

【 シンポジウム 】

一般病院における重症減圧症に対する治療経験

土居 浩, 朝本 俊司, 荒井 好範
牧田総合病院 脳神経外科

【要約】

重症型減圧症の定義は定まっていないが、今回筆者が経験した減圧症の中で、従来から脳脊髄型と呼ばれる減圧症、及び臨床症状が重いと考えられた減圧症の診断及び治療に関する問題点に対して検討を加えた。重症となる要因は潜水深度および潜水時間の関連が重要ということが再確認できた。また再圧治療の遅れは予後との関連を認めた。診断にはガイドラインを参考にして、できるだけ早期にということも予後との関連が得られた。補助診断としての放射線学的検討も予後予測には役立つ。しかし放射線診断が万能ではないことも確認できた。今後も潜水医学の専門家以外の臨床医にも減圧症の認識が広がるのが本邦でも必要になり、減圧症発症時の連携が重要である。

キーワード 重症減圧障害, 画像診断, 再圧治療

【Symposium】

Treatment of severe decompression sickness in general hospital.

Hiroshi Doi, Shunji Asamoto, Yosinori Arai
Department of Neurosurgery

Abstract

Numerous studies have been conducted to identify factors influencing the short-term prognosis for severe decompression sickness (DCS), and especially neurological DCS. The purpose of this study is to investigate the factors likely to affect the long-term prognosis. The most commonly recommended initial treatment is hyperbaric oxygen treatment (HBOT). It includes breathing 100% O₂ at 2.82 atmospheres absolute in a hyperbaric chamber following U.S.Navy Treatment Table 6 or equivalent. In the case of residual manifestations, HBOT can be repeated once or twice. Some severe cases may require more treatments until clinical stability is achieved, followed by rehabilitation. Incomplete recovery may be related to a longer delay to treatment. The MRI and CT could help predict clinical outcome in divers with severe DCS. The most crucial factor for the prevention of long-term consequences is the avoidance of risky diving patterns. For quality management purposes in the future, there is a need for a nationwide registry of hyperbaric therapy.

keywords Severe decompression illness, Radiological diagnosis, recompression treatment

【はじめに】

筆者は前任の第2種高気圧酸素治療装置保有施設病院で重症例を経験し、再圧治療を行ってきた。ここでは本学会の重鎮である潜水医学専門家の知識のもと治療してきた。本学会の高気圧酸素治療法入門や

Undersea and Hyperbaric Medical societyの論文が基礎となり検討を今回加えた^{1, 2)}。当初重症例は意識障害や麻痺のある症例と理解してきたが、チョークス型減圧症や門脈内に空気像が認められる腹痛のある症例など多岐にわたる症状が減圧症で発生することが

わかり、これらも重症例に含めた上で、今回重症例の兆候、画像などの検討を加えた。さらに今回救命しえなかった症例も経験し、その症例を含め兆候として問題となる症例を提示する。

【対象】

筆者が直接関与した1994年1月から2019年12月まで治療した940例を対象とした。治療体制は重症例に対しては緊急再圧治療（原則は米海軍第6表、以下TT6）を行い入院加療。軽症例に対して米海軍第5表（以下TT5）の場合もあるが、TT6での治療を調整して施行した。確立した重症はない中で、本論文では脊髄型減圧症Ⅱ型にチョークス型、内耳型、腹腔内空気塞栓、急性骨壊死を加えたものを重症と定義した上で検証した。

【結果】

対象例の中で重症例は57例（6.0%）であった。重症例内訳は脳脊髄型で意識障害や、運動麻痺、膀胱直腸障害を呈した39例、呼吸困難を伴ったチョークス型2例、内耳型10例、腹腔内に空気塞栓を呈した症例3例、急性骨壊死3例であった。

1. 脳型減圧症：男女差は男性7例、女性1例で年齢は42歳から67歳。脳型で意識障害を来した症例は、職業ダイバーが5例、インストラクター1例であった。職業ダイバーでは最大潜水深度は27m以上で潜水時間も75分以上（平均96分）であった。5例中で職業漁師の場合、最大潜水深度は27mであったが、潜水時間が90分以上でさらにボンベの残存空気も少なくなり急浮上し、浮上直後に四肢麻痺を呈し、ヘリコプター搬送中に意識障害を来し、脳MRI拡散強調画像で多発高信号病変およびC3からC5にかけて頸椎MRIT2強調画像で髄内高信号を来していた（図1a, b）。まず気管内挿管をして、TT6の再圧治療を行い、ICU管理を行い、さらに5回の再圧治療を施行し、救命できたが、痙性四肢不全麻痺が残存し介助歩行の状態での退院。その他の職業ダイバーは全例30m以上で潜水時間は90分を超えていた。インストラクターの症例は客のダイバーがパニックで急浮上をしているのを止めようとして

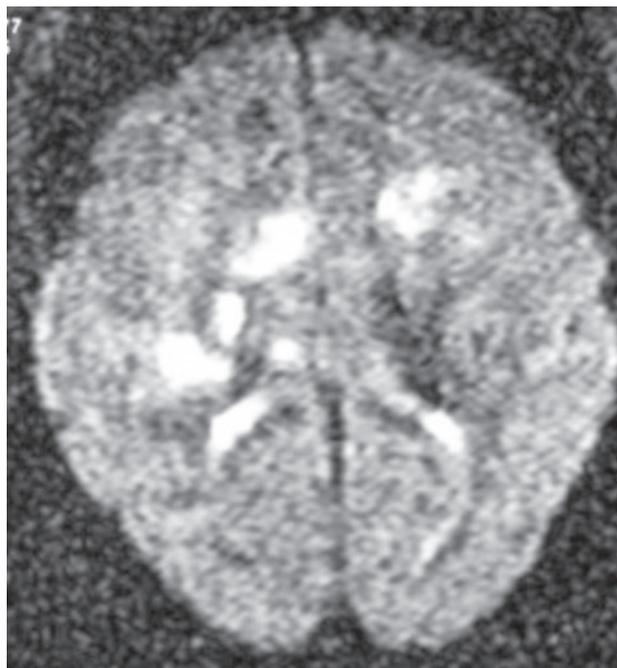


図1a MRI 拡散強調画像

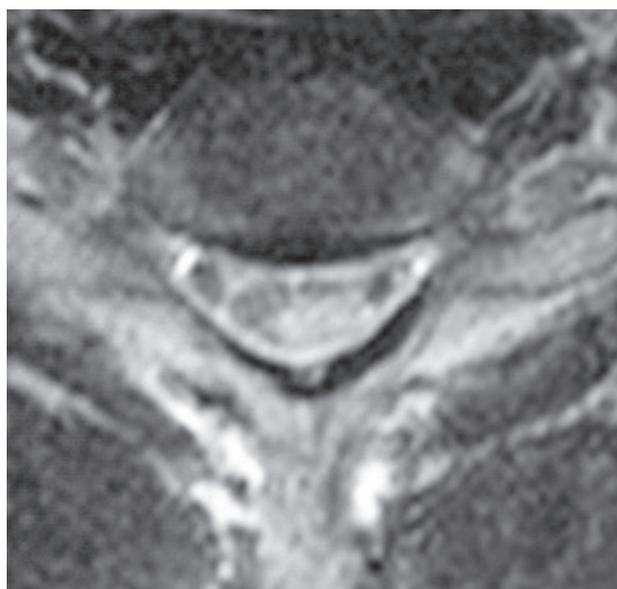


図1b MRIT2強調画像水平断 C4レベル

急浮上して発症した。意識障害を来さなかった脳型の症例は2例ともレジャーダイバーであった。最大深度25m前後で潜水時間は60分程度であった。ダイビングコンピューター上は問題がなかったが、症状は女性の症例は頭痛で、男性の1例は一過性の意識消失とともにMRI拡散強調画像で小さな高信号を認めるのみであった。TT6による再圧治療を3回施行で、神経所見もなくなり、MRI上も病変は消失

した。脳型減圧症で意識障害を来した職業ダイバーの1例とインストラクターの症例の2例では脳MRIの所見を認めなかった。今回検討した脳型減圧症の予後はTT6の再圧治療を3から7回の施行で、神経所見を残存せず完治をした。上記の漁師に関しては脊髄型の症状の残存で介助歩行退院であった。搬送時間はすべて、東京湾、伊豆七島および小笠原諸島からの搬送で、3~8時間でこの範囲で予後に差は認められなかった。当初脳型を疑った11例中3例は減圧症ではなかった。3例の内訳は一過性の意識障害を来した膠芽腫の症例、けいれんで発症し、もやもや病による脳梗塞の症例、ダイビング中、左不全麻痺を来した脳梗塞の症例であった。このことから再圧治療で効果のないものは必ずMRIを中心とした画像診断を必要とした。

2. 脊髄型減圧症：当初感覚障害があり脊髄型を疑うも運動障害を全く認めない症例もあったが、このような症例は今回の検討から除外した。男女差は男性30例、女性1例。年齢は28歳から67歳。職業ダイバー1例、インストラクター3例、レジャーダイバー27例であった。発生場所は伊豆七島、相模湾、紀伊半島、沖縄諸島および海外であった。搬送時間に関しては沖縄、海外の場合は複雑で、現地で再圧治療を行い、神経症状の改善を得て、成田、羽田からの搬送と、海外で再圧治療を行わず、成田から車いすで来院した症例も認められた。紀伊半島からの症例はストレッチャーで新幹線利用にて来院。これらの症例は全例、浮上直後もしくは浮上後数時間以内に歩行障害が出現し、四肢麻痺もしくは対麻痺を認め、3例を除いて排尿障害を伴っていた。最大深度は全例25m以上で中には100mを超える症例を認めた。海外からの症例では1日4本のダイビングを3日連続という症例も認め、最大深度30m以下の症例では急浮上というアクシデントが発生していた。搬送時間に関しては急性期に治療できた症例も発症後3~8時間であった。海外発症の症例では現地での治療までに24時間以上経てから、再圧治療が行われていた。海外や遠隔地で再圧治療せず来院した症例2例はともに重度な神経症状が残存した。また紀伊半島からの症例は発症後7日の来院で

再圧治療までの時間が長く、上肢機能は若干改善したが下肢に関しては全く改善認めず、膀胱直腸障害も残存した。急性期に筆者が関与して再圧治療し得た（治療開始まで24時間以内）症例は主に伊豆七島からの搬送で前述の脳型を合併した症例を除き、一部の患者で瘳性は残存するも全例独歩可能な状態で退院可能であった。しかし再圧治療を5回以上施行し、その後通常の高気圧酸素治療（2ATA,60分）を5~10回追加治療を行った。この追加治療はリハビリテーションの際の下肢の浮腫や痛みにも効果があった。その際リハビリテーション科の協力で十分なりハビリテーションを施行していただき、高気圧酸素治療医のみでの加療には限界があると感じた。さらに膀胱直腸障害の管理に泌尿器科の協力を必要とした。期間は3週間から10週間を要した。脊髄病変はすべて頸胸髄病変であった。MRI所見としては、31例中20例にはT2強調画像で髄内に高信号を認めたが、11例では所見を認めず、神経所見から脊髄型重症型と診断した。発症当初脊髄型減圧症を呈し、下肢麻痺を来した症例の2例では腰椎椎間板ヘルニア脱出、腰椎滑膜嚢腫の診断を得た。この2例は搬送後再圧治療に反応がなく、MRI施行し診断し得た。

3. チョークス型減圧症：2例ともに女性で34歳および63歳のレジャーダイバーであった。1例は海外で発症し、再圧治療を行い帰国したため、呼吸困難は消失し、胸痛のみ残存した症例で、現地での治療の詳細は不明であった。帰国後再圧治療（TT6）2回施行し、症状完全に消失し退院。1例は小笠原での発症で小笠原から硫黄島にヘリコプター搬送、さらに硫黄島から厚木基地に自衛隊機で搬送、厚木基地から当院まで救急搬送。搬送中100%酸素吸入で肺の状態は改善していた。しかし肺水腫の状態は継続し（図2a, b）、再圧治療（TT6）を1回施行し呼吸困難も消失。その後3回の再圧治療を行い完治し退院となった。最大深度はともに30mで潜水時間は60分程度であったが、潜水中に呼吸困難を来し、パニックを来した状態であった。1日のダイビング回数3回で2日目の2回目のダイビング中の発症であった。

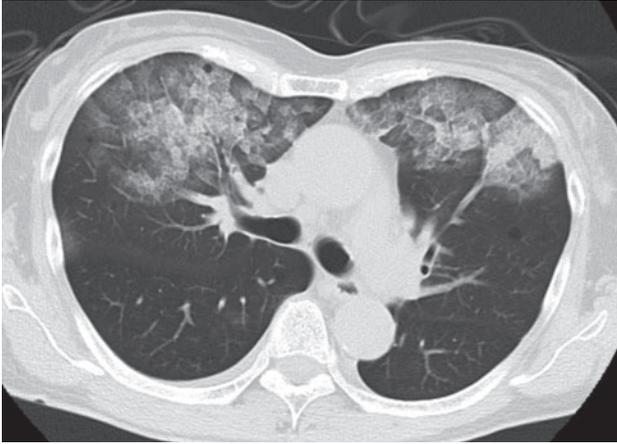


図2a 当院到着時の胸 CT



図2b 再圧治療 (TT6) 3回施行後の胸 CT

4. 内耳型減圧症：男女差は男性3例，女性7例。年齢は23～57歳で全例レジャーダイバーであった。発生場所は沖縄諸島，伊豆七島，伊豆半島，房総半島であった。発症時間は浮上直後の症例も認められたが，浮上後数時間経ってから発症した症例を多く認め，発症後数日してからの受診が多かった。したがってダイビングした近傍の場所での再圧治療は行われていなかった。最大深度も15～30mと一定の傾向は得られず，さらに潜水時間も短い症例でも認められた。来院後可及的に再圧治療 (TT6) を行った症例は1回の治療で改善した。高気圧酸素治療装置の都合もしくは本人の都合で1～2日後に行った症例もあったが，再圧治療が遅れても改善は認められた。このことから緊急再圧治療にこだわることはないと思われた。なお念のために耳鼻咽喉科のチェックも

行った。なお1例で再圧治療での反応が悪く，MRIを施行した症例で小さな聴神経鞘腫が見つかり，経過観察中である。

5. 腹腔内に空気塞栓を呈した症例：症例は3例ともに男性であった。53歳男性レジャーダイバーの症例は伊豆七島での潜水後搬送された症例で潜水状況不明だが急浮上のアクシデントがあったとのカルテ記載があり，腹痛，倦怠感を訴え，腹部CTで門脈内に空気を認めた。再圧治療 (TT6) 1回施行し，門脈内の空気は消失し，症状も改善，その後2回の再圧治療を行い退院。60歳男性圧気作業者は鶴見川の氾濫予防のための貯留槽工事のために3気圧以上の圧気作業終了後，通常の減圧操作を行い，帰宅した。

当初症状はなかったが，作業終了3時間後の夕食後に腹痛を訴え，近医受診しCTで，下大静脈内の空気を認め，緊急に転院搬送となった。CT再検を行ったところ，両大腿静脈，門脈，右房にも少量の空気を認めた。緊急再圧治療 (TT6) 後症状は消失し，CT上空気像も消失した。さらに2回のTT6を施行し，独歩退院した。61歳職業ダイバーは症例を提示する。

6. 急性骨壊死を来した減圧症：3例とも男性で，職業ダイバー1例，圧気作業員1例，レジャーダイバー1例であった。57歳職業ダイバーは港湾清掃作業を行い，頻回の潜水作業中に右上腕痛を呈したが，発症時の詳細は不明であった。瀬戸内海での発症のため，近くでの再圧治療の受け入れがなく上京した。発症3週後に来院し，再圧治療 (TT6) を5回施行し，激痛は改善したが完治は得られなかった。MRI施行し急性骨壊死と診断した。62歳の圧気作業員は首都高速の工事で地下50mでの作業し，減圧操作中に左股関節痛が激しくなり救急搬送。MRIで左大腿骨骨壊死を呈しており，緊急に再圧治療 (TT6) 施行し，激痛は消失。その後TT6を2回，TT5を2回追加施行し，痛みは完全消失し，独歩退院した。37歳のレジャーダイバーは伊豆で2日間ダイビングし，2日目のダイビングで最大深度35m潜水時間60分経過後，左肩痛を来したため帰京。発症翌日に来院，視診で明らかに左肩関節

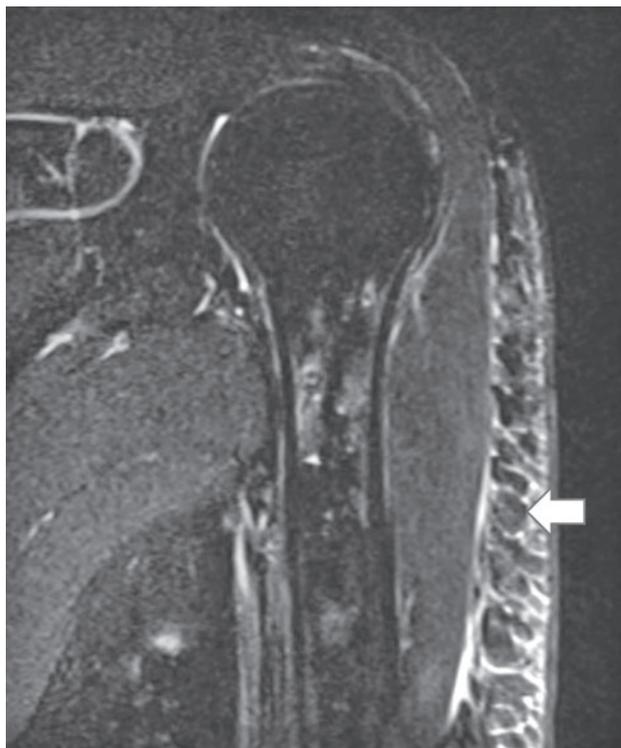


図3a 再圧治療 (TT6) 前のMRI
矢印：皮下組織の炎症著明

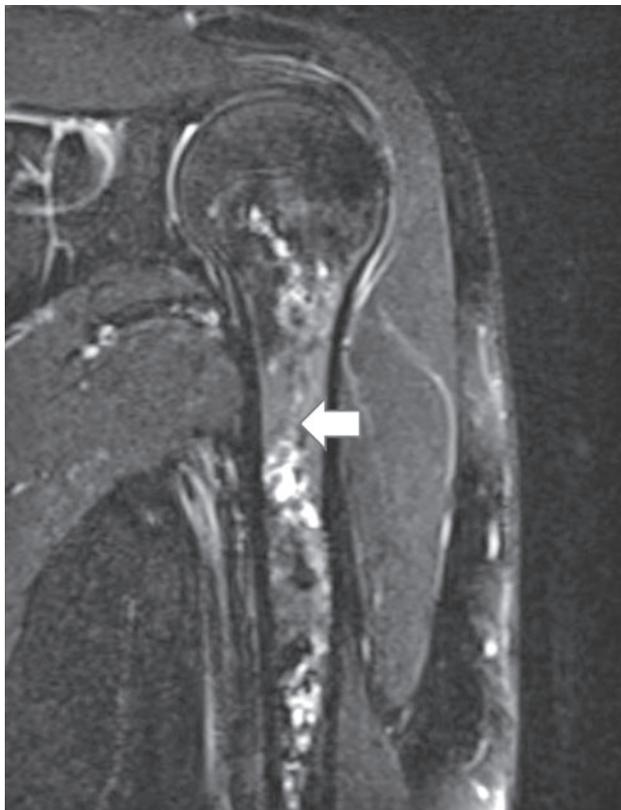


図3b 再圧治療 (TT6) 3回施行後のMRI
矢印：骨壊死の進行

の腫脹，自発痛強く，念のためMRI施行したところ左肩関節近傍皮下組織の炎症所見著明で，一部骨壊死を疑った(図3a)。緊急に再圧治療(TT6)を行い，激痛は改善し，さらにTT6を3回追加した。追加後腫脹も消失し，退院となった。退院前のMRIで筋膜炎は改善していたが，上腕骨骨壊死が明瞭化した(図3b)。

死亡症例を提示する

症例：61歳職業ダイバー

既往歴：減圧症の経験はあるが，その際は”ふかし”で対応していた。基礎疾患はない。

現病歴：沖合100mのところまで海底37mのところまで台風後に沈んだ丸太の処理90分行い，その後水深9mで8分停止，水深6mで20分停止。この際体全体の痛み出現。船に上がってきたが腹痛，背部痛が強く，両下肢の不全麻痺のため起立困難の状態ですぐに港に上陸。近医の診断を仰ぎ，緊急再圧治療のため，ドクターヘリも考慮されたが日没が近く，救急車で当院搬送決定し出発。近医では血圧119/87，呼吸状態も安定していたが，1時間30分後当院到着時血圧は60台。意識は清明であったが，全身の痛みで自製困難であった。

経過：視診上，全身の皮膚に大理石斑著明。血圧60/15，呼吸数20回。自製困難でさらにバイタルも不安定のため，緊急再圧治療前に全身のCTを施行した。両大腿静脈，門脈に大量の空気像および腸間膜広範に気腫上の所見を認め，広範な肝壊死の診断であった(図4)。緊急の再圧治療(TT6)を行うに当たって，高気圧酸素装置内での急変も考慮して，筆者が装置内に入り，カテコラミン製剤も含めた補液，救命処置の道具を持参して加療した。再圧治療後痛みは改善を得た。TT6延長も考慮したが，まずは挿管，CVカテ挿入なども考慮して，ICU入室。全身状態の評価も行い，術後のCTで門脈内，大腿静脈内の空気像は著明に改善した。しかし多臓器不全を来しバイタル安定化を得るのは困難。その後TT6を挿管した状態で2回追加したが，TT6の3回目で1.5気圧まで減圧した際に，心停止を来した。すぐに装置内で蘇生を行いICUに搬送したが発症3日目に多臓器不全で死亡した。病理解剖

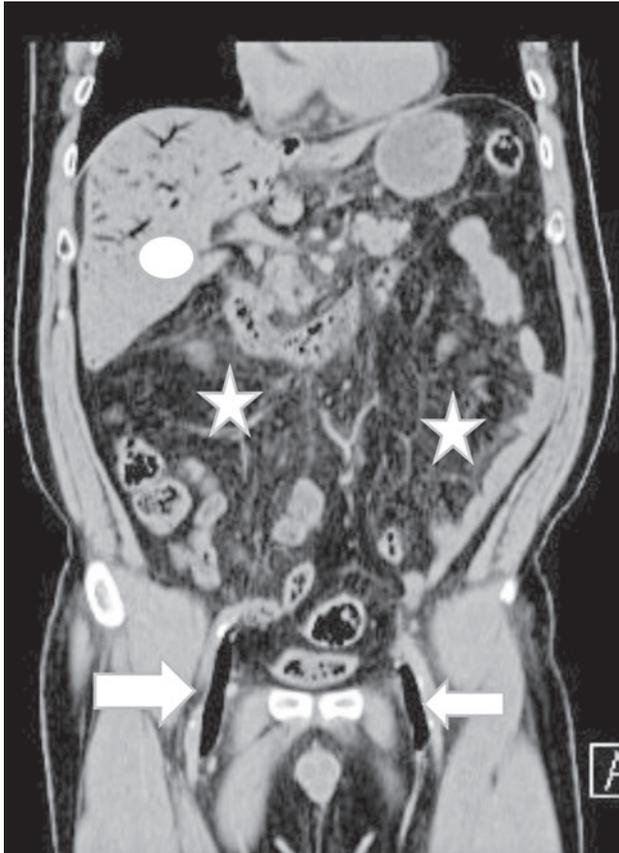


図4 来院時の腹部 CT
 矢印：両大腿静脈に空気像
 丸印：肝壊死及び門脈内空気像
 星印：広範に腸管空気像

を行い、十二指腸下部からS状結腸末端までのすべての腸管壊死、および肝壊死を認めた。肺梗塞も一部に認めた。

【考案】

減圧症の治療に対して主にレジャーダイバーを中心とした症例に対して治療を加えるうちに重症の症例が増え、疑問を感じ始めた。当初減圧症のタイプ分類でI型が軽症で、いわゆる脳脊髄型といわれるII型が重症と考えていたが、脊髄型と思われていた感覚障害の症例は神経所見をとると、末梢神経の感覚障害のことが多く、ベンズ型(I型)と同様に重症ではないと考えた。一方腹痛の症例で門脈に空気像を認める症例などを経験し、骨壊死なども重症例ではないかと判断してきた。そのため今回、重症例を定義し直し、重症減圧症の症例がどのくらいの頻度であるのか自験例

で検討を加えた。内耳型減圧症はII型のひとつであるが、再圧治療での効果が確実で治療が遅れた症例でも予後良好ではあったが、臨床症状が強く重症とした。まず診断に関しては、潜水もしくは潜函作業後に生じた症状で皮膚の発赤や大理石斑が知られている。この中で大理石斑が筆者は重要と考えている。当院へ搬送後の治療の際、消えている場合もあったが、今回の重症例のうち3例に認められた。また広範囲の皮膚の発赤や大理石斑出現は重症例の報告で記載が多く認められた³⁾。また関節の痛みがあり、関節の腫脹が認められた場合はMRIの検討を行い、筋肉周囲の著明な炎症が示唆され、骨壊死との関連も認められた。そのため関節痛が激しい場合や関節の腫脹を認めた場合は精査を加えることが重要と考えられた。呼吸状態の悪化も臨床的には重要と思われ、明らかな意識障害、運動麻痺(四肢麻痺、片麻痺、対麻痺)、膀胱直腸障害は今までも重症と認識されており、周知の事実とした。内耳型減圧症に関しては、外リンパ瘻など圧外傷も否定できないことから、耳鼻咽喉科の診断も要した。また補助的に放射線学的診断も検討した。以前MRIなどは治療前に施行することは、好ましくないとされていたが、当院で再圧治療開始した当時から2台あり、搬送直後に緊急で施行できる体制をとっており、高気圧酸素治療装置を準備する間に撮影できることから原則施行することになっている。筆者らやKamtchumらの詳細な分析も出てきており⁴⁻⁷⁾、やはり予後について評価するのに有用と考えられることから、再圧治療直前か緊急の1回目再圧治療直後に施行を原則としている。臨床的に脳脊髄型を疑った場合はMRIが優先と考える。しかし明らかに脳脊髄型の神経症状があるのに関わらずMRIでは所見を認めない症例も経験した。著者らが報告したヘリウムガス吸入による脳ガス塞栓症でも、発症直後のMRIでは所見が認められなかったことを報告しており、MRI診断のみで減圧症の診断はできないことは明らかである⁸⁾。ただ減圧症であるか鑑別できない症例もあり、再圧治療の効果が無い場合、MRIで脳梗塞やその他の脳脊髄疾患との鑑別には有用であった。一部の症例で空気像が検出されることも疑い、CTを併用した症例もあったが、空気像の検出はされなかった。一方呼吸

循環型減圧症を疑った症例や腹痛の症例は全身CTを優先すべきと考えられた。チョークス型は胸部CTが再圧治療の効果のモニタリングとして有用であった。腹痛など腹部所見を認められた症例は門脈や下大静脈、大腿静脈を中心として空気像が散見された。その際の空気像の量や腸管周囲の空気像が予後に重要と今回の検討でわかった⁹⁻¹¹⁾。さらに全身的には今回の症例のように肝壊死、腸管壊死、腎不全さらには多臓器不全を呈することが報告されており^{12, 13)}、集中治療医や救命医との連携が重要と思われた。重症度と潜水状況に関しては潜水深度、潜水時間、急浮上の状況が以前から重要と考えられており、予想された結果が得られた¹⁾。そのため脳脊髄型では職業ダイバーの重症度が高かった。このことは以前よりヘンブルマンの窒素ガス曝露指数(Q値)が知られているが、最大深度と滞底時間(潜水ははじめから浮上開始までの時間)の簡単な関数で表されるQ値を使うと容易に潜水深度に関係なく窒素ガスの負荷状態を判断できることから、今後も検討を加えていきたいと思われた。搬送時、問診の際に最大深度だけでなく滞底時間の記載も忘れない様にすべきと考えられた。一方Q値の検証では問題無いレジャーダイバーの重症例で水中カメラ撮影などのため深度の深いところで潜水深度高低差が多い症例での脊髄型の症例が多い印象はあった。内耳型でも同様の傾向を認めた¹⁴⁾。

以上のようなことを考慮すると重症例の治療に重要なことは緊急の再圧治療が必要かの判断であると思われ、各種のスケールが知られている。その中でSANDHOG criteriaは主に脊髄障害型の減圧症用に作られているように思われる。最近鈴木らが本学会でガイドライン作成の報告を行っている¹⁵⁾。そこで触れている問診票は非常に参考になる。われわれの施設ではこれを元に海外の症例などには電話で確認し、麻痺の程度を動画で送ってもらっている。遠隔地からの搬送に対しても考慮すべきことがあるため、現地の医師とも連絡をとりながら、準備を進めるようにしている。伊豆七島、伊豆半島での取り組みでレジャーダイバーは恩恵を受けているが^{16, 17)}、今後は海外発症やリニアモーターカー関連の潜函工事など、遠隔地での発症が増加することも予想され、すべての減圧症の患者

のために治療ガイドラインの確立が重要と思われた。

【結語】

まずは潜水深度および滞底時間(もしくは潜水時間)で重症化の予想を立て、さらに大理石斑の範囲なども確認し、再圧治療受け入れ機関との連携をとり、できるだけ早期の加療が可能になるように努力することが重要との結論を得た。

参考文献

- 1) 鈴木信哉: 潜水による障害, 再圧治療. In 鈴木信哉(編). 高気圧酸素治療法入門第6版. 東京; 日本高気圧環境・潜水医学会. 2011; pp.147-174.
- 2) 鈴木信哉: 我が国で推奨される減圧障害の治療. 日本高気圧環境・潜水医学会雑誌 2013;48:76-79.
- 3) Oode Y, Yanagawa Y, Inoue T, et al.: Cutaneous manifestation of decompression sickness: cutis marmorata. Intern Med 2013;52:2479.
- 4) Yoshiyama M, Asamoto S, Doi H, et al.: Spinal cord decompression sickness associated with scuba diving: correlation of immediate and delayed magnetic resonance imaging findings with severity of neurologic impairment--a report on 3 cases. Surg Neurol 2007;67:283-287.
- 5) J. Kamtchum Tatuene, R. Pignel, P. Pollak, et al.: Neuroimaging of Diving-Related Decompression Illness: Current Knowledge and Perspectives. AJNR Am J Neuroradiol 2014;35:2039-2044.
- 6) Gempp E, Blatteau JE, Stephant E, et al.: MRI findings and clinical outcome in 45 divers with spinal cord decompression sickness. Aviat Space Environ Med 2008;79:1112-1116.
- 7) 石山純三, 岩崎正重, 村松敏朗: 脊髄型減圧症重症度分類の新たな試案. 日本高気圧環境・潜水医学会雑誌 2016;51:298.
- 8) 土居 浩, 長崎弘和, 山川功太, 他.: スプレー缶入り変声用ヘリウム酸素混合ガス吸入による脳動脈ガス塞栓症. 日本高気圧環境・潜水医学会雑誌 2016;51:1-6.
- 9) Kondo A, Nagawasa H, Takeuchi I, et al.: Portal Venous Gas Due to Decompression Sickness. Intern Med 2018;15:2091.
- 10) Shitara J, Jitsuiki K, Yanagawa Y: Gas in coronary artery: A case of fatal decompression sickness evaluated by computed tomography. Undersea Hyperb Med 2019;46:633-634.
- 11) Schwartz T, Gough-Fibkins S, Santini R, et al.

- Abdominal CT Scan Findings of Decompression Sickness: A Case Report. J Radiol Case Rep 2018 ;12:17-23.
- 12) 石束隆男, 松尾 大, 郷田治幸, 他. :多臓器病変を呈した減圧症の1例. 日職災医誌 2003;51 : 368—372.
- 13) Hibi A, Kamiya K, Kasugai T, et al.: Acute kidney injury caused by decompression illness successfully treated with hyperbaric oxygen therapy and temporary dialysis. CEN Case Rep 2017;6:200-205.
- 14) 佐藤道哉, 北原 哲, 池田知純.他.: スクーバ潜水による内耳型減圧症. 日本耳鼻咽喉科学会会報 1992; 95 :499—504.
- 15) 鈴木信哉:我が国で推奨される減圧障害の現状と今後の対策—治療ガイドライン作成に向けて. 日本高気圧環境・潜水医学会雑誌 2014;49:188.
- 16) Y. Oode, Y. Yanagawa, K. Omori, et al.:Analysis of patients with decompression illness transported via physician-staffed emergency helicopters. Journal of Emergencies, Trauma and Shock 2015; 8: 26-29.
- 17) 土居 浩, 山川功太, 長崎弘和, 他: 減圧症治療における現状と問題点.日本高気圧環境・潜水医学会雑誌 2013 ; 48 : 260.