

## 減圧症と動脈ガス塞栓 NEJM, March 31, 2022

つげたり：米欧回覧実記、真珠湾攻撃

「僻地で世界最先端」西伊豆健育会病院早朝カンファ 仲田和正 2022. 5  
Decompression Sickness and Arterial Gas Embolism (Review Article)

### 著者

- Simon J. Mitchell, M.B., Ch. B., Ph. D., School of Medicine, University of Auckland, and the Department of Anesthesia, Auckland City Hospital, New Zealand
- Michael H. Bennett, M.B., B.S., M.D., Prince of Wales Clinical School, University of New South Wales, and Wales Anesthesia, Prince of Wales Hospital, Sydney, Australia
- Richard E. Moon, M.D., Departments of Anesthesiology and Medicine, Duke University Medical Center, and the Center for Hyperbaric Medicine and Environmental Physiology, Duke University, Durham, North Carolina

NEJM, March 31, 2022 に「減圧症と動脈ガス塞栓」の総説 (Review Article) がありました。今回知床半島沖、深さ 120m の観光船 KAZU 1 に対し飽和潜水が行われ大きな注目を集めました。

当、西伊豆健育会病院でも減圧症は時々搬入されます。トップジャーナルで以前、減圧症が扱われたのは下記 2011 年の The Lancet でした。

[http://www.nishiizu.gr.jp/intro/conference/h26/conference-26\\_13.pdf](http://www.nishiizu.gr.jp/intro/conference/h26/conference-26_13.pdf)

減圧病 The Lancet, Jan 8, 2011 西伊豆早朝カンファ

今回の総説を読んで驚いたのは 2011 年と治療が何も変わらず進歩がないこと でした。高圧チャンバーでの再圧手順も 1970 年代以来の US Navy Table 6 のままで実に 50 年変わっていません。潜水技術は向上したのですが減圧症治療は進歩がありません。著者はニュージーランド、オーストラリア、米国デューク大学高圧医学研究所の医師達です。

NEJM, March 31, 2022 「減圧症と動脈ガス塞栓 (総説)」最重要点は次の 15 点です。

- ① 減圧症は組織 N<sub>2</sub> で 静脈内気泡。動脈ガス塞栓は肺ブ<sup>ラ</sup>等 1m 浮上で破裂、動脈内気泡。
- ② 静脈は小気泡で内皮剥離→血漿漏出。ASD, PFO で動脈ガスに。脳は血流↑で大気泡。
- ③ 減圧症と動脈ガス塞栓の鑑別は困難、治療は同じで減圧症に両者含めることも。
- ④ 最も権威ある減圧症マニュアルは US Navy Diving Manual, Revision 7 (2016)。
- ⑤ 飽和潜水:DDC 加圧 1 日, bell で海底往復, 減圧は 30m あたり 1 日かける。ヘリウム混和。
- ⑥ 減圧症は臨床診断! 水深 6m 以上, 99%6 時間内発症。ダイブ後異常は常に減圧症考慮。
- ⑦ 症状: 筋骨格痛, 発疹, 網状斑, 痒み, シ<sup>レ</sup>, 皮下腫脹, 麻痺, めまい, 耳鳴, 脳症状, 胸痛, 咳。
- ⑧ ダイブ<sup>ー</sup>は症状隠す, 完全神経学検査を! 高感度は (sharpened) Romberg' s sign。
- ⑨ 動脈ガス塞栓 (6.5%) は肺ブ<sup>ラ</sup>等破裂、浮上 5 分内発症! 胸 Xp 確認, 胸痛, 喀血, 脳症状。
- ⑩ 鑑別: シ<sup>レ</sup> (沖縄<sup>ワ</sup>ダイ, dry ice 感覚), 麻痺性貝毒, フ<sup>グ</sup> (筋肉 OK, 皮・精巣注意)
- ⑪ 治療: 臥位で高濃度 O<sub>2</sub>, 浸水利尿で脱水→補液, 搬送高度<300m, 決定的治療は再圧。
- ⑫ 治療 (海軍表 6) は O<sub>2</sub> で再圧 2.8 気圧→5h 程で 1 気圧, 空気吸入 5 回挟み O<sub>2</sub> 中毒予防。

- ⑬ 再圧不能時フルフェイスマスクで水中再圧。O<sub>2</sub>中毒の痙攣注意。軽症は酸素、輸液、NSAIDで。
- ⑭ 治療：酸素。皮膚型は再圧不要。四肢、中枢神経、脊髄、内耳、呼吸循環型、ガス塞栓は再圧。
- ⑮ 急上昇>5,500mで減圧症。前もってO<sub>2</sub>吸入。発症時は酸素、輸液、再圧。

1. 減圧症は組織 N<sub>2</sub> で静脈内気泡。動脈ガス塞栓は肺ブラ等 1m 浮上で破裂、動脈内気泡。

先日手術患者の御家族に説明をする際、50-60代のご長男が車椅子で来られました。既往歴を伺って驚いたのは減圧症による脊髄対麻痺だったことでした。

30代の発症です。定置網が海底で引っ掛かって揚がらなくなった場合、潜水土木の会社の出番なのだそうです。定置網でそんな作業が必要であるということに驚きました。

50m 潜水し海底でナイフを忘れたことに気付き浮上と同時に意識を失ったとのことでした。それほど急浮上ではなかったそうです。意識が戻った時には臍以下の両下肢運動・知覚麻痺となっていました。背中が死ぬほどに痛かったそうです。

ベッドに皺があってそれが当たり痛いような感じでした。筋骨格痛 (bends) もありました。南伊豆にあった湊病院 (現在は閉院) の高圧チャンバーで半年間入院治療し不全麻痺とは言えゴルフもできるほどになりましたが 50代から車椅子となったとのことでした。

なお減圧症を bends (ベンズ) という訳は、古代ギリシャ美術で前かがみになった格好を grecian (ギリシャの) bend といい、この格好がなぜか 1820 年代に米国で流行、それから来ています。減圧症で海から上がって来た時、痛みで前かがみになっているからです。

その方の息子さんもリクレーションダイバーで 100m ほど潜ることもあるとのことでした。リクレーションダイビングで飽和潜水ができるとは思ってもみなかったのも、どこで可能なか尋ねたところフィリピンでやったそうです。

伊豆の潜水土木の求人調べたところ潜水作業員月収 32 万円の募集がありました。基本給に加えて潜水手当 36,000-100,000 円で港湾建設、防波堤工事 (水中溶接、爆破) に従事します。

シャンパンはワインに糖分と酵母を加えて密栓し瓶内でさらに発酵させると glucose 1 分子 → エタノール 2 分子 + 二酸化炭素 2 分子となり瓶内は二酸化炭素により 5-6 気圧に達します。

開栓と同時に激しく発泡します。減圧症の原理はこれと同じです。浮上による減圧で血液中で窒素が一気に発泡するのです。

なおビールは 2 気圧なので深さ 10m の海中では開栓しても泡がたちません。

岩倉具視の岩倉使節団 107 名は明治 4 年 (1871) 12 月 12 日にアメリカ号で横浜を立ちサンフランシスコに向かいました。この中には女子 5 人もいて後の津田塾大創始者、9 歳の津田梅子もいました。ミッドウェーの北付近で 1872 年 1 月 1 日となりシャンパンやブランデーで新年を祝いました。日本人が初めて飲んだシャンパンかもしれません。

サンフランシスコでは葡萄酒・シャンパン工場を見学しているのですが、ボトルはフランスから、コルクはポルトガルから輸入していると聞き、「なぜボトル程度のガラスを米国で作らないのか？」と尋ねます。すると「ボトルはフランス製でないと消費者が承知しないのだ」との答えに「貿易の道に於いて名誉 (いわゆる愛顧信用を言ふ) の尊きこと万金の資本にも敵し難し。拙商は名誉を捨て小利を攫取す。数年間にて較すれば優劣なきに似たれども永年の後に貧富天淵 (えん) に至るは比々 (しばしば) 皆然り」と慨嘆しています。

減圧症は体組織に溶解したガス（主に窒素）が浮上時の減圧によりシャンパンのように気泡化し組織・血管損傷を起こすものでダイビング、航空機、宇宙飛行で見られます。スキューバダイビングで背負うボンベに入っているのは空気であって酸素ではありません。酸素を吸入したら酸素中毒になります。空気吸入で不活化ガス（窒素）が組織に溶け込みます。

一方、動脈ガス塞栓は肺内でトラップされたエア（息ごらえ、肺全体の膨張、ブラなど）が浮上とともに過膨張して肺泡毛細管間膜が破綻して起こります。わずか1mの浮上（0.1気圧減少）でも起こり得ます。浮上時、決して息を止めたり急浮上してはなりません。その時の肺ボリュームがTLC(total lung capacity)に近いとわずか1mの浮上でも肺の破裂、気胸を起こす可能性があります。特に喘息、blebs, cysts, bullaeがあると危険です。動脈ガス塞栓は、ブラ破裂以外にも医原性のガス血管内注入、肺の圧外傷（爆発）などにもよります。気泡が動脈循環で形成され多発の虚血を起こします。

飛行機パイロット試験の航空身体検査マニュアル（国土交通省）によると「自然気胸またはその既往歴がないこと」が前提です。胸部CT上ブラがあると受かりません。

西伊豆にも海女さんたちがいます。数十年前に鳥羽から西伊豆に指導にやってきてそのまま結婚、住み着いた人たちです。変形性膝関節症でも水中ではなにも痛くないので80歳代でも潜っています。彼女等は海面上で磯笛（いそぶえ）という独特な呼吸をします。COPD（慢性閉塞性肺疾患）の時のように口すぼめ呼吸をするため口笛のような音がするのです。呼気にPEEP（呼気終末陽圧）をかけて急速流出による気管支狭窄を防いでいるのかなあとと思います。

また彼女らの外耳道を覗くと外耳道骨腫により狭窄を起こしていることがあります。外耳に海水が入らぬようにする自然適応とも言われます。外耳道骨腫は縄文人にも見られ太古の昔から潜水による漁が行われてきたことがわかります。以前、なぜ海女になったのか尋ねたところ「そりゃ稼ぎが違う」との返事でした。ネギ1束数十円、あわび一つ数千円ですから1回潜れば数万円の稼ぎになります。彼女等は高給取りなのです。

まとめると減圧症は組織N<sub>2</sub>が静脈内気泡を作ることによります。一方、動脈ガス塞栓は肺ブラ等がわずか1m浮上程度で破裂、動脈内気泡を作ります。

## 2. 静脈は小気泡で内皮剥離→血漿漏出。ASD, PFOで動脈ガスに。脳は血流↑で大気泡。

浮上していくと組織の溶解ガス（N<sub>2</sub>）の分圧は周囲の圧を越え過飽和（supersaturation）となり組織や血液中で気泡が生じます。高高度への上昇も同じです。ふつう静脈中の気泡は小さく（19-700 μm）、この気泡は肺毛細血管でろ過され無症候ですが、ろ過能を越えたり心房中隔欠損（ASD）や卵円窓開存（PFO）があると動脈中に出現し脳、脊髄、内耳、皮膚に気泡が出現します。

一方、脳は血流が豊富なためN<sub>2</sub>は過飽和にならず急速に組織から排出され大きな気泡ができやすいのだそうです。気泡により特に脳白質で機械的破綻、巢出血がおこります。血管内気泡により血管基底膜上の内皮細胞が剥がれ血管トーンスが損傷され血漿漏出、hypovolemiaを起こします。

同じ機序で大量の静脈ガスにより肺血管床も破壊され肺水腫を起こします。

気泡が血管内膜と接していると transient receptor potential vanilloid ion channel (電解質の濃度勾配により特定イオンを透過させるチャンネル) も開いてカルシウム流入、ミトコンドリア障害、細胞死に至ります。

まとめると静脈では小気泡により血管内皮剥離→血漿漏出を起こします。ASD や PFO 等で動脈ガスになります。脳は血流豊富なために組織 N<sub>2</sub> が排出されやすく大気泡となり脳白質で巣出血を起こします。

### 3. 減圧症と動脈ガス塞栓の鑑別は困難、治療は同じで減圧症に両者含めることも。

減圧症と動脈ガス塞栓の鑑別は難しく治療は同じで分類する必要もないので、減圧症 (decompression sickness) に両者を含めることもあります。

固体による血栓と違い、動脈ガスの気泡は自然に、または再加圧で消失したり静脈循環に再分布しますがこれにより内膜損傷、炎症、血漿漏出が起こります。

減圧症で凝固系障害も起こりますがこれは血小板消費や血中 fibrin monomer が増加することによります。

まとめますと減圧症と動脈ガス塞栓の鑑別は困難であり、治療は同じなので減圧症に両者含めることもあります。

### 4. 最も権威ある減圧症マニュアルは US Navy Diving Manual, Revision 7 (2016)。

本日のこの総説と、2011年の The Lancet 減圧症総説では米国ノースカロライナ州の Duke 大学麻酔科の医師が執筆者になっています。この大学には高圧医学センターがあり高圧チャンバーが 24 時間稼働し全米から減圧症患者を受け入れています。Duke 大学は全米 3 位の麻酔科学のベストメディカルスクールで、海軍からも 2,000,000 (2 億 5600 万円) ドルの助成金をもらっています。

ノースカロライナ州のすぐ北のバージニア州には米国海軍特殊部隊、Navy SEALs 本部があります。SEALs の前身は第二次大戦中に活躍した水中破壊工作部隊 (UDT : Underwater Demolition Team) です。SEALs とは Sea, Air, Land の頭文字で海、陸、空のどこでも活躍するという意味です。

高度の潜水スキルを持っており敵地から脱出の際、水中に逃げることも多いようです。

最近、「The Operator」という本を読みました。何とウサマ・ビン・ラディンを直接射殺した米国 Navy SEALs 隊長本人、Robert O' Neill の自伝です。2,919 個の Amazon 評価でなんと 5 点満点、直接事件に関わった本人の一次情報ですさまじい迫力でした。これだけの数の評価者で 5 点満点の本なんて小生今まで見たことがありません。Kindle でダウンロード、すぐ読めます (1,778 円)。英語ですがなぜ今まで翻訳がないのか不思議に思います。

[https://www.amazon.co.jp/Operator-Firing-Killed-Warrior-English-ebook/dp/B01KG5GQSS/ref=tmm\\_kin\\_swatch\\_0?encoding=UTF8&qid=1652735587&sr=8-1](https://www.amazon.co.jp/Operator-Firing-Killed-Warrior-English-ebook/dp/B01KG5GQSS/ref=tmm_kin_swatch_0?encoding=UTF8&qid=1652735587&sr=8-1)

(The Operator : Firing the Shots that Killed Osama bin Laden and My Years as a SEAL Team Warrior, Robert O' Neill, Kindle 版)

上記 SEALs によるウサマ・ビン・ラディン殺害時の詳細は、下記西伊豆健育会病院 HP、西伊豆早朝カンファの「副腎不全（セミナー）The Lancet」の 1 章、2 章にまとめましたので是非お読みください。ビン・ラディンはなんと Addison 病だったと言われます。

[http://www.nishiizu.gr.jp/intro/conference/2021/conference\\_2021\\_06.pdf](http://www.nishiizu.gr.jp/intro/conference/2021/conference_2021_06.pdf)

（副腎不全、セミナー、The Lancet, Feb. 13, 2021）

スキューバダイビングでは呼出したガスを以前はそのまま水中に放出（開放式呼吸装置、オープンサーキット、OC）していましたが、大戦中密かに潜入するため（clandestine dive）再呼吸ユニット（半閉鎖式循環呼吸装置、closed circuit rebreather, CCR）でガスを回収して再利用し泡の出るのを防ぎました。泡が出ないと魚にもそっと近づけます。水深 20m、30 分潜水すると OC では 16000 の空気を消費しますが rebreather だとわずか 230 の酸素消費で済むそうです。

減圧症治療で世界で最も権威のあるのが下記の US Navy Diving Manual, Revision 7 (2016) です（991 頁ある！）。有名な再圧手順 Table 6 (p894, Figure17-5) もこの中にあります。Revision 8 もあるのか探しましたが小生ネットでたどり着けませんでした。

[https://www.navsea.navy.mil/Portals/103/Documents/SUPSALV/Diving/US%20DIVING%20MANUAL\\_REV7.pdf?ver=2017-01-11-102354-393](https://www.navsea.navy.mil/Portals/103/Documents/SUPSALV/Diving/US%20DIVING%20MANUAL_REV7.pdf?ver=2017-01-11-102354-393)

（US Navy Diving Manual, Revision 7 (2016)）

このマニュアルによると日本軍の真珠湾攻撃はハワイ時間 1941 年 12 月 7 日 7:55AM に始まりましたが、9:15AM には転覆した戦艦オクラホマの船底に穴を開けて救出活動が始まったとのこと。戦艦は 6 隻沈没しましたがこのうち 4 隻はサルベージされて戦列に復帰、戦艦アリゾナ、ユタは不能だったとのこと。この頃から既に潜水作業が行われていたのです。

真珠湾の戦艦アリゾナ記念館に行ってみますと現在でも海底から油が浮き出ています。舟で記念館に近づき入館するとき「In honor of the survivor of the vessel, please be seated」とアナウンスがあり生き残りの高齢男性が最初に乗り移りました。後でこの方に話を伺ったところ硫黄島の戦いにも参戦したとのことでした。小生の叔父が硫黄島で戦死したのでそう言ったところ「Oh!!」と握手してくれました。

また潜水作業で太平洋戦争で撃沈した日本船から 50 万ドルを回収したり、連合国に対する日本の防衛計画も回収することができたとのこと。そんなことがあったなんてこのマニュアルを読んで初めて知りました。

またハワイに行った時、ホノルル空港から観光ヘリでオアフ島の東側を周遊しました。南洋の青い海と緑の島のコントラストがとても美しいのです。オアフ島は甲状腺のような形で東と西に山脈があり、その間が平野です。東側山脈の最北がカフク岬です。カフク岬から中央の平野を南下して真珠湾に至るコースこそは、まさに日本海軍航空隊が真珠湾攻撃でたどった経路です。中央の平野は現在、Dole 社のパイナップル畑になっています。

真珠湾攻撃は 1945 年 12 月 8 日、小生が訪ねたのは 2014 年 12 月 13 日でした。連合艦隊はオアフ島の北 425 km にいました。ここから第 1 次攻撃隊 183 機が出撃し、

約1時間でオアフ島に到達しました。当日の平野部雲高1000m、雲量7、東の風、風力7.5m、視界良好でした。雲の切れ目からカフク岬を確認し、岬上空で「トツレ（突撃準備隊形作れ）」のモールス信号を送り、ここで二手に分かれます。

高度3000mから爆撃する水平爆撃隊（九七式艦爆、中島飛行機、現スバル）は西側山脈の西海岸を迂回し、急降下爆撃隊（九九式艦爆、愛知機械、現日産子会社）は中央の平野を直進します。他に直援のゼロ戦隊（三菱）がいました。カフク岬から真珠湾までは40kmで飛行機なら5、6分です。途中Wheeler飛行場上空で「ト」連送（全軍突撃せよ）を打電します。真珠湾近くに到達した時、米軍機は一機も上空になく、ここで成功を確信し信号「トラトラトラ（我奇襲に成功せり）」を連合艦隊に打電します。日本海軍パイロット達はこういう景色を見ていたのかと感無量でした。彼等と同じ空間にいるというのがとても不思議でした。

というわけで世界で最も権威ある減圧症マニュアルはUS Navy Diving Manual, Revision 7 (2016)です。再圧手順はこの中のtable 6 (p894, Figure17-5)です。

## 5. 飽和潜水:DDC 加圧1日, bellで海底往復, 減圧は30mあたり1日かける。ヘリウム混和。

この総説に減圧症の歴史が書かれていました。compressor（空気圧縮）技術はフランス東南部、ロワールの炭鉱で早くも1800年代に既に発達していました。高圧にすることで坑道の水没を防いだのです。この時に減圧症が起り関節痛、麻痺、昏睡、死亡事例が報告され、また坑道に戻ることで症状が軽減し、治療方法が示唆されました。

米国、セントルイス(St.Louis)のミシシッピ川を渡るEads橋の橋梁建設(1867-1874)で水面下30mに橋梁の土台を作る必要があり、圧縮空気でドライ・スペースを作る caissons (潜函)が初めて使われました。このEads橋はミズーリ州とイリノイ州の州境にありますが、ネットでその威容を見ることができます。明治維新の頃、既に米国でこんな巨大な鉄鋼の橋梁をcaissonsまで作って建設していたことに仰天します。一方、日本では福翁自伝によると、江戸で火事があると人々は貴重な鉄の釘を拾うために火事場にウジャウジャ集まったとのこと。それまで日本では鉄は砂鉄で作っており鉄で橋を作るなど夢のまた夢だったのです。

岩倉使節団の政府代表団44名の平均年齢は32歳、20代から30代が中心でした。西欧文明を完全に理解するためにはどうしても直接体験することが必要であるとして1871年（明治4年）から実に1年9ヶ月以上に亘り欧米12カ国の学校、塾学校、盲学校、病院、造船所、要塞、軍学校、製鉄所、醸造所、綿工場、汽車、電線、郵便、議会、法律、保険、紙幣、博物館、美術館、展覧会などありとあらゆるものを見学、研究しベンチマーク（基準点）を設定して近代国家日本を築いたのです。

欧米各国も非常に好意的であらゆる場所を見学させてくれました。サンフランシスコ近郊の新たな街では町の作り方を見て「街を作る時は必ず道路建設を優先する」ことを学んでいます。博物館、展覧会は教育、知識普及に極めて有効との判断から東京国立博物館は早くも明治5年に産声をあげました。欧米が1世紀かかったことを日本は20年足らずで築き上げた（George Rittner, Impression of Japan, 2015）と言われます。これほどcost-benefitに優れた旅行を小生知りません。



明治 38 年の大日本帝国海軍とロシア海軍との日本海海戦では日本の圧勝となりました。戦術の天才、秋山真之の村上水軍戦術にヒントを得た T 字戦法により最初の 30 分で勝敗が決しました。バルチック艦隊の沈没 21 隻、戦死 4,830 名、捕虜 6,106 名、一方連合艦隊の損失は水雷艇 3 隻のみ、戦死 117 名の文字通りの圧勝でした。

小生、サンクトペテルブルグに行った時、バルト海の沖に平らな島のクロンシュタット要塞が見え感動しました。バルチック艦隊はここから出港しはるかアフリカ喜望峰を経て日本海に向かったのです。日本の連合軍は逐一、艦隊の位置を日本に知らせてくれました。日本海海戦に参加した戦艦オーロラ号がネバ川に係留されているのですが丁度修理中で見られませんでした。オーロラ号は 1917 年の 2 月革命にも参加しています。

戦術の天才、秋山真之の「学び方の極意」は次の通りです。

「物事の要点が何であるかをつかむ、要点をつかむことが大事だ。要点をつかむには、過去のあらゆる型を調べる。多くの事例をひとつたり調べ、そしてその重要度の度合いを考え、あまり重要でないか、または不必要と思われることは大胆に切り捨てる。時間と精力を、つかんだ要点に集中する。」 医学の学習も全く同じだと思います。要するに「まず優れた本、論文を手に入れ、要点をつかんでそれに集中し枝葉末節は思い切って切り捨て、最重要点の怒濤の反復を行う」ことに尽きると思います。

米欧回覧実記（久米邦武編、岩波文庫）によると一同はサンフランシスコに到着、5 階建てのグランドホテルに泊まったのですが驚いたのは食堂では 300 人が一度に食事ができ、床は大理石とカーペットで敷かれ、浴場店（ふろや）、理髪店（かみきりどこ）、玉突場まであることでした。各部屋には客座、寝室、浴室、トイレがあり天井にはガス灯が灯り水盤のコックを緩めると清水がほとぼりしり出、電線に指を触れるとベルが鳴り、石鹸、手拭い、コップ、ストーブなどが備わっているのに感嘆しています。また小部屋に入ると、ドキンと音がして上がりはじめるエレベーターに仰天しています。

減圧症治療に初めて再圧室が作られたのはニューヨークのハドソン川トンネル（1889-1910）工事の時でした。即座の再圧により減圧症の死亡率は年間 25%から 15 カ月で 120 名中 2 名死亡にまで激減したのです。  
ニューヨークの the East River Tunnel 建設では減圧症 3,692 名で再圧により 90%以上で疼痛のみになり中枢神経症状のある症例の 60%で改善が見られました。

知床半島沖の深さ 120m の沈没観光船では今回、飽和潜水（saturation/sat diving）による作業が行われました。

生体に溶ける不活ガス（N<sub>2</sub>）の量は一定です。ある深度に一定時間いるとガスは飽和してそれ以上人体には溶け込みません。ですから一旦窒素が飽和すると、それ以上深く潜っても減圧時間は同じでよいわけです

ガス飽和はほぼ 24 時間で可能です。飽和潜水による世界 1 位の記録はなんと深度 701m。国内では海上自衛隊潜水艦救難艦「ちはや」乗員による 450m で世界第 2 位です。  
沈没した潜水艦の救難艦には「ちはや」と「ちよだ」の 2 隻あります。米海軍では普段深さ 300m まで行うようです。駿河湾にはサクラエビがいますが水深 200m から 350m に生息し夕方から夜にかけて水深 20m から 60m に浮上し、この時を狙って漁獲します。サクラエビの体内には空気がありませんからこれだけの深さに生息できます。しかしヒトの肺は 450m まで潜っていったいどうなってしまうのか、不思議でなりません。

飽和潜水後、減圧に必要な時間は30m (100feet) あたり約1日だそうで深さ200mだと8日かけます。一旦体組織でN<sub>2</sub>が飽和すればダイビングが1日でも15日でも減圧時間は同じです。最大28日間作業しますが1日降下して19日間仕事、8日間減圧だそうです。

前もって陸上で船上減圧室 (DDC: Deck Decompression Chamber) で加圧し深海底までの往復はベル (PTC: Personnel Transfer Capsule) という加圧した気密カプセルで行います。深海底で作業してもすぐ地上に戻ることができ地上のDDC内でゆっくり時間をかけて減圧すればよいわけです。DDCにはトイレ、シャワーもあります。

高圧下で空気密度が増すと呼吸抵抗が増大し体力を要し飽和潜水ではスープを飲むように呼吸せよと言われます。空気密度を減らし窒素中毒対策も兼ねて低密度のヘリウム混合ガス (Heliox) や更に水素を加えて3種混合ガス (Hydrox) を用いてガスの密度を下げます。Helioxでの会話はドナルドダックのような声になり聞き取りにくいのでHSU(Helium Speech Unscrambler)を用いて正常会話に近づけます。

米海軍では飽和潜水は深さ300mまで行います。Bellへの送気は水上からホース(umbilical)で行いますがベルには緊急用の酸素、Helioxのポンベも備えています。また深海は冷たいので温水(43度以下)を水中服に送り込みそのまま排出します。

まとめますと飽和潜水では、DDC加圧1日、bellで海底往復し、減圧は30mあたり1日かけます。空気の密度を減らすため、ヘリウムなどを混和します。

## 6. 減圧症は臨床診断！水深6m以上、99%6時間内発症。ダイブ後異常は常に減圧症考慮。

減圧症5,278例(うち49例が動脈ガス塞栓)で浮上後1時間以内発症は、軽症例で73%、重症例では98%でした。99%が6時間以内に発症しています。

ダイビング後に飛行機を利用した場合は24時間以後でも起こり得ます。

リクリエーションダイブではよくあるシナリオで患者は開業医を受診します。

症状は多様、非特異的で他の原因に帰せられることが多いのです。

ダイビング後の異常は常に減圧症を念頭に置きます。画像診断の感度は低く

減圧症の診断は、ふつう臨床診断です。

内耳障害を起こしても減圧症の確定診断はできません。

減圧症のバイオマーカーはなく、脊髄減圧症が重篤でもMRI診断の感度は低く、動脈ガス塞栓診断にCTの感度も低いのです。検査はあまり役に立ちませんから、検査で治療を遅らせてはなりません。

ただ動脈ガス塞栓の場合、肺外傷の可能性があり気胸の除外のため、再圧前に仰臥位での胸部単純写真や肺エコーは推奨です。

減圧症でエコーにより静脈ガスが見つかることは確かにありますが感度、特異度は低いのです。

症状の多くは組織の小気泡によるものであり現在の技術では検出できません。

伊豆半島で減圧症を疑った場合は、西海岸ではへりで静岡市の済生会病院へ、東海岸では神奈川県相模原市の東海大学病院へ送ります。高度300m以上の飛行は危険なので天城山系を越えないように棲み分けているのです。

「あなたと越えたい天城越え(石川さゆり)」はだめなのです。



しかしそれにしても「誰かに盗られるくらいなら、あなたを殺していいですか」は凄いい歌詞です。

標高 0m が気圧 1013hPa、高度 300m で 979hPa になります。

東名高速御殿場インター付近も標高 454m あり東名の利用も危険なのです。

国内で減圧症に対して唯一即応体制ができていなのは伊豆半島だけです。

関西では紀伊半島も含め即座の再圧治療体制ができておらず、なんと新幹線で東京まで行くこともあるとのこと。沖縄の離島では自衛隊の航空機で沖縄本島へ送りますが軍用機なので機内を 1 気圧に加圧できません。というわけで皆様ダイビングは是非、伊豆半島へ！

以前、患者さんをヘリで静岡へ搬送した時のこと。当院のドクターが付き添ったのですが毛布などを持ち帰る為、ナースが黒いゴミ袋を渡しました。

ヘリで駿河湾を横断、15 分かけて静岡済生会へ到着したところ「どうも御苦労さまでした」とそのまま放り出されてしまいました。ゴミ袋を片手にスクラブ、サンダル履きで新幹線、バスを乗り継ぎ 5, 6 時間かけて帰ってきたのですが満員の新幹線だというのに横の座席に誰も座ってくれなかったとのことでした。

水深 6m 以内では減圧症は普通発症しませんが、動脈ガス塞栓は 1m の浮上でも起こり得ます。減圧症のリスク因子は 21m より深い潜水、急浮上、冷水での潜水、水面下での重労働があります。ダイビングでは推奨ダイブ計画 (dive tables : 深さ、時間、上昇率) や自身のダイコン (ダイブコンピューター) に従います。

まとめますと減圧症は臨床診断です！水深 6m 以上の潜水で 99%6 時間内に発症します。ダイブ後異常は常に減圧症を考慮します。

## 7. 症状： 筋骨格痛, 発疹, 網状斑, 痒み, びれ, 皮下腫脹, 麻痺, めまい, 耳鳴, 脳症状, 胸痛, 咳。

以前、当、西伊豆健育会病院でダイビングが流行りインストラクターに病院へ来てもらい、皆で PADI の open water の免許を取りました。皆で土肥の海で潜水中、一人がパニックになって急浮上、皆もそれについていったところ、海面は潮の流れが速く、一気に沖へ流されてしまいました。沖にあった生け簀 (す) にしがみついて必死で海岸に手を振ったのですが誰も気づきません。

1 時間ほど経ってやっと気がついてくれて救出されました。あやうく皆でそろって土座衛門になるところでした。それ以後、当院ではダイビングは長いこと禁句でした。

減圧症の症状とその頻度は以下の通りです。

### 【減圧症の症状】

#### a. 筋骨格

- ・筋骨格痛 50-65% : 肩、肘、股、膝の深い boring pain (錐で刺すような痛み) で関節の動きと関係がなく 局所圧痛もない。多発ではっきり限局できない。

#### b. 皮膚

- ・皮膚の発疹、痒み 5-10% : 境界のはっきりしない紅斑、しばしば痒みを伴う。または境界鮮明、チアノーゼを伴う 網状斑 (cutis marmorata または livedo racemosa、ネットで見てください)

- ・限局するシビレ (patchy paresthesia) 40-50% : デルマトームに一致しない、チクチクする (tingling)。

c. リンパ管

- ・皮下腫脹 : 1-5% : 体幹、特に上胸部、肩に分布。

d. 脊髄

- ・運動麻痺 20-25% : 典型的には対麻痺、四肢麻痺で軽微から重症まで。upper motor neuron sign 伴う。
- ・シビレ (numbness) /強い知覚障害 (dense paresthesia) 20-30% : 脊髄後索がやられやすい。固有振動覚 (proprioception) が障害されることも。
- ・膀胱、括約筋障害 1% : 尿閉
- ・骨盤 (girdle) 痛、胸痛、腰痛、腹痛 1-5% : 典型的には脊髄症状の予兆 (premonitory symptom) としてでる。

e. 内耳

- ・前庭 : めまい、失調 10-20% : 嘔気、眼振を伴う。内耳の減圧病の75%は他に症状がない。
- ・鼓室 : 難聴、耳鳴り 1-5% : 減圧症では鼓室症状は前庭症状より少ない。

f. 脳

- ・認知能低下、暗点、視野変化、巣症状、失調 5-10% : 典型的には深潜水後の軽い実行機能 (executive function) 障害、たとえば集中力低下、記憶低下など。

g. 心肺

- ・呼吸困難、咳、胸痛 (the chokes) 1-5% : 典型的には深潜水後の急浮上 (rapid ascent)、減圧作業の省略で起こる。

h. 心血管

- ・血液濃縮、ショック、凝固障害 <1% : 稀。典型的には深潜水後の急浮上、

まとめますと減圧症の症状は、筋骨格痛、発疹、網状斑、痒み、シビレ、皮下腫脹、麻痺、めまい、耳鳴、脳症状、胸痛、咳などです。

8. ダイバーは症状隠す、完全神経学検査を！ 高感度は (sharpened) Romberg' s sign。

ダイバーは症状を隠したり症状を甘く見がちです。

減圧症を疑ったら完全な神経学的検査を行ないます。

とくに感度の高いのは Romberg' s sign (腕を胸の前にクロスし立位開眼 30 秒、

閉眼立位 30 秒で身体動揺し転倒に至る。小脳失調、後索障害) )、

sharpened Romberg' s test (片方の踵に片方の爪先を付けて立位 30 秒ずつ開眼→閉眼)、前後への歩行、継足歩行 (tandem gait) を開眼、閉眼で行います。

まとめますとダイバーは症状を隠したり甘く見がちです。完全神経学検査を行います！

特に高感度なのは (sharpened) Romberg' s sign です。

9. 動脈ガス塞栓(6.5%)は肺ブラ等破裂、浮上5分内発症！胸 Xp 確認, 胸痛, 咯血, 脳症状。

ダイバーでは動脈ガス塞栓よりも減圧症が圧倒的で3,018例で動脈ガス塞栓は6.5%でした。動脈ガス塞栓は肺の閉鎖腔にトラップされたエアが浮上によって圧が減少しエアが拡大、肺泡毛細血管膜が破裂して肺血管にガスが流入することによります。これは息こらえに続く肺全体の過膨張により起こりますが、ブラや気管閉塞による局所のエアの過膨張でも起こります。ブラ破裂で気胸が起こっている可能性もありますから胸部 Xp は撮ります。

わずか1mからの浮上(0.1気圧)でも起こることに注意です！浮上時、決して息を止めてはなりません！大きな気泡により動脈閉塞、虚血、梗塞が起こります。気泡は固体と違って再圧で小さくなったり自然に静脈へ移行したりしますが、その過程で内皮障害、炎症、血漿漏出を起こします。

動脈ガス塞栓は急速かつ劇的に発症します。116例の内、107例(92%)は浮上中か、水面到達5分内に発症しました。水面下で事故が起こりパニックで息こらえしながら急浮上して起こることが多いのですが、普通の浮上でも起こりえます。

動脈ガス塞栓は脳血管内で多発します。

最も多い症状は意識障害 39%、錯乱 (confusion) 37%、めまいと失神寸前 (presyncope) 30%、片麻痺 27%、視野変化 (visual changes) 21%、頭痛 20%、嚥下困難 11%、けいれん 11%。約半数で肺圧外傷の症状、たとえば胸痛、咯血が見られます。半数で自然軽快しますが再発例もあります。減圧症と同様、動脈ガス塞栓でも鑑別診断が重要です。

まとめますと動脈ガス塞栓(6.5%)は肺ブラ等破裂により、浮上5分内に発症します！気胸を起こしていることがあり胸部 Xp を確認します。胸痛, 咯血, 脳症状に注意です。

10. 鑑別：シカテラ（沖縄フグダイ, dry ice 感覚）, 麻痺性貝毒, フグ（筋肉 OK, 皮・精巣注意）

減圧症、動脈ガス塞栓の鑑別診断には以下のようなものがあります。

Puffer fish poisoning っていうのが出て来たので puffer って何だろうと思ったらフグのことでした。Puff ってプツと吹くという意味です。フグの語源も「ふくれる」から来ているようで puffer もフグも似たような連想のようです。

**【減圧症、動脈ガス塞栓の鑑別診断】**

a. 内耳減圧症：前庭症状 92%、鼓室症状 33%

85%で症状は浮上中または浮上後 60 分以内に始まる。めまいは持続することが多い。

<鑑別>

- 内耳圧外傷：降下中耳痛起こすことが多い。浮上前に 50%以上発症、圧外傷では鼓室症状が 94%
- 前庭性片頭痛：以前のダイブと無関係なエピソードがある。頭痛が続発。
- 圧変動性めまい (alternobaric vertigo)：上/下降で中耳圧変化による。一過性<1分
- BPPV (発作性頭位変換性めまい)：再発性、以前のダイブと無関係な発作がある。一過性で 1 分内。
- 船酔い：自己誤診断する。めまいや難聴は起こさない。

b. 脊髄減圧症；浮上後 1-2 時間で症状は比較的急速に進む。

<鑑別>

- ・硬膜外血腫/膿瘍：抗凝固治療で血腫のリスク。膿瘍は感染症の全身症状がある。たぶんダイブ前から症状がある。
- ・横断性脊髄炎、ギランバレー、多発性硬化症

c. 心肺減圧症：浮上後 30 分以内発症、誘発因子：25m 以上潜水、急速浮上、減圧省略

<鑑別>

- ・immersion pulmonary edema：多くは浮上前発症、減圧症起こさぬような潜水でも
- ・溺水 (near drowning)：ダイブ中パニック、水の吸飲
- ・心筋梗塞：狭心症の既往またはリスク因子

d. 筋骨格減圧症、多発のことも

<鑑別>

- ・筋骨格損傷：普通単一病変、外傷歴がある（重量物挙上、力み）

e. 全身性減圧症 (constitutional)：疲労感、悪心、頭痛

<鑑別>

- ・ウイルス、細菌感染：感冒様症状、発熱伴う
- ・二酸化炭素中毒：ダイブ後の頭痛で多い、特に重労働伴うとき。

f. 脳減圧症

<鑑別>

- ・一酸化炭素中毒；昏迷、意識障害、浮上前から発症することが多い。

g. 神経＋全身減圧症

<鑑別：海産物による中毒>

- ・シガテラ (ciguatera: 熱帯でプランクトンが産生する毒素に汚染された魚介類の摂取による)、国内では沖縄のフエダイが多い。主症状はドライアイスセンサーション (温度感覚の異常)、痒み、四肢の痛み (筋肉痛、関節痛)。死亡例は稀。

- ・麻痺性貝毒 (paralytic shellfish poisoning) 毒性のある藻類が原因。アサリ、カキ、ホタテなど。フグ中毒に似る。毒素を含む二枚貝、摂取後 24 時間内発症、ピリピリしたシビレが唇、顔、頸部、四肢に、めまい、四肢運動麻痺、重症は呼吸不全、頭痛、嘔吐、嘔気などが摂取後 1 時間内に、ペットにもあげるな。解毒剤なし。人工呼吸器。国内では定期的に有毒プランクトンの出現環指、貝類の毒性値を測定、規制値を超えたものは出荷規制。

- ・フグ中毒 (puffer fish poisoning)

テトドトキシンによる。フグによって食用可能な部分が異なる (筋肉は摂取可能。皮と精巢は種類により異なる) 食後 20 分から 3 時間程度でシビレ、麻痺。麻痺症状は口唇から四肢、全身、呼吸麻痺で死ぬことも。人工呼吸器で確実に救命できる。

フグの皮は熱湯で湯引きした皮を細切りにし、ネギなどの薬味と共にポン酢で食べたり煮凝りで前菜として提供されることがあります。フグの皮の最も内側を美皮 (みかわ)、その隣を「とおとうみ」と言います。旧国名の「三河」の隣が「遠江 (とおとうみ)」だからです。一番外が表皮 (鮫皮、シャミ皮)。

フグの雄の精巣は白子といい高級料理です。

トラフグの白子には毒がありません。皮と精巣を絶対食べてはいけないのは食用 22 種類の内 4 種類（ヒガンフグ、クサフグ、コモンフグ、サンサイフグ）です。

フグの血液にもテトロドトキシン（加熱しても解毒されない）が含まれトラフグの卵巣が血液で汚染されていると中毒は起こり得ます。

#### h. 動脈ガス塞栓

浮上後数秒から数分で発症。急浮上で多い。

<鑑別>

- ・脳卒中：浮上後数分以内発症は有り得ぬことではないが偶然すぎる。
- ・てんかん：てんかん既往があるかも
- ・片頭痛の前兆：ダイブ以前に似た発作。前兆後頭痛が起こる。
- ・facial baroparesis (alternobaric facial palsy)；顔面神経管に欠損のある患者で、耳管 (eustachian tube) が閉塞していると浮上後、中耳圧が高くなり顔面神経麻痺が起こることがある。片側顔面神経全体が侵される。 AGEs の場合は顔面上部はやられない。
- ・頸動脈/椎骨動脈解離：頸部外傷が先行する。前または後頸部痛がある。

まとめますと減圧症は臨床診断なので間違いやすい鑑別診断は数多くあります。

海洋生物による中毒にも留意してください。シガテラ（沖縄フエダイ, dry ice sensation）, 麻痺性貝毒、フグ(筋肉 OK, 皮・精巣注意)などです。

#### 11. 治療：臥位で高濃度 O<sub>2</sub>、浸水利尿で脱水→補液、搬送高度<300m、決定的治療は再圧。

減圧症を疑ったら患者の体位は仰臥位か昏睡位 (Sim' s position) で気道確保します。

仰臥位では脳圧が上がりますが立位では神経障害が悪化します。

酸素投与、輸液を行います。 hypovolemia のある場合には輸液で血圧を保ちます。

発症後は可能な限り 高濃度の酸素を投与します。1,045 名の減圧症患者で酸素投与により 14% が完全寛解、51% が軽快しました。コホートでも酸素投与しなかった 1,186 名よりも酸素投与群は再圧治療が少なくて済み、酸素投与は間違いなく利益があります。

へーと思ったのは ダイバーは浸水利尿 (immersion diuresis：水圧で末梢循環が減少、静脈還流量が増加し 1 回拍出量が増加、尿生成が亢進して利尿作用が促進する：尿量は水深に依存し増加) のため比較的脱水状態にあると言うのです。 海に入ると尿が近くなり脱水気味になるのです！ ダイブ前の飲水によりダイブ後の静脈ガス塞栓は減少します。

ダイバーの意識があれば炭酸やカフェイン、アルコールを含まず Na やブドウ糖入りの飲料を飲ませますがなければ水でもかまいません。 重症で血液濃縮、ショックのある場合はグルコースを含まぬ等張電解質液（乳酸リンゲル、生食）の点滴を行ないます。 中等症ではまず 10 の点滴を行い、血圧と尿量 0.5-1ml/kg を保てる補液を継続します。 再圧可能な施設へ転送する時は搬送中、高度 300m を越えないように注意します。

まとめますと治療は神経症状が悪化しないよう臥位、意識なければ昏睡体位とし、高濃度酸素（間違いなく利益あり）投与、浸水利尿で脱水気味なので飲水、補液し、搬送高度<300m として決定的治療は再圧です。

12. 治療(海軍表 6)は  $O_2$  で再圧 2.8 気圧→5h 程で 1 気圧, 空気吸入 5 回挟み  $O_2$  中毒予防。

減圧症、動脈ガス塞栓の決定的 (definitive) 治療は高圧室 (hyperbaric chamber) での再圧 (recompression) です。これにより気泡体積を減らし血管内の気泡を再分布させて機械的損傷、虚血を減らします。

減圧症に対して早期なら空気による再圧でも効果はありますが体内窒素を減らすには長時間かかります。酸素による再圧は不活ガス (窒素) の気泡-血中の濃度勾配が大きく明らかに有効です。

また高圧酸素は白血球の粘着を減らし抗炎症効果があり、微小粒子を減ずるのだそうです。

米国海軍 Table 6 が 1970 年以來の標準治療ですがそのエビデンスは高くはありません。しかしこれ以外の方法のエビデンスは更に低いのです。

[Microsoft Word - Bennett-Deep treatment tables workshop-Figures \(eubs.org\)](#)

(US Navy Treatment Table 6 : 減圧症再圧標準治療、 Figure1 参照  
縦軸は水深 feet, 30cm、横軸は分)

まず 2.8 気圧 (水深 18m) 酸素で開始し 288 分間で 1 気圧に戻しますが途中 5 回空気吸入を挟み酸素中毒を予防します。反応が悪ければ延長または繰り返します。

Table 6 以外の方法もありますがエビデンスに乏しいようです。

症状が遺残する場合は、症状が改善するか症状固定するまで、より短く 1 日 1 回 2.0 気圧ないし 2.8 気圧の再圧を繰り返します。

まとめますと決定的治療は US Navy table 6 に従い  $O_2$  で再圧 2.8 気圧とし 5 時間程で 1 気圧とし途中、空気吸入 5 回挟み  $O_2$  中毒を予防します。

13. 再圧不能時フルフェイスマスクで水中再圧。  $O_2$  中毒の痙攣注意。 軽症は酸素, 輸液, NSAID で。

チャンバーへのアクセスが困難な場合は、水中で加圧する方法があります。

しかし酸素中毒による痙攣を起こす可能性があります。

減圧症初期で深さ 10m ほどで短時間の再圧は、2018 年タイでの水中洞窟遭難での経験では患者が意識を無くした時に備えてフルフェイスマスクの使用、ダイバーによる酸素投与が推奨です。

軽症の減圧症 (筋骨格痛、皮膚症状、全身症状) で、再圧のための搬送が危険、困難な場合は酸素投与 (マスク、経鼻) と輸液でも可とするコンセンサスができてきました。

しかしダイバーは症状を隠したり軽く見る傾向があるので神経所見を必ず取ります。

軽症減圧症で tenoxicam (NSAID) の RCT で再圧が減少し完全回復に有意でしたので 有用かもしれません。

リドカイン静注の meta-analysis で、ヒトで神経保護作用が示唆され動脈ガス塞栓で使用しても良いかもしれませんがスタンダードではありません。

脊髄減圧症では分画ヘパリンが血栓予防に推奨されます。



まとめますと再圧治療ができない場合、フルフェイスマスクで水中で再圧可能です。  
O<sub>2</sub>中毒による痙攣に注意です。軽症は酸素と輸液でも治療できます。NSAIDs  
(消炎鎮痛剤)が有効かもしれません。

14. 治療：酸素。皮膚型は再圧不要。四肢, 中枢神経, 脊髄, 内耳, 呼吸循環型, ガス塞栓は再圧。

以前、東海大学救急部教授の山本五十年先生に当院で減圧症の講義をして頂きました。  
重要点は直ちに酸素投与すること、次の3つでした。

- ・皮膚型（皮膚のかゆみ、紅斑、蕁麻疹様丘疹、浮腫）は再圧の適応なし。
- ・四肢型（筋肉痛、関節痛）は全身状態良好なら1種装置（1人用）で治療可。
- ・中枢神経型、脊髄型、内耳型、呼吸循環型、動脈ガス塞栓症は直ちに2種装置（多人数用）で再圧せよ。

まとめますと治療はまず酸素投与します。皮膚型は再圧不要ですが、それ以外は再圧を考慮しま  
す。

15. 急上昇>5,500mで減圧症。前もってO<sub>2</sub>吸入。発症時は酸素, 輸液, 再圧。

外来患者さんに帝都防衛厚木航空隊の通信兵だった方がいます。米国のB29爆撃機はテニアン島から富士山を目指して駿河湾を北上、富士山上空で針路を東にとり東京空襲を行いました。西伊豆のお年寄りにはB29が上空を通過、レーダー攪乱のチャフ（アルミ片）をばら撒いたのを覚えている方がいます。厚木航空隊からは零戦や雷電が迎撃に飛び立ちました。ゼロ戦はかろうじて10,000mまでヨタヨタ上昇しましたがまったく敵いませんでした。B29撃墜に最も効果があったのは中島飛行機（現スバル）の斜め機銃が付いた夜間戦闘機月光だったとのこと。B29の下に忍び寄り地上のライトで浮かび上がるB29を視認して斜め機銃で撃墜しました。

1930年代、5500m以上の高高度に急上昇すると減圧症をおこしました。第二次大戦では航空機は12,200mまで上昇、四肢痛、皮膚症状、神経症状などの減圧症が起きました。これによる胸痛、咳、チアノーゼ、失神は「chokes」と呼ばれました。体組織の窒素を減らすため前もって100%酸素吸入が行われましたが、現在は高高度で勤務する乗務員ではルーチンに行われます。現在高高度の減圧症の殆どは四肢痛です。

高高度による減圧症はふつう下降とともに軽快します。軽症例では輸液と100%酸素最低2時間投与しその後24時間観察します。着陸しても症状がある場合は高圧酸素による加圧を行います。

高高度での減圧症528例で、症状は飛行中発症が23%、地上へ降りてからの発症が77%でした。

宇宙船ISS（International Space Station）では海拔0mの気圧に保たれますが船外活動時、宇宙服内は0.3気圧（30.4kPa、高度9100mの気圧に相当）です。船外活動による減圧症を防ぐため前もって酸素吸入（oxygen prebreathing）を長時間行い、減圧前に軽い運動を行い組織の窒素を減らします（denitrogenate）。60年の宇宙飛行の歴史の中で減圧症（膝疼痛）が起こったのは1966年のジェミニ10号フライト時のマイケル・コリンの1例のみだそうです。酸素吸入と再圧の二つが現在も使われている減圧症の治療です。

下記、NASA のホームページに船外活動の際、1 気圧から 0.3 気圧にいかに馴化させるか手順が書かれています。

[https://www.nasa.gov/pdf/686339main\\_AP\\_ST\\_Bio\\_PrevDecompression.pdf](https://www.nasa.gov/pdf/686339main_AP_ST_Bio_PrevDecompression.pdf)

(NASA, Preventing decompression sickness on spacewalks)

小生 2016 年にモスクワに行きました。地下鉄の BDNX (バーテンハー) 駅を降りると宇宙飛行士記念博物館があります。1961 年ガガーリンの世界初の宇宙飛行に始まる 60 年の歴史の積み重ねに圧倒されました。犬を載せていた頃の宇宙船、月着陸船、ガガーリンが学生時代使っていたノートなど所狭しと展示されていました。

まとめますと急上昇>5,500m で減圧症が起こります。前もって O<sub>2</sub> 吸入させます。発症時は酸素、輸液、再圧です。

それでは NEJM, March 31, 2022 「減圧症と動脈ガス塞栓 (総説)」 15 点の怒涛の反復です。

- ① 減圧症は組織 N<sub>2</sub> で静脈内気泡。動脈ガス塞栓は肺ブラ等 1m 浮上で破裂、動脈内気泡。
- ② 静脈は小気泡で内皮剥離→血漿漏出。ASD, PFO で動脈ガスに。脳は血流↑で大気泡。
- ③ 減圧症と動脈ガス塞栓の鑑別は困難、治療は同じで減圧症に両者含めることも。
- ④ 最も権威ある減圧症マニュアルは US Navy Diving Manual, Revision 7 (2016)。
- ⑤ 飽和潜水: DDC 加圧 1 日, bell で海底往復, 減圧は 30m あたり 1 日かける。ヘリウム混和。
- ⑥ 減圧症は臨床診断! 水深 6m 以上, 99%6 時間内発症。ダイブ後異常は常に減圧症考慮。
- ⑦ 症状: 筋骨格痛, 発疹, 網状斑, 痒み, シンブレ, 皮下腫脹, 麻痺, めまい, 耳鳴, 脳症状, 胸痛, 咳。
- ⑧ ダイバーは症状隠す, 完全神経学検査を! 高感度は (sharpened) Romberg' s sign。
- ⑨ 動脈ガス塞栓 (6.5%) は肺ブラ等破裂、浮上 5 分内発症! 胸 Xp 確認, 胸痛, 喀血, 脳症状。
- ⑩ 鑑別: シンブレ (沖縄フエグイ, dry ice 感覚), 麻痺性貝毒, フグ (筋肉 OK, 皮・精巣注意)
- ⑪ 治療: 臥位で高濃度 O<sub>2</sub>, 浸水利尿で脱水→補液, 搬送高度<300m, 決定的治療は再圧。
- ⑫ 治療 (海軍表 6) は O<sub>2</sub> で再圧 2.8 気圧→5h 程で 1 気圧, 空気吸入 5 回挟み O<sub>2</sub> 中毒予防。
- ⑬ 再圧不能時フルフェイスマスクで水中再圧。O<sub>2</sub> 中毒の痙攣注意。軽症は酸素, 輸液, NSAID で。
- ⑭ 治療: 酸素。皮膚型は再圧不要。四肢, 中枢神経, 脊髄, 内耳, 呼吸循環型, ガス塞栓は再圧。
- ⑮ 急上昇>5,500m で減圧症。前もって O<sub>2</sub> 吸入。発症時は酸素, 輸液, 再圧。