

減圧症／いわゆる潜水病、潜函病

琉球大学医学部

井上 治 (高気圧治療部 准教授)

久木田 一朗 (救急医学 教授)



減圧症とは

減圧症は、空気を高圧下で吸入（呼吸）すると空気中の窒素ガス（以下「窒素」あるいは「ガス」とする）が体内の脂肪組織に溶解込み、長時間の曝露（高圧下）や、急速な減圧（大気圧に戻る）で窒素が血中で気泡（バブル）となり、さまざまな症状を呈してくる症候群（複数の病態の集合）である。

「潜水病」とも言われるが、潜水病はタンクに充填された圧縮空気や、船上のコンプレッサーからの圧縮空気を水中で吸入することにより、また「潜函病（せんかんびょう；caisson's disease）」はトンネルや橋げたの工事で密閉された高圧下の掘削作業（caisson；ケイソン工法）により発生する減圧症である。



多彩な症状（図1）

末梢の静脈に発生した気泡は肺に集まり（肺塞栓症）、肺胞と毛細血管でのガス交換（静脈血の炭酸ガスを放出し、動脈に酸素を取り入れる）が妨げられ、低酸素血症となる（チョークス；chokes）。また、気泡で血液が攪拌されると血球が凝集して粘度が増し、交感神経の興奮で血液が濃縮され、血漿が血管外に漏出して脱水傾向となり、組織障害を助長する。

脳や脊髄神経は一種の脂肪組織であるが、気

泡により障害されやすく、意識障害や片麻痺（左右の半身）、帯状痛（脇腹の痛み）、対麻痺（下半身）、四肢麻痺、単麻痺（一側の手足）、排尿障害などを呈する。また、胸痛や腹痛、吐き気などの内臓症状や、めまいや複視などの前庭神経症状（メニエール型；meniere）を呈する場合もある。関節痛（ベンズ；bends）は肩に多いが、腰痛や、局所の浮腫、皮膚の斑紋や痒みを生じることもある。

さらに急速な減圧（急浮上など）、あるいは心臓に異常（卵円孔開存などのシャント）があると、静脈性気泡が動脈性となって脳に塞栓（詰まる）し、意識がなくなり、そのまま溺水（肺に水が入り、喉頭痙攣で窒息する）こともある。また、水中ではパニックやエアークレドで溺水し、生還できても肺水腫や肺炎で死亡することもある。



応急的治療

意識障害、血圧低下、呼吸困難など重篤な症状には、高濃度の酸素吸入と十分な輸液が不可欠であり、とくにチョークスではリザーバー付きマスクで酸素吸入を行い、気泡の吸収と組織の低酸素症を助ける。気管挿管による人工呼吸が必要となることもある。

点滴を確保し、濃縮された血液を希釈し酸素が供給されやすくし、脱水を補充する。低分子デキストランの静注（抗ショック、抗凝固作用）

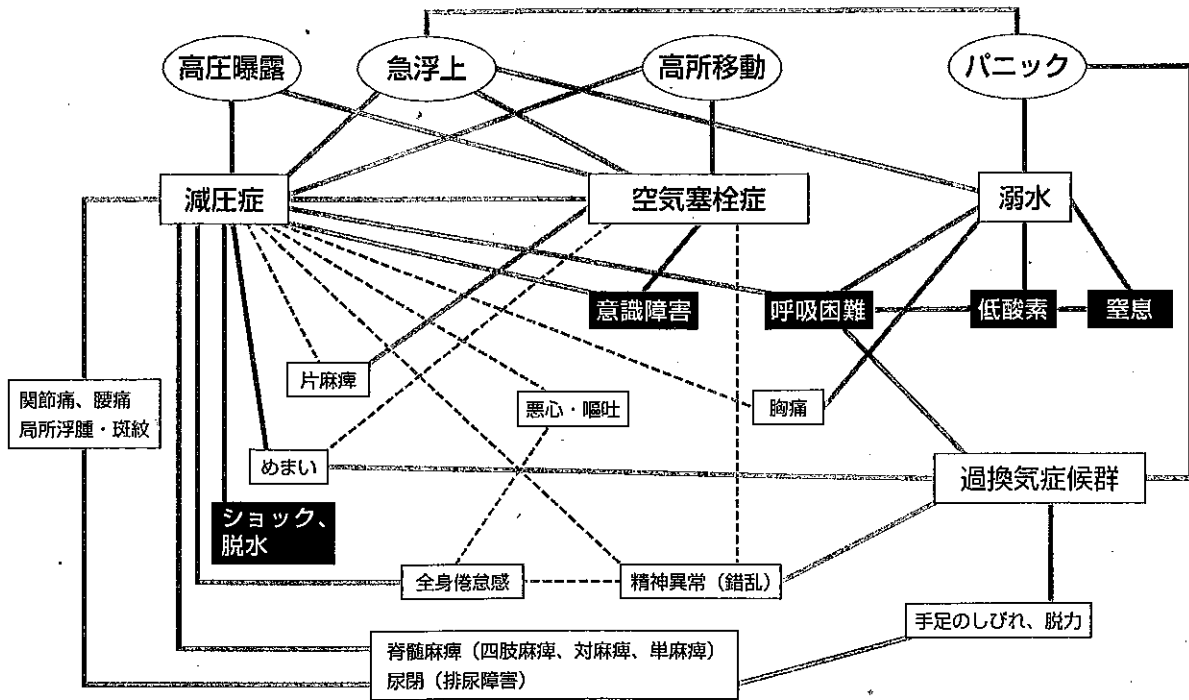


図1 減圧症関連因子と病態
 (— は密な関連、- - は重篤な全身症状)

やアスピリン製剤の内服（抗凝固作用）、ステロイドの投与（抗ショック、抗炎症作用）などが行われる場合もある。



再圧療法

酸素再圧療法（以下「再圧療法」とする）は、チャンパー（chamber；写真）と呼ばれる高気圧酸素治療装置に入り、酸素吸入をしながら、重症では5時間以上かけて3気圧から1気圧まで徐々に減圧することにより気泡を圧縮・吸収し、低酸素状態に陥った組織を回復させる特殊療法である。

減圧症の発症後、2時間以内に開始すれば、重症例でも1回の再圧療法で完全緩解が得られるとされている。すなわち体内の気泡は12時間で自然消滅するとされ（米海軍減圧表*）、ダイビング後の航空機搭乗の目安とされるが、発症後2時間以内では気泡による組織障害は可逆的で、これ以降は障害された組織で二次的な血栓などが

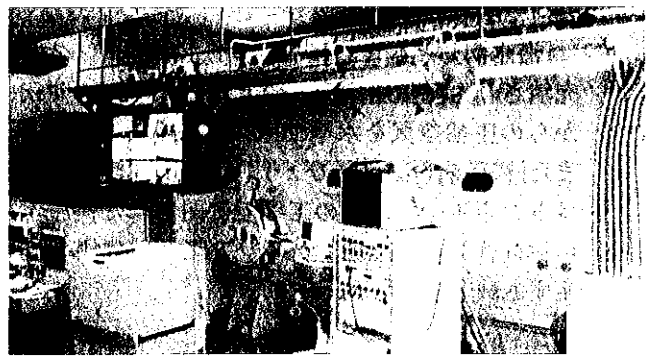


写真 高気圧酸素治療装置チャンパー（chamber）

生じ、不可逆的な組織障害が進行するとされている。したがって、発症後、長時間経過すると再圧療法を行っても気泡を圧縮・消滅させる効果が得られず、大量の溶解酸素を供給する補助的効果（高気圧酸素療法）のみとなる。

*減圧表／潜水の時間や深度により体の中にどのくらいの窒素が溶け込んでいるかを数字で表すもの。減圧症を予防するためには、減圧表に基づき、減圧のための安全停止をする必要がある。日本では、米海軍減圧表や厚生労働省の定めた減圧表が使われている。



高所（低圧下）搬送のジレンマ

離島や遠隔地から減圧症患者を搬送する場合、航空機は機動性（スピード）ですぐれているが、機室内（キャビン）は0.8気圧に加圧され（飛行高度10,000mでは外気は0.3気圧以下になる）、体内の気泡が膨張して症状が増悪する。ヘリコプターの機室は外気にさらされているが、低空飛行が可能で、300m以下なら減圧症患者の搬送に問題はないとされている。しかし、夜間の有視界飛行はリスクを伴う（図2）。



減圧症の治療

ショック症状（意識障害、血圧低下、酸血症など）の合併やチョークス（肺塞栓症）、脊髄麻痺や片麻痺、メニエール型（高度のめまい）など重症の減圧症（減圧症Ⅱ型）は、再圧療法の絶対的適応で、米海軍再圧療法6欄*（約5時間）が行われ、症状の回復が不十分な場合は延長する（2.8絶対気圧1時間まで）。急速な加圧（気泡を短時間で圧縮する）と緩徐な減圧（気泡を酸素で置き換えて溶解させる）がこの治療法のポ

イントであり、治療時間の短縮や中断は症状の増悪を招くことがある。

関節痛のみのベンズなど軽症の減圧症（減圧症Ⅰ型）では、米海軍再圧療法5欄（2時間余り）が行われるが、減圧症Ⅱ型を合併し、軽症と考えられても6欄（約5時間）を行う必要があり、5欄のみでは治療中あるいは治療後に増悪することがあるとされている。発症時は歩けなかったが、受診時には歩行でき、意識がもうろうとしていたが回復したなどの症例でも、神経学的異常（の残存）が認められれば再圧療法を行うべきである。

ダイブ中の溺水では急浮上することが多く、動脈性空気ガス塞栓症の合併（動脈内にガスが発生して脳に塞栓し、減圧症Ⅲ型と呼ばれることもある）は再圧療法の絶対的適応であり、肺浸潤や肺炎に対し気管挿管や気管切開、抗菌剤の静脈内投与により救命される。

*米海軍再圧療法／再圧療法にはいくつかの治療法（治療テーブル）があり、もっともよく使用されるのが米海軍のもので、6欄の治療が2.8絶対気圧（75分、延長60分まで）から3時間かけて減圧し、治療時間は4時間45分などとなっている。酸素中毒を防ぐためのエアブレイク（air break）5～15分を5回入れる。

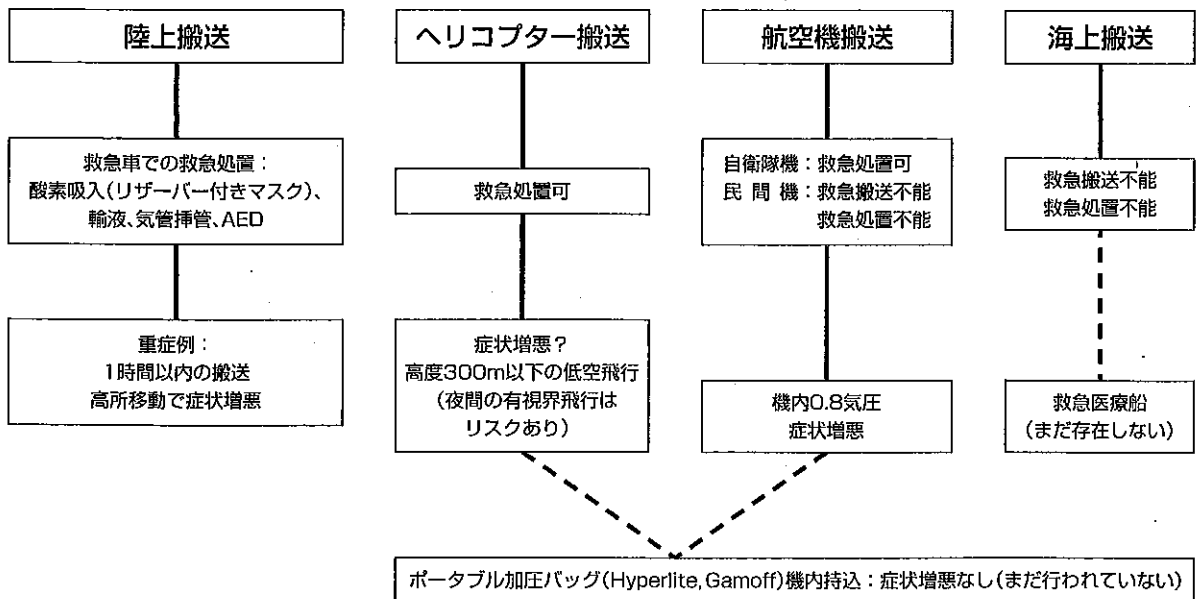


図2 発症直後における減圧症患者の搬送

の意識が失くなり、呼吸が止まった事例がある。また、ヘリコプター移送の直後に死亡した事例

で、解剖により体内にも気腫が認められたことがある（当院法医学者言、因果関係は不明）。

Case3

肥満者の減圧症

43歳女性。肥満（169cm、79kg、BMI 27.6）。東京でOLをしていたが、夏には沖縄の宮古島でダイビングを楽しんでいた。発症の2日前にタンク1本（20m）、1日前に2本（42mと27m）潜り、当日は10時30分より、ボートから40mまで潜り、ダイブコンピューターで安全停止を行って浮上した。直後から息苦しく、目がチカチカし、左足が動かず、直ちに現地の病院に向かった。

14時40分から再圧療法が一人用チャンパーで行われたが、終了後、右足も動かなくなり、臍以下の対麻痺を呈していた。翌日、ヘリコプターで那覇空港まで搬送され、14時30分に当院に到着したが、両手の不全麻痺と両下肢の完全麻痺を呈していた。

米海軍再圧療法6欄を行い、上肢の症状は改善したが、腱反射は消失していた（脊髄ショック）。6欄を3日間、5欄を6日間行ったが、臍以下の対麻痺を残し、東京のチャンパーのある病院に転院した。

問題点

発症前日午後のダイブは窒素の蓄積を否定できず、当日午前もレジャーダイバーの安全域を超える深度からダイブコンピューターにしたがって浮上しているが、肥満（BMI）が発症の危険因子であった。一人

用チャンパーによる再圧療法（とくに6欄）は、重症例では困難なことが多く、意識のある患者でも5時間の治療を容態の急変などで中断せざるを得ないことや、輸液や投薬が十分にできないことなどから、病態が悪化する場合もある。

Case4

心疾患の既往症のある患者の減圧症

23歳女性。小学生の頃、心臓に孔が開いていると言われ薬を飲んでおり、結核で2ヶ月間の入院をしたこともある。オーストラリアでダイビングのライセンスを取り、2年前から沖縄で仕事をしながら週末に潜っていた。

10時30分頃から30mを30分間潜り、浮上後、岸まで泳いでいると両下肢がだるくなり、意識もうろう状態で岸にたどりついた。救急車で当院を受診、両側の腸腰筋以下の麻痺（かろうじて動かせる）を認め、13時より米海軍再圧療法6欄を行った。終了後、起立できるが歩くところフラフラし、入院させた。夜中に痙攣発作があり（翌日夜間も発作あり）、意識は保たれ、ホリゾン5mg（精神安定剤）静注で軽快したことから過換気症候群と考えられた。6欄4回後、ゆっくりだが独り歩きと自己排尿が可能となり、近くのリハビリ病院に転院した。

問題点

生まれつきの心房中隔欠損があり、シャント（肺を経由せずに静脈血

が動脈血に流れ込む）により静脈の気泡が動脈に入り、脳や脊髄に塞栓（詰まる）した可能性

がある。このような持病がある人はメデイカルチェックを受けるべきであった。とくに女性ダイバーはパニックによる急浮上や、減圧症に心

因反応が加わって多彩な病状となり、月経異常や精神的トラウマを残すこともある。

Case5

早期の蘇生・応急処置と再圧療法により後遺症なく回復

65歳男性。ダイビングガイド。朝から20m深度まで1本潜り、2本目のダイビングでエア切れとなって溺水し、仲間のダイバーが18mの深さから急浮上させた。11時頃、船上で意識を失い、脈、呼吸なく、心肺蘇生を受けながら30分で帰港し、近くの病院で気管挿管などの救急処置を受けたあと、14時30分、当院に搬入された。

米海軍再圧療法6欄2回、5欄2回を行い、ICU管理によりJCSⅢ-300、DIC (disseminated intravascular coagulation; 播種性血管内凝固症候群)、MOF (multiple organ failure; 多臓器不全) の状態から離脱した。第5病日に気管切開を行い、肺炎の鎮静化に1ヶ月を要したが、自力歩行も可能となり、後遺症なく退院した。

要点

急浮上による動脈性空気ガス塞栓症の中樞神経障害と溺水による低酸素血症から心肺停止になったと考えられる致命的な症例で、溺水性肺炎も合併したが、遅

滞なく、初期の蘇生と応急処置、再圧療法を含む集中治療が行われれば救命できること、後遺症も回避しうることを示している。



おわりに

重症の減圧症は、早期に再圧療法を行うほど良好な治療効果が期待されるが、遠隔地や離島からの航空機による搬送では、高所(低圧)環境により重症化するジレンマがある。初期治療

として高濃度の酸素吸入(リザーバー付きマスクの使用)は重要で、減圧症を軽減し、待機中にチョークスなどによる低酸素血症を改善することもある。軽症の減圧症や、改善しつつある減圧症にも、5欄など短縮型の再圧療法が適応となる場合があるが、施行後も十分な経過観察が必要である。

参考文献

- 1) 鈴木信哉: 減圧障害の最新治療. 日本高気圧環境・潜水医学会雑誌 2008;43:41-51.
- 2) 井上治, 野原敦, 砂川昌秀: 沖縄県におけるⅡ型およびⅢ型減圧症の易発現性と重症化の検討-職業ダイバーとレジャーダイバーとの比較-. 日本高気圧環境医学会雑誌 2004;39:209-217.
- 3) 井上治, 久木田一朗, 合志清隆, 山見信夫, 鈴木一雄. Committee Report: 高気圧酸素療法 (hyperbaric oxygen therapy, HBO) における適応疾患の見直しと再編 -特に国内の臨床報告と基礎研究及び国外のランダム化比較試験などからの提案-. 日本高気圧環境・潜水医学会雑誌別冊 2009;44(2):1-35.
- 4) 井上治, 久木田一朗, 砂川昌秀ほか: 女性ダイバーにおける SCUBA 潜水の問題点. 日本高気圧環境・潜水医学会雑誌 2009; 44:152.