

## ●特集・減圧症治療の現況と問題点

## 減圧症治療の現況と問題点

## ——東京医科歯科大学における減圧症治療の現況と問題点——

眞野喜洋\*

東京医科歯科大学は一次医療施設ではないので減圧症の新鮮例は少ない。減圧症に占めるI型ベンズは90%以上といわれるが、我々の事例では50%以下である。減圧症患者は我々の大学ではダイバーと圧気作業者とに大別されるが、ダイバーの占める比率が10年前には15.4%だったものが5年前には42.9%となり、最近5年間では80%になってきた。ダイバーにおける減圧症の発生率はダイバー人口の増加とか、圧気作業者の減少などの社会環境要因が関わっていると思われる。

本学における減圧症の治療方針は1981年に決められた。本学ではその治療表として5Aと6A表を転用している。しかし、米海軍マニュアルによるこれらの表は減圧症の治療表としては5kg/cm<sup>2</sup>から1.8kg/cm<sup>2</sup>までの減圧比が毎分0.8kg/cm<sup>2</sup>というのは急峻すぎるといえる。そこで、本学ではもっとゆっくりした減圧比に改良している。

我々はさらに呼吸具を改良して、従来のデマンド型より少ない機械的抵抗とより少ない死腔にした。

減圧症の高圧酸素療法を実施中数名の酸素毒性を経験しているが、特にフリーラジカルは重要な課題であるので、慎重に対処すべき研究テーマの一つとして今後とも取り組んで行く予定である。

キーワード：減圧症，高圧酸素療法，再圧治療表，酸素呼吸器，活性酸素

### The matter and points of DCS treatment at Tokyo Medical and Dental University

Yoshihiro Mano, M.D.\*

Tokyo Medical & Dental University

Tokyo Medical & Dental University is not a primary medical facility. So, there are few fresh cases of decompression sickness (DCS). It is said that the type one bends occupies over 90% of all DCS, however it has been less than 50% at our cases. The patients of DCS are divided into divers and compressed air workers at our university. The rate of patients in divers had been only 15.4% of the total DCS cases ten years ago, but it increased to 42.9% after 5 years, and finally it

has become to 80.0% in these 5 years.

This increase of DCS rate in divers is depended on social circumstances like as the increase of divers' population and the decrease of compressed air workers.

The treatment protocol of DCS at our university has been decided in 1981. We divert table 5A and 6A to the purpose of DCS treatment, however these tables by U.S.N. diving manual have rapid decompression rate of 0.8kg/cm<sup>2</sup>/min from 5.0 to 1.8 kg/cm<sup>2</sup> when we consider it as the treatment table of DCS. So, we have modified the decompression rate more slowly.

We have also improved the breathing apparatus to keep lower mechanical resistance and smaller dead space than demand type.

There are a few patients of oxygen toxicity during HBO for DCS. It needs for us to consider oxygen toxicity, especially free radical activity

\*東京医科歯科大学医学部公衆衛生学

more carefully on HBO for DCS. This is now our one of main research programs.

**Keywords :** \_\_\_\_\_

Decompression Sickness (DCS)  
Hyperbaric Oxygen Therapy (HBO)  
recompression table  
oxygen breathing apparatus  
free radical

**緒 言**

東京医科歯科大学は一次医療機関ではないため、減圧症 (DCS) が急性の初発患者として来院するケースは少なく、したがって、I型がDCSに占める割合は通常90%以上といわれているが本学では50%未満である。DCSの発症地域は全国に及び、近年はレジャー・ダイビングの普及に伴い、海外で発症した事例が増えてきた。また、圧気作業者と潜水関係者とのそれぞれが占める割合は最近5年間で逆転し、潜水関係者が全体の五分の四を占めるに至った。

治療方法は再圧療法を主体に理学検査と補液、薬物療法が原則である<sup>1,2)</sup>。再圧治療法については本学独自のチャートを使用している<sup>3)</sup>。

本稿では、本学の来院患者の特徴とその年代推移などを中心に減圧症治療の現状と問題点について言及したい。

**減圧症事例の傾向と推移**

本学に高圧タンクが設置されたのは1966年で、1988年12月までの22年間に来院したDCS及び空気塞栓症 (AGE) は341例であった。その内訳はDCSのType Iが156例、Type IIが176例でAGEは9例であった(表1)。最近10年間の年次変化をみると1982年から84年にかけて来院者が急減し、85年からふたたび増加する傾向にあった。この主たる理由は、来院する患者の質的变化に依ると考えられる。すなわち、10年前までは社会的ニーズの高かったニューマチックケーソンや圧気シールド作業に対して機械掘削などの人力を用いない無人化が計られるようになり、圧気土木作業は

急減し、作業員の減少が自然淘汰となると共に、圧気土木に従事する人達の安全意識の高揚と相俟って、減圧管理が厳しくチェックされるようになった。我々の行った減圧症の実態調査 (1982~84年) においても減圧症の発症率はそれまでの発症率が2~7%にものぼったものが1%以下に抑えられ、DCSの激減が目立った<sup>4)</sup>。

一方、この頃から、日本においてはSCUBA潜水がスポーツとして脚光を浴びるようになって、レジャーダイバーの人口が等比級数的に増加して、1981年には2万人余りしかいなかったダイバー人口は今日では40万人余りと増加して、それまであまり認められなかった、スポーツダイバーのDCSが本学を来院するようになってきた(表2, 図1)<sup>5)</sup>。つまり1979年頃より圧気土木作業者のDCSが減少しだす状況と入れ替わりに潜水関係者のDCSが増加し、とくに漁業ダイバーとスポーツダイバーのDCSが多くなり、この傾向は1985年より顕著となって、1986年、87年はI型DCSとして来院する患者の占める割合が増加していた。

10年前にはDCS治療の目的で本学を訪れる潜水関係者は全体の15.4%でしかもスポーツダイバーは皆無であった。それが表2でも明らかのように5年前には潜水関係者が全体の42.9%を占める

**表1 減圧症の症状別年次推移**  
(東京医科歯科大学 1966~1988)

	Type I	Type II	空気塞栓症	合計
1966~'78	46	80	2	128
79	11	13	1	25
80	10	13	0	23
81	12	11	3	26
82	3	5	0	8
83	7	6	0	13
84	8	9	1	18
85	14	13	1	28
86	21	6	1	28
87	19	11	0	30
88	5	9	0	14
合計	156	176	9	341

表2 本学の職業別減圧症発症の推移

(東京医科歯科大学1970~1988)

	1970~'78			1979~'83			1984~'88			合 計
	Type I	Type II	空気塞栓症	Type I	Type II	空気塞栓症	Type I	Type II	空気塞栓症	
圧気土木 作業者	46	42	1	27	25	0	12	11	0	164 (51.4%)
漁業ダイバー	2	5	0	3	10	1	41	17	0	79
職業ダイバー	4	5	1	5	6	1	6	10	0	38
スポーツダイバー	0	0	0	8	7	2	8	10	3	38
ダイバーの合計	6	10	1	16	23	4	55	37	3	155 (48.6%)
小 計	52	52	2	43	48	4	67	48	3	319 (100%)
	104 (100%)			91 (100%)			115 (100%)			

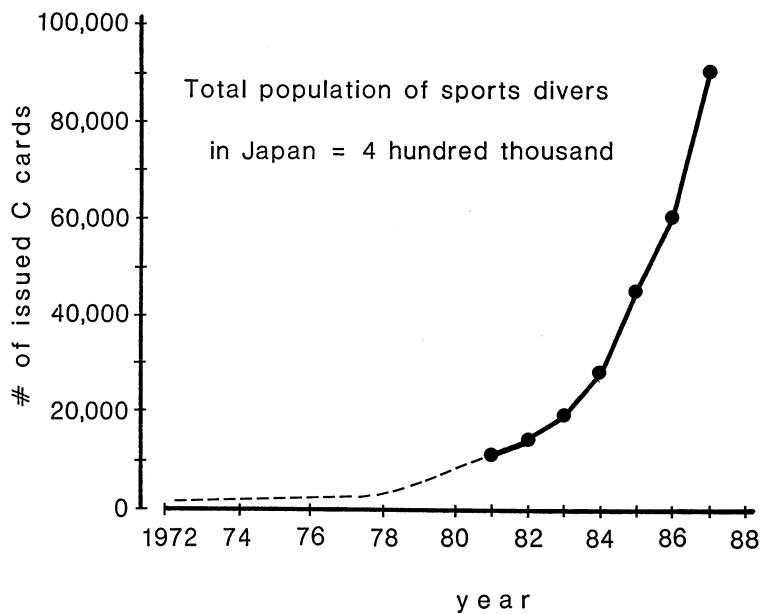


図1 スポーツダイバーのCカード発行枚数の年次推移

ようになり、最近5年間では80%を占めている。更に潜水関係者は圧気土木環境と異なり、救急再圧タンクを有する割合が少ないために圧気土木作業では現地で救急再圧され、本学を訪れる率の少ないI型DCSの占める率も増大している。1980年代よりはスポーツダイバーの急増と共に潜水関

係者のDCS事例が増えてきた。その反省から88年にはスポーツダイバー数の指標となるCカードの発行が横ばいになり、またDCSも減少した(表1)。本学のDCS来院数の推移はこのように社会的要因の影響を反映する傾向にあるといえる。

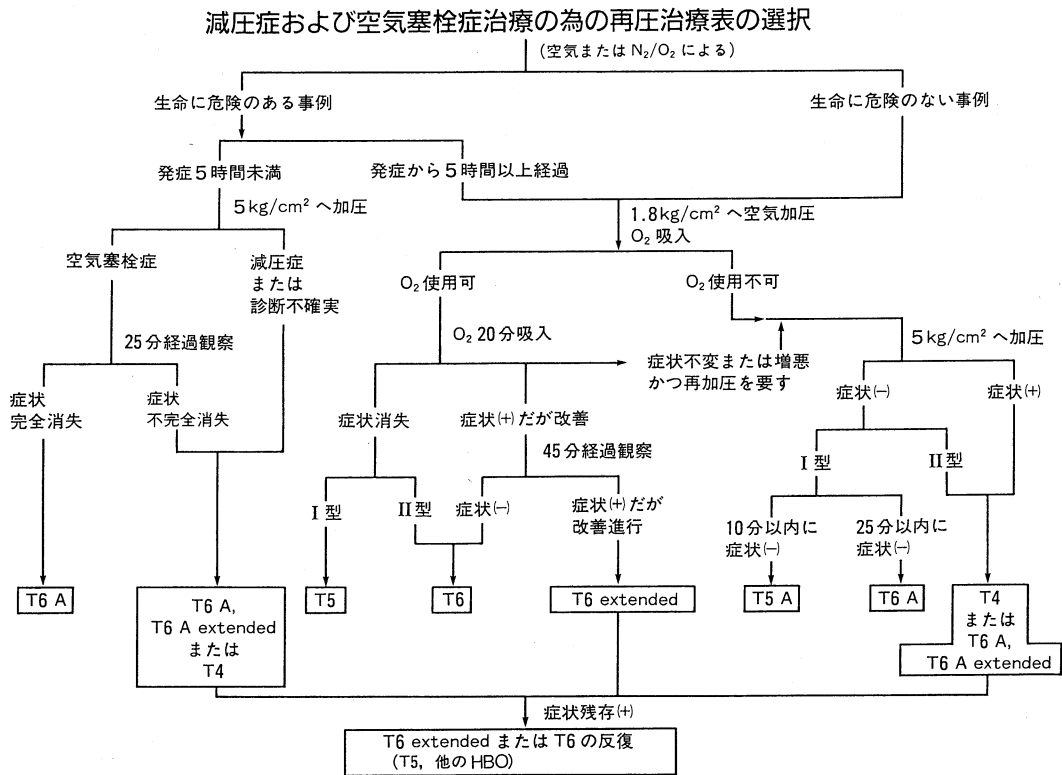


図2 本学における減圧症および空気塞栓症治療の再圧治療表の選択 (1981年)

再圧治療表の選択基準

本学における再圧治療表の選択基準は1981年以降、図2のようなチャートを用いることを原則としている。米国海軍表や英国海軍表なども参考に再圧表選択の基準を定めた<sup>3)</sup>。この中での特長は米海軍表で定めている治療表6 Aをそのまま使用せず、6 A-1から6 A-4に改良したことである。5 Aや6 Aは空気塞栓症の治療表であるが、5kg/cm<sup>2</sup>における保圧後の1.8kg/cm<sup>2</sup>までの減圧はわずか4分間と短すぎる。このような減圧法を用いると再圧治療の手技のみで気泡が形成されることが実験的に証明されたのでDCSの治療表としては不適である<sup>6,7)</sup>。しかし、このことは5 kg/cm<sup>2</sup>までの加圧がDCSの治療に無意味であるとか有害であるとかの議論にはならない。5 kg/cm<sup>2</sup>へ加圧した後の減圧速度が治療表としては速すぎる点にこの5 A, 6 A表は問題がある。本学

では5 Aまたは6 A-1を用いる場合には5kg/cm<sup>2</sup>より3kg/cm<sup>2</sup>までは、毎分1.0kg/cm<sup>2</sup>の割合で減圧するが、3kg/cm<sup>2</sup>より1.8kg/cm<sup>2</sup>までは毎分0.1kg/cm<sup>2</sup>の割合で12分間を要す。つまり、一般に用いられる5 A, 6 A表では酸素吸入を開始する1.8kg/cm<sup>2</sup>に達するまでの減圧時間が4分間であるが、本学で用いる5 A, 6 A-1では14分間を費やす(図3)<sup>7)</sup>。これによって5kg/cm<sup>2</sup>加圧からの減圧に伴う新しい気泡の形成を減じせしめた。6 A-2から6 A-4の2, 3, 4は5kg/cm<sup>2</sup>より1.8kg/cm<sup>2</sup>までの減圧方法を既存の空気再圧表、第2 A, 3, 4表の減圧ステップに準じるという方法を用い、それぞれの空気再圧表の選択に準じて、1.8kg/cm<sup>2</sup>まで減圧した時点で第6欄にしたがう。但し、第6 A-3を用いた場合には原則的に1.8kg/cm<sup>2</sup>下における酸素吸入回数3回を4~5回に延長するT6表のextended表とする。第6 A-4を用いた場合には、症状の残存状況に

Table 6A - TMDU

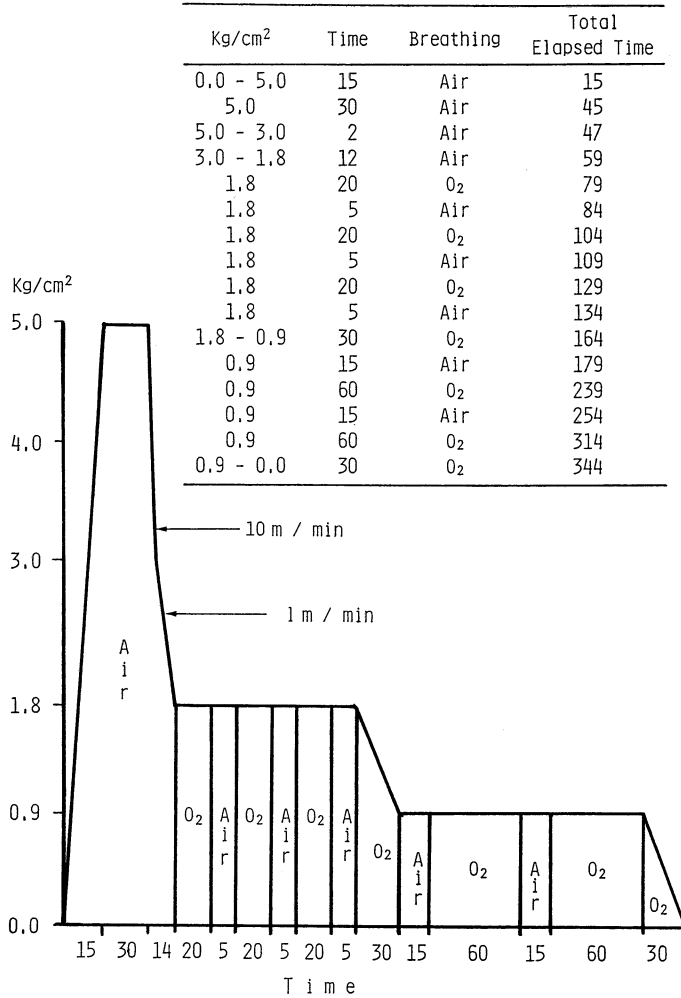


図3 本学における再圧治療表第6欄

もよるが0.9kg/cm<sup>2</sup>下における酸素吸入回数2回をさらに1~2回延長するT6A-3のmore extended表となる。繰り返してHBOを必要とする事例に対して毎日T6 extendedを用いることは避け、1日おきにこのような長時間HBOを用い、その間の日には0.9kg/cm<sup>2</sup>から1.5kg/cm<sup>2</sup>までのHBO60分間欠吸入の治療表HBO#1~3を挿入し、HBO#1~3とT6またはT6 extendedを交互に使用している(表3)。

本学には時間経過した事例も数多く、その場合には発症から3ヶ月以内の場合には再圧治療の効果が期待できるものと考えて積極的に治療計画を

立てているが、6ヶ月以上経過した事例に対してはHBOによる改善はほとんど期待できなかった。

治療に対して高圧酸素療法に反応しにくい事例は、脊髄型(CNS型)でとくに横断麻痺を伴う場合であり、II型DCSであっても膀胱直腸障害を合併していない場合には予後は悪くない。I型DCSに対しては全く問題がない。むしろ、I型DCSに対し、正しい治療表を選択しないで中途半端な対応をとったことで、II型に移行させたケースや、本来II型CNS知覚障害型に対してI型DCSと診断し、再圧治療を失敗して横断麻痺を合

表3 過去10年間の再圧治療 (HBO) 回数

(東京医科歯科大学 1979~1988)

	1979	'80	'81	'82	'83	'84	'85	'86	'87	'88	合計
Table 4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
5	7	0	0	1	0	2	4	2	13	0	29
5A	0	5	7	9	6	3	9	6	9	2	56
6 or 6ext.	40	40	11	19	12	37	25	4	3	4	195
6A	0	15	8	3	4	2	10	7	8	7	64
その他	2	0	1	16	0	0	0	9	0	0	28
小計	49	60	27	48	23	44	48	28	33	13	373
HBO No.1	—	—	7	9	15	61	67	4	5	5	173
2	—	16	15	36	123	149	23	15	0	9	386
3	34	11	101	31	10	19	14	63	0	18	301
小計	34	27	123	76	148	229	104	82	5	32	860
合計	83	87	150	124	171	273	152	110	38	45	1233

併させて転送されてきた事例が散見される。I型DCSと診断された事例は極端な表現を使うならば、HBOをせずに放置されたとしても改善するといっても過言ではない。5A表に対し、1985年以降、米、英海軍では治療表より消除しているが、この理由として、5kg/cm<sup>2</sup>までの空気加圧が有効ではないとしている。しかし、原因は5kg/cm<sup>2</sup>より1.8kg/cm<sup>2</sup>への減圧速度が速すぎることに依るとの考え方は既述の通りであり、本学の方式で行う第5A表はI型DCSに対して十分に効果的な治療表であることが裏づけられている<sup>7)</sup>。とくに発症から数日という時間経過で来院した事例に対しT5を用いて反応しなかった5例に対し、翌日T5Aを行ったところ、全例が症状の消失をみた。このことは2回目のHBOでようやく反応したと考えられなくもないが以降、数日~2週間の時間経過後に来院したI型DCSに対し、初回からT5Aを使用して全ての事例に良好な成績を収めている。遷延された事例に対してT5AやT6Aが何故有効であるのかの理論的説明は十分なされ得ないが、これは、発症から2ヶ月近く経過した事例にT6 extendedが有効であることを説明することが困難であると同様である。気泡がまだ生体内に生存するときの高圧療法は、いわゆるoxygen windowの概念で説明できるが、DCS罹患後数日を経過した場合には、既に気泡は

存在せず、うっ血や浮腫ならびに血小板やマクロファージの減少や変性という複合された二次的変化への対応であって、とくに後者に対してHBOとの関与に関する理論的裏付けはまだ完全にできていない<sup>8)</sup>。しかし、治療表のスケジュールやその選択手技については既に確立されたといえる段階と考えている。

#### 酸素吸入器に対する配慮

HBOを行う上でいつも問題になる課題として、果して100%の酸素を吸入させているかどうかである。できるだけ高い酸素分圧を提供する目的で、本学でも1966年より1979年までデマンドタイプのマスクを使用していたが、マスクの持つ呼吸に伴う機械的抵抗が過大で負荷が大きく、好ましいものとはいえず難しかった。そこでレールダルマスクを利用して機械的抵抗が小さく、かつ吸入酸素濃度を高く保てる呼吸器を試作した<sup>9)</sup>。一般的に病院で用いられている米国ビューリタン・ベネット社製のエアロゾルマスク方式は表4のごとく、デマンド方式と比較すると吸気時抵抗は四分の一、呼気時抵抗は三分の一と優れている(表4)が、吸気酸素濃度はデマンド方式が90%前後(66.6~98.6%)であるのに72%程度(38.5~88.5%)しか得られないことが知れた。この両者の利点を生かし、欠点を補う方式としてノルウェー・

表4 酸素マスクの呼吸におけるマスク内抵抗

		Laerdal mask	Puritan-Bennett mask	Demand Type mask
呼気	平均	11.2	6.7	22.0
抵抗	±SD	4.5	5.3	6.1
吸気	平均	16.3	8.8	34.5
抵抗	±SD	5.9	5.9	6.2

(mmH<sub>2</sub>O)

レールダル社製のレールダル人工蘇生器に用いられている成人用マスクを利用し、これに加湿器と2.6l 軽量呼吸嚢と軽量蛇管を組み合わせた本学独自のマスクを試作した。吸気及び呼気時の機械的抵抗はいずれもデマンド方式の二分の一になり、吸気時の酸素濃度も85% (57.9~98.1%)とデマンド方式に匹敵する値を得ることがわかった。また、マスクを顔に装着した状態のマスクの持つ機械的死腔は、デマンド方式が平均249.1mlで、ピューリタン・ベネット方式が96.6mlであったが、このレールダル方式では73.0mlと最小であった。デマンド方式では他の2方式が吸気ガスを室内に放出するオープンタイプであるのに比べ、室内酸素分圧を上昇させないメリットがあり、呼吸に係わる負荷を除けば優れたマスクであるとの認識が高い。しかし、マスクの持つ死腔が249mlあるということは生体の解剖学的死腔量150mlを加えると約400mlとなる。デマンド方式のマスクを用いたときの一回換気量 ( $V_T$ ) は平均750ml<sup>9)</sup>で、死腔の合計399mlはこの中の53.5%を占め、望ましいものとはいえない。一回換気量はマスクの持つ機械的抵抗に影響され、最も抵抗の大きいデマンドマスク使用時の750mlに比べ、レールダルマスクでは646ml、ピューリタン・ベネットでは566mlがそれぞれの平均であり<sup>9)</sup>、それぞれの死腔に占める割合は解剖学的死腔を150mlとするとレールダルマスクで34.5%、ピューリタン・ベネットマスクでは43.6%となり、レールダルマスクが3つの方式の中では最小であった。死腔の過度の増大は二酸化炭素の排泄にも影響するので、小さい方が良く、この意味でもレールダルマスクは優れている。

本方式を用いることで、本学ではHBO中に4.3

%の割合で急性酸素中毒の初期症状を認めたが、八木らは一例も酸素中毒発症をみていないと報告しており、呼吸用マスクの相違が、HBOを行う上で吸気酸素分圧の差異を生じるためではないかと示唆された<sup>9)</sup>。高い酸素分圧は暴露圧力を高めることで容易に維持できるのではあるが、できるだけ負荷圧力を小さく抑えて効率のよいHBOを行うためには呼吸用マスクの改良は今後も必要と思われる。

#### 今後のHBOへの対応

本学の高圧酸素治療施設は研究用が主たる使用目的であり、高圧酸素の治療効果を検討するのみならず、その問題点を調べることも重要な業務である。DCSの治療は他のHBOに比較して酸素を吸入させる治療時間がごく長く、患者に高分圧酸素をより過大に負荷する傾向にある。しかし、これに対する酸素の毒性面からの研究はあまりなされておらず、とくに活性酸素の影響とDCSについては殆ど論じられていない。我々はESR測定法により、フリーラジカル(酸素ラジカル種)の中でもHydroxyl radical( $\cdot\text{OH}$ )に着目し、HBOとの関係を調べている<sup>10)</sup>。その結果3 ATA 60分の連続酸素投与は好ましくないことが動物実験で示唆された。一方、3 ATA 20分の間欠投与は十分に安全であるとはまだ実証できていない。このような状況下でDCSの治療に対するHBOの酸素投与量は過大であり過ぎないかと危惧される。酸素ラジカル種とscavengerとの動的平衡面から追求されなければならないDCSの治療後における酸素ラジカル種の生体への影響とその安全性について、さらに検討される必要性が痛感される<sup>10)</sup>。古くからいい尽くされている通り、酸素は切れ味

鋭い両刃の剣であることを常に念頭において、このことをこれからも最大の課題としたい。

[参 考 文 献]

- 1) 眞野喜洋：減圧症。今日の治療指針，医学書院，東京，47-48，1978
- 2) 眞野喜洋：減圧症に対する高圧酸素療法。整形・災害外科，23(2)：133-142，1980
- 3) 眞野喜洋，芝山正治，大串貫太郎，柏倉章男，松井征男，門倉芳枝，前田博：減圧症再圧治療の実際と治療法；東京医科歯科大学における再圧治療の実状。日高圧医誌，19(3)：159-160，1981
- 4) 眞野喜洋：圧気作業に関する実態調査。建設業労働災害防止協会，東京，1-12，1981
- 5) 海中開発技術協会：'88レジャー・ダイビング年報。日刊海事通信社，東京，7-15，1988
- 6) 眞野喜洋：芝山正治，大串貫太郎，柏倉章男，松井征男，門倉芳枝，前田博：減圧症再圧治療の実際と治療法の検討；アガロースゲル気泡よりみた再圧療法の検討。日高圧医誌，16(3)：167-170，1981
- 7) 眞野喜洋：減圧症と再圧療法をめぐる諸問題；再圧治療法からみた再圧療法の問題点。日高圧医誌，17(2)：35-38，1982
- 8) Tanoue, K., Mano, Y., Kuroiwa, K., Suzuki, H., Shibayama, M., and Yamazaki, H.,: Consumption of platelets in decompression sickness of rabbits. J. Applied Physio., 62(5):1772-1779, 1987
- 9) 芝山正治，水野哲也，高橋茂樹，土井庸正，秋場仁，柏倉章男，眞野喜洋：高気圧酸素療法で用いる呼吸器の性能について。日高圧医誌，20(4)：222-228，1985
- 10) 眞野喜洋，秋場 仁，高野尚志，土井庸正，芝山正治，中山 徹，水野哲也：高気圧酸素暴露に伴う血漿中の hydroxyl radical( $\cdot\text{OH}$ )に関する研究。日衛誌，42(2)：570-577，1987