

●症例報告

飽和潜水減圧中に発症し浮上までに長時間を要したII型減圧症の1例

池田知純* 水上浩明* 橋本昭夫* 鈴木篤弘*
 佐藤道哉* 清水彰一郎* 伊藤敦之* 大岩弘典*
 濱田 清*

285m 飽和潜水から減圧中、39歳男性の自衛隊潜水員が減圧症に罹患した。最初の症状は、50m で12時間保圧した後に減圧を再開して5時間後の深度45m で出現した。症状は最初の再圧治療にはよく反応したが、減圧再開後再発した。以後減圧速度は軽減され、50m からの浮上に18日間を費やしたにも拘らず、症状は数回出現した。このゆっくりした減圧中に実施した超音波Mモード法による気泡検知では気泡を認めなかった。浮上後の臨床検査所見では中等度の肝機能障害 (GOT は119IU/l, GPT は166IU/l) および肺拡散能 (% DL_{CO}) の89%から64%への減少を認めた。曝露されたUPTDは18日間で3168であった。以上から、1)再圧後の減圧再開に充分時間をとることの重要性、2)一度減圧症に罹患すると、気泡の形成および過飽和度と症状の発現の間には密接な関連はないこと。3)高分圧酸素の曝露時間が長くなるときは一日当り僅かな曝露でも肺酸素中毒を引き起こし得ること等が示唆された。

キーワード：飽和潜水，減圧症，肺酸素中毒

A case of type II decompression sickness requiring prolonged time for surfacing from a saturation dive

Tomosumi Ikeda*, Hiroaki Mizukami*, Akio Hashimoto*, Atsuhiko Suzuki*, Michiya Sato*, Shouichirou Shimizu*, Atsushi Ito*, Hiromichi Oiwa*, Kiyoshi Hamada*

*Maritime Self-Defense Force Undersea Medical Center

A 39 y.o. male active duty saturation diver was hit by decompression sickness (DCS) during the decompression from a 285m saturation dive. The first symptoms appeared at 45m 5 hours after resumption of decompression from the 12 hour pressure hold at 50m. Though the symptoms well responded to the first recompression treatment, they reappeared soon after the resumption of

decompression. Following this episode, the symptoms recurred several times even though the decompression rate was slowed down, taking totally 18 days for surfacing from 50m. No bubbles were detected by the M-mode ultrasonic method during this slow decompression period. Clinical examinations after surfacing showed moderate liver dysfunction (119 IU/l of GOT and 166 IU/l of GPT) and decrease of pulmonary transfer factor from the % DL_{CO} of 89 to 64. Total amount of exposed unit pulmonary toxicity doses of oxygen was 3168 in 18 days. These observations imply that ; 1) it is important to take enough time for resuming decompression after recompression treatment, 2) bubble formation and supersaturation were not closely related to the presence of symptoms once DCS occurred, and 3) very small amount of daily exposure to high oxygen partial pressure may cause pulmonary toxic effects when the exposure duration was extended for a long period of time.

*海上自衛隊潜水医学実験隊

筆頭著者連絡先：自衛隊江田島病院

Keywords :

saturation diving
decompression sickness
pulmonary oxygen toxicity

はじめに

飽和潜水において留意すべき医学的事項は多岐にわたるが¹⁾、その中でも減圧症の予防および発症した場合の適切な治療は避けて通れない重要な課題である。しかしながら、飽和潜水における減圧症の治療については、文献上は若干の記載がなされているとはいえ、我々には経験が乏しいので、基本的には未だに試行錯誤の状態であるといっても過言ではない。今回、飽和潜水減圧中に発症し、浮上までに長時間を要し治療に難渋した症例を経験したので、報告する。

症 例

症例：39歳男子，海上自衛隊飽和潜水員。身長178cm，体重83kg。既往歴：23歳および30歳にI型減圧症に罹患（前者は195ft(59.5m)25分の空気潜水後発症，後者は不明）。家族歴：特記事項なし。

1. 発症および治療経過

患者は実海面で285m 飽和潜水を実施し，大略既報¹⁾に従って減圧中に発症した（図1および図2）。

即ち，平成元年（1989年）11月28日1800潜水を開始し，2日目1349予定深度285mに着底，3日目1045～1111の間深度303mに，4日目0955～1050の間深度304mに，それぞれエクスカージョン潜水を実施した。エクスカージョン終了から約13時間後の5日目0000から，5m毎に階段状に減圧（階段間の減圧速度は1m/分）する英海軍飽和潜水減圧表²⁾³⁾に従って（但し，酸素分圧は英海軍の原法0.42ataと異なって，0.45ataとした）50mまで減圧し，そこで12時間保圧した。第12日目1700から減圧を再開したが，今度は5m毎の減圧幅を半分の2.5mとし，そのかわり各階段における保圧時間を英海軍減圧表の半分として，水面まで減圧を開始した。従って減圧時間は英海軍とほぼ同一になる。なお，この減圧表は筆者らによるものではなくて，飽和潜水を指揮した艦の方針によるもので

ある。

第12日目2140深度45mで(45m着2003)，両方の肩，肘，および膝に，チクチクあるいはジーンとする軽度の痛みを感じたと患者は後で述べているが，この時は症状を訴えないで様子を見ていた。

13日目0100～0400の間睡眠し（40m着0203），0400頃覚醒時に左側頭部および右膝の軽度の痛みを覚え，0431に初めて症状を報告してきた。そこで予定されていた0500の減圧は中止して，0502再加圧を実施し，（45m着0505），0510から0805の間治療ガス（32%酸素含有ヘリウムガス，深度によって適宜変更している）の吸入を行った。なお，以降の治療ガスの吸入およびそれによるUPTD（unit pulmonary toxicity doses）の累積経過を表1に示した。

0705には症状が消失したので，そこで約3時間保圧の後，1000に42.5mまで減圧したところ，1008，両側頭部痛，右肩，左膝の痛みが出現した。1013に45mまで加圧したが，ズキズキとする頭痛が出現し，両肘および両膝の痛みも初発時よりも強度になった。1030，50mまで加圧し，治療ガスを呼吸したところ症状は一時軽快するも，頭痛が増悪しているため，1130さらに55mに加圧した。1400ごろには前述の症状は軽快していたが，軽度の胸部の息苦しさを訴えはじめた。1600頃には，関節および頭部の痛みは著しく軽快して来た。

2日後の第15日目，なお軽度の訴えが存続するため，1208深度75mまで加圧することとし，75mに1248到達した。また，正確な時刻の記録は喪失したが，この日酸素分圧を0.48ataに上昇させた。訴えは以後徐々に軽減してきた。

16日目の昼には症状はほぼ消失し，かつ超音波Mモード法による気泡検知^{4)~6)}でも気泡が認められなかった（この時点以前は気泡検知を実施できなかった），そこからさらに24時間保圧した後，17日目の1200から減圧を再開した。減圧方法は1時間毎に1m階段状に減圧するものとした（階段間の減圧には5分かけた）。

同日の2305深度63mにおいて両肘のジンとする感覚を自覚し，翌18日目0015深度62mにて両肘の痛みおよび頭痛を訴えた。0025気泡検知を実施するも，気泡は認めなかった。0038深度65mまで再加圧を開始し，65mに0044到着した。頭痛は加圧開始直後62.5mにて消失した。0500起床時には，

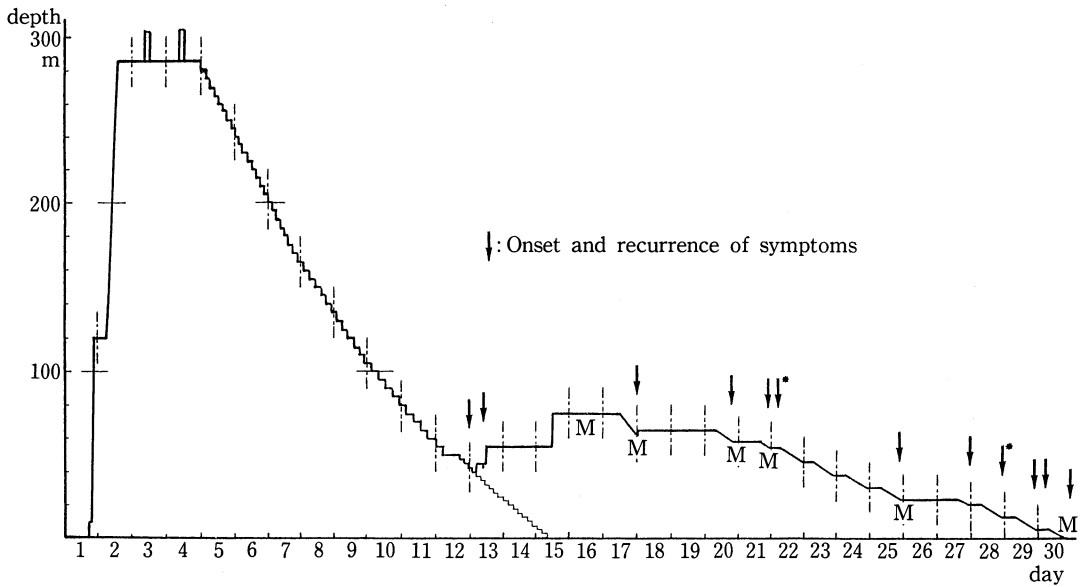


図1 罹患潜水員の潜水プロフィール

図中、矢印は症状の発現した時点を示すが、*印の付いた矢印は、減圧症以外の症状(耳痛)の出現を表す。超音波Mモード法による気泡検知は図中のMで記した箇所で行った。

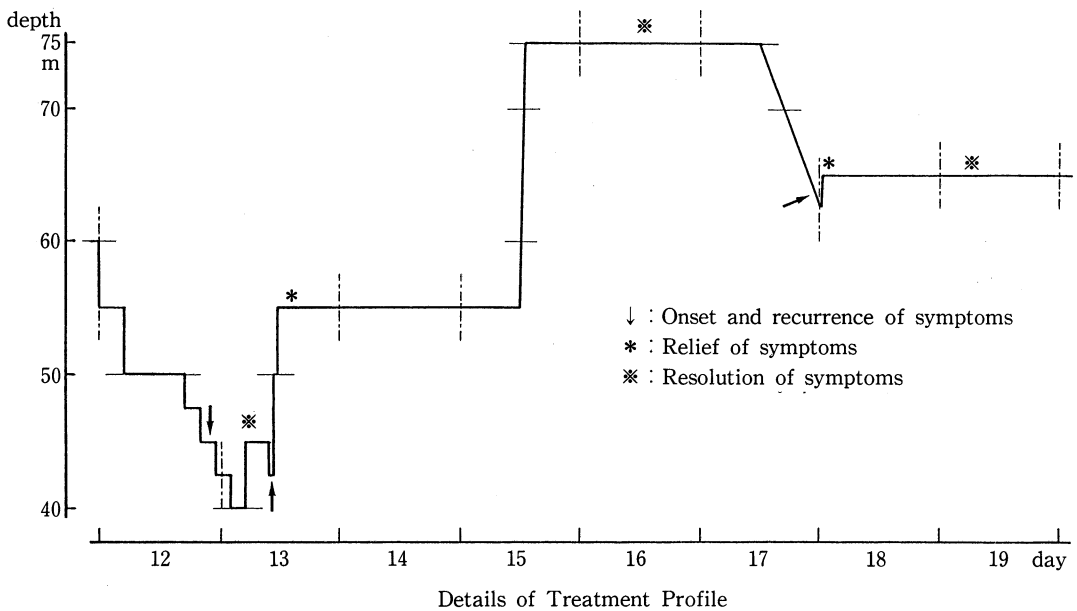


図2 減圧症発症時の詳細プロフィール

両肘の熱感および痛みが存続し、さらには右側頭部のツーンという痛みが再発していた。Prednisoloneを経口投与(35mg/日)するととも

に(なお、ステロイドはこのほか、hydrocortisoneを19日目に600mg、20日目に350mg、21日目に250mg、25日目に250mgを経静脈投与している)、

減圧症に罹患していない他の健康な潜水員を別のDDC (deck decompression chamber: 艦上減圧室)に移動させて、患者を分離し、医官、衛生員、潜水員、計3名を患者のいるDDCに新たに進入させた。

翌朝(19日目)、症状は消失していたため、さらに24時間経過後の20日目朝から毎時0.5mの速度で階段状に覚醒時だけ減圧することとした(階段間は5分間かけて減圧)ところ、1910深度58mにて左肩および右膝の異和感が出現し、減圧を停止した。点滴(低分子デキストラン10%溶液 300ml, hydrocortisone 100mg, ウロキナーゼ 6万単位等)および治療ガスの吸入を行ったところ、2130頃訴えは消失した。

21日目1500から従前どおりの速度で減圧し、深度54.5mで就眠した。翌22日目0426左耳痛を訴え覚醒したが、他覚的には異常を認めず、減圧症とは関係ないと判断し、念のため抗生物質(cephalexin 1g/日)の投与と冷電法を行って、減圧は続行した。2120には耳の症状は消失した。

その後、25日目の2205深度22.5m着まで異常を認めず減圧を続けたが、22.5m着後2210左肩、両肘の異和感が発生し、2215には左肩と右肘の症状は痛みとなったため、報告してきた。気泡は認められなかったが、以降減圧は一時中止した。翌26日目0650左側頭部に軽度の脈打つ痛みを自覚した。1600頃頭痛は消失し、左手に微かなしびれ感を残すのみとなったため、翌27日目1600から2時間に0.5mの速度で減圧を再開した。1600減圧再開時には特に症状を認めなかったが、1930ごろ僅かな頭痛を訴えてきた。しかし、減圧によって特に増悪するものでもないため、その日は20.5mまで減圧した。なお、その頃、頭痛があると言ったりないと言ったり、あるいは顎の裏が気になると訴える等、やや神経過敏の状態であるように見受けられたので、nitrazepam 5mgを就眠前に服用させたところ、翌朝極めて気分が良好であると報告してきた。

28日目からは元の減圧速度(毎時0.5m)としたが、昼頃、実は昨日2000頃から右肘に異和感があったが、減圧によっても増悪しなかったため黙っていたと、述べてきた。1315左右の肘の軽度の異和感が出現してきたと訴えたが、かなりナーバスになっているように見受けられたのと、本人も減

表1 治療ガスによる累積UPTD

day	depth m	PO ₂ ata	min	UPTD
13	45.0	1.76	150	323
13	50.0	1.92	25	59
13	55.0	2.08	125	325
14	55.0	2.08	50	130
14	55.0	2.08	150	391
15	55.0	2.08	75	195
15	75.0	1.70	38	78
20	58.0	2.17	40	109
21	58.0	2.17	75	204
21	55.5	2.09	60	157
26	22.5	1.75	60	128
26	22.5	1.75	60	128
27	22.5	1.75	60	128
27	21.0	1.67	60	121
28	20.0	1.62	20	39
28	19.5	1.59	33	63
28	17.5	2.75	40	140
28	13.5	2.35	60	178
29	12.0	2.20	60	166
29	5.0	1.50	60	106
Total				3168

圧することに同意したので、様子を見ながら減圧を続行することとした。減圧によって両肘の異和感は特に増悪することなく、就眠前に12.5mに達した。2230シャワーを浴びた後、左耳に痛みが出現したが、異常所見はなく、nitrazepam 5mgを服用して就眠し、翌朝には痛みは消失していた。

翌29日目はほぼ順調に減圧できたが、2130深度5.0mにて左肩の熱感が出現したので、当日最後の減圧は見合わせた。就眠前、肩の熱感に加え、左側頭部痛、左肘の異和感が出現し、肩をしきりと動かしては頭をひねる等、ナーバスになっている模様であり、前日と同様、服薬して就眠した。

30日目、起床時、寝不足で頭が重いと訴えたが、他の症状は消失していたので、減圧を再開した。昼過ぎ深度2m頃から、体をしきりに動かし様子を窺っているため、diazepam 10mgを生食500mlに混じて点滴し、以後時々傾眠状態にして減圧を続行した。1630水面着、1800まで艦で経過を観察し、自衛隊病院で診察後、2000頃帰宅した。2200頃、頭痛が出現してきたため、自衛隊病院に入院、

表2 飽和潜水前後の臨床検査結果

項目	潜水前	浮上翌日	浮上1週後	浮上3週後
WBC (/ μ l)	5100	8900	5200	4800
RBC (10^4 / μ l)	498	434	444	451
Hb (g/dl)	15.8	14.1	14.2	14.2
Ht (%)	46.6	39.3	41.1	41.8
Plt (10^4 / μ l)	25.1	21.8	28.4	28.8
TP (g/dl)	7.0	6.0	6.7	7.3
Alb (g/dl)	4.4	3.8	4.3	4.6
GOT (IU/l)	29	119	51	31
GPT (IU/l)	51	166	100	58
LDH (IU/l)	339	278	325	377
ALP (IU/l)	219	380	357	232
Ch-E (IU/ml)	7.2	5.9	6.9	6.7
γ -GTP (IU/l)	54	72	70	57
LAP (IU/l)	64	69	78	64
T-Bil (mg/dl)	0.8	0.5	0.5	0.8
BUN (mg/dl)	14.2	12.8	17.3	15.4
Creat (mg/dl)	1.1	1.2	1.2	1.1
VC (l)	5.35	5.44	5.35	5.49
% VC (%)	129.2	131.4	129.2	132.6
FEV _{1.0} (%)	87.78	87.12	88.24	87.55
TLC (l)	6.78	6.33	-	6.57
RV (l)	1.23	0.88	-	1.08
DL _{co} (ml/min/mmHg)	25.8	22.2	18.4	23.4
% DL _{co} (%)	89.3	77.4	64.1	81.5

diazepam 5 mg を内服して就眠した。翌日、症状は消失しており、退院した。

2. 臨床検査所見

飽和潜水前後の主な臨床検査所見を表2に示す。

一般血液生化学的検査では、白血球の増加、血小板の減少、肝機能の増悪が認められ、肺機能検査では、肺拡散能の低下がみられた。

考 察

近年本邦でも飽和潜水が実用化されるに従って¹⁾、減圧症の発生も散見されるようになり、飽和潜水における減圧症の知見も増加しつつある⁷⁾⁸⁾。しかしなお一例一例から学ぶ点が多い。

今回のように浮上までに長時間を要した例は、飽和潜水が広く行われている欧米においても、筆

者の知る限りでは記録がない。

では、なぜこのように長時間を要したのであろうか。最も考えられることは、減圧症に対処する基準が欧米とは異なっていることが挙げられる。欧米では、減圧時の四肢の軽度の痛みやいわゆる niggles に対しては、これらを減圧症とは見なさず、そのまま減圧するのを常としている模様である⁹⁾。また、飽和潜水中に減圧症として治療した後の症状に関しても、症状が消失しないでそのまま残っていることはよくみられるとの記載もある¹⁰⁾¹¹⁾。

しかしながら、これで果して良いのであろうか。

第一に、骨壊死の問題がある。飽和潜水においては、潜水深度が増すにつれて、骨壊死の発症頻度が上昇し、また、明らかな減圧症に罹患してなくても、骨壊死に罹患し得ることが示されてい

る¹²⁾。我々も、骨壊死とは断定出来ないにせよ、飽和潜水後に、骨シンチグラフィで骨における放射性同位元素の異常取り込み像を呈した例を、経験している¹³⁾。

この骨壊死は、発症機序の詳細は未だ確立されていないものの、減圧の過程と大きく関わっていると考えられる。従って、その予防の為に、適切な減圧が重要であるが、痛みを残したままの減圧で、果して問題はないのであろうか。

次に、気泡の問題がある。最近、卵円孔を通して気泡が左心系に進入することがより重症のII型減圧症の発症に関わっている可能性が示されている¹⁴⁾。とすると、減圧時の気泡も少ない方が望ましいことになり、減圧もより慎重に行う必要がある。

さらに、II型減圧症の治療に於て、症状が消失した後も、脳血流が意外に長期間低下している可能性も示唆されている¹⁵⁾。このことも、飽和潜水中における減圧症の取扱に、より慎重に対処する必要を示すものと言える。

以上から、有症状の場合は減圧しないとした今回の我々の方針が理に合わないということはないと考える。

治療が長時間にわたったもう一つの理由としては、最初の再加圧後の減圧が早すぎた可能性が挙げられる。というのは、最初の再加圧では症状が速やかに消失したのに対し、症状再発後の再加圧では症状が完全に消失するまでに3日間という長い時間を要していることから、長期間の治療になったのは、加圧減圧の繰り返しの間に、再加圧では簡単に症状が消失しないように病変が進行したため、とも解釈できる。我々が範をとった英海軍の飽和潜水のテキスト¹⁶⁾では、再加圧後の減圧開始までに、2時間をとればよいとなっているが、今回の例は、飽和潜水における減圧症の治療後の減圧に際しては、さらに時間を充分にとって行うことが望ましいことを示すものかもしれない。

次に、本例の発症が、50mで12時間保圧した後の、減圧再開後間もなくであったことも、興味深い。

生体内からの不活性ガスの排出が理論どおりであるとすると、この12時間の保圧の間にガスの排出はなおも続けて行われるので、50m以浅のある深度での不活性ガスの過飽和の程度は、12時間保圧したものの方が、保圧しなかったものよりも少

ないことになる。従って、飽和潜水で通常考慮されているヘリウムガスの半減時間から考えると、50mで減圧再開後僅か5時間弱で最初の症状を自覚するという可能性は、少ないはずである。ということは、同一個人においても、飽和潜水における減圧症の発症が、不活性ガスの過飽和度のみから説明される訳ではないことを、本例はあらためて示しているものとも言える。

また、一回症状が再発した後の減圧速度が極めて遅いものであったにも拘らず、なお再々にわたって症状が出現していることも、興味深い。この減圧速度では、明らかに検知できる気泡が血中に出現する可能性は極めて少ないものと考えられ、実際の気泡検知でも、症状は存在するものの、気泡は全く認められなかった。にも拘らず症状が出現していることは、次の2点を示唆する。

一つは、血中に検知される程の明瞭な気泡が出現することが、症状の再発現にとっては必ずしも必要ではない、ということが言える。二つ目は、一度減圧症に罹患すると、減圧症はそれ自身の過程をたどり、そこでは極些細な圧の変動によって症状が惹き起こされる可能性があることである。

以上のこともまた、飽和潜水中の減圧症に対処する場合、充分時間をかけることの重要性を示すものであろう。

また、肺酸素中毒に対する考慮も重要である。

飽和潜水中の治療は、再加圧と並んで、高酸素分圧のガス（治療ガス：英海軍の教範では酸素分圧が1.5～2.5ataのガスを用意している）を吸入させることが、大きな柱となっている¹¹⁾。しかし、0.5ata以上の酸素分圧は肺酸素中毒による障害を惹起し得ると言われており¹⁷⁾、減圧症に対する治療と肺酸素中毒の予防の兼ね合いが求められる。

肺酸素中毒は、従来肺活量の減少を指標として捉えられており、また中毒量を表すものとして、肺活量の減少に基づくUPTDないしCPTD（cumulative unit pulmonary toxicity doses）が広く用いられている¹⁸⁾。しかし、肺活量の減少は鋭敏性に欠ける可能性があり、我々はより鋭敏な指標として、肺拡散能の減少を用いることを提唱してきた¹⁹⁾。

今回の例では、経過を通して18日間に3168 UPTDの酸素を呼吸し、肺拡散能は%DL_{co}でみ

ると、事前の89%から浮上1週間後には64%にまで低下している。その間肺活量の減少は認められなかった。胸部の異和感等の自覚症状は治療ガスを用いた治療開始の当日に既に訴え始めている(第13日目1400時, 707UPTDに曝露後, 胸部が少し息苦しいと訴えている)。

この早期の自覚症状が肺酸素中毒によるものか否かは確定できないが(乾燥ガスの吸入による異和感, あるいは, 治療開始時に前もって肺酸素中毒に罹患するおそれを知らしめていることによる暗示, 等の可能性もある), 減圧終了後の肺拡散能の低下は軽度の肺酸素中毒の存在を示すものであろう。なお, ステロイドは肺酸素中毒を増悪させるので²⁰⁾, 投与に当たっては注意すべきである。

Sterk は, 疲労感, 筋肉や関節の痛み, しびれ感, ふらつき, 頭痛, 吐き気, 胸部症状, 等を指標にして, 酸素曝露実験を行い, 繰り返して高分圧酸素に曝露される場合, 1日当りのUPTDの許容上限は600単位前後であろうとしている²¹⁾。今回の例では, 1日の曝露単位はむらがあるものの平均176UPTDである。それでなお, このような変化を来していることは, 無視できないことであり, 今後飽和潜水中に生じた減圧症の治療に際して, 充分留意しておくべきことを示すのであろう。

次に, 本例で認められた肝機能異常についても触れておかねばならない。飽和潜水後に肝機能が一過性の異常を呈する例が稀ならず認められることは以前より指摘されているところであるが²²⁾²³⁾, 高圧曝露そのものによるものか, 減圧過程によるものか等, その原因機序として確立されたものは未だない。今回の例では, それらに加えて, 加圧前から軽度の肝機能障害を示しており, その病態が増悪した可能性, あるいは減圧中の投薬による薬剤性の肝障害も否定できないが, 充分な検査が不可能であったことから, 原因の断定はできない。しかし, 肝機能障害としてはかなりの程度の変化であるので, 今後とも注意していく必要がある。

最後に無視できないことは, 患者の精神面への配慮である。潜水員は異常環境下でプライベートもなく長時間過ごしているため, ただでさえ受けている身体的精神的ストレスが強いが, 身体に異常を来したときはそれがさらに強くなると思われる。現にこの患者は, 75mまで再加圧された時は

果して水面まで無事上昇できるのかと本当に不安になったと, 後で述べている。加えて, 減圧症の症状には自覚症状だけで他覚症状を欠くことが多いことから, 様々な疑心暗鬼に陥りがちである。例えば, 今回の例では, 減圧しても増悪しなかった耳痛や, 水面近くでみせたしきりと関節を気にする様子等に, それがうかがわれる。

今回は, 患者を他の健康な潜水員から切り離すと共に, 新たに医官等をDDC内に進入させた。このことによって, 患者が他の健康な潜水員に気兼ねせず症状を訴えることができるようになったこと(一緒に再加圧されると, 健康な潜水員の浮上時間も遅くなる), あるいはまた, 耳痛を訴えたときに医官が耳の明らかな異常の有無を確認できなかったければ, 今回のような減圧は出来なかっただろうと思われること, 等の利点が得られた。

おわりに

飽和潜水減圧中に発症し浮上まで長時間を要した1例を呈示し, 治療に当たって留意すべきこと等を記した。

謝 辞

擧筆に当たり, 潜水および治療に携わった関係の諸官に衷心より感謝致します。

(本稿は著者の個人的意見であることを明記する)

【参 考 文 献】

- 1) 池田知純, 鈴木信哉, 清水 健, 四ノ宮成祥, 岡本安裕, 仁田原慶一, 水上浩明, 小此木国明, 小沢浩二, 中林和彦, 橋本昭夫, 山田邦雄, 伊藤敦之, 濱田 清, 大岩弘典, 本邦最初の300m実海面飽和潜水プログラムにおける医学的諸問題, 防衛衛生, 37: 31-41, 1990
- 2) Hennessy TR. Decompression aspect. In: Hempleman HV, ed. Human Physiological Study at 43 Bar. Gosport UK: Admiralty Marine Technology Establishment Physiological Laboratory, 1980, 217-240
- 3) 池田知純, 英国海軍飽和潜水減圧表の発展と展望, 防衛衛生, 35: 501-520, 1988
- 4) 池田知純, 鈴木 卓, 大岩弘典, 江田文夫, 後藤與四之, 梨本一郎, 永江 学, 超音波Mモード法による血中気泡の検知, 医学のあゆみ, 134: 1185-1186, 1985
- 5) Ikeda T, Suzuki S, Okamoto Y, Shimizu K,

- Nitahara K, Hashimoto A. Application of M-mode ultrasonic method to the use in a dive simulation chamber to detect intraventricular microbubbles. In: XIVth Annual Meeting of the European Undersea Biomedical Society on Diving and Hyperbaric Medicine Conference Papers No 29. Aberdeen Scotland:1988
- 6) Ikeda T, Suzuki S, Shimizu K, Okamoto Y, Llewellyn ME. M-mode ultrasonic detection of microbubbles following saturation diving: A case report and proposal for a new grading system. *Aviat Space Environ Med.* 60:166-169, 1989
 - 7) 仁田原慶一, 池田知純, 岡本安裕, 鈴木信哉. 再圧治療中に症状が一時増悪した飽和潜水における減圧症の一例. *産業医学.* 31:444-445, 1989
 - 8) 池田知純. 海上自衛隊の300m実海面飽和潜水計画における減圧と減圧症について, *日本衛生学雑誌.* 46:141, 1991
 - 9) Hjelle JO, Todnem K, Vaernes R, Molvaer OI. Medical problems during deep saturation diving. In: Bitterman N, Lincoln R, eds. Proceedings of the XVth Meeting of the European Undersea Biomedical Society. Israel Navy. 1989, 186-191
 - 10) Berghage TE. Decompression sickness during saturation dives. *Undersea Biomed Res.* 3:387-398, 1976
 - 11) Spaur WH. U.S. Navy incidence and treatment of decompression sickness in saturation diving. In: Hamilton RW, ed. Development of Decompression Procedures for Depth in Excess of 400 Feet. Bethesda MD: Undersea Medical Society, 1976, 211-218
 - 12) Pearson RR, MacLeod MA, McEwan AJB, Houston AS. Bone scintigraphy as an investigative aid for dysbaric osteonecrosis in divers. *J Roy Navy Med Serv.* 68:61-68, 1982
 - 13) 池田知純, 鈴木信哉, 岡本安裕, 水上浩明, 桜井清治, 林 建男. 飽和潜水員における骨病変の進展の予防: 骨シンチグラフィによる経過観察. *産業医学.* 33:254-255, 1991
 - 14) Moon RE, Camporesi EM, Kisslo JA. Patent foramen ovale and decompression sickness in divers. *Lancet.* i:513-514, 1989
 - 15) Adkisson GH, McLeod MA, Hodgson M, Sykes JJW, Smith F, Strack C, Torok Z, Pearson RR. Cerebral perfusion deficits in dysbaric illness. *Lancet.* July 15:119-122, 1989
 - 16) Royal Navy. Deep Dive Procedures. London: 1984
 - 17) Clark JM, Lambertsen CJ. Pulmonary oxygen toxicity: a review. *Am Pharmacol Rev.* 23:37-133, 1971
 - 18) Hamilton RW, Kenyon DJ, Peterson RE, Butler GJ, Beers DM. REPEX: Development of Repetitive Excursions, Surfacing Techniques, and Oxygen Procedures for Habitat Diving. U.S. Department of Commerce National Oceanic and Atmospheric Administration. 1988
 - 19) Suzuki S, Ikeda T, Hashimoto A. Decrease in the single-breath diffusing capacity after saturation dives. *Undersea Biomed. Res.* 18:103-109, 1991
 - 20) 塩谷壽美恵, 太田保世, 山林 一, 辻千鶴子. ステロイド剤投与が肺酸素障害に及ぼす影響の検討. 厚生省「呼吸不全」調査研究班昭和58年度研究業績報告書. pp. 117-121
 - 21) Sterk W, Schrier LM. Effects of intermittent exposure to hyperoxia in operational diving. *Diving and Hyperbaric Medicine, Proceedings of the XIth Meeting of the European Undersea Biomedical Society.* Sweden: National Defense Research Institute, 1985, 123-131
 - 22) Doran GR, Chaudry L, Brubakk AO, Garrard MP. Hyperbaric liver dysfunction in saturation divers. *Undersea Biomed Res.* 12:151-164, 1985
 - 23) 水上浩明, 池田知純, 鈴木信哉, 岡本安裕. 飽和潜水後にみられる血液生化学検査値等の変化-潜水員のべ113名における検討. *産業医学.* 33:252-253, 1991