

●原 著

減圧障害に対する再圧治療表の適用について

鈴木信哉* 新海正晴* 小原一葉* 堂本英治* 橋本昭夫*
重光陽一郎* 大塚八左右* 伊藤敦之* 北村 勉*

減圧障害に対する再圧治療の目的は、1) 気泡の圧縮による血流の回復、2) 気泡の速やかな消滅、3) 障害組織への効率的な酸素の運搬にあるため、治療圧や酸素分圧が高いほど治療効果があることになる。しかし過剰な圧力による治療の場合は余分な不活性ガスが体内に溶け込むため減圧時間が著しく長くなり、また、限度を超えた酸素は中毒を引き起こす。そこで再圧治療表は、それらの不具合を起こさず、最大の治療効果が得られるように作り出されている。減圧障害に対する再圧治療法は、米海軍や英海軍などからマニュアルとして出されており、減圧や酸素の毒性についての基本的な知識があれば使えるようになっている。しかし165feet (海水深度約50m, 絶対圧6気圧) への再加圧や酸素曝露当量が2000UPTDを越す米海軍再圧治療表7への移行などは、潜水医科幹部の指示が必要であるとされている。またマニュアルにあるような治療を実施できる第2種装置は少なく、第1種装置しか選択の余地がない場合でも、マスク装着型の装置でなければ規定の再圧治療は実行できない。

直ちに再圧治療が必要な重症例でなければ、十分治療のできる施設への転送が望まれる。したがって治療可能施設については早急に調査し、地域ごとにネットワーク化する必要がある。重症例については、専門治療について適時適切な助言をもらえる態勢をわが国でも構築する必要がある。

キーワード：減圧症、動脈ガス塞栓症、再圧治療、高気圧酸素治療

Proper application of recompression tables to decompression illness

Shinya Suzuki, Masaharu Shinkai, Ichiyo Ohara, Hideharu Domoto, Akio Hashimoto, Yoichiro Shigemitsu, Hassau Otsuka, Atsushi Ito, Tsutomu Kitamura

Japan Maritime Self-defense Force Undersea Medical Center

The purposes of recompression therapy for decompression illness (DCI) are 1) to compress gas bubbles to a small volume, thus restoring local blood flow, 2) to allow sufficient time for bubble resorption, and 3) to increase blood dissolved oxygen content and thereby oxygen delivery to injured tissues. In general, the higher pressures of recompression and oxygen are used, the better treatment outcome is obtained.

The recompression therapy, however, requires a fairly long decompression time to remove inert gas safely from tissues that is dissolved during compression and bottom phase of the therapy. Exposure to an inap-

propriately high partial pressure of oxygen causes central nervous system (CNS) oxygen toxicity. By taking account these side effects of the recompression therapy, the recompression tables have been designed to obtain better outcomes. The treatment manuals for decompression illness are issued from U.S. Navy and Royal Navy. Although the manuals could be effectively utilized if one has basic knowledge of decompression and oxygen toxicity, a diving medical officer should be consulted in the case of recompression to 165 feet (50 meters of seawater of 6 atmospheres absolute) or a shift to U.S. Navy Treatment Table 7 whose unit pulmonary oxygen toxic dose (UPTD) exceeds 2000.

In Japan, there are not so many facilities equipped with a multiplace treatment chamber. If there is no other choice but to use a monoplace chamber without an oxygen breathing system, it is impossible to use U.S. Navy treatment tables because they require oxygen breathing and air break. If an immediate recompression treatment is considered unnecessary, the patient should be transported to a nearest facility equipped with a multiplace treatment chamber for accomplishing U.S. Navy treatment tables.

It is urgent to investigate the certified facilities for DCI recompression treatment and to form a network to cover all areas of Japan. For the case of severe DCI, a

*海上自衛隊潜水医学実験隊

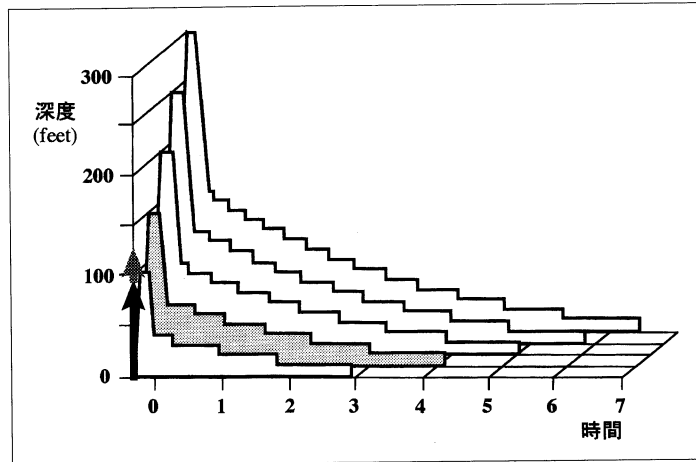


図1 米海軍標準再圧治療表1~4ができる前の空気再圧治療表⁸⁾
 症状寛解深度(図中の実線矢印)より更に1気圧加えて(ドット矢印)
 30分間空気再圧治療し、その後の減圧は、次に深い深度の減圧スケジュー
 ルを適用する。図の場合、手前から2つ目の減圧スケジュールとなる。

consulting system using the network could be structured for the special treatment.

Keywords :

decompression sickness
 arterial gas embolism
 recompression therapy
 hyperbaric oxygen therapy

はじめに

減圧障害に対する再圧治療については、米海軍ダイビングマニュアル¹⁾を主流としてほぼ確立されているが、日本においては必ずしもそのマニュアルを十分活用していないように思われる^{2)~5)}。本稿では米海軍における再圧治療表が作成された過程を通して適切な治療表について紹介するとともに、日本における治療の現状と問題点について述べる。

初期の米海軍再圧治療表

Workman⁶⁾によると、減圧障害に対する再圧治療の目的は、迅速な症候の消失と再発防止にあり、この目的を達成するために、気泡を短時間で縮小させ、減圧時には気泡を再拡大させず、新たな気泡も作らないように、再圧治療表が作成され

なければならないとされている。

以上の考えのもと、米海軍では再圧治療表が作られ、1924年にはじめて標準化された再圧治療表が米海軍ダイビングマニュアルに掲載された⁷⁾。その治療スケジュールは45psi(ポンド/インチ²)すなわち約100ft(海水深度約30m)に速やかに空気加圧し、著明な改善がみられなければ60psiまで再加圧し、症状が消失したら直ちに減圧を開始するもので、治療時間は5時間近くかかるものであった。また別な治療法として、症状寛解深度より更に1気圧加えて30分間空気再圧治療し、その後の減圧は、次に深い深度の減圧スケジュール(図1)を適用⁸⁾するもので、そのスケジュールは、最も飽和の遅い組織が治療深度に完全に平衡状態になったと仮定して計算されたものであった。

しかし、減圧症患者を治療するのに空気減圧表を適用させることが疑問視され、より減圧を安全にするため、1939年までに60ft以浅での酸素呼吸が採用されるようになった。1937年にBehnkeとShawが酸素を使用した再圧治療表を作成したが、米海軍では正式採用とはなっていない⁷⁾。この治療法を参考として、1944年に165ftまでの空気加圧と100%酸素呼吸による治療表が作成され、Long O₂ Table(図2)として発表されている⁷⁾。しかしながら、健常潜水員によるトライアルで、

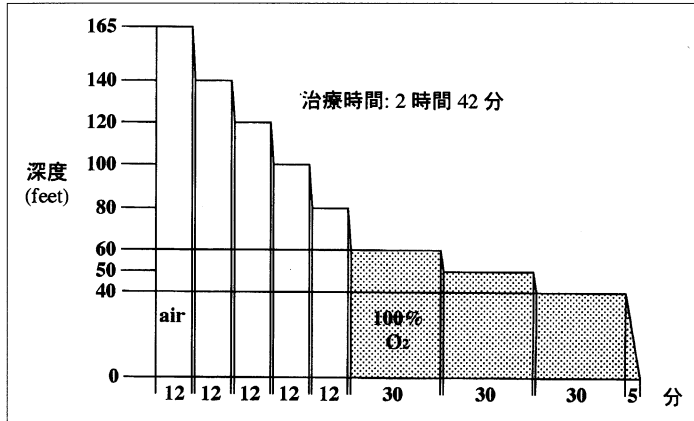


図2 米海軍Long O₂ table, 1944⁷⁾

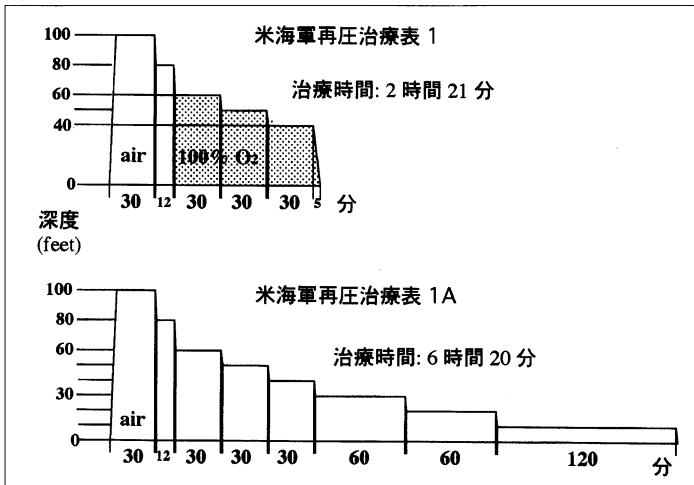


図3 米海軍再圧治療表1,1A⁹⁾

この治療表は、疼痛のみの症例に適用し、再圧を開始して66ft以下で疼痛が寛解する場合に使用する。治療表1Aは酸素が使えないときに使用する。

作業潜水後10人中6人に減圧症を引き起こすことがわかり、部隊からも50%の再発報告を受け、改良が加えられて米海軍再圧治療表1から4⁹⁾がVan Der Aueらにより作り出されている⁷⁾(図3～5)。

米海軍再圧治療表1～4の治療成績不安定の原因

米海軍再圧治療表は1940年代に標準化されて以来1960年代までの20年にわたり、全世界で使用されていた。表1¹⁰⁾はその治療成績の一部で、初回治療の不成功率を示している。1940年代から50

年代にかけては、大部分が海軍ダイバーに対する治療成績であり、ほぼ良好なものであったが、自給気式潜水呼吸器具(スクーバ)が民間のレジャーダイバーに普及しはじめ、海軍の治療施設で民間患者を受け入れるようになった1960年頃からは、治療成績が悪くなっている。特に1963年に治療表3及び4で治療した62の症例のうち、29例は初回治療に失敗している。この治療失敗例は、すべて民間ダイバーであり、米海軍ダイバーではみられていない⁶⁾。この海軍ダイバーとレジャーダイバーとの間の治療成績の差についてWorkman⁶⁾

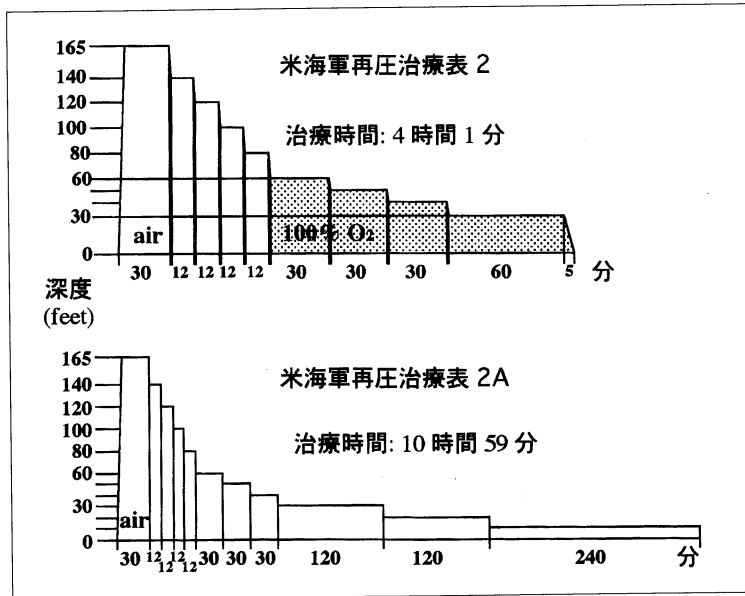


図 4 米海軍再圧治療表 2, 2A⁹⁾

疼痛のみの症例に適用するが、再圧開始して66ft以深で疼痛が寛解する場合に使用する。165ft, 30分以内に疼痛が改善しない場合、ほぼ減圧症ではないと判断し、そのまま治療表 2 または 2A に従い減圧する。治療表 2A は酸素が使えないときに使用する。

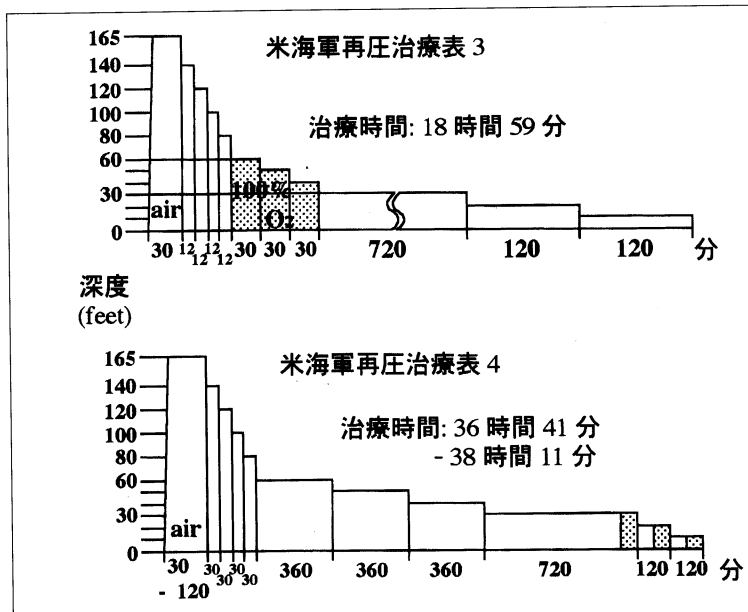


図 5 米海軍再圧治療表 3, 4⁹⁾

意識消失、痙攣、上肢または下肢の筋力低下等の症候を呈する重症例に適用し、165ft, 30分以内に症候消失する場合は治療表 3 を使用し、165ft, 30分経過しても症候残る場合には、治療表 4 を使用する。

表 1 米海軍再圧治療表 1~4 の治療不成功率¹⁰⁾

年	治療表 1~4 (全て) (1088例)	3・4
1946	5.3%	5.6%
1947~1955	8.7%	16.1%
1956~1959	26.3%	34.6%
1960~1961	14.2%	25.4%
1962	14.9%	26.1%
1963	21.9%	46.4%
1964	26.7%	47.1%

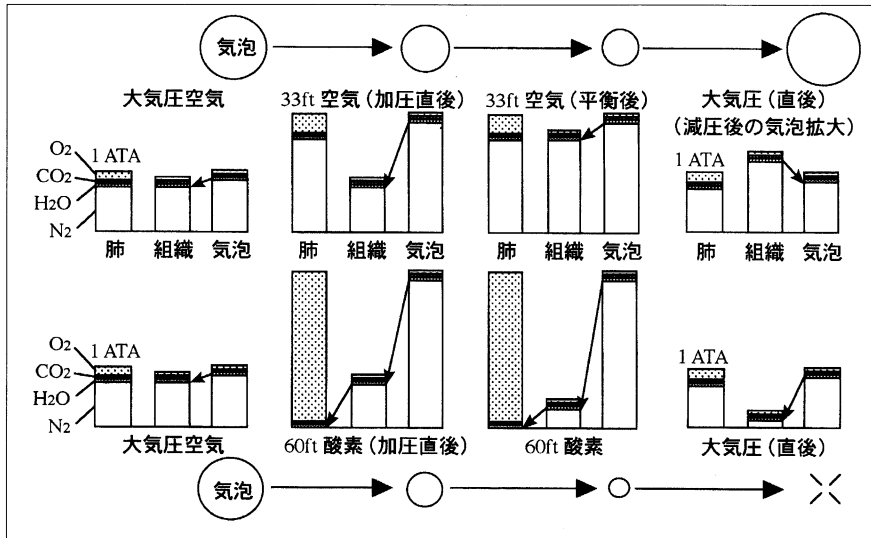


図 6 Oxygen Window (文献11) から一部改変)

は、海軍の場合、潜水現場に再圧治療タンクを持っていくため、迅速な診断と再圧治療が可能であること、また、ダイビングマニュアルに従った適切な減圧をしていることが治療成績良好の要因であり、一方のレジャーダイビングでは、著しく不適切な減圧があるうえ、潜水場所が再圧治療施設から遠く、治療開始までに時間がかかるということが成績不良の原因であるとしている。

空気再圧治療と治療開始時間

空気による高い治療圧は、気泡を物理的に小さくすることによる治療効果がある代わりに、余分な不活性ガス（この場合窒素ガス）が体内に溶け込むという不具合を生じさせる。治療開始が遅れ

ると障害を受けた組織は、虚血・浮腫・血栓により障害が広範で重度となり固定する。それらの障害部位では、循環不全状態となっているために不活性ガスの排出が阻害され、減圧期に再発、更には増悪することとなる。空気による再圧治療は、次に説明する oxygen window の理論により非効率的であることがわかる。

Oxygen Window

体内に取り込まれた組織中の酸素は代謝により二酸化炭素へ変換されるが、二酸化炭素は酸素よりも溶解度が20倍以上良い¹²⁾ため、気泡と組織との間で気泡を消失させるための圧較差が生じる。これを oxygen window という。Vann¹¹⁾は、

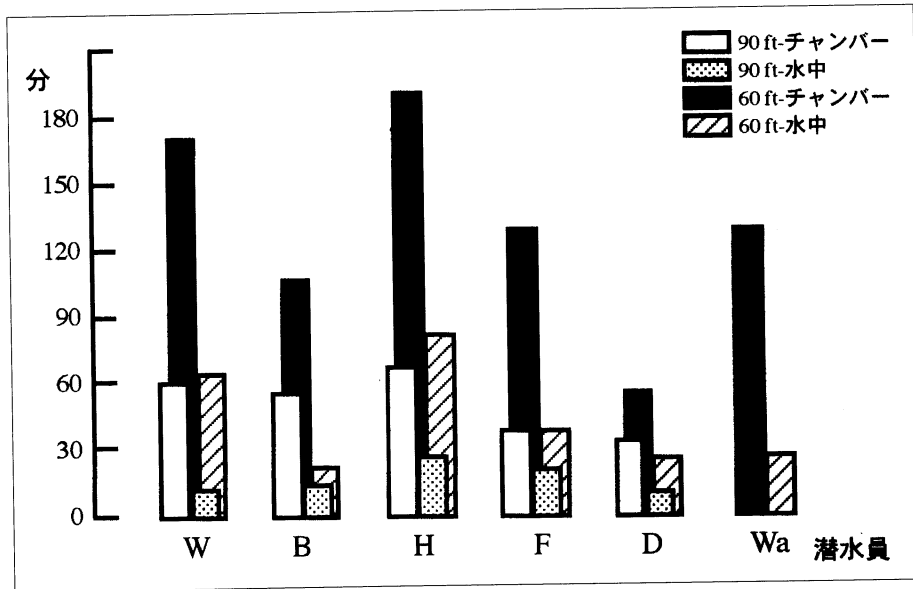


図7 中枢神経系の酸素中毒症状が出るまでの時間（安静時）¹³⁾

このoxygen windowの変化で気泡の消長を説明している。

図6の上段左は、大気圧空気の状態であるが、組織の総ガス分圧は酸素が二酸化炭素に変換された分59mmHgほど肺内のガスよりも低くなる。表面張力や組織の弾性を無視すると気泡内のガス分圧は、組織内ガス分圧よりも同じ分だけ高く、不活性ガスは組織へと移り、緩徐ではあるが気泡は小さくなって行く。これが空気で33ftに加圧した直後では、図の上段左から2つ目に示すとおり気泡と組織の圧較差が広がり、気泡の消退傾向は加速される。しかし、時間が経つと組織のガス分圧が上昇し、消退傾向は時間と共に減速する。次に組織の不活性ガス分圧が上昇した状態で大気圧まで減圧すると、組織から気泡へ不活性ガスが移動し、気泡は再拡大する。障害部位において血流が阻害されている場合には、不活性ガスは、主として気泡へと移ることとなる。これが、空気による再圧治療で減圧時に症候が悪化する理由である。

一方再圧治療が酸素により行われた場合（図6下段）には、加圧後の圧較差oxygen windowは飛躍的に大きくなる。更に組織からの不活性ガスは、時間とともに体外へ排泄され、圧較差は増大し、気泡の縮小化が促進される。また高分圧酸素によ

り、障害組織の近傍の低酸素状態が解除され、障害は改善されていくことになる。

減圧障害に対する再圧治療の目的

空気による再圧治療の反省をもとにoxygen windowが飛躍的に拡大する酸素呼吸を取り入れることで、再圧治療は

- 1) 気泡の圧縮による血流の回復
- 2) 気泡の速やかな消滅
- 3) 障害組織への効率的な酸素の運搬

を目的として酸素による再圧治療表が1960年代にGoodmanら¹⁰⁾により考案されることとなった。

経験的な試行錯誤による治療テーブルの考案¹⁰⁾

酸素による再圧治療表を開発する上で懸案となる項目は、適度な酸素分圧と治療時間であった。

高い酸素分圧は治療効果がある一方で酸素中毒を引き起こすという不具合点がある。図7¹³⁾は、60ftと90ftで純酸素を吸入したときの、中枢神経系の酸素中毒症状発現までの時間を安静状態の潜水員について見たものである。いずれも水中で酸素を吸入するよりもドライのチャンパー内で酸素を吸入する方が中毒症状の発現までの時間が3倍前後長くなり、60ftの場合短いものでも60分近く

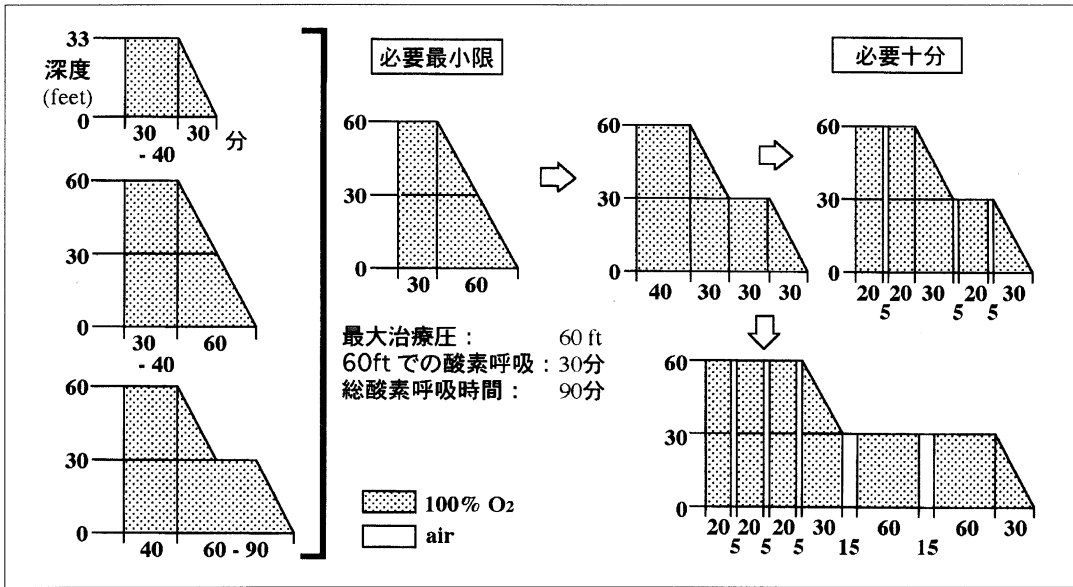


図8 治療テーブルの開発

は症状の発現はない。しかし、個人差があり、かなりのばらつきがある。そこでGoodmanは、酸素分圧として治療効果が最大限得られる安全な酸素分圧の検討をしている。60ft相当圧の2.8から3 ATAについて21分から120分までの範囲で吸入した1649例の中で、酸素中毒症状が見られたのは15例、0.91%、痙攣まで見られたのはわずか6例、0.36%であり、治療に用いるのに許容範囲内の酸素分圧であると判断している。

また、短時間の空気呼吸を入れる (air break) ことにより酸素中毒発現時間を延長させることができる¹⁴⁾ので、さらに安全な酸素の使用方法として酸素と空気の交互の呼吸を取り入れている。

一方、Dartfordトンネル工事中に起きた重症の減圧症の治療成功例¹⁵⁾から、3つの基本的な治療方針を取り入れている。それは、症状の消失がみられる最少圧で治療し、症状の消失後30分間はその圧にとどまり、その後は緩やかに減圧するというものである。これはDartford tunnel criteriaとして、治療表作成作業の基本となっている。

治療テーブルの開発 (図8)

Goodman¹⁰⁾は深度や時間をかえた純酸素による治療を行い、統計学的処理により必要最小限の

治療表を導き出している。適切な最大治療圧は、60ftであり、その深度で30分間治療し、総酸素呼吸時間は、90分という治療スケジュールである。これから必要十分な治療表として、酸素中毒予防のためのair breakを間に入れ、治療時間が1.5倍と3倍の治療表を考案し、それぞれ米海軍再圧治療表5及び6となっている。

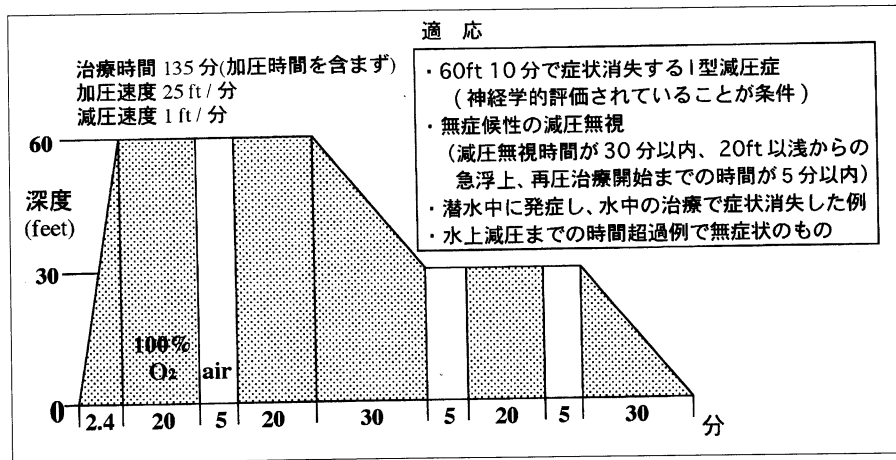
米海軍再圧治療表5

米海軍再圧治療表5 (図9)¹⁾は、治療時間がGoodmanの必要最小限治療表の1.5倍の時間になっている。症状消失後30分間はその治療圧にとどまるというDartford tunnel criteriaを踏襲し、60ftに再圧後10分以内に症状が消失したものは、5分間のair breakをはさんで更に合計30分間の酸素呼吸をして減圧を開始するものである。また、criteriaという「緩やかに減圧する」については、毎分1 footで減圧するとしている。

治療表5は、I型減圧症に使用されるが、神経学的異常所見がない場合にのみ限定されるので、神経学的に評価されていないときには使えない。

その他の適応としては、

1) 20ft以浅からの上昇で減圧無視はあるが無症候性の場合

図9 米海軍再圧治療表5¹⁾

- 2) 20ft以深からの急上昇でも、減圧無視時間が30分未満で無症候性の場合
- 3) 潜水中に発症し水中の治療で症状が消失した場合
- 4) 水上減圧で再加圧時間が超過しているが無症候性の場合となる。

加圧速度は25ft/分であり、不必要な不活性ガスを吸入しないように、必ず酸素呼吸しながら加圧する。減圧速度は1ft/分であるが、減圧が遅かった場合は時間調整してはならない。反対に減圧が早かった場合には減圧停止して時間調整しなければならない。60ftにおける酸素吸入時間は、60ft到着時から始まる。即ち、加圧時間は酸素吸入時間に含まない。中枢神経系酸素中毒により酸素呼吸を中断する場合は、症状が消失し15分経過後、酸素吸入中断地点から治療表を再開する。60ftで酸素呼吸を中止しなければならない場合は、30ftに達した時点で治療表6に移行する。

治療装置内のテンダー（看護師）は、テンダー自身の減圧症発症を予防するため、30ft保圧中と30ftから大気圧までの減圧中の計1時間100%酸素を吸入しなければならない。

米海軍再圧治療表6

米海軍再圧治療表6（図10）¹⁾は、治療時間がGoodmanの必要最小限治療表の3倍の時間になっている。

治療表6の適応は、再圧深度60ftにおいて10分で症状が消失しない、もしくは神経学的評価がなされていないI型減圧症、60ftの再圧に反応するII型減圧症もしくは動脈ガス塞栓症などとなっている。

加圧速度は25ft/分であり、不必要な不活性ガスを吸入しないように、必ず酸素呼吸しながら加圧する。減圧速度は1ft/分であるが、減圧するのが遅かった場合は時間調整してはならない。反対に減圧が早かった場合には減圧停止して時間調整しなければならない。60ftにおける酸素吸入時間は、60ft到着時から始まる。即ち、加圧時間は酸素吸入時間に含まない。中枢神経系酸素中毒により酸素呼吸を中断する場合は、症状が消失し15分経過後、酸素吸入中断地点から治療表を再開する。

60ftにおいて、酸素呼吸20分及び空気呼吸5分の計25分間の治療を2回まで追加でき、更に30ftにおいて酸素呼吸60分及び空気呼吸15分の計75分間の治療を2回まで追加可能である。もしくは30ftのみの治療追加も可能である。

治療装置内のテンダーは、テンダー自身の減圧症発症を予防するため、

- 1) 治療表の延長がない場合もしくは60ftか30ftで1回の延長があった場合：30ft保圧中の最後の30分と30ftから大気圧までの減圧中の計60分間100%酸素の吸入をしなければならない。
- 2) 2回の延長があった場合：30ft保圧中の最後の

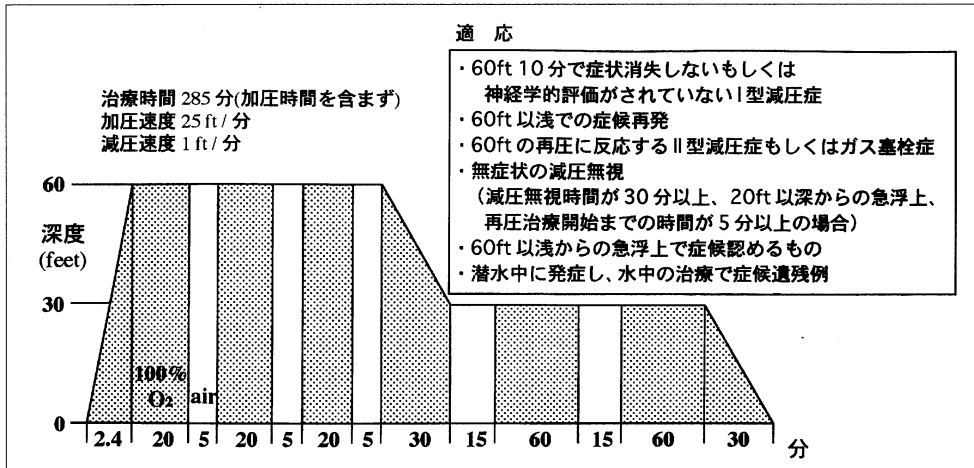


図10 米海軍再圧治療表 6¹⁾

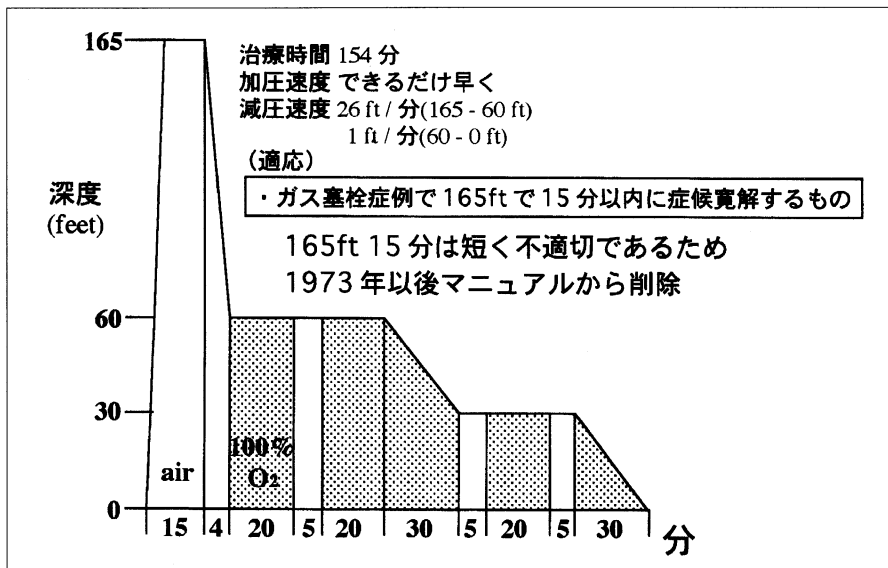


図11 米海軍再圧治療表 5A¹⁶⁾

60分と30分から大気圧までの減圧中の計90分間100%酸素の吸入をしなければならない。

3) テンダーが治療開始前12時間以内に高気圧環境に曝露されている場合：30ftでの100%酸素吸入をさらに60分間加える。

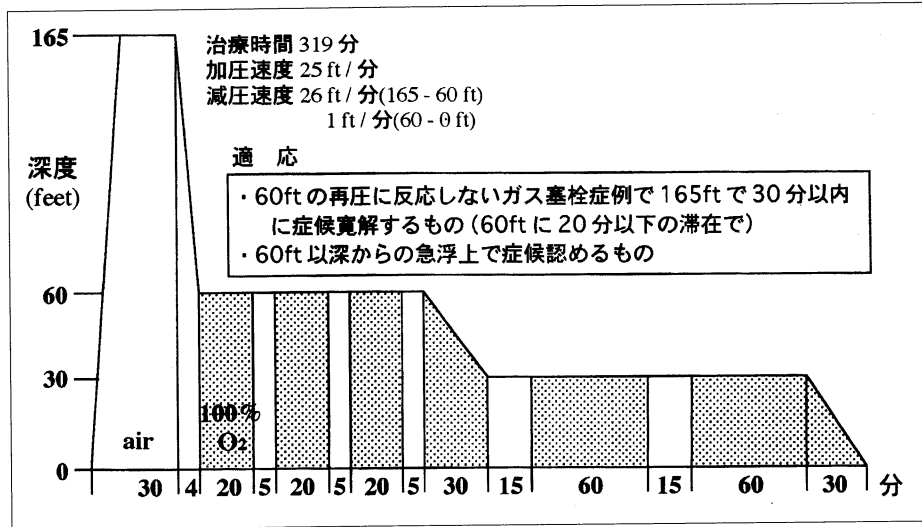
米海軍再圧治療表 5 A

動脈ガス塞栓症に対しては、1967年にWaiteにより米海軍再圧治療表 5 A(図11)¹⁶⁾ 及び6 Aが考

案されたが、165ftで15分以内に症候が寛解するものに使用するとした治療表 5 Aは、165ftにおける15分の治療時間は短く、いかなる場合も不適切であるという理由から、1973年以降米海軍ダイビングマニュアルから削除されている⁷⁾。

米海軍再圧治療表 6 A

治療表 6 A(図12)¹⁾ は、60ftの再圧に反応しない動脈ガス塞栓症で、165ftで30分以内に症候が

図12 米海軍再圧治療表 6A¹⁾

寛解するものに適用され、また、60ft以深から急速浮上した後に神経学的症候が認められるものにも使用される。

加圧速度は25ft/分であり、加圧時間は165ftの滞底時間に含まれる。

治療表は165ftへの加圧から始まっているが、60ftで初期治療がなされた場合には、165ftへの加圧前に20分までは60ftで様子を見ることができ、165ft加圧前の60ftにおいて20分以上経過している場合には、165ftから60ftに戻った時点で治療表7に移行する。

空気よりも高い酸素濃度の窒素酸素混合ガスを使える治療装置がある場合には、潜水医学専門の医師（米海軍ダイビングマニュアルでは潜水医科幹部）の指示により、165ft及びこれ以下の深度で窒素酸素混合ガスを使用することができる。

中枢神経系酸素中毒により酸素呼吸を中断する場合は、症状が消失し15分経ったあと、酸素吸入中断地点から治療表を再開する。

165ftから60ftに減圧した後は、治療表6のガイドラインに沿って治療する。治療表6と同様に60ft及び／又は30ftでの延長が可能である。165ftで症候が完全に消失しても60ftに減圧後に軽微な症候がでる（綿密な神経学的評価で）ことがある。この場合には60ft及び30ftでの治療延長により対応することになる。もし完全に消失した症候が再

発したり、新たな症候が出現したりした場合には、再加圧が必要ことがある。米海軍ダイビングマニュアルには治療方法の記載があるが、症例により高度な判断を要するので潜水医学専門の医師に相談するのが望ましい。もし165ftで30分以内に症候が完全に消失しなければ、治療表4に移行するが、この場合はできる限り潜水医学専門の医師に相談しなければならない。

治療装置内のテンダーは、テンダー自身の減圧症発症を予防するため、30ft保圧中の最後の60分と30ftから大気圧までの減圧中の計90分間100%酸素を吸入する。もし、テンダーが治療開始前12時間以内に高気圧環境に曝露されている場合は、30ftでの100%酸素吸入をさらに60分間加える。

米海軍再圧治療表 7

その後、1985年に米海軍再圧治療表7（図13）¹⁷⁾が出され、適応としてⅡ型減圧症もしくは動脈ガス塞栓症で60ftでの治療が引き続き必要な症例、または60ftの再圧に反応しない動脈ガス塞栓症例で165ftで30分以内に症候寛解するが、165ftに上げる前の最初の60ftの再圧・保圧に20分以上かかった場合となっている。しかし、この治療表については、治療が長時間に及ぶために治療維持のための人員及び労力が必要であることや長時間の酸素吸入（2000 UPTDを越える¹⁸⁾）による肺酸素中

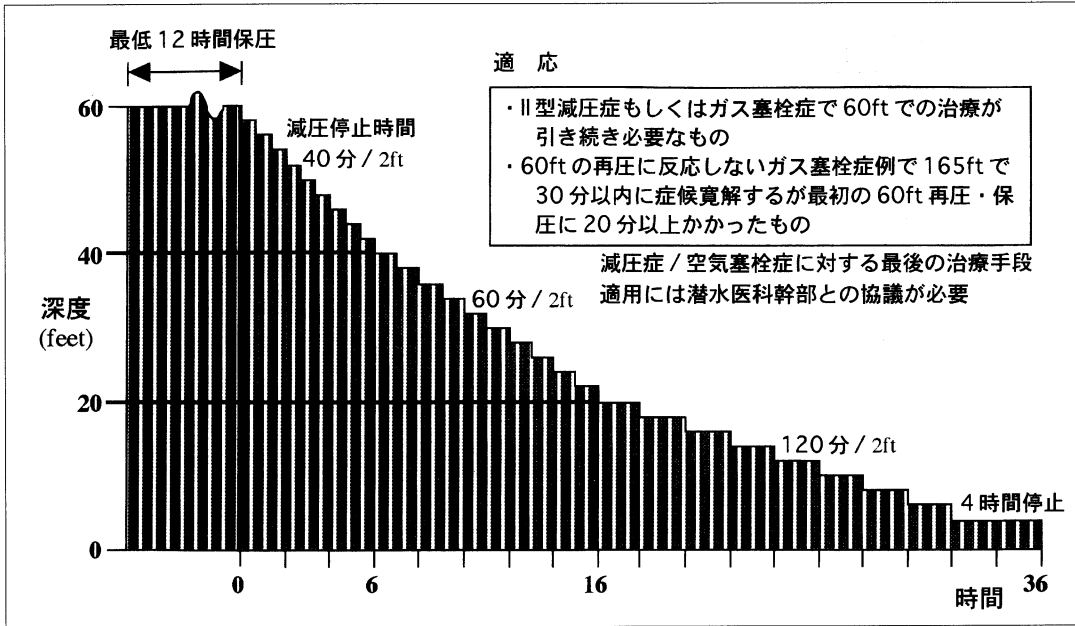


図13 米海軍再圧治療表 7¹⁾

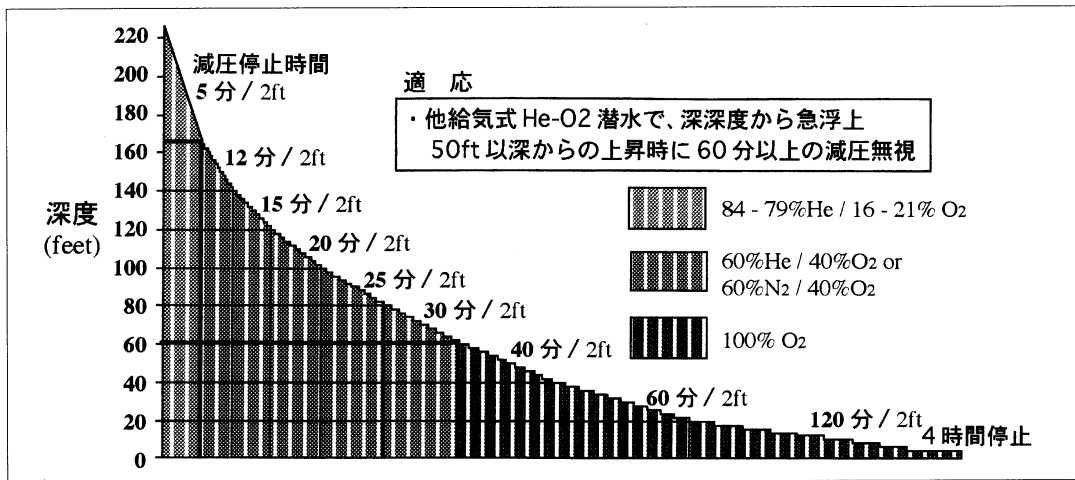


図14 米海軍再圧治療表 8¹⁾

毒が無視できなくなることから、使用にあたってかなりの制限がある。

の場合とされている。

米海軍再圧治療表 8

減圧障害の治療マニュアル (図15, 16)

1993年に米海軍再圧治療表 8 (図14)¹⁾ が掲載されているが、適応としてヘリウム酸素混合ガスを使用した他給気式潜水で、深深度から急浮上 (50ft以深からの上昇時に60分以上の減圧無視)

米海軍ダイビングマニュアルは、再圧治療専門の医師が不在でも、減圧や酸素の毒性についての基礎知識があればほとんどの減圧障害に対応できるように作られている。

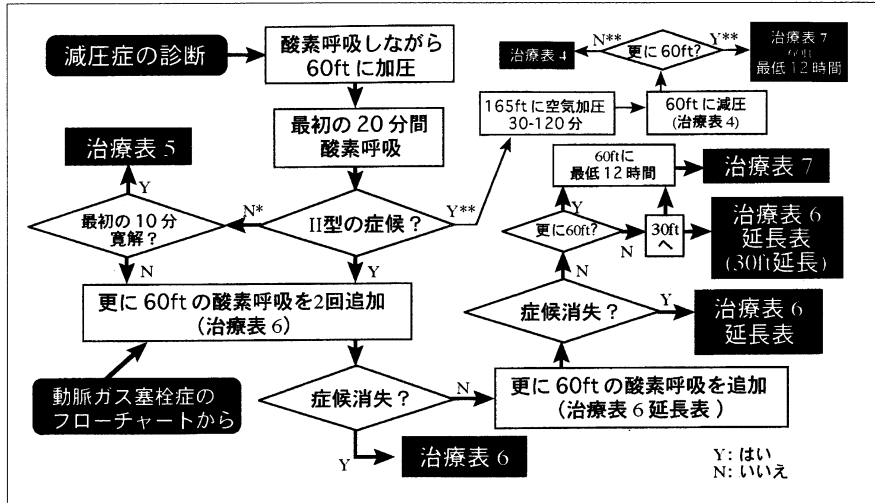


図15 減圧症の治療マニュアル¹⁸⁾

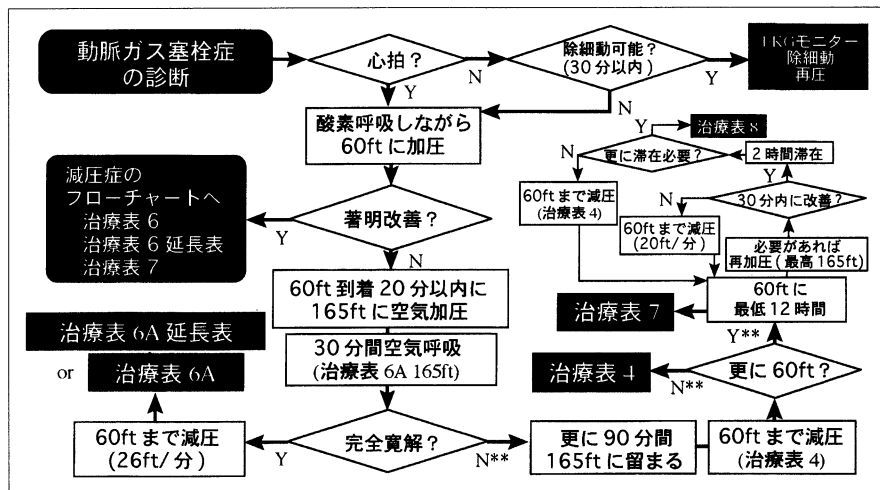


図16 動脈血ガス塞栓症の治療マニュアル¹⁸⁾

減圧症の場合は、まず酸素を吸入しながら60ftに加圧し、最初の20分間を酸素呼吸する。この時点までに神経学的な評価を行い、手足のしびれを含めたII型の症候があれば治療表6以降に進み、II型の症候がなく60ftで治療を開始して10分以内に寛解する場合は、治療表5となる。ここで(図15*)注意が必要なのは、正確な神経学的な評価が行われていることが条件で、そうでなければ治療表6以降に進むことになる。

米海軍ダイビングマニュアルでは、治療表5の

適応について時間的要素は特に触れられてはいないが、レジャーダイバーの多くは来院までかなりの時間が経っているので、四肢の疼痛のみの症例であっても最初の10分で症状が消失することは少なく、マニュアルに従えば大部分が治療表6以降になってしまう。それで治療開始が遅れた患者には、最初から治療表6で治療を開始する医師もいる。

治療表4あるいは7へ移るとき(図15**, 図16*)には、必ず潜水医学専門の医師(米海軍ダイビングマニュアルでは潜水医科幹部)の意見を求

表2 米海軍再圧治療表5,6の治療成績⁷⁾

報告者	症例数	完治	著効
Workman, 1968 ⁶⁾	150	84.7%	95.3%
Erde & Edmonds, 1975 ²¹⁾	106	81.0%	
Gray, 1984 ²²⁾	812	81.0%	94.0%

表3 第2種装置保有施設で使用している再圧治療表

第2種装置 (multiplace chamber) : 53施設、57基*
42施設にアンケート (1998.6) (複数回答有り)

治療表 (マニュアル)	施設数
米海軍ダイビングマニュアル	: 23
DAN JAPAN治療参考マニュアル	: 9
日本高気圧環境医学会治療指針	: 4
治療不可	: 4 (施設撤去2含む)
未回答	: 4

*高気圧酸素治療安全協会1997.7から

表4 第1種装置保有施設で使用している再圧治療表

第1種装置 (monoplace chamber) : 564施設、758基*
30施設にアンケート (1998.6) 治療受け入れ可能: 17施設 (複数回答有り)

酸素供給法	治療表 (マニュアル)			
	米海軍	DAN JAPAN	日高圧医学会	未回答
マスク (リザーバーなし) : 3	0	3	0	0
マスク (リザーバーあり) : 5	3	1	0	2
純酸素加圧方式のみ : 6	1	2	1	2
未回答 : 3	1	0	1	1

*高気圧酸素治療安全協会1997.7から

めなければならない。図16は、動脈ガス塞栓症の場合のフローチャートである。1993年に改訂された米海軍ダイビングマニュアル¹⁾の改善点は、一気に165ftに加圧するのではなく、60ftにまず加圧して著明な改善が得られた場合には、減圧症治療のフローチャートへ進むところである。

なお英海軍ダイビングマニュアル²⁰⁾では、発症から5時間経過したものは、165ftへの加圧を行わないと明記されている。

米海軍再圧治療表5,6の治療成績

表2は、治療表5及び6が出てからの治療成績であるが、80%以上が初期治療に成功している^{6) 21) 22)}。

日本における減圧障害治療の現状 (multiplace chamber)

日本の減圧障害治療の現状について、1998年6月に第2種装置をもつ53の再圧治療施設のうちの42施設にアンケートを実施した結果は、表3に示

すとおりである。

治療マニュアルとして米海軍ダイビングマニュアルを使用しているのは、23施設の53%にとどまっており、DAN JAPAN治療参考マニュアル³⁾を使用している施設は9施設の21%である。このマニュアルは、減圧症治療に165ftまでの空気加圧をする米海軍再圧治療表5A (米海軍ダイビングマニュアルから1973年以降削除されている) 及び6Aの使用を推奨している。前述の1960年代の事例から、過大な不活性ガスを負荷するこれらの治療表を治療開始まで時間がかかるレジャーダイバーに使用すると、治療に失敗する確率は重症例ほど高くなるものと予想される。また、米海軍ダイビングマニュアルで治療していると回答した施設の中には、現在のマニュアルには掲載されていない治療表2や治療表5Aを使用しているといった施設もあり、最新版の米海軍ダイビングマニュアルが正しく使われているかどうかについても不明な点がある。

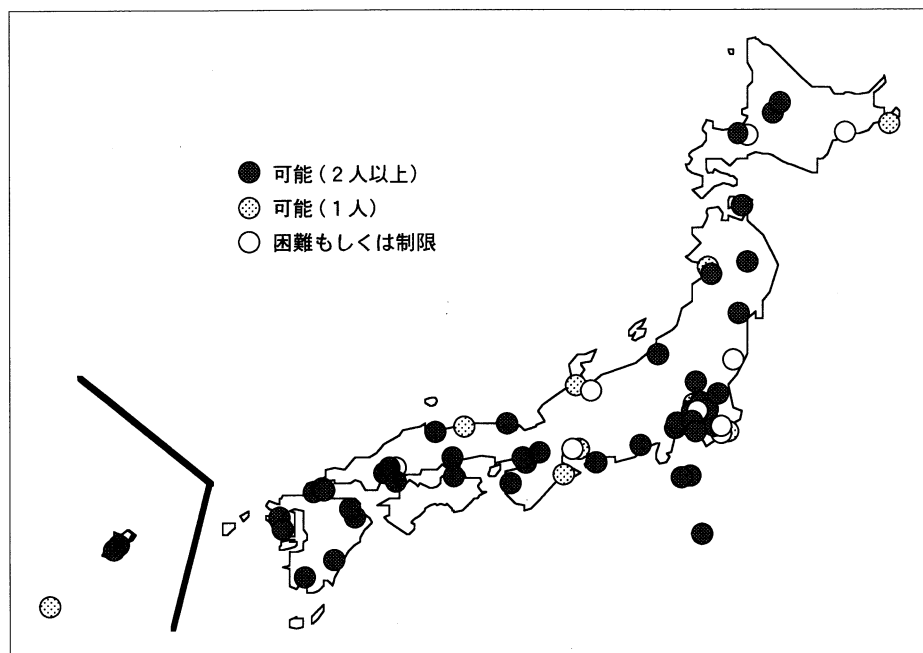


図17 減圧障害治療受け入れ可能施設

問題点としては、第2種装置の分布に地域の偏りがあり、北海道・東北・日本海側・中部に少ない。また治療装置の点検・修理中や年末年始の受け入れ態勢について治療施設間の治療ネットワークを構築する必要がある。

日本高気圧環境医学会治療指針に従うとした施設は4施設9.5%であるが、ゲージ圧1 kg/cm²で1時間保圧し、毎分8 mの速度で減圧する方法については、米海軍再圧治療表5及び6が開発された当時のGoodmanの必要最小限の治療表を満たしていないので、不十分な治療になるものと考えらる。

なお、DAN JAPAN治療参考マニュアルは、1999年5月に改訂²³⁾され、減圧症に対する治療として165ftまでの空気加圧を取り止め、米海軍ダイビングマニュアルに大筋で準拠した形となっている。

日本における減圧障害治療の現状 (monoplace chamber)

一方、第1種装置をもつ30施設にアンケートを送り、減圧障害の治療が可能と回答いただいた17施設について、使用されている治療表を表4に示す。純酸素加圧方式のみの施設は、6施設あり、純酸素の連続吸入による減圧障害の治療が実施さ

れることとなっている。

第1種装置による治療が制限されている理由に酸素中毒その他の緊急事態発生時の対処が困難であることがあげられる。特に純酸素加圧型では、酸素中毒を予防するair breakを入れることができないので、米海軍再圧治療表5及び6が使用不可能であり、十分な治療効果を得ることができない。したがって第1種治療装置の適応は、近くに第2種装置がない場合に限られる。

しかし今回のアンケートで治療可能と回答のあった施設(図17)を地図上でみると地域により施設の偏りがあり、必ずしも第2種装置で十分な治療が実施できる態勢ではないことがわかる。したがって、これから医療サイドがとる対応としては、治療のできる施設間での連絡を密にして減圧障害の患者を最奇りの適切に治療の実施できる施設に紹介したり、治療困難な重症例が発生した場合には専門的な治療情報が適宜得られるネットワークを構築することが必要である。更にレジャーダイバー自身についても、適切に潜水を行うような教

育を受け、減圧障害が出た場合、どの治療施設へ受診するか潜水前に計画を立てることも重要であると考えられる。

おわりに

本稿では、最新版の米海軍ダイビングマニュアルを適切に使用することの重要性と日本における治療の現状について述べた。

米海軍再圧治療表は、経験的な試行錯誤により完成しているが、減圧や酸素の毒性についての基礎知識があればほとんどの減圧障害に対応できるように作られている。しかし、重症もしくは難治症例の場合、特に治療表6A、4、7、を適用する場合には潜水医学専門の医師の意見が必要であり、また治療可能施設の分布にも偏りがあることから、治療施設間において適切な治療情報の交換が必要と考えられる。この度、日本レジャー安全・振興協会が、潜水事故に関する診療調査表(減圧症障害報告書:DIRF)を作成し、全国の再圧医療機関に調査の協力を依頼している。その調査内容は分析検討され、医療現場にフィードバックされると期待される。各医療機関が積極的にこの機会を利用し、日本でも適切な減圧障害治療が普及することを切望する。

謝辞: アンケートにご協力いただいた再圧治療施設に深謝申し上げます。

本稿は、第33回日本高気圧環境医学会総会シンポジウム「レジャーダイビングの安全性」において発表した。

【参 考 文 献】

- 1) U.S. Navy Diving Manual Volume 1 (Air Diving) . Revision 3, Naval Sea Systems Command Publication NAVSEA 0927-LP-001-9010. February 1993 (Available through Best Publishing Co., Flagstaff, AZ.)
- 2) 日本圧気技術協会安全対策委員会: 圧気工事の安全施工マニュアル, 東京, 日本圧気技術協会, 1997, 195-202
- 3) 日本海洋レジャー安全・振興協会: 減圧症治療参考マニュアル, 東京, 1992
- 4) 労働省安全衛生部労働衛生課: 新潜水士テキスト, 東京, 中央労働災害防止協会, 1996, 257-265
- 5) 小濱啓次編著: 救急マニュアル; 救急初療から救命処置まで—第2版, 東京, 医学書院, 1991, 730
- 6) Workman RD: Treatment of Bends with Oxygen at High Pressure, *Aerospace Medicine* 39 (10): 1968, 1076-1083
- 7) Thalmann ED: Principles of U.S. Navy recompression treatments for decompression sickness. 45th Workshop of UHMS, 1996, 75-95
- 8) U.S. Navy Diving Manual. Navy Department Bureau of Ships. Washington D.C., U.S. Government Printing Office, 1943
- 9) U.S. Navy Diving Manual. Navy Department, Washington D.C., NAVSHIPS 250-538. U.S. Government Printing Office, July 1963
- 10) Goodman WM: Minimal-recompression, oxygenbreathing method for the therapy of decompression sickness. In *Underwater Physiology 3rd. Symposium*, Baltimore, Williams and Wilkins, 1967, 165-181
- 11) Vann RD: Mechanisms and risks of decompression. In *Diving Medicine 2nd. Ed. A. Bove & J. Davis*, W.B. Philadelphia, Saunders, 1990, 30-33
- 12) 国立天文台編: 気体の水に対する溶解度. 理科年表, 東京, 丸善, 1996, 453-454
- 13) Donald KW: Oxygen and the diver. Harley Swan, U.K., The SPA Ltd., 1992
- 14) Lambertsen CJ: Respiratory and circulatory actions of high oxygen pressure. In *Underwater Physiology Symposium*, National Academy of Sciences-National Research Council, Washington, D.C., 1955, 25-38
- 15) Golding FC, Griffith P, Hemplemann HV, Paton WDM, and Walder DN: Decompression sickness during construction of the Dartford tunnel. *Brit. J. Industr. Med.* 17: 167-180, 1960
- 16) U.S. Navy Diving Manual. Navy Department, Washington D.C., NAVSHIPS 0994-001-9010. U.S. Government Printing Office, March. 1970
- 17) U.S. Navy Diving Manual Volume 1 (Air Diving) . Revision 1, Naval Sea Systems Command Publication NAVSEA 0994-LP-001-9010. June 1985
- 18) Ito M, Domoto H, Tadano Y, Ito A: Three cases of spinal decompression sickness treated by U.S. Navy treatment table 7. *Aviation Space and Environmental Medicine* 70(2): 141-5, 1999
- 19) U.S. Navy Diver's Handbook. Flagstaff, Best Publishing Company, September 1995
- 20) Diving Manual BR 2806. London: Ministry of

- Defence, Director of Naval Warfare, June 1987, 8-39.
- 21) Erde A and Edmonds C : Decompression sickness : a clinical series. J. Occ. Med. 17 (5) : 324-328, 1975
- 22) Gray CG : A retrospective evaluation of oxygen re-compression procedures within the U.S. Navy. In : A.J Bachrach and M, M.Matzen, eds. Proceedings of the Eighth Symposium on Underwater Physiology. Undersea Medical Society Inc., Bethesda, 1984, 225-240
- 23) 日本海洋レジャー安全・振興協会：減圧症治療参考マニュアル（改訂版）眞野喜洋 編著，東京，1999