

【第50回学術総会シンポジウム「減圧障害の最適な治療は何か」】

## 琉球大学病院での減圧障害の治療の実際

合志 清隆  
琉球大学病院

### Treatment of decompression illness at University Hospital of the Ryukyus

Kiyotaka Kohshi

University Hospital of the Ryskyus, Center for Hyperbaric Medicine and Environmental Health

キーワード 高気圧酸素治療, 大気圧下酸素吸入, 1人用高気圧治療装置

keywords hyperbaric oxygenation, normobaric oxygenation, monoplace hyperbaric chamber

#### I. はじめに

わが国における減圧障害 (decompression illness, DCI) の治療は本学会の安全基準で規定されていることから<sup>1)</sup>, 第2種治療装置を用いて米海軍治療表 (US Navy treatment table, USNTT) に準じた酸素再圧治療を行うことが標準化されていると思われる。この酸素再圧治療は高気圧酸素治療 (hyperbaric oxygenation, HBO) の1つで, 酸素中毒の予防目的で決められた時間ごとに air break を入れることが特徴であり, 複数の治療方法のなかで代表的なものが USNTT である。しかし, 個人的には脳の DCI に USNTT を用いた経験はなく<sup>2)</sup>, 現在では全ての DCI に USNTT ではなく通常の HBO で対処している。さらに DCI の病状に合わせて HBO と大気圧下酸素吸入 (normobaric oxygenation, NBO) を組み合わせているが, HBO ではなく他の治療法が優先されることもある。われわれの DCI の診療の実際について紹介する。

#### II. 減圧障害の診断

環境圧の不適切な減圧に伴う身体障害であることから DCI の診断は容易である印象を受ける。しかし, DCI の疑いで琉球大学病院の救急部に搬送ないし受診した患者の半数は他の疾患であった。そのなかで最

も多いものが不安感からの精神神経症状であるが, それ以外の誤診となる疾患は, くも膜下出血や脳出血などの脳血管障害, さらに脊髄血管障害や脊椎椎間板ヘルニア, あるいは副鼻腔の疾患などであった。この誤診率の高さは琉球大学病院に限るものではなく, 1990年代の米国の救急施設でも誤診の問題が報告されており, その内容も類似した疾患である<sup>3)</sup>。その要因の1つは国際的にも診断基準がないことであり, 病状と経過に加えて潜水プロフィールないし急速減圧の有無などで総合的に DCI の診断がなされるからである。しかし, DCI の診断で参考になるのは症状発現と経過をみた報告であり, 潜水に限れば浮上から24時間以内に98%は DCI の症状がみられ, 1時間以内が42%, 3時間以内が60%であったとされている<sup>4)</sup>。

減圧後に四肢の関節ないし筋肉の疼痛を訴える際や皮膚症状, あるいは呼吸・循環器系障害で DCI の診断で迷うことは少ないが, 問題になるのは中枢神経系障害を示す場合である。通常の脳ないし脊髄の救急疾患では1つの病巣主座として診断を行うが, DCI の脳病変ではガス塞栓症による多発性病巣が多く, さらに脊髄病変は脊髄後索と側索の静脈性浮腫の病態であり多発性病変のこともあり<sup>5)</sup>, デルマトームに一致しない感覚障害と失調を中心とした運動障害がみられ

る<sup>6)</sup>。また、脳障害では運動麻痺を主症状としながら重症度の進行により意識障害、あるいは痙攣発作を伴うようになり、数時間の経過で運動障害の軽減とは別に新たな障害がみられやすい。

DCIの診断では潜水プロフィールと同時に神経症状をみることが重要であり、琉球大学病院では一般救急医とともに診察を行うことで若手医師の潜水医学への理解に努めている。

### Ⅲ. 現場との連携

潜水(ダイビング)ないしは潜函作業現場からDCIの疑いで連絡を受けると、最初に「酸素吸入を十分にすること」を伝えると同時に病状と潜水プロフィールを聞いて、その現場での対処法を互いに検討する。例えば、離島で航空機搬送を考慮する際に、早急な航空機搬送による病状悪化の可能性を説明して、1~2時間はNBOで病状をみてもらう。また、潜函作業の現場では減圧の最中にDCIの病状がみられると、再加圧はせずに酸素減圧の時間の延長を互いに検討する。どの気圧で酸素吸入を開始するか、さらに酸素吸入の期間とair breakであり、短時間ごとに連絡を取り合う。また、潜函作業では作業環境が管理されていることから重篤なDCIの症状を起こすことは稀であり、このことを理解してもらうように努めているが、問題は作業中の持病の悪化ないし予期せぬ事故の対処である。この場合に琉球大学病院の他の部門の医師とも連携をとり、作業中の事故の対処法の訓練をしている。例えば、作業中の心臓発作、意識障害、痙攣発作や呼吸障害などが対象になり、高気圧環境から外部への搬出を想定してのものであるが、これはHBOの最中の病状異変で患者の緊急搬出と類似したものである。しかし、異なる点は作業員に処置を行ってもらうことであり、救急救命の指導と連携を現場と密にする必要がある。

### Ⅳ. 画像診断

潜水関係では画像診断はさほど必要とされず、むしろ診断をかねてHBOを早急に行うとの意見もあるが、これは疼痛や皮膚症状を主症状とする一部の軽症例に限ったものと考えている。脳・脊髄症状さらに呼吸・

循環器系症状を示す重症例になれば病状評価としての画像診断は必要である。例えば、片麻痺や意識障害などの脳障害の症状があれば、その病状と潜水プロフィールから通常の脳卒中との鑑別は概ね可能ではあるが、病状の確認の意味で画像診断は必要である。次いで、脊髄症状を示すDCIでは超急性期の診断としての脊髄MRIは大きな意味をなさないと考えている<sup>2)</sup>。神経学的所見を診ることでDCIと他の疾患との鑑別は概ね可能であるが、類似した症状を示す脊髄硬膜外血腫に代表される脊髄血管障害や各種の脊髄症との鑑別と確定には画像診断も必要である。また、呼吸・循環器系症状を示すDCIでは、軽症例で浅い頻呼吸の呼吸困難を示すが、病状の進行とともにショック症状が加わり、HBOの適否の判断の1つとして胸部X線写真が必要である。

以上の明らかなDCIの症状とは異なり、無症状でも体部CT撮影にて血管内気泡が見られることが時に経験される。例えば、潜水後にみられた嘔吐や腹痛などが改善しても、静脈内の気泡が肝静脈、大腿静脈、鎖骨下静脈や下大静脈などの大静脈にみられる。しかし、症状が消失していればHBOを行うことはなく、過度な運動を避けるように指導する。体部CT撮影を詳細にみれば、静脈内気泡は高率にみられるものと推測されるが、臨床的な意味は少ないと考えている。

### Ⅴ. 治療の実際

#### 1. 脊髄障害

感覚障害が一側性で限局している際には通常のHBO(2~2.4ATA, 60~90分間)を行い症状の改善度をみるが、これで症状が軽減すれば連続して同様の治療を行うか、あるいは翌日に同様のHBOを追加する。さらに、感覚障害が両側性であるか運動障害や排尿障害を伴う際には治療圧を2.8ATAにして保圧は60分間であるが、30分ほど経過するとair breakもかねて神経症状なかでも感覚障害の評価を行ってきた。この評価を治療中に行うことの意味はさほどないと考えている。HBO後には神経症状が軽減していることが多く、その際には同日のHBOは行わず数時間後に3~4時間のNBOを行う。これで脊髄症状がさらに改善することが多いが、残存していれば翌日に通常

のHBOを追加する。

脊髄障害に対するHBOは2-3回を行うが、日常生活に支障のない程の神経症状であれば、引続いてHBOは行わずに経過をみてもらうようにしている。脊髄障害の発生機序は静脈還流障害によると考えられており<sup>5)</sup>、症状改善に時間を要することも中枢神経疾患の特徴である。むしろ一期的な完治を望むよりHBOやNBOを組み合わせた治療が患者への負担は少ないと考えている。また、HBOと同時に補液を行うこともあるが、多くの事例では飲水をしてもらう。

## 2. 脳障害

中枢神経系障害のなかでも脳に起因するものではHBOよりもNBOを基本とした酸素療法を行っており、さらに輸液療法が重要と考えている。例えば、運動麻痺で自動運動が保たれている中等度以下の運動障害であれば、等張晶質液(乳酸リンゲル液ないし生理食塩水など)あるいは膠質液(主にデキストラン製剤)の輸液に加えてNBOないしHBOで症状改善が得られやすい。しかし、運動麻痺が中等度以上になれば治療効果が低くなり、神経障害が残りやすい。図-1に具体的な動脈ガス塞栓症の治療例を示すが、他院でUSNTT6を用いた酸素再圧治療が開始されると痙攣発作が生じて重積状態へ移行しており、HBOを行なうことは危険と判断して間欠的なNBOで対処したものである。

脳障害は肺気圧外傷後の動脈ガス塞栓症(arterial gas embolism, AGE)と末梢静脈で生じた気泡(バブル)の右左シャントによる減圧症(decompression sickness, DCS)の場合があるが、予後は発症時の重症度によると考えてよい。肺嚢胞性病変の破裂によるAGEでは一気にガスが左心系に流れ込み意識障害と痙攣発作がみられるが、単なる肺胞破裂ではAGEを起こす頻度は高くはない。脳のDCSと卵円孔開存は議論があるが、1つの要因には卵円孔開存の大きさによるようである<sup>7)</sup>。さらに圧縮ガス潜水を行なった後の素潜りにより意識障害を伴う重篤なDCIを起こすことが知られている<sup>8)</sup>。圧縮ガス潜水後に発生した気泡は肺最小動脈に留まるが、素潜りによる気泡の圧縮作用に加えて胸腔内圧の上昇による右房内圧が上昇するこ

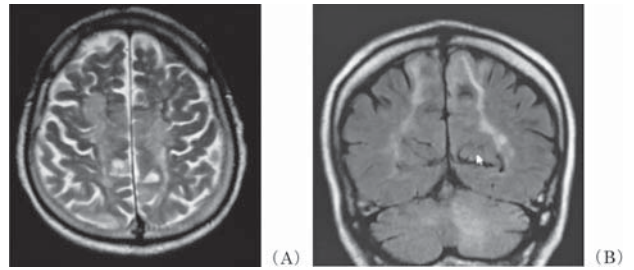


図-1 A case of cerebral arterial gas embolism

とで、気泡は肺毛細血管を通過して、浮上後に気泡は拡大しガス塞栓症を起こすことが考えられている<sup>9, 10)</sup>。機能的なものを含めると健常成人で15-30%に存在するといわれる右左シャントを介した場合には大量の気泡が一気に左心系に流入することになり極めて危険であり、例えばスクーバ潜水後にアンカーの引き上げで素潜りを行った際に意識障害を示して死亡事例が経験されている。

両側の前頭葉から頭頂葉にかけて皮質下白質を中心として、さらに皮質から深部白質にかけて高信号域が広がっている(A, B)。同様の病変は小脳の一部にもみられ(B)、広範な多発性脳塞栓症の所見である。

## 3. 呼吸・循環器系障害

呼吸困難を主症状とするDCIではHBOが可能か否かの判断が必要であり、バイタルサインの不安定ないし胸部X線写真で肺水腫を示す異常ではHBOは困難と判断している。呼吸困難のみで胸部X線写真での異常がみられない場合にはHBO開始から短時間で症状改善が得られやすい。2.8ATAで60分間の治療で行ってきたが、この治療圧にとらわれる必要はないようである。これに対してバイタルサインが不安定な場合には胸部X線写真で肺水腫を示す所見がみられることが多く、このような状態でHBOを行うと病状が悪化することがある。この場合にはバイタルサインの安定化を図る必要があり、他の治療法を選択している。

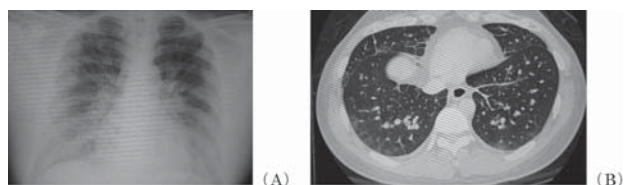


図-2 A case of cardiopulmonary decompression illness

例えば、経皮的心肺補助装置 (percutaneous cardiopulmonary support, PCPS) ないし膜型人工肺 (extracorporeal membranous oxygenation, ECMO) などである。特にECMOは呼吸・循環器系のDCIの新たな治療法になる可能性があるが、血管内の多量の血栓形成により回路の閉塞が頻繁に生ずることに注意が必要である。図-2に実際の治療例を示すが、呼吸困難とショック状態を示した呼吸・循環器系のDCIであり、HBO (2.8ATA) による治療を開始したが、途中で病状悪化が進みHBOは60分間で終了しECMOの使用で病状は落ち着いた。

胸部X線写真では両側下肺野を中心に透過性の低下がみられ (A)、胸部CTでは肺血管の拡張と血管透過性が亢進している (B)。

#### 4. 四肢の疼痛ないし皮膚症状

いわゆる1型DCIと呼ばれているものであり、痛みは激痛から違和感までさまざまである。激痛にオピオイド性鎮痛薬を用いたことがあるが、より早急な鎮痛効果が得られるのはHBOである。疼痛の程度によりHBOの実施を検討するが、痛みが強い場合には通常のHBOを行い、さらに痛みが残存すれば引き続いてHBOを行っているが、本学会で推奨されているUSNTT 5を用いた経験は少ない。治療圧では2~2.5ATAに比べて2.8ATAの鎮痛効果が高い印象ではあるが主観的なもので明らかではない。また、皮膚の痛み、搔痒感あるいは特徴的な皮疹がみられる際には3~4時間のNBOで対応をしている。以上の病状では酸素療法に加えて飲水も行ってもらおう。しかし、NBOによって症状が軽減ないし消失しても航空機搭乗を避けることが推奨されている期間は搭乗を避けた方が無難である<sup>11)</sup>。旅客機の機内圧は0.75~0.8ATAであり、これによってバブルの発生と増大が推測され、実際に航空機での移動後にDCIの再燃が経験されている。

#### VI. 再圧治療後の潜水

DCIに罹患してHBOを行った後で症状が消失した際に潜水ないし潜函業務の再開が問題になる。DCIから回復後は1~4週間の潜水ないし潜函作業は避け、

さらに完治しなければ同作業の再開は困難とされており<sup>11)</sup>、これらの方針が基本になると思われる。しかし、症状の完全回復後に作業復帰をする際に、多くの事例でDCIへの再罹患か病状の再燃の不安感が強くなり、なかには潜水ないし潜函作業中にパニックを起こす事例がある。さらに、DCIの後遺症で問題になるのは中枢神経系障害であるが、潜水後に症状悪化を訴えることがあり、この点は事前の説明が必要になる。しかし、後遺症があれば不安感が重なり潜水作業から離れる事例も多い。

#### VII. 予防活動

潜水や潜函作業に関する医学的な知識を作業者が持つことで大多数のDCIは予防が可能なるものである。山口県の北部地方で素潜り漁業者に対して、潜水の問題について議論と調査結果の報告を継続することによりDCIの発症が顕著に少なくなったことを経験している。このDCIの予防活動は潜水ないし潜函作業において沖縄県で行っており、そこで使用したスライドや映像は琉球大学病院のホームページにも掲載され活用されている。さらに、潜水ないし潜函作業におけるDCIの予防活動で重要視されるのが酸素使用である。レジャーダイバーで1045例のDCIに減圧終了から4時間にNBOを行い65%で症状改善がみられ、そのなかで14%に症状が完全消失していることから<sup>12)</sup>、潜水ないし潜函作業の終了後には積極的な酸素吸入が推奨される。さらに、潜水前に酸素吸入を行うと血管内気泡の発生が抑制されることも確認されている<sup>13)</sup>。以上の報告から、潜水ないし潜函作業の前後でのNBOがDCIの発生抑制に効果的であると考えられる。

潜水と潜函作業を規定している高気圧作業安全衛生規則の改正施行令が2015年4月1日に出され、作業中の酸素使用が容認された。しかし、酸素は「医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律」(薬機法、旧薬事法)により医薬品の取り扱いになり、現場での使用制限を受けている。この酸素使用に関しては本学会として対処する必要があると考えられ、現場からの要望も上がっている。

## VIII. おわりに

琉球大学病院やその他の施設で行ってきたDCIの治療は、本学会で規定された治療指針に沿ったものではない。われわれの治療方針はDCIの臓器と重症度で治療法を適宜決めるものであり、その特徴は酸素再圧治療ではなく通常のHBOを基本としてNBOを追加したものである。さらに呼吸・循環器系障害の重症例では人工心肺装置での治療を優先させている。また、潜水ないし潜函作業の関係者がDCIの予防で認識を持つことが重要であり、その啓蒙活動を行い広めている。一方で潜水の前後でのNBOの重要性も報告されている現在、これに関係する法解釈の変更も本学会として議論する必要がある。

### 参考文献

- 1) 高気圧酸素治療の安全基準. 日本高気圧環境・潜水医学会 (最終改正: 2012年11月16日)
- 2) 合志清隆, 奥寺利男, 北野元生, 川島真人, 眞野喜洋, Wong RW: 中枢神経系における減圧障害の病理と診断および治療での課題. 日本高気圧環境医学会雑誌 2004; 39: 67-77.
- 3) Arness MK: Scuba decompression illness and diving fatalities in an overseas military community. *Aviat Space Environ Med* 1997; 68: 325-333.
- 4) Vann RD, Butler FK, Mitchell SJ, Moon RE: Decompression illness. *Lancet* 2011; 377: 153-164.
- 5) 北野元生: 減圧症における組織損傷の成因についての一考察 - いわゆるコンパートメント説と静脈還流障害説の折衷 -. 日本高気圧環境医学会雑誌 1995; 30: 73-84.
- 6) Togawa S, Maruyama M, Yamami N, et al: Dissociation of neurological deficits in spinal decompression illness. *Undersea Hyperb Med* 2006; 33: 265-270.
- 7) Lairez O, Cournot M, Minville V, et al: Risk of neurological decompression sickness in the diver with a right-to-left shunt: literature review and meta-analysis. *Clin J Sports Med* 2009; 19: 231-235.
- 8) Paulev P: Decompression sickness following repeated breath-hold dives. *J Appl Physiol* 1965; 20: 1028-1031.
- 9) Kohshi K, Mano Y, Wong RM: Manifestation of decompression illness in Japanese Ama divers. In: Lindholm P, Pollock NW, Lundgren CEG, eds. *Breath-hold diving 2006. Workshop Proceedings. Divers Alert Network*; 2006, pp130-134.
- 10) Tamaki H, Kohshi K, Ishitake T, Wong RM: A survey of neurological decompression illness in commercial breath-hold divers (Ama) of Japan. *Undersea Hyperb Med* 2010; 37: 209-217.
- 11) 堂本英治, 鈴木信哉, 和田孝次郎, 赤木 淳, 北村 勉: 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. 日本高気圧環境医学会雑誌 2001; 36: 1-17.
- 12) Longphre JM, Denoble PJ, Moon RE, Vann RD, Freiberger JJ: First aid normobaric oxygen for the treatment of recreational diving injuries. *Undersea Hyperb Med* 2007; 34: 43-49.
- 13) Castagna O, Gemp E, Blatteau JE: Pre-dive normobaric oxygen reduces bubble formation in scuba divers. *Eur J Appl Physiol* 2009; 106: 167-172.