

●原 著

減圧障害(減圧症と動脈ガス塞栓症)に対する再圧治療マニュアル作成の試み

堂本英治* 鈴木信哉* 和田孝次郎* 赤木 淳* 北村 勉*

近年本邦では、潜水漁民や職業ダイバー以外に、潜水をスポーツとして楽しむレクリエーションダイバーの増加がみられる。それに伴い減圧障害(潜水病)に罹患するダイバーも増加傾向にある。人間が潜水を続ける限り、いかにダイビングコンピュータなどの装備が発達しようとも、その発症を完全に抑えることはできない。しかしながら、減圧障害を未然に防ぐための意識改革と、発症した患者に対して迅速かつ適切な再圧治療を実施することは可能である。このため、現在 Divers Alert Network (DAN) をはじめとする情報網が発達し、日本高気圧環境医学会による医療従事者(臨床工学技士や管理医)を対象とした教育活動などが本格化している。本稿の最大の目的は、治療施設ごとに隔たりのあった減圧障害に対する再圧治療指針を統一することである。

キーワード：減圧障害、減圧症、動脈ガス塞栓症、再圧治療

Recently, the increase of the number of recreational divers who enjoy diving has been pointed out in addition to the occupational divers who are engaged in hunting fish and shells, or the underwater constructions, and the occurrence of decompression illness (DCI) has become increased. As far as human conducts diving, it is impossible to completely eliminate DCI, even if the sophisticated diving equipment such as a diving computer is used for diving. However, it is possible to let the divers understand the basic diving medicine to prevent them from suffering DCI, and also how to manage the DCI patients as less residual symptoms as possible. Lately, the Japanese Society of Hyperbaric Medicine has been developing the certification program to educate the doctors and clinical technicians who can have responsibility for the treatment of DCI cases. It has been gradually recognized that Divers Alert Network has been offering information for the management and treatment for DCI cases. The primary aim of the present paper is to standardize the management and treatment for the DCI patients in Japan.

Keywords :

Decompression illness
Decompression Sickness
Arterial Gas Embolism
Recompression Therapy

1. はじめに

現在本邦では、高気圧環境医学会の示す高気圧酸素治療の安全基準¹⁾、DAN JAPANの示す治療表²⁾、及び米海軍潜水教範の示す治療表³⁾の大きく3つの治療指針にしたがって再圧治療が行われている。そのため、治療施設により治療表の選択及び治療に使用する高気圧酸素治療装置もまちまちで、再圧治療に対する統一的な見解を得るには至っていない。このような現状を考慮し、平成9年度の日本高気圧環境医学会総会では、レクリエーションダイビングの安全性についてのシンポジウムが開催された。その中で海上自衛隊潜水医学実験隊の鈴木が、主に米海軍潜水教範に示され

* 海上自衛隊潜水医学実験隊

る再圧治療表の使用法と本邦における再圧治療の現状について詳細を述べた⁴⁾。調査した42施設のうち9施設が旧DAN JAPANの治療マニュアル⁵⁾を使用しており、空気加圧を主体とする再圧治療が未だに行われていることが明らかになった。

高気圧酸素治療の安全基準に示される治療表¹⁾は、本来多種多様な救急・非救急的疾患に対して考案されたものであり、減圧障害に対しては原則的にこの治療表を用いた再圧治療を禁じている(その他の適応疾患に関しては、酸素マスクの種類によりゲージ圧1.8kg/cm²または2.0kg/cm²で、60分から90分の治療を行うと規定している)。減圧障害に対する再圧治療の効果が時間経過とともに減弱することはよく知られており、同時に本邦では治療開始までに24時間以上を経過している例が非常に多いことも事実である。そのため、本治療表を使用した場合、治療時間の不足による治療率の低下が懸念される。また、第1種装置にて再圧治療を行う施設も存在するが、この場合、ゲージ圧1 kg/cm²で1時間の保圧を行うことになり、WorkmanとGoodmanが示した再圧治療に必要な最小治療圧⁶⁾⁷⁾(60ft)に及ばず、特に重症例に対して十分な治療効果が得られない可能性が高い。

次に、DAN JAPANの示す治療表²⁾は、1999年5月に大幅な改訂がなされ、かなり現実に即した治療指針となった。しかしながら、酸素再圧治療に用いる第5表、第6表以外に、4種類のHBO表が提示されており、その相違点及び使用法の違いが不明瞭であること、さらに依然空気による再圧治療に大きなスペースが割かれているなど、実際の使用時に混乱を生じる可能性があり、今後の改訂が必要と思われる。

最後に、米海軍潜水教範に示される治療表³⁾は、使用頻度や治療実績から前2者と比較すると最も信頼性の高い治療表と思われるが、費用対効果を完全に度外視している点が問題である。本邦の一般的な民間治療機関で24時間以上を要す再圧治療(治療表4, 7)は不可能であろう。また保険点数制度⁸⁾による裏付けも得られず、病院側に負担を強いることにもなる。

我々は、従来日本で使用されている上記3種の再圧治療基準を参考に、より使いやすく、また治

療効果も高いと思われる再圧治療マニュアルの作成を試みた。

2. 減圧障害(Decompression illness)の分類

一般に減圧症(Decompression Sickness)と動脈ガス塞栓症(Arterial Gas Embolism)、及び両者の鑑別が困難あるいは両者が合併していると考えられる病態を総称して減圧障害⁹⁾という。ここでは環境圧の変化により生じた圧外傷は含まない。一般に減圧症は臨床症状によりI型及びII型に分類される。また、減圧症と動脈ガス塞栓症の合併と考えられる病態をIII型減圧症¹⁰⁾¹¹⁾と呼称する場合もある。

3. 減圧障害の発症機序

1) 減圧症

減圧症とは、高気圧下において生体内に取り込まれた生理的不活性ガスが減圧に伴って過飽和状態になり、気泡が組織内や血管内に形成されることによって惹起される病態をいう^{3)12)~15)}。また症状発現には、一時的な気泡塞栓による末梢組織の虚血と、それに伴う2次的な血管内皮細胞障害^{16)~18)}、血小板凝集^{19)~21)}、凝固機能亢進²²⁾²³⁾、補体の活性化²⁴⁾²⁵⁾などが密接に関与している。臨床症状により、I型及びII型減圧症に分類される³⁾²⁶⁾²⁷⁾。

2) 動脈ガス塞栓症

動脈ガス塞栓症とは、減圧時に肺が過膨張になり肺胞の破裂を生じ、気泡が肺胞毛細血管から左心系へ流入することによる気泡の塞栓症状をいう³⁾²⁸⁾。代表的な症状としては以下のものが挙げられる²⁶⁾²⁸⁾。

4. 減圧障害の診断基準

減圧障害の診断に際しては以下に示す5項目を診断基準とし、そのすべてを満たすこととする。

- (1) 症状の発現が潜水からの浮上後48時間以内である(飛行機搭乗等低圧環境暴露がある場合には、搭乗後48時間)。時間経過とともに症状が自然に消失し、その後同様の症状が再発したと考えられる場合には、本規定に適合しない場合がある。
- (2) 潜水前には同様の症状を有していない。

- (3) 減圧障害以外で、現症状に関連する疾患の既往がない。
- (4) 診察により、肺を除く耳、副鼻腔などの圧外傷並びに海洋生物による怪我などが否定できる。
- (5) 下記に示す減圧症あるいは動脈ガス塞栓症として矛盾しない症状を有する。

5. 減圧障害の臨床症状

1) 減圧症

(1) I型減圧症

- ① 皮膚の発赤（大理石斑，激しい搔痒感を伴う）
- ② 四肢の関節痛（特に肘・膝などの大きな関節）
- ③ 浮腫・むくみ

(2) II型減圧症

- ① 脊髄型：知覚麻痺，運動麻痺，膀胱直腸障害
- ② 脳型：意識障害，痙攣，片麻痺，脳神経症状
- ③ 肺型（別名チョークス）：胸痛，咳，前胸部違和感，息切れ，血液をふくんだ泡沫状の痰
- ④ 内耳型：めまい，嘔心，嘔吐，耳鳴り，聴力低下

- ⑤ その他：I型に含まれない症状すべて

注意：②，③，④に示される脳型，肺型，内耳型減圧症は，症状のみでは同部位の動脈ガス塞栓症と鑑別困難な場合が多い。

2) 動脈ガス塞栓症

- ① 脳：意識障害，痙攣，片麻痺，視力低下など
- ② 心臓：心停止，不整脈など
- ③ その他：肺泡破裂による症状を伴うことがある（皮下及び縦隔気腫，気胸，血痰など）

6. 減圧障害の鑑別診断

減圧障害の鑑別には，潜水プロフィール，症状，症状の発現時期などを含む，事故発生当時の状況を知ることが極めて有用である。

1) 症状から

- ① 減圧症のI型とII型の区別ができる。
- ② 皮下気腫や血痰などがみられれば，動脈ガス塞栓症の可能性が高い。
- ③ X線撮影により気胸，皮下気腫，縦隔気腫などが認められれば，動脈ガス塞栓症の可能性が高い。

2) 症状の発現時期から

- ① 動脈ガス塞栓症は水面浮上後10分以内に発症する例が多い。95%は水面浮上後2時間以内の発症である²⁹⁾。
- ② 減圧症は95%が水面浮上後3時間以内に発症する。6時間以上経過してから発症するのは約1%である³⁾。一般に水面浮上後早期から発症するものほど重篤な症状を示す傾向があるが，I型減圧症とII型減圧症で症状発現に要する時間に有意な差はないとする報告もある²⁹⁾。

3) 潜水プロフィールから

- ① 急浮上の場合には動脈ガス塞栓症を生じやすい。
- ② 浮上中の息こらえや咳などがあった場合には動脈ガス塞栓症が生じやすい。
- ③ 減圧無視が大きいほど減圧症発生の危険性が高い。
- ④ 10m以浅の潜水では減圧症の頻度は低い。
- ⑤ 空気による深々度，短時間潜水では2型減圧症，特に脊髄型減圧症を生じやすい。

7. 減圧障害に対する再圧治療

1) 目的

米海軍の規定する再圧治療の目的は以下の3項目である³⁾。

- (1) 気泡の圧縮による血流回復
- (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

環境圧を5 kg/cm²まで上昇させた場合，気泡の体積は大気圧下の約16%になるが，気泡が球状と仮定すると気泡の直径は約半分になるだけである。したがって，単に気泡を物理的に圧縮するのみでは十分な治療効果は得られない。また，発症から時間が経過した症例については，気泡そのものによる機械的影響より気泡に伴う2次的影響が症状発現の主体をなすと考えられており，治療圧を上げるだけでは逆に不活性ガスの溶解込みを誘発し，減圧時の症状の増悪を招く可能性もある。これに対し酸素を吸入する再圧治療（高気圧酸素治療）では，ヘモグロビンと結合せず，血液中に物理的に溶解している溶存酸素を増量させることにより，障害に陥った組織の酸素分圧を上昇

させ、同時に気泡内外の不活性ガス分圧の格差を広げ、気泡の吸収を促進させることが可能となった。さらに、高気圧酸素治療は浮腫の減弱や治療時間の短縮及び治療開始の遅れた症例にも有効で再発頻度の抑制にもつながると考えられている。

2) 重症度による患者の分類

症状の重篤さ、臓器障害（筋骨格系、中枢神経系、内耳、心肺循環器系）の有無、時間経過による症状の変遷により患者を以下に示す3群（緊急、救急、非救急）に分類することができる³⁾。この分類は、再圧治療開始までにどの程度時間的余裕があるのかを理解する上で非常に有用である。一般病院で遭遇する症例には救急並びに非救急に分類される症例が多い。

(1) 緊急

症状は重篤で、内耳、心肺循環器系及び中枢神経系症状を呈するもので、症状が時間経過とともに増悪傾向を示す、あるいは再燃を繰り返すもの。この場合、患者は一見して重篤な状態にあり、神経学的症状を有している。患者の診察、諸検査に時間を費やす余裕はなく、直ちに患者を搬送し、再圧治療を実施しなければならない。患者の症状の詳細な把握は治療深度到達後に実施すべきである。

(2) 救急

重篤な症状は疼痛のみである。他の症状は診察によって明らかとなる程度のものである。症状は安定しているか、あるいは進行性であっても急激な増悪はない。早い段階での再圧治療が望まれるが、十分な神経学的評価を含め、治療前の診察、検査を優先することができる。鑑別診断及び症状の重篤さを評価する上で、神経学的所見、血液検査、胸部X線などが有用である。

(3) 非救急

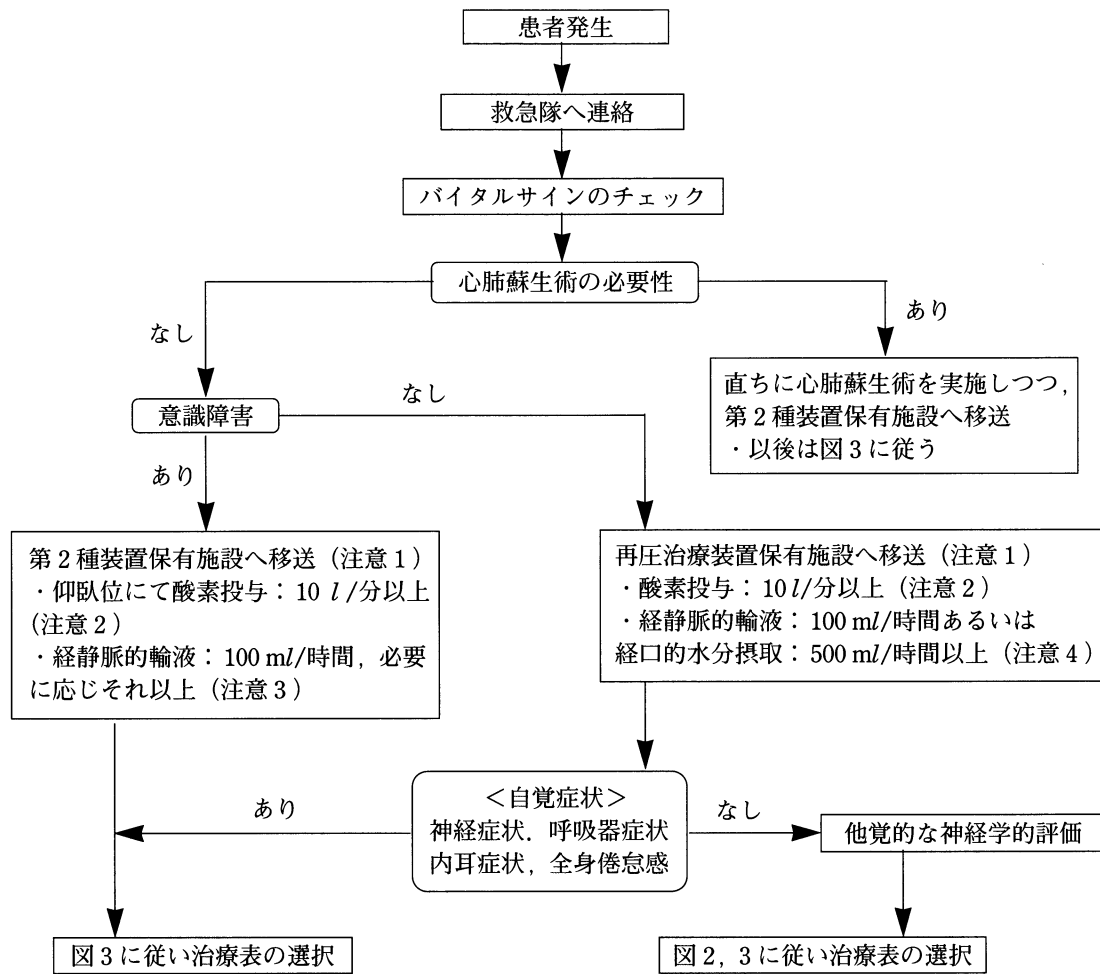
患者の症状は、詳細な診察、検査を行わなければその存在を確定し得ない程度のものである。臓器障害を生じる可能性もあるが重篤ではない。症状は安定しているか、進行性であるとしても緩徐である。治療開始までに十分な診察、検査を実施し他疾患の鑑別を行う必要がある。

3) 治療の原則

減圧障害の患者に対峙した時の治療の基本原則を知ることにより、誤判断に基づく治療を最小限

に抑えることができる。絶対に犯してはならないミスは患者に不利益をもたらすような治療を行うことである。第2項に示したとおり、患者の症状と発症からの時間経過により患者を大きく3群に分類した後、以下の治療の原則にしたがい患者に対処する。

- ① 減圧障害の患者が発生した場合には直ちに高濃度の酸素投与を行う。
- ② 患者を空路にて移送する場合には高度1,000ft以下を目標とする。この場合も酸素吸入を継続する。
- ③ 減圧障害の可能性が否定できない場合で上記の減圧障害診断基準を満たす場合には、症状に応じ再圧治療を行う。
- ④ 意識障害のある患者に対しては重篤な減圧症あるいは動脈ガス塞栓症として対処する。
- ⑤ より早く、適切な再圧治療を行う。患者の詳細な（神経学的所見を含む）症状把握は治療深度あるいは症状緩解深度で実施すればよい。
- ⑥ 軽微な症状を見のがさない（関節痛を訴えている患者でも感覚の低下が一部にでもあればⅡ型減圧症と診断する）。
- ⑦ 複数の症状が生じた場合、最も重篤な症状に対する治療を優先する。
- ⑧ 第2種装置を使用した酸素再圧治療を基本とする。第1種装置の場合には、患者の容態が急変（症状増悪、酸素中毒による痙攣など）した場合に迅速な対応が不可能である。
- ⑨ 第2種装置を保有する施設への移送が困難な場合に限り、治療表に準拠し空気加圧（酸素マスク装着）型の第1種装置による治療が可能である。治療終了後は可能な限りすみやかに第2種装置保有施設へ患者を移送する。
- ⑩ 酸素加圧型の第1種装置については緊急時以外は使用してはならない（緊急避難的使用）。使用に際しては酸素加圧型第1種装置による治療表を使用する。治療終了後は可能な限りすみやかに第2種装置保有施設への移送を行う。
- ⑪ 第2種装置による治療を行う場合、患者の状態を把握し、治療の補助を行う内室介助者を1名配置することが望ましい。治療施設によ



《注意事項》

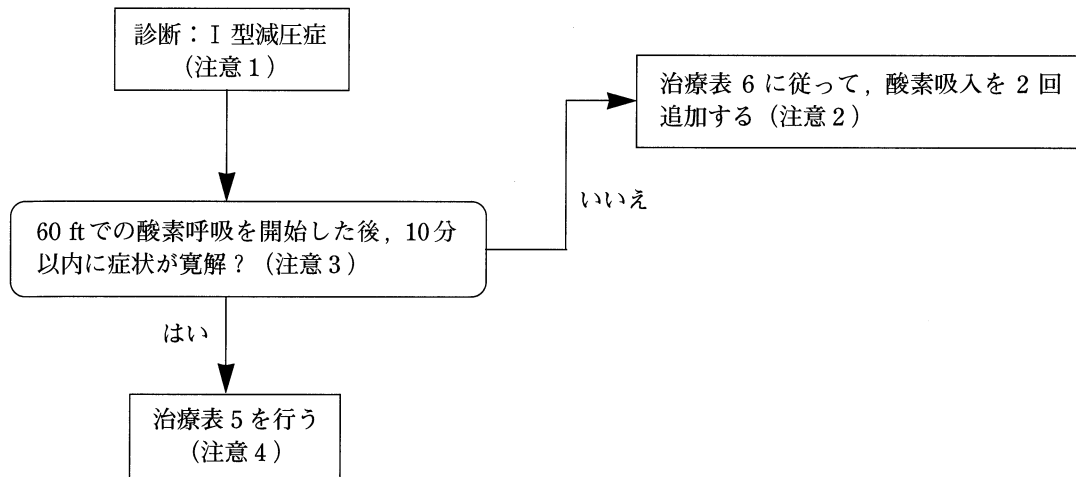
1. 動脈血ガス塞栓症並びに減圧症で、移送に数時間以上を要する場合には、緊急避難的に最寄りの第1種治療装置保有施設での治療も可能である。治療終了後、症状が残存した場合には、第2種装置保有施設へ移送する。
2. 酸素投与法はリザーバー付き酸素マスクが望まれる。
3. 静脈投与法は、糖分のみの輸液製剤は使用しない。
4. 経口水分補給として、炭酸飲料はさける。

図1 患者発生時の対処（再圧治療開始まで）

っては人員不足のため入室介助者を置くことができない場合もある。障害が軽度の場合には、治療を行う医師あるいは介助者が患者と一緒に治療タンク内に入り、1回目か2回目のエアブレイクまで滞在し、臨床症状の変化を把握して、図2、3に示される治療表5、6の延長決定を行うこともできる。再圧治療の途中で医師が治療タンクから出てくる場合には、治療深度が60ftであれば、加圧開始から60分までは無減圧で大気圧まで戻ること

ができる（減圧速度は30ft/分以下）。

- ⑫ 初回再圧治療終了後は翌日まで入院させ経過観察とする。関節痛のみの場合治療終了後2時間、重篤な症状の場合には6時間の事後観察を行う。
- ⑬ 1999年度版の米海軍再圧治療表³⁾に準拠し、原則的に治療表5、6、6延長型を使用する。潜水医学の専門医の指示がない限り治療表を変更してはならない。
- ⑭ 図1、2、3を使用し治療表の選択を行うこ



《注意事項》

- 再圧治療開始前に、神経学的所見を完全に取り終えていないものはⅡ型減圧症として治療する。
- 治療表6は、60ftで2回、30ftで2回の計4回の酸素呼吸を追加することができる。
 <酸素吸入追加の判断基準>
 - 60ft並びに30ftにおける規定の酸素呼吸終了時に、症状の残存がみられる場合に使用する。
 - 60ftでの延長を優先する。酸素中毒症状の発現により、60ftでの延長が不可能な場合には、30ftでの延長を考慮する。
- 治療担当医の判断で最初から治療表6を選択することもできる。
- 治療表5は30ftでの酸素呼吸を2回追加することができる。
 <酸素吸入追加の判断基準>

30ftにおける20分間の酸素吸入終了時点では、完全緩解には至らないⅠ型減圧症で、かつ本治療中に症状の軽減傾向の認められたものに対して使用する。この場合、酸素吸入の間にエアブレイクの必要はなく、同様に、上昇前にもエアブレイクを設ける必要はない。

図2 I型減圧症の治療方法

とができる。主に発症から間もない急性期の患者を対象としているが、発症から24時間以上を経過して、体調不良、軽微な関節痛などを主訴に受診する患者に対しても、症状に応じ図2, 3を使用することができる。

4) 治療中の酸素投与

- ① デマンド型酸素マスクを使用し、通常の酸素マスクや鼻カヌラは使用してはならない。
- ② デマンド型酸素マスクを保有していない場合、リザーバー付き酸素マスクを使用し、分時流量を10リットル以上とする。

5) 補助療法

(1) 酸素投与

症状発現後再圧治療開始まで、患者の移送中も可能な限り高濃度の酸素投与を行う。

(2) 輸液

積極的な水分補給を行う。潜水中の寒冷及び水

圧への暴露はいずれも利尿作用を有し、減圧障害発症時患者は脱水傾向を示すことが多い¹⁵⁾。糖分のみを含む輸液の場合、糖の生体内での代謝に伴い中枢神経系に浮腫が生じ症状が増悪する可能性がある³⁾¹⁵⁾。また極端な低張輸液も中枢神経系に浮腫を生じることがある¹⁵⁾。

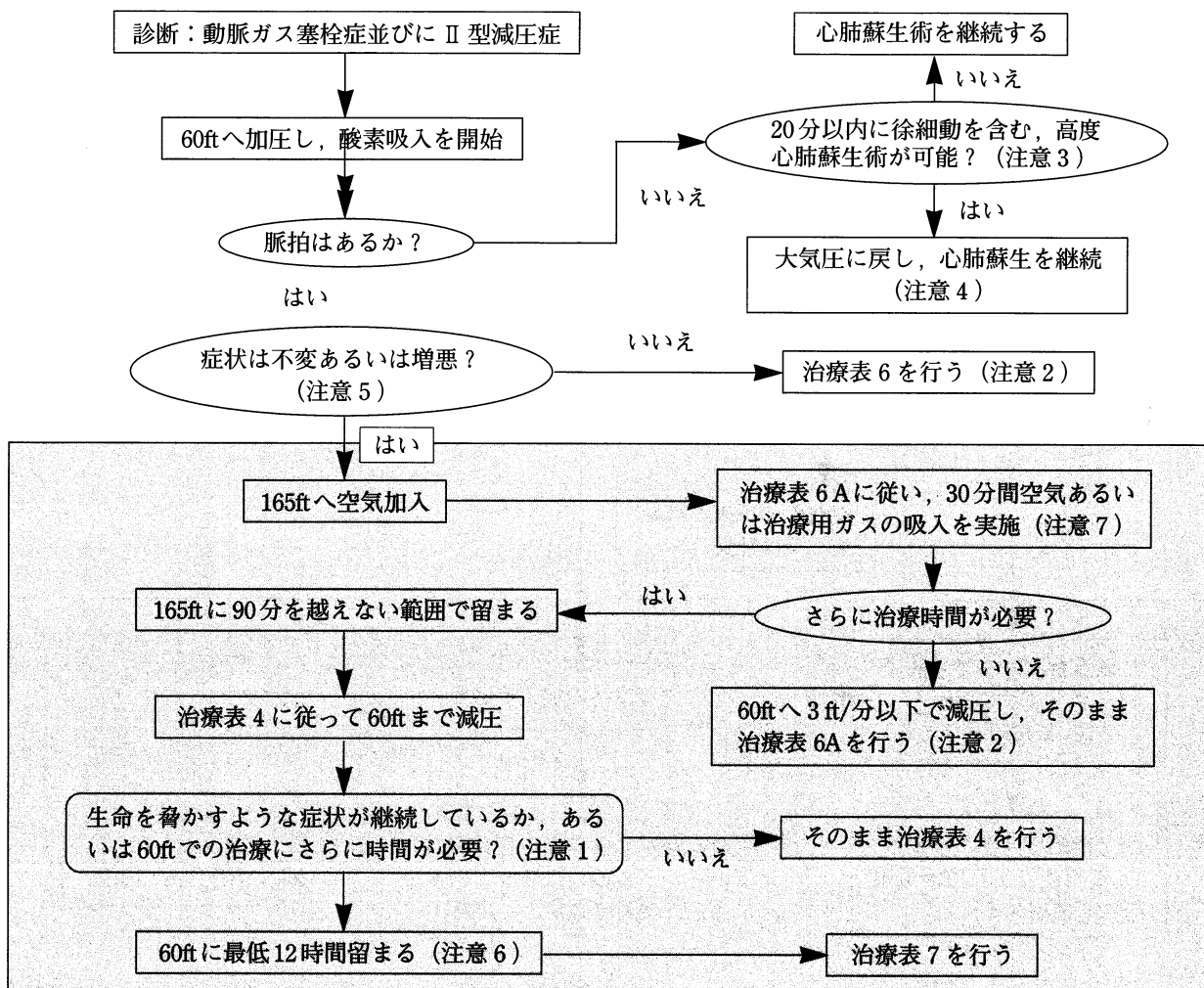
(1) 意識障害のある場合

・患者移送中：経静脈的にルートを確保し、細胞外液補充液や低張電解質開始輸液及び生理食塩水を、最初の1時間は200ml、以後は時間100mlで継続する。

・再圧治療中：可能なかぎり早期から上記輸液製剤あるいは低分子デキストランを時間100mlで持続する。

(2) 経日水分摂取が可能な場合

・患者移送中：市販のスポーツドリンク、水、ジュースなどを約1～2リットル投与する。



《注意事項》

- 治療表 4, 7 を実施前には専門医の指示をうける。また，治療表 6 A 選択した場合には [] で示すとおり治療表 4, 7 へ移行する可能性が高い。治療表 4, 7 はいずれも 36 時間以上に及ぶ長時間であり，この実施が困難な施設では 165ft への加圧は行うべきではない。
- 治療表 6 及び 6 A は，必要に応じ 60ft 並びに 30ft で延長可能である。
 <酸素吸入追加の判断基準>は，図 2 注意事項 2 に準拠し，さらに以下の 2 項目を考慮する。
 - ・初回の再圧治療の場合及び膀胱直腸障害を含む脊髄症状が強い場合には積極的に延長を行う。
 - ・本来であれば治療表 4 及び 7 の適応となる症例を，治療表 6 の延長型で治療を実施する場合には full extension が望ましい。
- 心停止が生じた場合には高度心肺蘇生術が必要となる。蘇生の成功率を上げるためにも，可能な限り早急に，専門医の指示を受ける。
- 除細動は大気圧下で実施する。
- 20 分以内に症状の把握を行う。患者が 20 分以上心拍停止状態に置かれた場合，心肺蘇生術の中止を考慮する。
- 治療時間の延長が必要となる可能性がある。
- 治療表 6 A には症状の寛解深度，あるいは顕著な改善を示した深度で移行することができる。

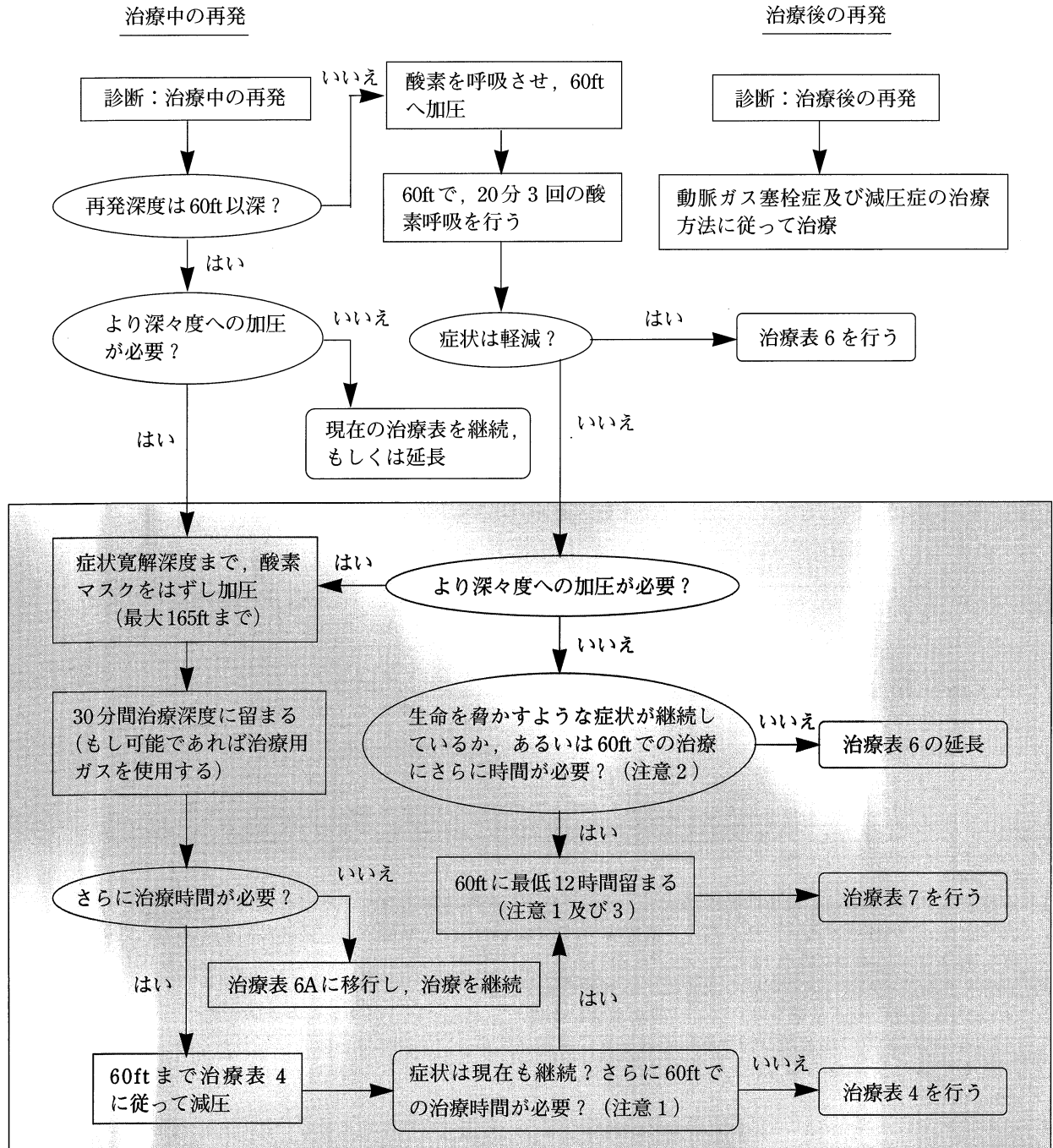
図 3 動脈ガス塞栓症及びⅡ型減圧症の治療方法

・再圧治療中：治療表 5, 6 実施中に約 1 ~ 2 リットルの水分摂取を心がける³⁾。それ以外の治療表使用時は治療時間に応じて摂取量を決定す

る。

(3) 薬剤投与

- (1) 副腎皮質ステロイド



《注意事項》

1. 治療表 4, 7 を実施前には専門医の指示を受ける。
2. 治療表 6 はもし必要であれば、60ft あるいは 30ft で延長可能である。延長の基準は図 3 注意事項 2 に準拠する。
3. 治療時間の延長が必要となる場合がある。

図 4 症状再発時の対処法

神経症状（特に中枢神経症状）の重篤なものに対しては、浮腫の軽減、抗炎症作用、血管からの漏出抑制、ヒスタミンの遊離抑制を目的としてステロイドの投与を考慮する^{30) 31)}。現行の保険制

度では、急性脊髄障害に対してはステロイド大量治療（メチルプレドニゾロン 30mg/kg を 15 分かけて点滴静注後、45 分間休薬し、5.4mg/kg 1 時間を 23 時間点滴静注）が認められている⁸²⁾。

1) 適 応

- ・ 神経学的に異常所見がなく、60ftで10分以内に症状が完全に消失する I 型減圧症
- ・ I 型減圧症の再発

2) 加圧速度：60kPa/分 (0.6kg/cm²/分, 20ft/分)3) 減圧速度：3kPa/分 (0.03kg/cm²/分, 1ft/分) 以下。上昇速度に遅れを生じた場合にも、時間補正する必要はない。

4) 酸素吸入は60ft到着後から開始する。

5) 中枢神経系酸素中毒のため酸素吸入が中断された場合には、症状消失後15分を経過して酸素投与を再開する。この場合、治療中断点から治療を再開する。

6) 30ftにおける酸素吸入は2回まで延長可能である。30ftにおける20分の酸素吸入終了時点では、完全緩解には至らない I 型減圧症で、かつ本治療中に症状の軽減傾向の認められた場合に使用する。この場合、酸素吸入の間にエアブレイクの必要はなく、同様に減圧前にもエアブレイクを設ける必要はない。

7) 介助者は30ftから0ftまで上昇する間、酸素吸入を行う。もし、介助者が治療前12時間以内に高圧環境に暴露されていた場合には、上昇前に20分間の酸素吸入の追加が必要である。

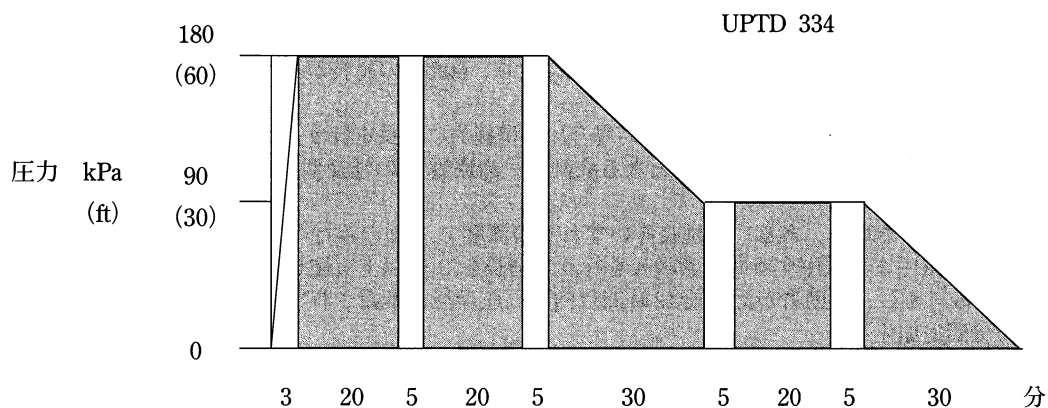


図5 治療表 5

(2) リドカイン

脳代謝抑制、脳血流保持、障害を受けた血管内皮細胞に対する白血球の付着を抑制する目的で、リドカイン（最初に1.5mg/kg、その後1mg/分で継続）の投与の有効性が検討されている³⁾³³⁾³⁴⁾。

(4) リハビリテーション

神経症状を有するものには、専門医に相談後、積極的に早期から導入する。

6) 再圧治療の副作用

(1) 中枢神経系酸素中毒

(1) 再圧治療時、純酸素呼吸中（特に30ft以深）に、視野異常、耳鳴り、嘔気、部分的な筋肉の攣縮（特に顔面）、気分の変調、めまいなどの症状をもって発症することがあり、放置した場合全身性の痙攣発作に至る³⁾³⁵⁾³⁶⁾。上記症状を訴えずに、最初から痙攣発作で発症する場合もある。高熱、高炭酸ガス血症、甲状腺機能亢進症、及び血管拡

張剤、アドレナリン作動性薬剤、副腎皮質ステロイド剤、アセタゾミド、インスリン、アスピリン等、酸素中毒の発症を促進する可能性のある薬剤が投与されている場合には、2ATA程度の酸素分圧でも注意が必要である。また中枢神経系酸素中毒の感受性については、個人差及び日差変動が大きく、いつ発症するかを予測することは極めて困難である³⁾³⁵⁾³⁶⁾。60ft以深での純酸素投与は禁忌である。

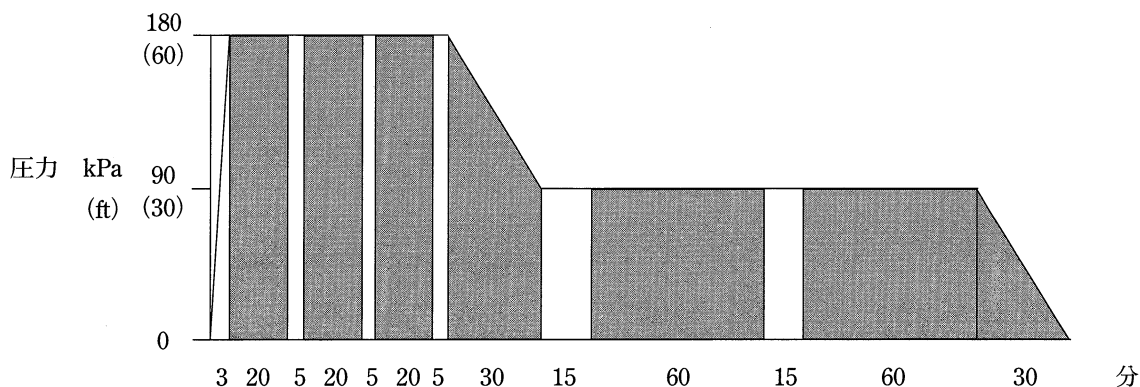
(2) 予 防

酸素中毒の発現は、酸素の吸入時間と分圧に相関するが、間歇的酸素吸入（エアブレイク）による回復効果が得られ、発症までの時間を延長させることができる。

(3) 対処方法

- ① 酸素マスクをはずす
- ② 症状の消失を待つ

- 1) 適応
 - ・ 60ft, 10分以内には, 完全には症状が消失しない I 型減圧症
 - ・ I 型減圧症が疑われるが, 神経学的評価が十分ではないもの
 - ・ I 型減圧症及びその再発
 - ・ 無症候性の減圧無視で, 減圧無視が30分以上
 - ・ 症状を伴う減圧無視で, 60ft以浅からの急上昇
 - ・ 60ftでの再圧治療に反応する動脈ガス塞栓症
- 2) 加圧速度: 60kPa/分 (0.6kg/cm²/分, 20ft/分)
- 3) 減圧速度: 3 kPa/分 (0.03kg/cm²/分, 1 ft/分) 以下. 減圧速度に遅れを生じた場合にも, 時間補正する必要はない.
- 4) 酸素吸入は60ft到着後から開始する.
- 5) 中枢神経系酸素中毒のため酸素吸入が中断された場合には, 症状消失後15分して酸素投与を再開する. この場合, 治療中断点から治療を再開する.
- 6) 60ftにおいては, 25分を1サイクルとする酸素吸入(20分酸素吸入, 5分エアープレイク)は, 2回まで延長可能である. 同様に, 30ftにおいても, 75分を1サイクルとする酸素吸入(60分酸素吸入, 15分エアープレイク)を, 2回まで延長可能である.
 - ・ 60ft並びに30ftにおける酸素呼吸終了時に, 症状の残存がみられる場合に使用する.
 - ・ 60ftでの延長を優先する. 酸素中毒症状の発現により, 60ftでの延長が不可能な場合には, 30ftでの延長を考慮する.
 - ・ 初回の再圧治療の場合及び脊髄症状が強い場合には積極的に延長を行う.
 - ・ 本来であれば治療表4及び7の適応となる症例を, 治療表6の延長型で治療を実施する場合にはfull extensionとする.
- 7) 延長を行わなかった場合, あるいは延長をいずれかの深度で1回のみ行った場合には, 介助者は30ftでの最後の30分間と大気圧まで減圧する間酸素吸入を行う. 延長を2回以上実施した場合には, 30ftでの酸素吸入を60分に延長する. もし, 介助者が治療前12時間以内に高圧環境に暴露されていた場合には, 30ftでの酸素吸入をさらに60分間追加する.



治療表6 延長型のUPTD

・ 180kPaで1回延長	720
・ 180kPaで2回延長	793
・ 90kPaで1回延長	789
・ 90kPaで2回延長	932
・ 180kPaで1回, 90kPaで1回延長	862
・ 180kPaで1回, 90kPaで2回延長	1005
・ 180kPaで2回, 90kPaで1回延長	936
・ 180kPaで2回, 90kPaで2回延長	1078

図6 治療表6及び延長型

1) 適 応

第 2 種装置及び空気加圧（酸素マスク）型の第 1 種装置が使用できない場合で、患者の症状により緊急避難的に酸素再圧治療が必要と考えられる場合（真にやむおえない場合を除き、使用してはならない。）

2) 加圧速度：100kPa/10分（0.1kg/cm²/分、3.3 ft/分）

3) 減圧速度：100kPa/15分（0.06kg/cm²/分、2.2 ft/分）以下

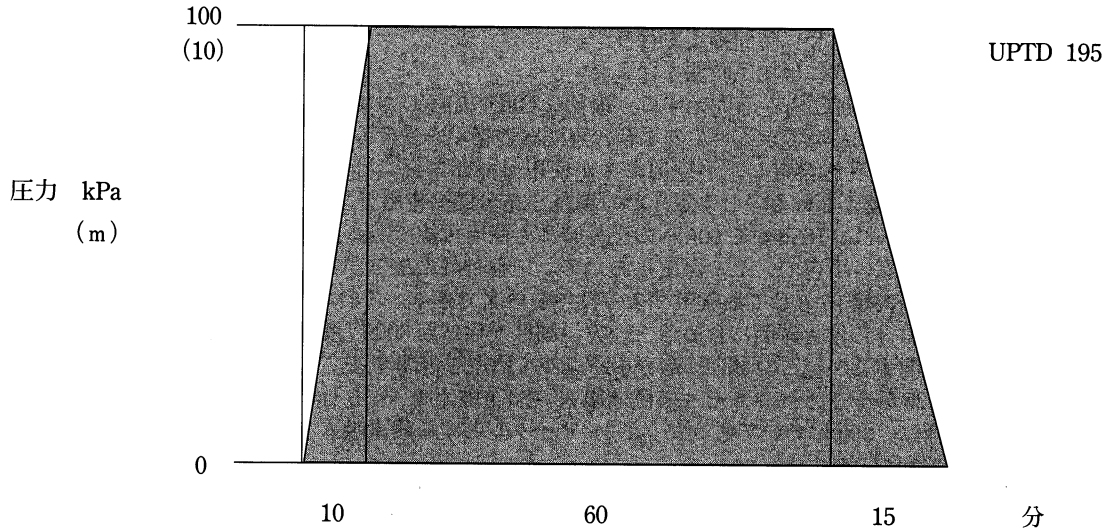


図 8 以降の治療表を選択せざるを得なくなった場合には、治療タンクの性能、治療に携わる人員、医療用器材、薬品などの装備面を考慮し、必ず潜水医学の専門医に相談すること

図 7 酸素加圧型第 1 種装置による治療表

③完全に症状が回復した後さらに15分患者の様子を観察する。

④中断した時点に戻って酸素吸入を再開する。

注意：全身性の痙攣が生じた場合、エアウェイ・バイトブロック等を口腔に挿入してはならない。減圧中に痙攣が生じた場合には肺の圧外傷を避けるため減圧を一時停止する。

(4)例外規定

上記処置を講じたにも関わらず、酸素中毒による痙攣が2回連続して生じた場合には再度の酸素投与は行わず、専門医にコンサルトする。

(2) 肺酸素中毒

(1)高分圧酸素を呼吸することにより、胸痛、呼吸困難、咳及び不定愁訴などの臨床症状の出現及び肺機能検査による肺拡散能や肺活量の低下が見られることがある。

(2)予防及び対処法

肺酸素中毒発症の指標として、肺酸素中毒単位数（UPTD：Unit Pulmonary Toxic Dose）の概念が提唱されており³⁷⁾、1回の治療で1,425 UPTD、1週間で3,000UPTDをこえる再圧治療を行った場合に、臨床症状並びに肺機能検査における異常値が出現する頻度が高くなると考えられている。

$$UPTD = [0.5 / (pO_2 - 0.5)]^{-0.833} \times t$$

(pO_2 ：ATA, t ：分)。中枢神経系酸素中毒と同様間歇的な酸素吸入により予防効果がみられる。1日2回で600 UPTDの再圧治療では蓄積的な中毒は生じないといわれている。再圧治療の継続のため、治療効果と副作用を勘案し、治療計画を立案する必要がある（各治療表のUPTDについては以下の各種治療表の項を参照）。

(3) 圧外傷

高気圧酸素治療の安全基準（高気圧環境医学会）

- 1) 適 応
 - ・ 60ft における 20 分の酸素吸入時には反応は見られないが、165ft に加圧後 30 分以内に完全に症状が消失する動脈ガス塞栓症（実際にはまれ）
 - ・ 症状を伴う減圧無視で、60ft 以深からの急上昇
- 2) 加圧速度：60kPa/分（0.6kg/cm²/分、20ft/分）
- 3) 減圧速度：165ft から 60ft までは 9 kPa/分（0.09kg/cm²/分、3ft/分）以下、60ft からは 3 kPa/分（0.03kg/cm²/分、1 ft/分）以下とする。上昇速度に遅れを生じた場合にも、時間補正する必要はない。減圧速度が速すぎた場合には、減圧を一時停止し、時間補正を行う。
- 4) 治療深度における停止時間には加圧時間を含まない。
- 5) 治療表は最初の 60ft への加圧時から開始する。最初に 60ft へ加圧した場合、165ft への加圧開始までに 20 分以下であれば 60ft に留まることができる。この場合、専門医の指示を受けること。
- 6) 治療タンクで高酸素濃度を含有した治療用ガスが使用可能な場合には、165 年以浅において使用可能である。酸素分圧は 2.8ATA を越えないものとする。この場合、25 分間治療用ガスを吸入し、5 分間のエアブレイクをおく。また治療用ガスは、165ft から 60ft への上昇時にも使用可能である。
- 7) 治療深度が 60ft より深い場合で、その深度において、中枢神経系酸素中毒のため治療用ガスの吸入が中断された場合には、症状消失後 15 分して治療用ガスの投与を再開できる。この場合、治療用ガスを吸入していない時間も、治療深度における停止時間に含める。一方、同様の症状が 60ft 以浅で生じた場合には、症状消失後 15 分して酸素投与を再開するが、この場合は治療中断点から治療を再開する。
- 8) 60ft においては、25 分を 1 サイクルとする酸素吸入（20 分酸素吸入、5 分エアブレイク）は、2 回まで延長可能である。同様に、30ft においても、75 分を 1 サイクルとする酸素吸入（60 分酸素吸入、15 分エアブレイク）を、2 回まで延長可能である。
- 9) 延長を行わなかった場合、あるいは延長をいずれかの深度で 1 回のみ行った場合には、介助者は 30ft での最後の 60 分間と 0 ft まで減圧する間、酸素吸入を行う。延長を 2 回以上実施した場合には、30ft での酸素吸入を 90 分に延長する。もし、介助者が治療前 12 時間以内に高圧環境に暴露されていた場合には、30ft での酸素吸入をさらに 60 分間追加する。
- 10) 165ft での最初の 30 分間に顕著な改善が得られなかった場合、治療表 4 移行前に専門医の指示を受ける。

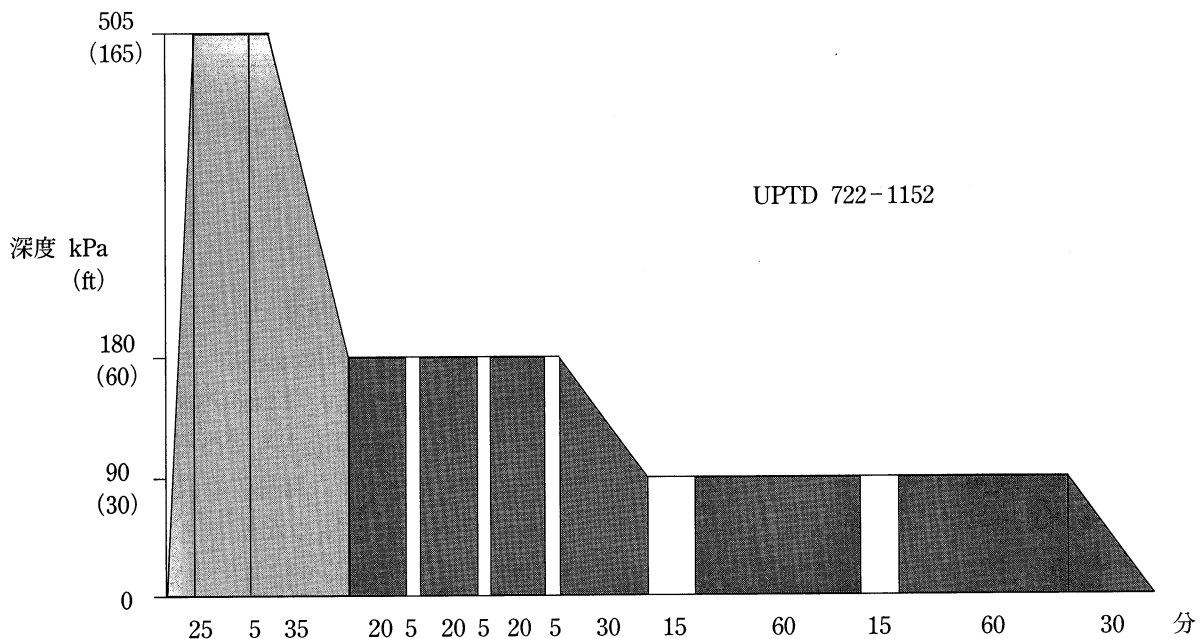


図 8 治療表 6A

第 8 章第 1 節、気圧障害の項に詳述されている¹⁾。特に高頻度に出現する中耳圧外傷については、有効な対処法（耳抜き：バルサルバ法、嚥下、あくびなど）について治療前に患者に十分説明する。

また圧外傷の症状が出現した場合には、加圧時であれば加圧を一時停止し、もし必要であれば減圧を実施し、耳抜きを行わせる。減圧時に症状が出現したものについては、減圧を一時停止し、患者

1) 適 応

- ・ 60ftでさらに治療時間が必要と考えられる II 型減圧症
 - ・ 165ft, 30分以内に症状が寛解するも、最初の加圧時に60ftで20分以上を費やした場合
- 2) 治療表は60ftへの到着後開始する。60ftまでの加圧は、当初使用した治療表 6, 6 A, 4 に従って行う。もし、60ftより浅い深度まで上昇していた場合には、20ft/分 (60kPa/分) の速度で60ftまで再度加圧する。
 - 3) 60ftでの治療時間に制限はない。もし何らかの理由により12時間未満で減圧を行わねばならない場合を除いて、60ftに最低12時間留まる。
 - 4) 患者は60ftから酸素吸入を開始する。治療終了まで介助者は酸素呼吸の必要はない。また酸素呼吸が中断された場合にも、治療表を延長する必要はない。
 - ・ 患者に意識がある場合：酸素は25分間の酸素呼吸を行った後に5分間のエアブレイクを置く。これを1サイクルとして4回の酸素吸入サイクルを行った後に、2時間のエアブレイクを置く。最低8回の酸素吸入を実施した後、さらに酸素吸入の必要があると考えられる場合には専門医の意見に従う。
 - ・ 患者が意識不明の場合：最大24回の酸素吸入サイクルを行う。
 - 5) 減圧は60ftから58ftへの2ftの上昇をもって開始する。治療表に示されるとおり、2ftごと120分の減圧停止を行う。停止時間には、1段階深い深度からの上昇時間を含む。4ftでは4時間の減圧停止を行い、1ft/分の速度で減圧を行う。
 - 6) 治療表4実施前には、ライフサポート面に問題がないことを確認する。
 - 7) 治療表7実施時には、専門医の指示を受ける。

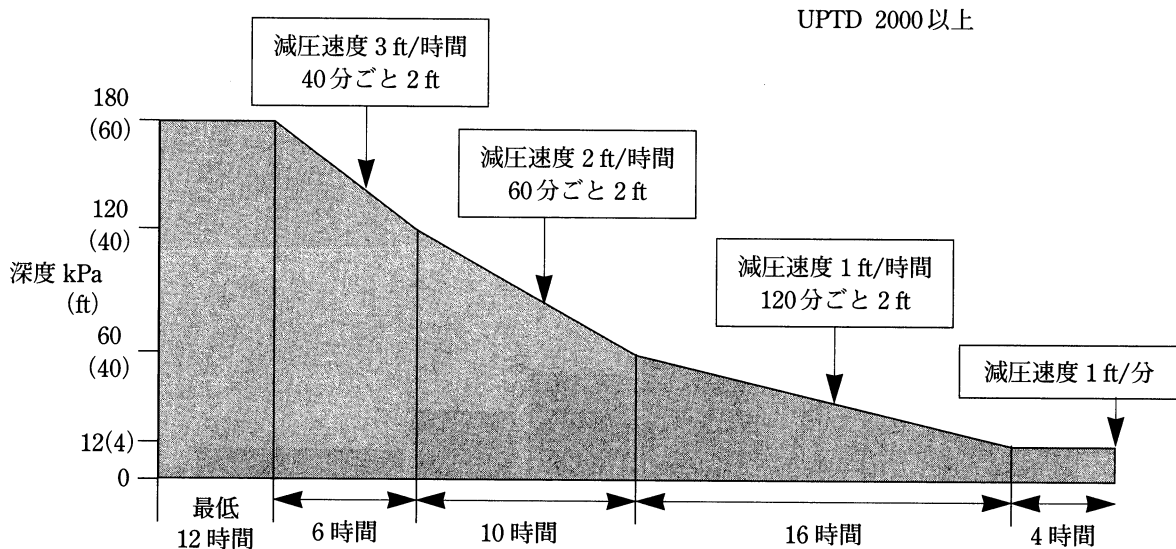


図9 治療表7

の様子を観察する。症状の改善がない場合には、減圧速度を遅くするなどの対処が必要となる³⁸⁾。

7) 治療の継続と中止

(1) 再圧治療の前後で、症状の改善が見られる限り再圧治療を継続すべきである。再圧治療に反応が見られず、症状が固定したと判断された場合には治療を終了する。

(2) 治療回数としては、5～14回を目安とする考え方もあるが、5回を越えた場合に再圧治療を継続する意味はないとする報告もある⁸⁹⁾。再圧治療により、肺酸素中毒の症状及び検査所見が得られた場合にも、治療の一時的な中止あるいは継続不

能の判断が必要となる場合がある。

8) 治療タンク内の環境管理

(1) 第2種装置

- ① 酸素濃度：19～25% (火災防止のため、上限厳守)
- ② 二酸化炭素：1 kPa (0.01 kg/cm²) 以下
- ③ 温度：患者の体感温度を考慮して制御する

(2) 第1種装置

- ① 二酸化炭素：1 kPa (0.01 kg/cm²) 以下

9) 再圧治療後の潜水への復帰

減圧障害発症後、再圧治療により症状が消失した場合には、患者及び内室介助者は以下の期間潜

1) 適 応

- ・ 治療表 6 で治療中、60ft で症状の増悪する I 型減圧症
- ・ 165ft に加圧するも 30 分以内には症状が寛解しない動脈ガス塞栓症
- ・ 60ft 以深での症状の再発

2) 加圧速度：60kPa/分 (0.6kg/cm²/分, 20ft/分)3) 減圧速度：3 kPa/分 (0.03kg/cm²/分, 1 ft/分) 以下

4) 165ft での治療時間には、165ft までの加圧時間を含む。

5) 酸素が使用可能であれば 60ft への到着後、エアブレイクを挟んで酸素呼吸を開始する。25 分の酸素吸入後、5 分間のエアブレイクを設け、60ft で最低 4 サイクルの酸素吸入を実施する。以後は、専門医の判断により酸素吸入を継続することができる。患者、介助者とも 30ft からの減圧 2 時間前から酸素吸入を行い、大気圧到着まで少なくとも 4 時間は酸素吸入を実施する。酸素が使用できない場合には、空気による減圧を継続する。

6) 治療表 4 実施前には、ライフサポート面に問題がないことを確認する。

7) 酸素吸入を中断した場合でも治療表を延長する必要はない。

8) 治療表 6 A あるいは 3 から治療表 4 に移行した場合には、165ft に 2 時間留まる。

9) 高濃度酸素分圧の治療用ガスが使用可能であれば、165ft で使用してもよい。この場合も酸素分圧は 2.8ATA を越えてはならない。治療用ガスは 5 分間のエアブレイクを挟んで 25 分間呼吸する。

深度 ft

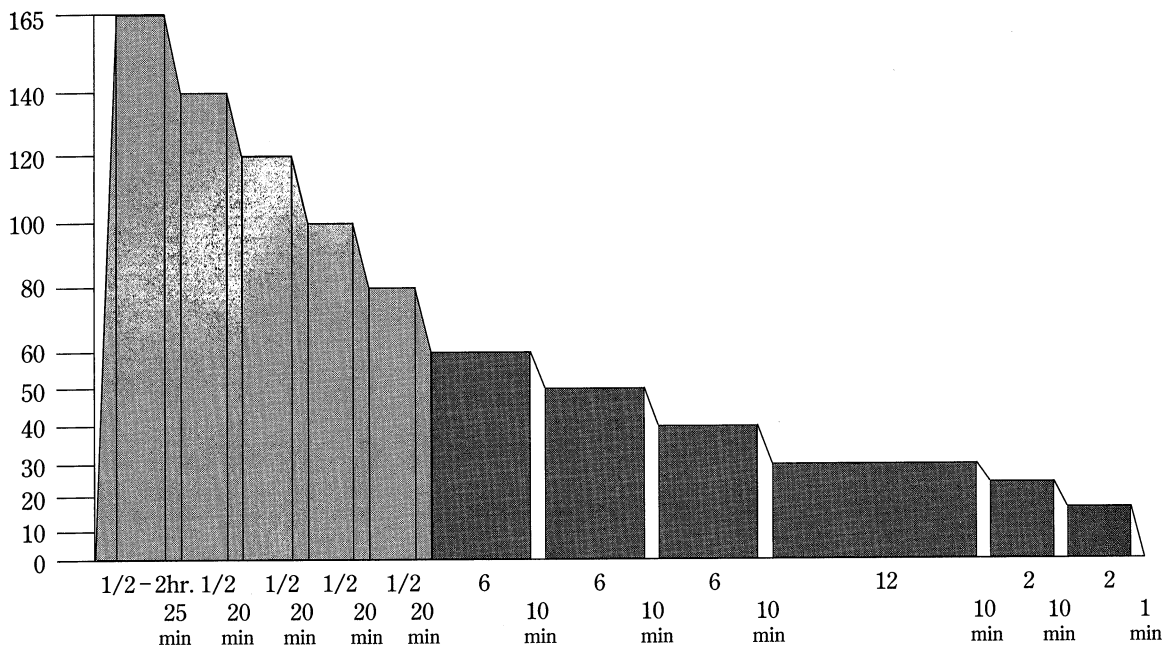


図 10 治療表 4

水してはならない。また症状が完全に完治しない限り、潜水の許可は出すべきではない³⁾。

(1) 患 者

- | | |
|-------------|------|
| ① 治療表 5 | 1 週間 |
| ② 治療表 6, 6A | 4 週間 |
| ③ 治療表 4, 7 | 3 ケ月 |

(2) 内室介助者

- | | |
|----------------|-------|
| ① 治療表 5, 6, 6A | 24 時間 |
| ② 治療表 4, 7 | 48 時間 |

11) 再圧治療後の飛行

再圧治療終了後、症状及び状況に応じ以下の期

間患者及び内室介助者の飛行機搭乗は控えるよう指導する。ただし、飛行機が機内高度 2,300ft 以下を飛行する場合においてはその限りではない³⁾。

(1) 患 者

- | | |
|------------------------------|-------|
| ① I 型減圧症で治療により症状が完全に消失したものの | 24 時間 |
| ② II 型減圧症で治療により症状が完全に消失したものの | 48 時間 |
| ③ 減圧症、動脈ガス塞栓症の症状が残存している場合 | 72 時間 |
| ④ 治療表 4, 7 を使用した場合最終治療から | 72 時間 |

- 1) 適 応
 - ・ 減圧障害の治療後の遺残症状
 - ・ UPTDの都合上、連続した再圧治療が実施できない場合、あるいは慢性肪酸素中毒が生じた場合（一時的な使用）
- 2) 加圧速度：60kPa/分（0.6kg/cm²/分，20ft/分）
- 3) 減圧速度：60kPa/分（0.6kg/cm²/分，20ft/分），患者の状況に応じて3kPa/分（0.03kg/cm²/分，1ft/分）まで減速可能。
- 4) 45ftでの治療時間は、45ft到着後から開始する。
- 5) 中枢神経系酸素中毒のため酸素呼吸が中断された場合には、症状消失後15分して、酸素投与を再開する。この場合、治療中断点から治療を再開する。
- 6) 介助者は45ftでの最後の15分から0ft到着まで、上昇速度の如何に関わらず酸素吸入を行う。
- 7) 患者が45ftの酸素呼吸に耐えられない場合、治療深度を30ftに変更できる。また酸素呼吸を最大3～4時間まで延長することもできる。

UPTD 270

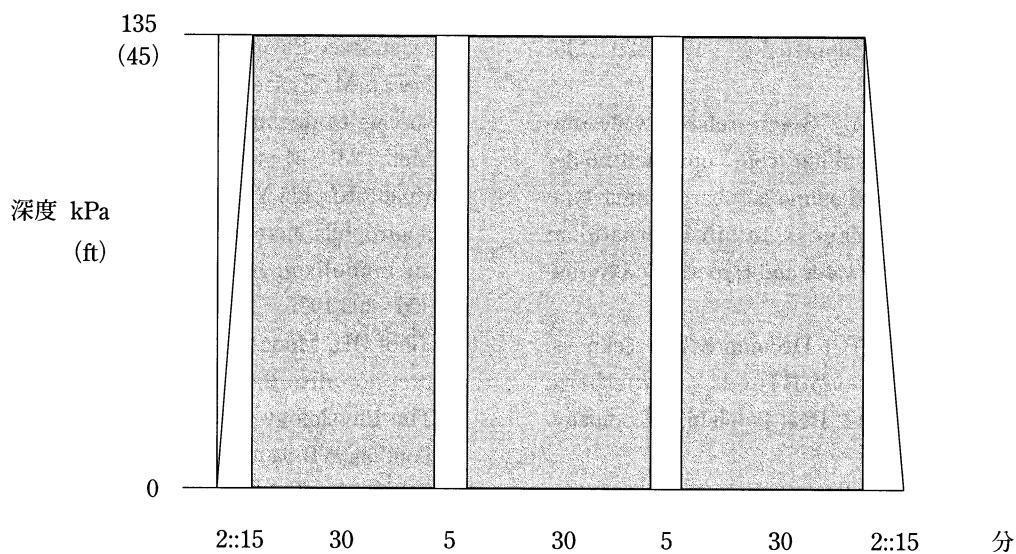


図11 治療表9

(2) 内室介助者

- | | |
|----------------|------|
| ① 治療表 5, 6, 6A | 12時間 |
| ② 治療表 4, 7 | 48時間 |

謝辞

細部にわたりご指導いただきました都立荏原病院脳神経外科部長、杉山弘行先生に深謝いたします。

〔参 考 文 献〕

- 1) 日本高気圧環境医学会，高気圧酸素治療の安全基準（平成7年11月6日最終改正），日高压医誌 34：379-393，1995
- 2) 減圧症治療参考マニュアル（改訂版），真野喜洋

編著，東京，日本海洋レジャー安全・振興協会，1999

- 3) Diving medicine & recompression chamber operation：US Navy Diving Manual, Volume 5, NAVSEA 0994-LP-001-9110, 1999
- 4) 鈴木信哉，新海正晴，小原一葉，党本英治，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表の適用について．日高压医誌 33：127-142，1998
- 5) 減圧症治療参考マニュアル，真野喜洋編著，東京，日本海洋レジャー安全・振興協会，1993
- 6) Goodman MW, Workman RD. Minimal recompression, oxygen-breathing approach to treatment of decompression sickness in divers and aviators. U.S.Navy Experimental Diving Unit Research Report, 5-65, 1965
- 7) Goodman MW, Minimal-recompression, oxygen-

- breathing method for the therapy of decompression sickness. In Lambertsen CJ ed. *Underwater Physiology : Proceedings of the third symposium on underwater physiology*, Baltimore, Williams and Wilkins, 1967, 165-182
- 8) 医科診療報酬点数と早見表 平成10年4月改正, 医療保険業務研究協会, 1998, 619
 - 9) Dutka AJ. : Clinical findings in decompression illness : a proposed terminology. In Moon RE., Sheffield PJ, eds. *Treatment of decompression illness*, Forty-fifth Workshop of the Undersea and Hyperbaric Medical Society, 1996, 1-9
 - 10) Neuman TS, Bove AA. : Combined arterial gas embolism and decompression sickness following non-stop dive. *Undersea Biomed Res* 17 : 429-436, 1990
 - 11) Neuman TS, Bove AA. : Severe refractory decompression sickness resulting from combined no-decompression dives and pulmonary barotrauma: type III decompression sickness. In 9th International Symposium on Underwater and Hyperbaric Physiology, 1987, 985-991
 - 12) Elliot DH, Kindwall EP. : Decompression sickness. In Kindwall EP, Whelan HT, eds. : *Hyperbaric Medicine*, 2nd ed., AZ, Best Publishing Company, 1999, 433-485
 - 13) Francis TJR, Gorman DF. : Pathogenesis of the decompression disorders. In Bennett P, Elliot DH., eds. *The Physiology and Medicine of Diving*, 4th ed., London, WB Saunders, 1993, 454-480
 - 14) Vann RD, Thalmann ED. : Decompression physiology and practice. In Bennett P, Elliot DH, eds. *The Physiology and Medicine of Diving*, 4th ed., London, W.B. Saunders, 1993, 454-480
 - 15) 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, 127-135
 - 16) Warren BA, Philp RB, Inwood MJ. : The ultrastructural morphology of air embolism : Platelet adhesion to the interface and endothelial damage. *Br J Exp Pathol* 54 : 163-172, 1973
 - 17) Persson LI, Johanasson BB, Hansson HA. : Ultrastructural studies on blood-brain barrier dysfunction after cerebral air embolism in the rat. *Acta Neuropathol* 44 : 53-56, 1978
 - 18) Gorman DF, Browning DM. : Cerebral vasoreactivity and arterial gas embolism. *Undersea Biomed Res* 13 : 317-335, 1986
 - 19) Catron PW, Flynn ET. : Adjuvant drug therapy for decompression sickness. A review. *Undersea Biomed Res* 9 : 161-174, 1982
 - 20) Hallenbeck JM, Leitch DR, Greenbaum LJ, McKee AE, Dutka AJ : Prostaglandin 12, indomethacin, and heparin promote postischemic neuronal recovery in dogs. *Ann Neurol* 12 : 145-156, 1982
 - 21) Kochanek PM, Dutka AJ, Kumaroo KK, Hallenbeck JM : Platelet activating factor receptor blockade enhances recovery after multifocal brain ischemia. *Life Sci* 41 : 2639-2644, 1987
 - 22) Weiss SJ : Tissue destruction by neutrophils. *New Eng J Med* 320 : 365-376, 1989
 - 23) Boussuges A, Succo E, Juhan-Vague I, Sainty JM : Activation of coagulation in decompression illness. *Aviat Space Environ Med* 69 : 129-132, 1998
 - 24) Perka M, Ersson A : Complement system response to decompression. *Undersea Hyperbaric Med* 23 : 31-34, 1996
 - 25) Huang KL, Lin YC : Activation of complement and neutrophils increases vascular permeability during air embolism. *Aviat Space Environ Med* 68 : 300-305, 1997
 - 26) Elliot DH, Moon RE : Manifestation of the decompression disorders. In Bennett P, Elliot DH, eds. *The Physiology and Medicine of Diving*, 4th ed., London, WB Saunders, 1993, 481-505
 - 27) 池田知純 : 潜水医学入門 ; 安全に潜るために. 東京, 大修館書店, 1995, 121-133
 - 28) Kindwall EP : Gas embolism. In Kindwall EP, Whelan HT, eds. *Hyperbaric Medicine*, 2nd ed., AZ, Best Publishing Company, 1999, 433-485
 - 29) Report on decompression illness and diving fatalities: 1999 ed., Diving Alert Network, 1999
 - 30) Hall ED. The neuroprotective pharmacology of methylprednisolone. *J Neurosurg* 76 : 13-22, 1992
 - 31) Francis TJ, Dutka AJ : Methyl prednisolone in the treatment of acute spinal cord decompression sickness. *Undersea Biomed Res* 16 : 165-174, 1989
 - 32) 水島裕, 宮本昭正 : 今日の治療薬一解説と便覧. '99, 東京, 南江堂, 1999, 196
 - 33) Dutka AJ, Mink RB, McDermott J, Clark JB, Hallenbeck JM. The effect of lidocaine on somatosensory evoked response and cerebral blood flow following canine cerebral air embolism. *Stroke* 23 : 1515-1520, 1992
 - 34) Drewry A, Gorman DF : Lidocaine as an adjunct to hyperbaric therapy in decompression illness: a case report. *Undersea Biomed Res* 19 : 187-190, 1992
 - 35) 四ノ宮成祥 : 高圧酸素と酸素中毒. 日高圧医誌 32 : 109-123, 1998

- 36) Clark JM, Whelan HT, Oxygen toxicity. In Kindwall EP, Whelan HT, eds. Hyperbaric Medicine, 2nd ed., AZ, Best Publishing Company, 1999, 69-82
- 37) Bardin H, Lambertsen CJ : A quantitative method for calculating pulmonary toxicity. Use of the " Unit pulmonary toxicity dose "(UPTD). Institute for Environmental Medicine Report, Philadelphia, University of Pennsylvania, 1970
- 38) Kindwall EP : Management of complications in hyperbaric treatment. In Kindwall EP, Whelan HT, eds. Hyperbaric Medicine, 2nd ed., AZ, Best Publishing Company, 1999, 365-376
- 39) Vann RD, Bute BP, Ugucioni DM, Smith LR : Prognostic factors in DCI in recreational divers. In Moon RE, Sheffield PJ, eds. Treatment of decompression illness, Forty-fifth Workshop of the Under sea and Hyperbaric Medical Society, 1996, 352-363