

【第47回学術総会シンポジウム1：各種疾患での標準治療】

## わが国で推奨される減圧障害の治療

鈴木 信哉

自衛隊中央病院

キーワード 再圧治療, 第1種装置, 第2種装置, 遠隔医療

Recommendations for the treatment of decompression illness in Japan

Shinya Suzuki

Self-Defense Force Central Hospital

keywords recompression treatment, monoplace hyperbaric chamber, multiplace hyperbaric chamber, tele-medicine

### 【病態と再圧治療】

潜水や潜函作業など高気圧下で体内に蓄積した生理的不活性ガスが減圧に伴い過飽和状態となり、気泡が組織や血管内に形成されて減圧症が発症する。一方、動脈ガス塞栓症は、減圧時に何らかの原因で肺が過膨張になり、気泡が肺の毛細血管に入り、肺静脈、心臓、動脈を介して末梢組織で気泡による塞栓症状を呈する。動脈ガス塞栓症は潜水終了まもなくの発症が多く、意識障害を伴いやすいが、減圧症との鑑別困難な場合があり、減圧症と動脈ガス塞栓症の両者を総称して減圧障害という。

減圧障害の治療は、虚血再灌流障害の病態が惹起されて重症化する前に、できるだけ速やかに酸素再圧して、一次的な影響としての気泡の影響を取り除くことが求められる<sup>1)2)</sup>。

### 【標準的な酸素再圧治療】

Goodmanにより導き出された必要最小限の治療表を基にした治療圧2.8ATA (60fsw) の米海軍酸素再圧治療表5及び6<sup>3)4)</sup> (図1)は、現在標準治療として世界的に使用されており、発症から2時間以内の再圧治療は成績がよい<sup>5)</sup>。再圧治療は、初回でできるだけ症状をなくすことが大原則であり、治療時間の延長は、症状がある限り積極的に行う必要がある。やむを得ず、

症状を残したまま初回再圧治療を終えても、肺酸素中毒を勘案しながら、早い段階での追加治療が望まれ、複数回の再圧治療にて症状の改善が見られなくなるまで治療を継続する<sup>4)</sup>。

### 【ヘリウムガスを利用した再圧治療】

ヘリウムは窒素に比べて脂肪組織への溶解度が低く、脊髓型の減圧症の治療に好都合であるとして、実際の酸素再圧治療にヘリウムが用いられてある程度の有効性が報告されている<sup>6)</sup>。しかし米海軍酸素再圧治療表との比較試験は少なく、複数回の再圧治療が必要な症例においては、ヘリウム酸素混合ガス使用例で治療回数が少ない可能性が示されているものの、機能回復に差は出ていない<sup>7)</sup>。

### 【深深度再圧治療】

6 ATA (165fsw) までの大きな圧力による再圧は、超急性期であれば有効であるが、再圧まで時間が経過してしまった症例には治療効果が期待できないことが臨床的にも確認されている<sup>3)</sup>。その理由として、空気加圧による気泡の縮小は加圧初めがもっとも効果的であるが、圧力をより高くすれば縮小効果は減弱する一方、却って余分な窒素ガスの取り込みが増大し、障害を受けた組織は治療開始が遅れると循環不全状態と

なって不活性ガスの排出が阻害され、減圧期に再発、更には増悪する可能性が出てくることが考えられる。

一方、Beckmanらは深深度潜水後に重症例が多かったことを考慮して、最初にスパイク状に7.7ATAもしくは9.5ATAに再圧する治療表を開発し、単一施設の治療成績として報告がなされている<sup>8)9)</sup>。重症例で治療開始遅延例が多いにもかかわらず、退院時の機能回復率が良好である印象をうけるが、米海軍酸素再圧治療表と比較した評価はない。

**【第1種治療装置の使用制限】**

重症減圧障害の再圧治療では、患者の容態急変への対応が非常に困難であるため、主室・副室の2室構造で複数の人員を収容できる第2種装置(多人数用高気圧酸素治療装置)を使用するのが基本<sup>10)</sup>であるが、Weaverは、第1種装置を使用して米海軍酸素再圧治療表6で治療した20年間の成績を報告しており<sup>11)</sup>、第1種装置内で重篤な患者を治療する場合の安全対

策や様々な工夫<sup>12)</sup>がなされている。

酸素加圧型の第1種装置については、酸素中毒を避けるためのエア・ブレイクができないので、真にやむを得ないと判断された場合(緊急避難的使用)以外は使用できない<sup>10)</sup>が、Cianciら<sup>13)</sup>及びKindwall<sup>14)</sup>は、エア・ブレイクがない短時間の酸素再圧治療表であるHart-Kindwall治療表(図2)を使った治療成績を報告しており(図3)、減圧症にはある程度の有用性が示されているが、空気塞栓症においては十分とは言い切れないほか、酸素中毒について安全性の検討が必要である。

**【我が国の再圧治療態勢】**

我が国の第2種装置保有施設(図4)には偏りがある<sup>15)16)</sup>。再圧治療開始まで発症2時間以内であれば成績は良好であり、2時間を過ぎると初回治療成績は急激に落ちる<sup>5)</sup>。発症後12時間を超した場合には、神経学的な後遺症は著明に増加し、特に重症神経障害症例では4時間を超すと後遺症が増加する<sup>17)</sup>。再

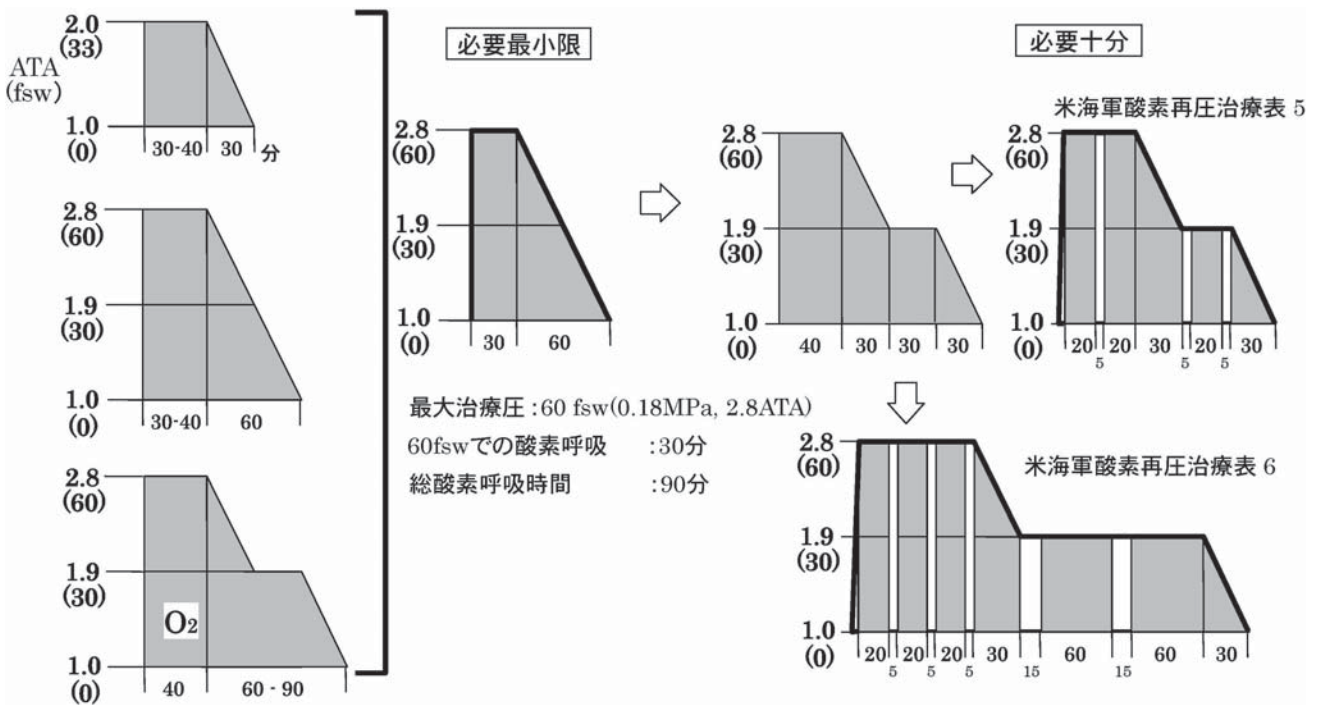


図1 米海軍酸素再圧治療表の開発

Goodmanら<sup>3)</sup>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。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エア・ブレイクを間に入れ、治療時間が1.5倍と3倍の治療表を考案し、それぞれ表5(疼痛のみの軽症用)及び6(神経症状など重症用)とした。表5は、神経学的に評価された疼痛のみの減圧障害に適用し、60fsw(0.18MPa, 2.8ATA)10分以内に疼痛が消失しなかった場合には表6に移行する。表5及び6共に30fsw(0.09MPa, 1.8ATA)の酸素呼吸は2回まで延長できる。

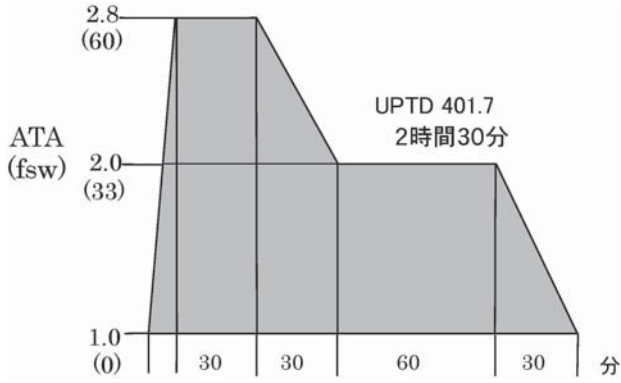


図2 Hart-Kindwall Protocol<sup>13)</sup>

加圧ははじめから最後まで酸素を呼吸し、エア・ブレイクを設けない。Goodmanら<sup>3)</sup>が統計学的処理により有効であると導き出した必要最小限の治療表を満たしている。酸素暴露量の指標としての肺酸素中毒単量 (Unit Pulmonary Toxic Dose: UPTD) は、401.7であり、米海軍酸素再圧治療表5の334UPTDより多く、米海軍酸素再圧治療表6の646UPTDよりも少ない。

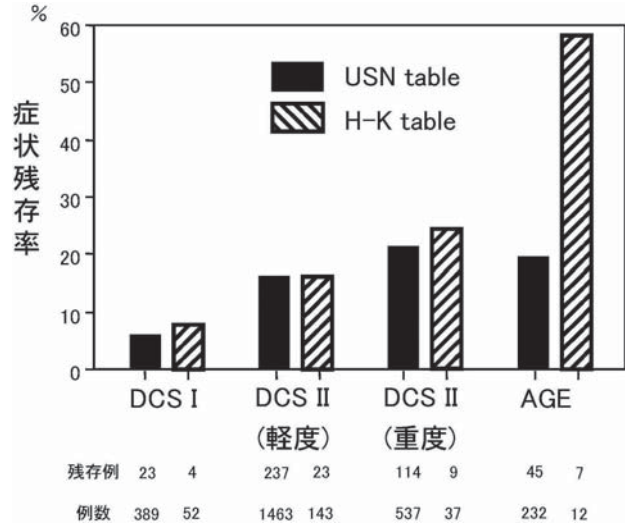


図3 Hart-Kindwall Protocol の治療成績<sup>14)</sup>

1989年から1993年までの DAN 症例における Hart-Kindwall Protocol (H-K table) と米海軍酸素再圧治療表 (USN table) の治療成績。発症90日後における症状残存率で再圧治療表を評価。重度 DCSII は、意識障害、視力障害、歩行障害、膀胱直腸障害、運動麻痺、言語障害、痙攣のあるもの。

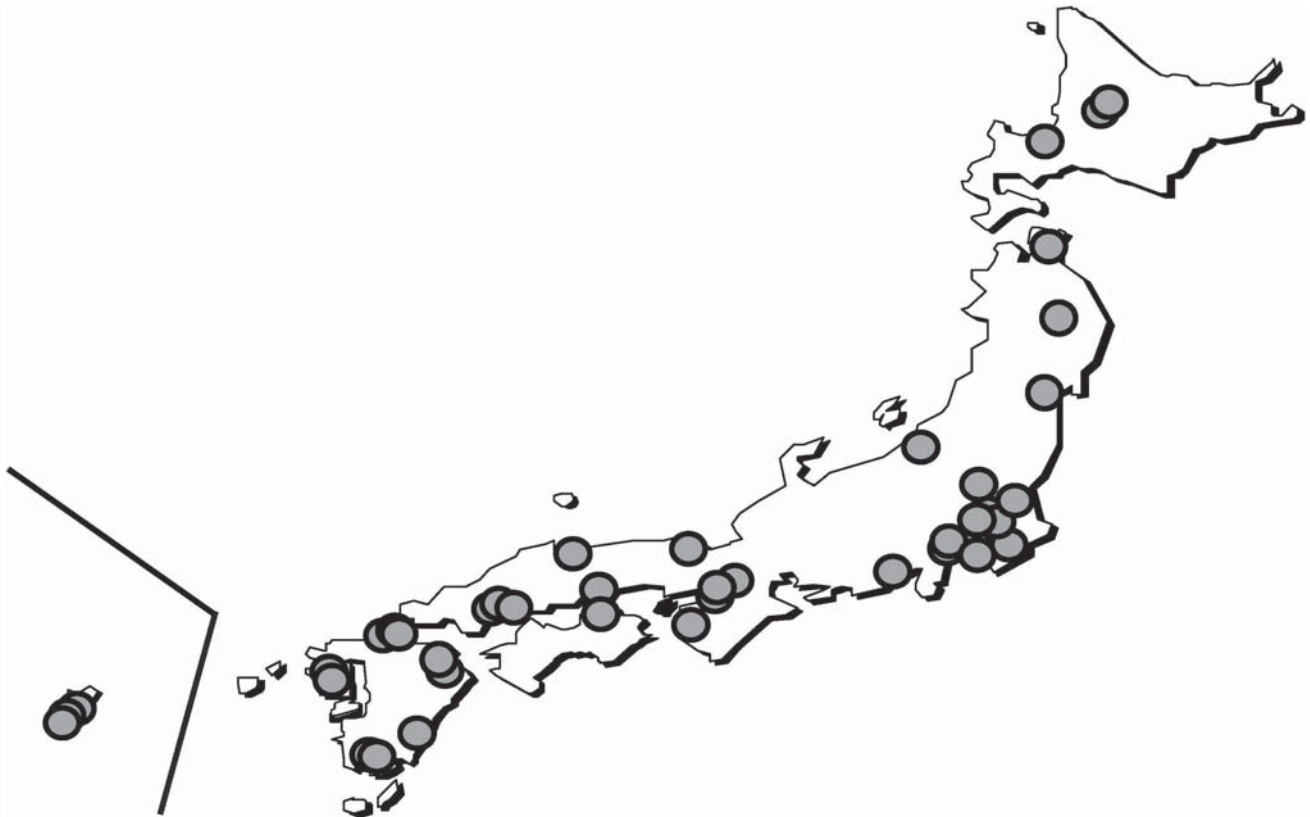


図4 我が国の第2種治療装置保有施設<sup>15) 16)</sup>

減圧障害に対し再圧治療が可能な第2種装置を有する施設は地域により偏在しており、搬送に6時間から8時間かかる地域や高所移動が避けられない地域がある上、受入状況も様々であり、必ずしも迅速な再圧治療が実施できる状況にない。

圧治療のための搬送に時間を要する地域については、第1種装置による治療を考慮せざるを得ず、治療施設間の連携が必要である。

更に、緊急浮上や動脈ガス塞栓症、あるいは重症減圧症の場合は、職業潜水においては後遺症を防ぐ観点から潜水現場の再圧室等を使用した救急再圧が必須であるが、潜水現場の再圧室での救急再圧が現状では行われないことが多く<sup>18)</sup>、再潜水は重症化リスクが高い<sup>19)</sup>ため、遠隔の医師による指示のもと酸素再圧を可能とする態勢を構築しなければならない<sup>20)</sup>。

### 参考文献

- 1) Dutka AJ: Serious decompression injury: Pharmacologic aids to treatment. In Moon RE., Sheffield PJ, eds. Treatment of decompression illness, Forty-fifth Workshop of the Undersea and Hyperbaric Medical Society, 1996;pp.127-135.
- 2) Gorman DF: The treatment of arterial gas embolism. In Moon RE., Sheffield PJ, eds. Treatment of decompression illness, Forty-fifth Workshop of the Undersea and Hyperbaric Medical Society, 96-100, 1996.
- 3) Goodman WM: Minimal-recompression, oxygen-breathing method for the therapy of decompression sickness. In Underwater Physiology 3rd.Symposium, Baltimore, Williams and Wilkins, 1967;pp.165-181.
- 4) 鈴木信哉: 減圧障害の治療. 日本高気圧環境・潜水医学会雑誌2006;41:59-72.
- 5) Thalmann ED: Principles of U. S. navy recompression treatments for decompression sickness. In Bennett PB & Moon RE eds. Diving accident management, Bethesda MD: Undersea and Hyperbaric Medical Society, 1990;pp194-221.
- 6) Kol S, Adir Y, Gordon CR and Melamed Y: Oxygen-helium treatment of severe spinal decompression sickness after air diving. Undersea Hyperb Med. 1993;20:147-154.
- 7) Bennett MH, Lehm JP, Mitchell SJ, Wasiak J: Recompression and adjunctive therapy for decompression illness. Cochrane Database Syst Rev. 2007 Apr 18; (2): CD005277.
- 8) Smerz RW, Overlock RK and Nakayama H: Hawaiian deep treatments: Efficacy and outcomes, 1983-2003. Undersea Hyperb Med. 2005;32:363-373.
- 9) Overlock RK, Tolsma KA, Turner CW, Bugelli N: Deep treatments and Hawaiian experience. In: Moon RE, Sheffield PJ eds. Treatment of decompression illness, Forty-fifth Workshop of the Undersea and Hyperbaric Medical Society. 1996; pp.106-121.
- 10) 日本高気圧環境・潜水医学会:高気圧酸素治療の安全基準(平成22年11月26日最終校正).第7章再圧治療指針. <http://www.jshm.net/kaisoku/hboanz2010kai.pdf> (accessed 7<sup>th</sup> November 2012.)
- 11) Weaver LK: Monoplace hyperbaric chamber use of U.S. Navy Table 6: A 20-year experience. Undersea Hyperb Med. 2006;Mar-Apr; 33: 85-88, 2006.
- 12) Weaver LK: Management of critically ill patients in the monoplace hyperbaric chamber. In: Kindwall EP, Whelan HT, eds. Hyperbaric Medicine Practice, 2nd ed., AZ:, Best Publishing Company. 1999; pp.245-322.
- 13) Cianci P, Slade JB Jr: Delayed treatment of decompression sickness with short, no-air-break tables: Review of 140 cases. Aviat Space Environ Med. 2006;77:1003-1008.
- 14) Kindwall EP: Use of short versus long tables in the treatment of decompression sickness and air embolism. In: Moon RE, Sheffield PJ, eds. Treatment of decompression illness, Forty-fifth Workshop of the Undersea and Hyperbaric Medical Society. 1996;pp.122-126.
- 15) 望月徹, 池田知純, 小林浩, 柳澤裕之: 減圧障害受入れ可能施設の調査. 日本高気圧環境・潜水医学会雑誌. 2007;42:215.
- 16) 池田知純, 望月徹, 小林浩, 柳澤裕之: 港湾潜水作業における減圧障害発症時の救急搬送の問題点. 日本高気圧環境・潜水医学会雑誌. 2011;46:267.
- 17) Diving alert network: Report on diving accidents and fatalities. Duke University, Durham NC, 1993.
- 18) 池田知純, 望月徹, 長谷川健一: 安全委員会 潜水の安全に関するアンケート調査 調査結果報告書. 東京; 日本潜水協会. 2007; pp.1-111.
- 19) Vann RD: Mechanisms and risks of decompression. In Diving Medicine 2nd. Ed. A. Bove & J. Davis, W. B. Philadelphia, Saunders, 1990;pp.30-33.
- 20) 鈴木信哉: 高圧則改正において検討すべき課題について(自衛隊中央病院提出). 第4回 高気圧作業安全衛生規則改正検討会資料. 高気圧作業安全衛生規則改正検討会. 平成24年7月30日. 厚生労働省. <http://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/2r9852000002gm3l-att/2r9852000002gm8y.pdf> (accessed 7<sup>th</sup> November 2012.)