

【 症例報告 】

長距離航空搬送を要した脳型減圧症の 1 例 ～二次離島での減圧症治療の問題点～

清水徹郎
南部徳洲会病院

【要約】

レジャーダイビングにおける脳型減圧症の発症はまれである。沖縄県の二次離島で発症した脳型減圧症に対し、長距離航空搬送後に再圧治療を行い、良好な転帰であった症例を報告する。症例は 30 歳代の女性。沖縄県の二次離島である南大東島で、大深度潜水を反復した後に左上肢の運動麻痺、起立困難、構語障害を発症した。現地の診療所で脳型減圧症と診断され、初期治療を行い、緊急再圧治療の適応と判断された。患者は陸上自衛隊の大型ヘリコプターによる長距離空輸により、当院に搬送された。初期治療により症状は改善していたが、再圧治療中に左上肢の知覚低下と異常知覚が出現した。複数回の再圧治療により症状の消失をみた。再圧治療は減圧症症例に対する根本的治療であるが、24 時間 365 日対応可能な施設は限られている。二次離島での患者空輸に関しては飛行高度の制限があり天候などの条件により困難なことがあり、徹底した発症予防が重要である。

キーワード

減圧症, 再圧治療, 航空搬送

【Case report】

A case of cerebral decompression sickness required long distance air transport ～Problems with treating decompression sickness on remote islands～

Tetsuo Shimizu
Nanbu Tokushukai Hospital

【abstract】

Cerebral decompression sickness is relatively rare in recreational diving. We report a case of cerebral decompression sickness that occurred on a remote island in Okinawa Prefecture and was successfully treated with recompression therapy following long distance air transport. The patient was a woman in her 30s who developed motor paralysis in her left upper limb, difficulty standing, and dysarthria after repeated deep dives off Minami Daito, Okinawa prefecture. At a local clinic, she was diagnosed with cerebral decompression sickness and determined that emergency recompression treatment was necessary. After long distance transportation via Japanese Ground Self-Defense Force large helicopter, the patient was brought to our hospital. She experienced a decrease in hypoesthesia and dysesthesia in his left upper limb during the recompression therapy. Her symptoms disappeared as a result of multiple recompression treatments. Although recompression therapy is the only definitive treatment for decompression sickness, few facilities can provide it 24 hours a day, 365 days a year. In addition, there are restrictions on the flight altitude when airlifting decompression sickness patients from remote islands. For this reason, transportation can be difficult due to weather and other conditions. Therefore, thorough prevention of the disease is desirable.

Keywords

decompression sickness, recompression therapy, air transport

【はじめに】

近年沖縄県では離島でのレジャーダイビングによる減圧症患者の発症が問題になっている。スキューバダイビングでは環境圧（水圧）の高い水中で圧搾空気を吸入することで、不活性ガスである窒素ガスが水面に比べて多く体内に吸収される。これが十分排泄されないうちに浮上し、環境圧が低下することにより体内に溶存した窒素が気胞化することがその主因とされる。脳型減圧症の発症はまれであるが、いったん発症すれば早期に適切な治療が行われなければ重篤な後遺障害をきたす可能性が高い。今回我々は沖縄県の二次離島で発症した脳型減圧症に対し、広域航空搬送の後に緊急再圧治療を行い、良好な転帰であった症例を経験したので報告する。また、この症例を契機とし、離島での減圧症治療の問題点を再考したいと思う。

本論文は倫理委員会の承諾を必要としない内容である。

この論文は個人情報保護法に基づいて匿名化がなされている。

本症例報告については患者本人より論文の出版に関する同意を書面にて取得済みである。

【症例】

症例：30歳代の女性

既往歴：なし

職業：ダイビングショップのガイド

現病歴：患者は2023年7月X日より沖縄県の二次離島である南大東島で深度50m以上の大深度潜水を1日4本反復して行った。ガイド、インストラクターとしてゲストを連れた潜水ではなかった。南大東島はダイビングポイントとしては未開発な部分が多く、ポイント開発のための調査潜水的な要素があったようである。滞在日数が限

られていたため、できるだけ多くのポイントで潜水したいという事情もあったらしい。潜水はすべて空気をを用いたSCUBAによる潜水であった。ダイブコンピューターの装着はあり、ほぼ毎回減圧停止の表示が出たが、コンピューターの指示通りの減圧手順を踏んだとのことであった。船上での酸素吸入などの特段の安全対策は練られていなかった。ポイント開発のための大深度潜水を行う話は耳にするが、本症例のような無謀な潜水が行われた例を筆者は他に聞いたことはない。X+1日午後12時頃にその日4本目の潜水を終了し、浮上後20分くらいしてから船上で体動困難、起立不能となった。意識障害はなかったが、その後数分して左上肢運動麻痺の自覚と構語障害が出現した。すぐに現地の診療所を受診し、細胞外液輸液と高濃度酸素投与がなされた。脳型減圧症の診断で、当院に一報が入り緊急再圧治療の適応と判断した。すでに日没後であり、他に搬送手段がないため、自衛隊の大型ヘリコプターによる空輸搬送が行われた。輸送は高度300m以下で行われた。搬送中にも補液と高流量酸素投与が継続された。これにより、機内で症状の改善が認められた。那覇空港に着陸後、通常の救急車とドッキングし、同日深夜に当院に搬送された。空路陸路での搬送時間は約2時間超を要した。搬送中の意識は清明。バイタルサインも安定していた。発症から当院での再圧治療開始までの時系列を表に示す（Table 1）。空輸の所要時間は1時間45分、離発着の詳細な時刻は入手困難であった。

来院時所見：バイタルサインは意識 Glasgow coma scale (GCS) 15点 (E4V5M6)、体温 36.5℃、脈拍 80/分、血圧 132/68mmHg、呼吸数 20/分、SpO₂ 100%（リザーバマスク 15L/min）であった。神経学的所見では構語障害はなく、左上肢にも筋力低下は見られなかったが、左上腕から指先にかけての境界のはっきりしない異常知覚と軽度の知

Table 1. Timeline to start of recompression therapy

12:20 頃	発症
13:10 頃	南大東診療所受診
14:27	南大東診療所より第一報が当院に届く
17:32	那覇空港より救急車より当院に入電
17:49	当院着
18:11	頭部 MRI 撮影
19:25	再圧治療開始

覚低下が認められた。再圧治療の準備が整う間に撮影した頭部 MRI では異常を認めなかった。

来院後の経過：症状は安定していたものの、潜水の経過からは相当な体内残留窒素量があるものと推測された。初回再圧治療は U.S. Navy Treatment Table-6 (以下 Table-6, 詳細は後述) を選択した。再圧中に左上肢の異常感覚がいったん増悪したが、加圧を続けるうちに徐々に症状の改善を認めた。症状が完全に消失するまで加圧を続けた後に、ゆっくりと減圧し、結果的に Table-6 を最大延長する形となり、治療時間は 8 時間に及んだ (Fig. 1)。翌日初回治療から 12 時間を経過した時点で、左上肢異常知覚症状の再燃が見られ、通常の Table-6 を追加した。その後症状は消失し退院した。

その後の経過：退院後 3 日目に再度左上肢の異常知覚が出現、外来で再圧治療 Table-6 の追加を行った。その後は症状の再燃はなく、計 3 回の再圧で治療を終了した。治療終了後 3 ヶ月間は完全に潜水禁止とした。その後、徐々に浅い深度、短時間潜水を許可し経過を見たが、症状の再燃なく経過し、4 ヶ月目にはダイビングガイドに復職した。

【考察】

世界有数のダイビングスポットである沖縄県では年間を通じて減圧症患者が発生する。水難事故の場合は警察庁、消防庁、海上保安庁で発生件数が集計されるが、減圧症症例は必ずしも水難事故として扱われないことが多いため、正確な年間発生件数は不明である。当院での年間の治療件数は

50 例前後である。

減圧症の古典的分類は 1961 年に Golding が提唱し、四肢関節症状を呈する軽症型を I 型、それよりも重症、複雑な II 型としたのが最初である¹⁾。これを修正したものは現在でも米海軍のマニュアルで用いられている。中枢神経症状を呈するものは II 型に分類され、重症型として捉えられている²⁾。当院で経験する減圧症患者のうち脊髄、または末梢神経症状は全体の半数以上の症例に認められるが、構語障害などの脳神経症状を訴えるケースは、極めてまれである。潜水後の急浮上に起因し、気泡が動脈血へ流入することにより発症する空気塞栓症の場合は意識障害を含む重篤な脳塞栓症状を呈することがあるが、これもまれにしか経験しない。純粋な脳型減圧症の経験はほとんどないといつてよい。文献によると脳型減圧症は全減圧症症例の 1~2% とされるが³⁾、一旦発症すると死亡にいたる場合や、重篤な後遺障害を遺すことがあり⁴⁾、減圧症の中でも最重症のひとつと言える。治療は言うまでもなく迅速な再圧治療であり、初回治療を十分な時間行うことが重要である。

再圧治療は高気圧酸素治療装置を用いて行われる。高気圧酸素治療装置は日本では各地で普及している。一人用の第 1 種治療装置と、多人数用の第 2 種治療装置に分けられる。広く普及している第 1 種治療装置は酸素加圧型と空気加圧型があるが、圧倒的に酸素加圧型が多い。酸素加圧型では、患者は装置内の酸素をそのまま吸入することになる。一方空気加圧型は圧搾空気で充填された装置内で、リザーバマスクなどを用いた高流量酸

治療テーブル

USNTT-6 full extension (485min)

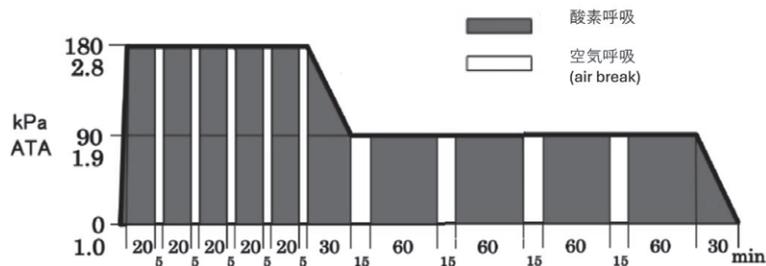


Fig. 1 : Treatment table actually used (Table-6 full extension)

素の投与を行うもので、ほぼ純酸素吸入が可能となり、この場合の吸入気酸素分圧は装置内の圧力に比例して高くなる。第2種治療装置はすべて空気加圧型である。再圧治療以外の通常の高気圧酸素治療は治療圧2ATA（絶対気圧：atmosphere absolute, 2ATA=0.1MPa）で行われるが、再圧治療の治療圧はより高い2.8ATA（0.18MPa）を必要とし、また治療時間も長くなる。このため再圧治療中は高分圧酸素曝露による神経系酸素中毒のリスクがあり、治療中にこれを発症した場合に問題となる症状は意識障害と痙攣である。これを予防するため再圧治療では治療の途中で間欠的に酸素ではなく酸素濃度21%の空気を吸入する、いわゆる air break が必要となる。これを第1種治療装置で行う場合には空気加圧型である必要がある。重症例では医師や介助者が治療室内に入ることの出来る第2種治療装置で治療しなければならないことは当然であるが、この場合はすべて空気加圧型であるので air break は可能である。

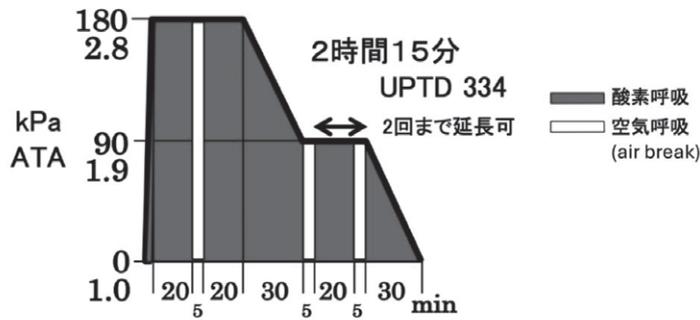
減圧症に対する再圧治療をどのように行うかは、米海軍のマニュアルにフローチャートが明記されており、グローバルスタンダードであると言ってよい⁵⁾。詳細は割愛するが、この中には治療時間30時間を超える長時間、高圧力の治療テーブルの記載がある。これらは医家向けというより、軍事施設での訓練中に発症した場合の再圧を念頭に置いたものである。実際に減圧症に対し、医療

機関で行われる再圧治療としては Table-5 (Fig. 2) ないし Table-6 (Fig. 3) が中心となる。Table-5, Table-6 とともに初期治療圧は2.8ATA（0.18MPa, 水深18m相当）で、酸素吸入20分と空気吸入による air break 5分のセットを繰り返した後に、治療圧を1.9ATA（0.9MPa, 水深9相当）まで減圧し、再度酸素吸入と air break を行うものである。しびれなどのⅡ型減圧症が疑われる場合は Table-6 が標準治療となるが、この場合の加圧時間を除いた治療時間は4時間45分を要する。症状の改善が不十分な場合は、2.8ATA, 1.9ATA それぞれの酸素吸入と air break のセットを各2回まで延長可能であり、最大延長を行った場合には治療時間は8時間に及ぶ。

今回の症例では、搬送時には症状は軽快していたものの、再圧治療中に症状の悪化が見られ、なかなか改善しないため、結果的に Table-6 の最大延長による再圧治療を行うこととなった。治療中に症状の一時的な増悪をみることはしばしば経験する。この場合、再圧治療に対する反応があると判断され、治療の継続により軽快することが多い。今回は比較的若年であり、当初に構語障害と運動麻痺がみられたこと、および、潜水の状況から体内残留窒素がかなり多いことが推定されたため、長時間に及ぶ再圧治療となった。最終転帰から見ると、この治療方針は妥当であったと考える。

我が国では第2種装置の設置台数そのものが少

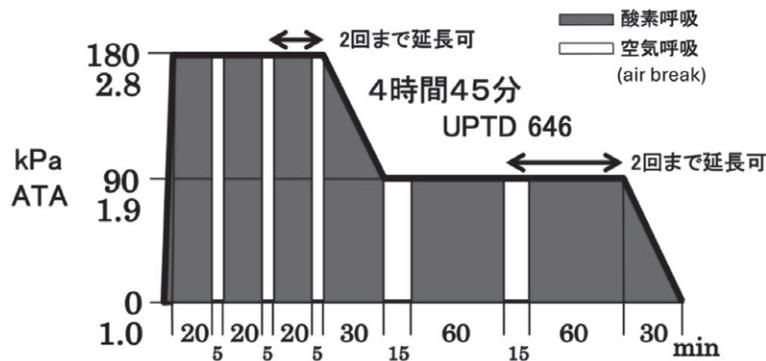
米海軍治療表5 (USNTT-Table5)



第6版 高気圧酸素治療入門より引用改変

Fig. 2 : U.S. Navy Treatment table 5

米海軍治療表6 (USNTT-Table6)



第6版 高気圧酸素治療入門より引用改変

Fig. 3 : U.S. Navy Treatment table 6

ないことや、その地域偏在のため、日本高気圧潜水医学会は全身状態が安定していれば、第2種治療装置保有施設と連携を取った上での第1種治療装置での応急的再圧治療を容認している⁶⁾。しかし、治療時間が長時間になった場合には、患者のストレスや、水分補充、排尿対策などの点から第1種治療装置での再圧治療には限界がある。

第2種装置は装置そのものが高額であり、広い設置スペースや専用高出力コンプレッサーと専用配管が必要である。そのためこれを新規に導入す

ることはかなり困難が伴う。沖縄本島には第2種治療装置が3台稼働しているが、装置の維持にもコストがかかり、これを24時間365日運用するためには複数の専任臨床工学技士や専門医の常駐が必要で、現実的には困難を極めている。幸い当院には臨床工学技士が多数在籍しており、救急外来と専門医が常時連絡を取れる体制が整っている。第1種装置も、その構造の根幹をなすアクリルシリンドーの価格が近年高騰しているため、装置自体の販売価格がかなり高くなっており、これを離

島僻地に設置することはより一層困難となっている。したがって、二次離島での再圧治療を行う事は現実的ではない。沖縄県では本島以外では県立八重山病院、宮古徳洲会病院が第1種治療装置での再圧治療を行っており、宮古・八重山諸島での減圧症治療に重要な役割を果たしている。

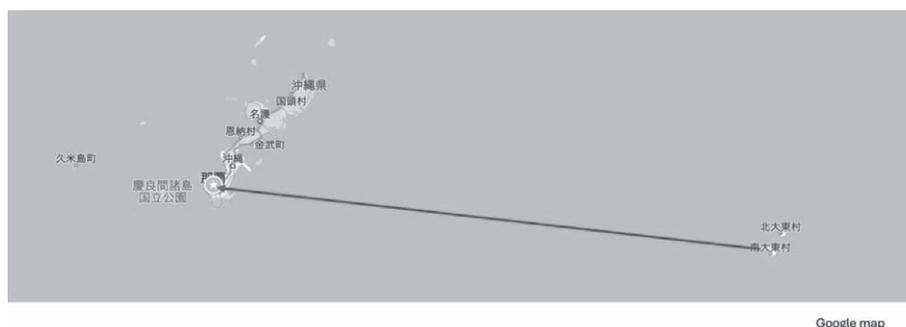
二次離島で減圧症患者が発生した場合には、初期治療として高濃度酸素吸入と、物理的な窒素の溶解スペースを増加させるための輸液が重要である。その上で患者の状態を正しく把握し、必要な場合にはいかに早期に再圧治療を開始できるかが、予後規定因子となる。沖縄県には1機のドクターヘリが配備されており、沖縄本島周辺の離島からの減圧症患者の搬送にあたっている。減圧症患者の空輸搬送にあたっては、環境圧を低下させると症状が悪化する点に注意が必要であり、飛行高度は通常300m (1,000ft.) 以下とすることが要求される⁷⁾。

南北大東島は那覇から直線距離で360km離れており、県内でも再圧治療可能な医療機関に対するアクセスは最も悪い (Fig. 4)。往復飛行を考えると通常のドクターヘリによる搬送は、航続距離の問題から困難である。南北大東島での患者空輸患者搬送はもっぱら自衛隊機により行われている。

よく用いられるのは固定翼機であり、この場合片道55分で飛行できるが、一般に推奨される飛行高度300m以内という条件をクリアできない。今回は代替として双発大型輸送ヘリコプターCH-47で空路1時間35分をかけた空輸となった。これをもってしても高度300mは通常の巡航飛行高度下限に近く、民家などの上空を飛行する際の騒音や気流の不安定性などの不利益を生じる可能性がある。また二次離島での自衛隊機による患者空輸は天候などの条件により、通常条件であっても困難なこともまれではない。

プロフェッショナルダイバーであっても無謀な大深度潜水が行われることがあるのは残念である。近年ダイビングコンピューターが普及し、もはや必須アイテムといってよい。レジャーダイビングでは無減圧潜水が基本である。ダイブコンピューターを過信し、安全限界をはるかに超えた減圧潜水を行うダイバーは少なくない。安全を高めるはずのダイブコンピューターの普及がかえって減圧症患者を生み出しているのは皮肉と言うしかない。

沖縄県の二次離島にあっては、迅速な再圧治療が困難な場合が十分にあることを考慮し、より安全な潜水を行う事を徹底することが重要であることを、再認識させられた経験であった。



直線距離 360km
搬送時間 1時間35分

通常の飛行高度
1000~2000フィート

Fig. 4 : Air transport from Minamidaito to Naha airport

【結語】

沖縄県二次離島で発生した脳型減圧症の1例を経験した。自衛隊機による長距離航空搬送により、早期に再圧治療が施行でき、良好な転帰であった。二次離島で重症減圧症が発症した場合、再圧治療は必ずしも早期に行える保証はない。このため、特に離島では減圧症発症のリスクを極力抑えた潜水をすることが重要である。

【利益相反の開示】

本論文に関して利益相反はない。

参考文献

- 1) Golding FC, Griffith P, Hemplemann HV, et al.: Decompression sickness during construction of the Dartford tunnel. *Brit J Industr Med* 1960 ; 17 : 167-180.
- 2) Direction of commander, Naval sea systems command: U.S. Navy diving manual revision7. 2018 ; Vol.5 chapter17 pp. 8-13.
- 3) Barratt DM, Harch PG, Van Meter K: Decompression illness in divers: a review of the literature. *Neurologist* 2002 ; 8 : 186.
- 4) Dick AP, Massey EW: Neurologic presentation of decompression sickness and air embolism in sport divers. *Neurology* 1985 ; 35 : 667.
- 5) Direction of commander, Naval sea systems command: U.S. Navy diving manual revision7. 2018 ; Vol.5 chapter17 pp. 17-52.
- 6) 鈴木信哉：高気圧酸素治療入門 第6版. 一般社団法人日本高気圧環境・潜水医学会. 2017 ; pp. 163-164.
- 7) MacDonald RD, O'Donnell C, Allan GM, et al.: Interfacility transport of patients with decompression illness: literature review and consensus statement. *Prehosp Emerg Care* 2006 ; 10 : 482-487.