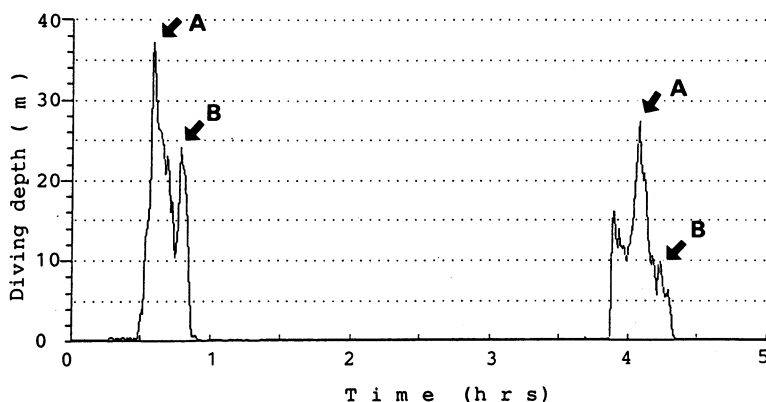


Fig. 2 An example of dive profiles on the sport diver

Table 4 Ascent rate during surfacing
(7 divers.)

No.	Subject	Ascent time(sec)	Ascent depth(m)	Ascent rate(m/min)
48	KD	76	13.4	10.6
49	EE	34	9.2	16.2
50	MC	38	11.8	18.6
51	TK	44	11.8	16.1
52	YK	37	11.0	17.8
53	SK	41	11.8	17.3
54	HI	27	8.8	19.6

中から反転して再びBの深度まで潜降している前述したような潜降と浮上を不規則に繰り返す潜水プロフィールが、スポーツダイビングの特徴であるので、“潜水時間”は減圧表を用いる際に必要な在底時間（潜降開始より浮上開始まで）ではなく浮上完了時点までとした。その結果、延べ54日分の潜水記録中87回の潜水の潜水時間の平均は34分（20～71分）であった。また、繰り返し潜水を行った33例の水面休息時間は平均182分（52～289分）であり、この休息時間に関しても特に一定のルールを見いだす事はできなかった。浮上速度は、Table 3 のNo. 48～54の7例についてのみ得られ、繰り返し潜水2回目のFig 3 に示す様なCの深度からDの深度までの浮上速度を求めた。その結果、Table 4 に示す如く毎分10.6～19.6mの範囲の浮上速度であった。この7人のグループは、海中で同じ行動し、ほぼ同時に浮上したものであったが、この様に個々の浮上の速度は異なっていることが知られた。

つぎに実際のスポーツダイビングが、彼ら自身が唱えている無減圧潜水に該当するものかについて検討をした。まず、減圧スケジュールを求めるときに使う在底時間が前述したように弁別不能なために、在底時間より長い“潜水時間”をこれに当てはめて比較してみた。その結果、米国海軍標準空気減圧表と照合すると54例中32例（59%）の潜水では無減圧の限界を越えていた。しかしながら、上記の比較法では本来の在底時間よりも相当延長されたものから減圧スケジュールを求めているので、窒素の溶解の理論からしてみれば上記の結果は当然良いはずである。そこで、記録された各々の潜水プロフィールについて、Fig. 2 のB点に示すような最終的な浮上となった深度の浮上開始時点までを在底時間として修正してみると、平均26分（8～69分）となり、再度、減圧表に照合してみると19例（35%）のみが無減圧の限界を越える潜水であった。（Table 3，各行の下段の斜字）。

潜水プロフィールを記録した54例の潜水のうち20例について超音波ドプラー気泡検知器によるVGEの検査が実施できた。これらの潜水のプロフィールをFig. 4 と Fig. 5 に示す。図中のG-#は検査時期と気泡グレードである。Fig. 4 は米国海軍標準空気減圧表に適合する潜水プロフィールをまとめたもので7例中3例にVGEを認めた。一方、Fig. 5 は潜水プロフィールから求めた“潜水時間”と潜水深度から米国海軍標準空気減圧表の深度/在底時間の無減圧の限界を越えた例で、本来必要となっていた減圧停止は破線で示した。これらの潜水プロフィールにおいては13例中5例に

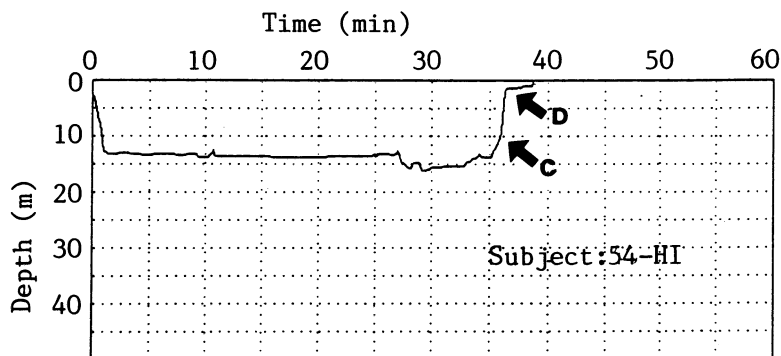


Fig. 3 Calculation of ascent rate during surfacing between C and D

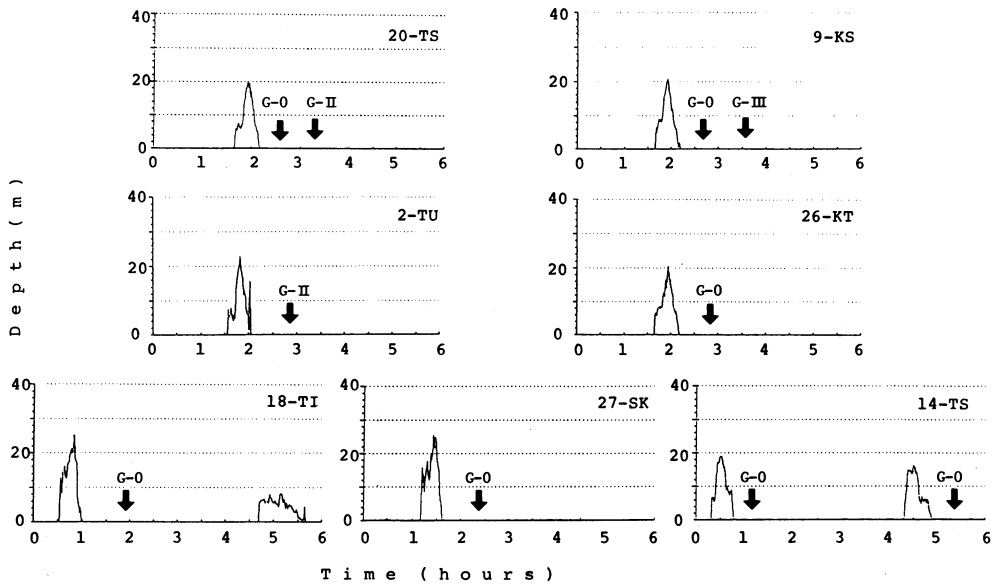


Fig. 4 Daily dive profiles free from necessity of decompression stops (G: Doppler grade)

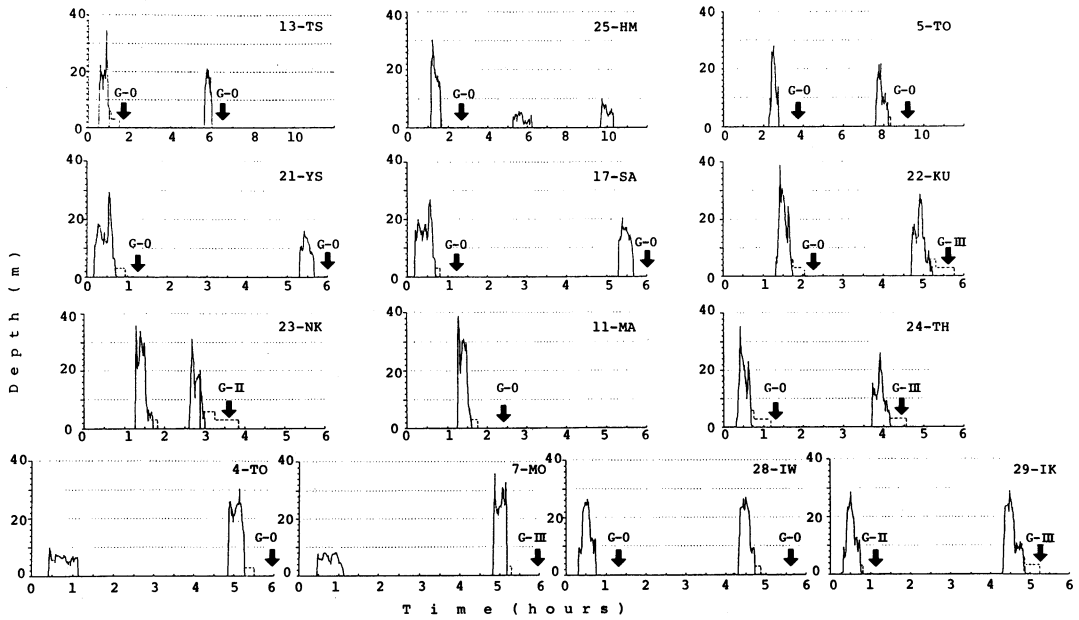


Fig. 5 Comparison of actual decompression profiles with calculated decompression schedules according to US Navy tables (—: Actual dive profiles, ----: US Navy tables, G: Doppler grade)

VGEが検知された。なお、今回の調査においてVGE出現例を含む何れの潜水においても減圧症罹患者はなかった。

考 察

Linaweaverは米国内でのスポーツダイバーの再圧治療数は、職業ダイバーの減圧症等の罹患例よりも多く、実際に報告されていない部分をも含めると、現実にはさらに多くの罹患者がいると報告しているが⁷⁾、日本においても同様に多くの潜在的な潜水障害の罹患者が存在すると思われる。このことは今回得られた潜水プロフィールが、最大深度38mもあり意外と深い潜水を行っていたという事実からも裏付けられたといえよう。

浮上速度については、米海軍の潜水マニュアルでは浮上速度を毎分18mと規定され、スポーツダイバー用に作られた英国のBSAC(British Sub-Aqua Club)減圧表では毎分10mと規定しているが、今回得られた測定値では両者の中間の値である毎分10.6~19.6mであった。しかしながら1例のみがその浮上速度を越えており、肺破裂予防の面からのリスクが高いといえよう。

Fig. 5の潜水プロフィールに見られるように、米海軍標準空気減圧表に照合してみると、約2/3が無減圧の限界を越え、浮上時に必要な減圧コントロールがなされていないにも拘らず減圧症への罹患はなかった。これは、潜水中に一定深度の海底に留まることなく昇降を繰り返すため、減圧表で示される最大深度と“潜水時間”(在底時間)による潜水条件よりも、窒素の溶解が少なくすむことも一因と考えられる。そして、潜水プロフィールの中には、はじめ深く、徐々に浅い深度へ移行していくプロフィールがあるが、この場合溶存窒素の排泄がさらに促進されていることが挙げられる。

また、Fig. 2のプロフィールに示す様に実際の潜水プロフィールを解析する場合、どの深度地点から海面への浮上を開始しているのであるのかの判断が非常に困難であったが、このことは、減圧表による減圧スケジュールの引用を一層困難にしている。

一方、VGEについてみると20例中8例に検知されたが、この中で意外にも1日1回の潜水で、しかも圧暴露状況を米海軍標準空気減圧表に照合

しても減圧症リスクの面からは、安全であると考えられるFig. 4のプロフィールの3例にVGEが検知された。このうち2例は、1回目の検査ではVGEは検知されず2回目の検査でVGEが検知されたものであったが、このような圧暴露負荷が軽いと思われる潜水プロフィールにおいてもVGEが存在したことは、従来から指摘されているように超音波ドプラー法の判定上の困難さ⁸⁾を考慮する必要があると同時に、過去に著者らが行った職業ダイバーやスピアフィッシングのダイバーの減圧症罹患リスクの調査⁹⁾のように、経験の長いダイバーは比較的減圧症に罹りにくい、いわゆる淘汰された者であり、今回の調査のように不特定のダイバーの場合にはVGEがより出現しやすく、さらに減圧症罹患リスクの高い者が含まれている可能性もあり今後の研究課題と考えられる。

本論文は第21回日本高気圧環境医学会総会(1986年、11月博多)において発表したものに、その後収集したデータを加えたものである。

【参 考 文 献】

- 1) 後藤與四之, スポーツダイビングの実態(減圧症に関連して) Vol.6: PP.119-126, 埼玉医科大学雑誌, 1979年
- 2) 後藤與四之, 梨本一郎, 小林浩, 野寺誠, 江田文雄, ICメモリによる潜水データの記録について(統報): PP. 302-303 第56回日本産業衛生学会総会講演集, 1983年
- 3) Navy Department: Air decompression tables, US Navy Diving Manual Vol. 2, NAVSEA 0994-LP-001-9020, 1979, PP. 7, 1-7, 24.
- 4) Spencer, MP. and Johanson DC., Investigation of new principles for human decompression schedules using the doppler ultrasonic blood bubble detector., Technical Report, ONR No 0014-73-C-0094, 1974.
- 5) Nashimoto, I., Kobayashi, K. and Gotoh, Y., An appraisal of dive profiles in shellfish divers with reference to the risk of decompression sickness, In: Proceedings of the 11th EUBS annual meeting, PP. 213-219, 1985.
- 6) Nashimoto, I., Kobayashi, K. and Gotoh, Y., Surface decompression in shellfish diving, In: Proceedings of the 12th EUBS annual meeting, PP. 109-113, 1986.
- 7) Linaweaver. P.G.: Physical standards for diving., edited by Shilling, CW., Carlston, CB. and Mathias, RA. The Physician's Guide to

- Diving Medicine, New York, Plenum press, 1984, PP. 488-492.
- 8) Bayne, C.G., Hunt, W.S., Johanson, D.C., Flynn, E.T. and Weathersby, P.K., Doppler bubble detection and decompression sickness, a prospective clinical trial. 12: PP. 327-332 Undersea Biomedical Research, 1985.
- 9) Kobayashi, K., Gotoh, Y. and Nashimoto, I., An appraisal of dive profiles in sport diving in relation to the risk of decompression sickness. In: Proceedings of the 9th International symposium on Underwater & Hyperbaric Physiology, P. 26, 1986.