

第22回潜水医学講座 小田原セミナー
(2024.2.3)
抄録集

第22回潜水医学講座 小田原セミナー in 品川

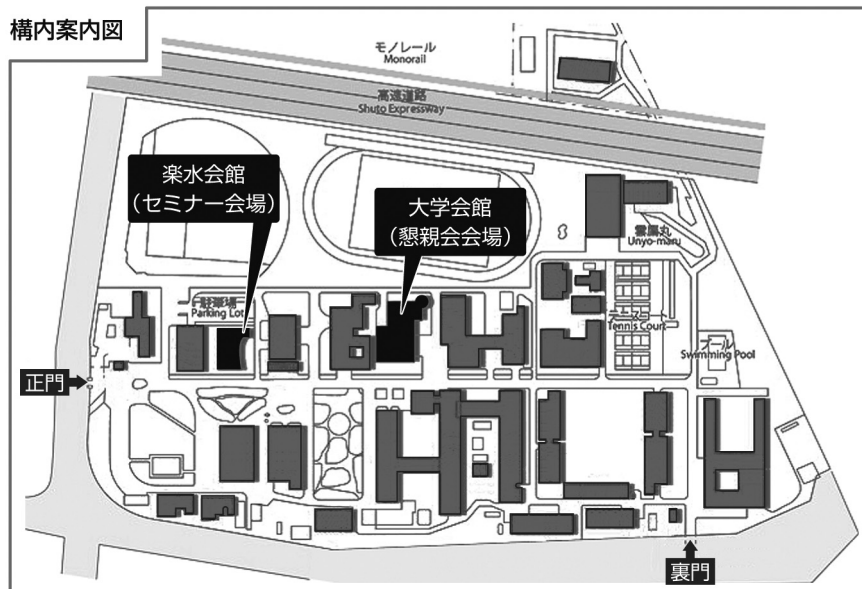
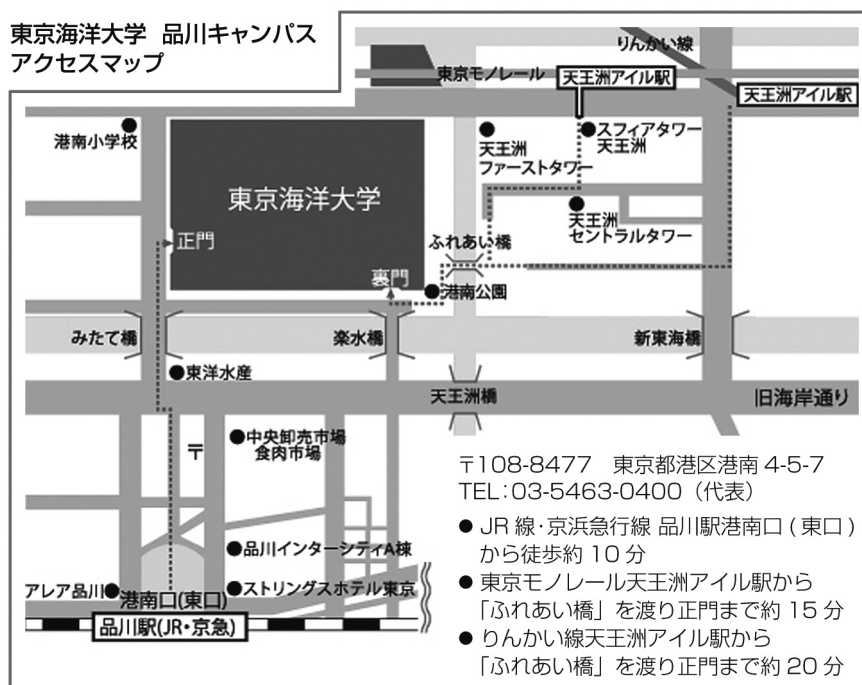
プログラム・抄録集

開催日時：2024年2月3日（土）

セミナー 12:30～17:00

開催場所：東京海洋大学品川キャンパス 楽水会館

聴講料：お一人様 2,000円



もう一度「減圧症」に立戻って考えてみよう

NPO法人 潜水医学情報ネットワーク理事長 西村 周

COVID-19で3年間中断していました「潜水医学講座 小田原セミナー」を東京海洋大学で開催することとなりました。この間の中断は、過去の成果である潜水医学情報ネットワーク (MINDER) の活動に停滞を招きました。このような状況ではありますが、COVID-19が5類に移行するとともに、潜水現場にもダイバーが戻ってきました。それとともに、肌感覚では減圧症をはじめとする事故や疾患も増えているように思います。そして、若い世代から小田原セミナーの再開の声があがり、活動を再開することといたしました。今回のセミナーでは、「もう一度減圧症に立戻って考えよう」をテーマに、4人の先生に講演をお願いいたしました。

演題 1 減圧症の治療 済生会静岡病院 石山順三先生

石山先生が所属する済生会静岡病院は、2種の高気圧酸素治療装置が整備されており、伊豆半島西部の減圧症を担当されています。特に、順天堂静岡病院の救命救急センター (柳川センター長) のドクターヘリと連携し治療の早期着手が図られています。数々の症例もあり、今回は治療の事例についてお話させていただきます。

演題 2 ダイビングの安全管理 医療法人信愛会 山見医院 山見信夫先生

山見先生は、雑誌「ダイバー」や「マリンドイビング」で連載され、「ドクター山見のダイビング医学」という本を出版されています。海上保安庁潜水医学アドバナーやNHK潜水撮影研修講師などを務めておられ、日本高気圧環境・潜水医学会の専門医、評議員、減圧障害対策委員会委員です。CMASマスターインストラクター・コースディレクターでもあります。ダイビングの安全管理についてお話させていただきます。

演題 3 減圧症の発生機序 防衛医科大学校 四ノ宮成祥先生

四ノ宮先生は防衛医科大学校校長で、主な研究範囲は分子生体制御学です。現在は、「日本臨床高気圧酸素・潜水医学会」の副代表理事をされています。海上自衛隊潜水医学実験隊では、大岩先生をはじめとする先生方と「飽和潜水」等の高度な潜水を指導されました。今回は、減圧症の発生機序についてお話させていただきます。

演題 4 オンサイトマネジメント 治療施設への搬送 静岡広域 DRS 救難所 村田清臣先生

静岡広域 DRS 救難所は、伊豆半島での潜水事故に対応するように、海上保安庁や消防、警察等の組織と連携し、水難救助及び訓練等を行う自主組織です。伊豆山の崩落事故では遺体の海中搜索を行う等、その活動は広く知られています。また、関東地方会誌にも活動内容を報告されています。今回は、オンサイトにおける治療施設への搬送について、お話させていただきます。

以上、簡単ではございますが、講演内容の趣旨をお伝えいたしました。潜水医学情報ネットワークでは、日本高気圧環境・潜水医学会関東地方会の他にも、DAN JAPAN、JCUE、JAUS、各潜水指導団体等と連携し、これからも、安全・安心なダイビングができるよう、潜水医学の側面から活動したいと考えます。本日の講演から、何かを持って帰っていただければ嬉しいです。

第22回潜水医学講座 小田原セミナー in 品川 プログラム

2024年2月3日(土) 12:30~17:00 東京海洋大学 品川キャンパス 楽水会館

11:30	— 受付開始 開場
12:25	— 開会挨拶
12:30	減圧症の治療 12:30~13:30 済生会静岡病院 石山 順三
13:30	休 憩
13:40	ダイビングの安全管理 13:40~14:40 信愛会 山見医院 山見 信夫
14:40	休 憩
14:50	減圧症の発生機序 14:50~15:50 防衛医科大学校 四ノ宮成祥
15:50	休 憩
16:00	オンサイトマネジメント 治療施設への搬送 16:00~17:00 静岡広域DRS救難所 村田 清臣
17:00	— 閉 会

注：2023年12月現在（プログラムの時間等の変更がある場合がありますので、予めご承知おき下さい）

減圧症の治療

～ドクターヘリ搬送症例を中心に～

石山 純三

静岡済生会総合病院 脳神経外科

静岡済生会総合病院は1980年に第2種高気圧酸素治療装置を設置して以来減圧症治療を行ってきたが、伊豆半島に比較的近いことも関係し、減圧症全体のうち発症当日に治療に至るダイバーがほぼ4割を占めるなど急性期症例の割合が多い。人気のダイビングスポットとは駿河湾を挟んで直線距離で西伊豆なら35～45km、南伊豆なら50～65km程度と近く、救命救急センターや屋上ヘリポートを併設していることから、2004年以降は順天堂静岡病院が運航する静岡県東部ドクターヘリによって、減圧症発症から間もないダイバーが搬送されてくるのが当院の大きな特徴となっている。

過去20年間（2004年～2023年）に当院で診療した減圧障害（疑い含む）は272例で、その内訳は80%がレジャーダイバー、インストラクターと職業潜水士が各9%、圧気作業者は2%だった。発症当日の受診は109例でそのうち74例がドクターヘリ搬送であった。

減圧障害以外の確定診断となった6例を含めたドクターヘリ搬送80例の発症から当院到着までの所要時間は、直接搬送で50分～3時間15分（平均1時間35分）、転搬送で1時間50分～5時間（平均2時間56分）であった（一部不明例を除く）。当院到着から再圧治療開始までの所要時間は、最短25分～最長5時間50分（平均67分）で、呼吸管理を含めた救命処置や諸検査の必要性によって左右されるが、全体の半数以上は60分以内で再圧治療開始に至っている。

当院で診療した減圧障害全体の病型分類では、脊髄型が最多で約半数、I型が21%、内耳型6%、呼吸循環型4%、頭痛4%、動脈ガス塞栓症3%、脳型2%などであった。これに対してドクターヘリ搬送例の病型分類では、疑いを含め呼吸循環型が22%、脊髄型が20%、動脈ガス塞栓症が9%、内耳型と脳型が各7%であった。画像上溺水所見が優位で呼吸循環型と確定できない肺水腫症例が多数あり、他に浸水性肺水腫、陰圧性肺水腫を疑わせる症例が複数あった。

ドクターヘリ搬送例には溺水症例も含め心停止 and/or 呼吸停止の蘇生後が9例あり、挿管・人工呼吸管理での搬送は8例あった。一過性意識消失を含め経過中意識障害の見られたものが34例確認されており、動脈ガス塞栓症以外では、一部は溺水・肺水腫による換気障害からの低酸素症が主因と思われるが、浮上時の一過性酸素分圧低下（潜性低酸素症）に起因するものが多いのではないかと考えている。

今回は減圧症急性期を扱う治療施設の立場で、ドクターヘリ搬送症例を中心に各種減圧症患者の実例を提示し、診療現場で体感した印象や推察などを加えてお話しする。

ダイビングの安全管理

山見 信夫

医療法人信愛会山見医院

減圧症に罹らないための安全管理について、ダイビング前（予防）、ダイビング中（発症させない潜り方）、ダイビング後（誘発させない行動）に分けてお話ししたいと思います。進行上、ダイビング中、後、前の順に説明させていただきます。

<ダイビング中>

ダイビング中は、息を止めない、急浮上をしないことは周知されていますが、肺気圧外傷（肺破裂）を起こさないためだけではなく、減圧症を予防するためにも重要です。どのようなダイブプロフィールで潜れば窒素を溜め込み過ぎないのか、万一、水中で溜め込み過ぎたときは、どう浮上すればリスクを減らせるのかについて窒素飽和率（%）や超音波検査による気泡計測データを交えながらお話しします。通常、浮上速度は、毎分9m以下が推奨され、毎分6～12mの範囲であれば許容されるともいわれており、浮上速度が遅ければ遅いほど安全率が高まるとはいえませんが、深場で浮上速度が遅すぎると、窒素は排出が遅れ、蓄積する組織もあるからです。レクリエーションダイビングでは、水深によって毎分3～9mの浮上速度を使い分けると効果的に窒素を排出できます（たとえば、水深24mに20分滞在したときの浮上速度は、水深12mまでは毎分9m、その後3～6分の安全停止を段階的に取り入れながら、毎分3～6mで浮上するなど）。リバースダイブも減圧症のリスクを上げるといわれています。エンリッチド・エア・ナイトロックス（EAN）を使った潜水では、空気潜水より体に溶解する窒素を減らすことができる可能性があります。リバースダイブやEANダイブについても、窒素飽和率（%）をお示ししてリスクと安全性を解説したいと思います。空気潜水で減圧症を起こした患者さんのダイブプロフィールを例に、EANで潜るとどの程度リスクを減らせるのかお話ししたいと思います。

<ダイビング後>

ダイビング後の行動については、水面休息時

間を十分取ることが重要です。ダイビングプロフィールや使用するガスの種類にもよりますが、1時間30分以上確保することが望ましく、窒素を溜め込むダイビングをしたときは2時間まで延長することが推奨されます。水面休憩時間中は激しい運動やスキンドайビング（素潜り）をしないことが基本です。これらの行為は減圧症や動脈ガス塞栓（エア・エンボリズム）の誘因になるかもしれないからです。水面休憩時間中の激しいバルサルバ法の耳抜きや息も動脈ガス塞栓の誘因になる可能性があります。ダイビング後の高所移動は、移動する標高によってガイドラインが異なります（航空機に搭乗する際や標高600～2,000mに移動する場合はダイビング終了後18時間以上経過してから、標高300～600m未満に移動するときは6時間以上経過してからなど）。減圧症の積極的な予防には、飲水や酸素吸入があります。しかし、酸素吸入の使用については、いくつかの制限があります。

<ダイビング前>

ダイビング前の予防は、ダイビング直前の行為と日常生活からできることに大別されます。運動や保温については、ダイビング前だけではなく、ダイビング中、安全停止中、ダイビング後、それぞれのリスクについて説明いたします。日常生活の予防は、体脂肪コントロールをはじめとする健康管理と健康診断（ダイバー検診）を受けることが、国内外を問わず推奨されています。検診では、ダイバーの特性に応じて、肺気圧外傷や動脈ガス塞栓を起こしやすい肺の病気（気腫性肺嚢胞や肺気腫などの閉塞性肺疾患など）はないか、浸水性肺水腫や動脈ガス塞栓を起こしやすい心疾患などはないか、減圧性骨壊死はないか、潜水事故を起こしやすい身体特性はないか、トラブルを起こしやすい薬の服用はないかなどをチェックし、ダイビングに影響する事象が認められた際は、その対策についてアドバイスを受けることが勧められています。

減圧症の発症機序

四ノ宮 成祥

防衛医科大学校

減圧症は、潜水や潜函作業において体内に溶け込んだ不活性ガスが浮上(減圧操作)にともない気泡化し、微細血管を閉塞したり組織や神経を圧排したりすることにより起きる。大深度に長時間潜水したり短時間で浮上したりすれば減圧症のリスクが高まることは感覚的に理解できるが、減圧症はいったいどのような場合に起きるのだろうか。

潜水深度に応じて環境圧が高くなると、ヘンリーの法則により体組織へのガスの溶解込み量が増す。高圧環境から減圧すると溶解込みガス量は減少に転じるが、適正なガス拡散速度を超えて減圧が進行すると、窒素などの生理学的に不活性ガスは過飽和状態となり、さらに血管内で気泡化する。一方、酸素は組織で消費されて二酸化炭素となり肺胞でのガス交換を通して体外に排出されるので、気泡化には関与しない。不活性ガスの気泡化を防止するには、組織内の不活性ガスの溶解が過飽和とならないよう減圧をうまくコントロールする必要がある。

英国の生理学者Haldaneは、不活性ガスが体組織に飽和量の半分だけ解け込む時間(半飽和時間)が体全体で23分であると算出した。しかし、ガスの溶け方は組織によって異なると考えられるので、便宜的に5つの異なる半飽和時間(5分、10分、20分、40分、75分)を持つ組織が存在すると仮定し、減圧にともないどの組織のガス分圧も絶対圧の2倍を超えないような減圧表を考えた。その後Haldaneの原理を拡張して米海軍標準空気減圧表が作成されたが、Workmanはこのアプローチを単純化して半飽和組織を5分~240分の9段階に設定したM値を示した。このような試みは伝統的決定論に基づいた減圧表作成アプローチであるが、近年では有人潜水のデータベースを用いて減圧症がどの程度の頻度で起きうるのか明示可能な確率的アプローチもなされている。

減圧症の原因となる気泡は、脊髄などで組織内に生じることもあるが、一般に静脈性のもの

である。気泡は微小血管の内腔を閉塞して部分的な組織壊死を起こし、また血管内皮細胞の傷害を誘発する。血小板の凝集促進、白血球の活性化、サイトカインの産生、補体系・キニン・凝固系の反応促進などが組織障害を修飾する。大きな動脈内では肺でガス交換を終えたばかりの血液が通過するため、気泡は発生しにくい。また、静脈性の気泡は肺の毛細血管床でトラップされるため、一般に気泡が動脈系に流れ込むこともない。しかし、正常人の2~3割に生理学的な卵円孔開存(PFO)があることが知られており、負荷作業、いきみ、咳などにより右→左シャントが誘発されうる。減圧症の神経症状は脊髄性のことが多いが、脳症状を伴う減圧症や重症減圧症ではPFOを介した気泡の動脈系への流入が原因と考えられている。この場合、症状が動脈空気塞栓症と区別がつきにくいことから、いわゆる減圧症(Decompression sickness:DCS)という用語ではなく減圧障害(Decompression illness:DCI)と呼称される。

減圧症の発生には多くのリスク要因が関与している。ダイバー自身の身体背景としては、肥満(BMI高値)、心肺疾患、飲酒、不眠、脱水などが挙げられる。潜水条件としては、滞底時間、潜水深度、浮上・減圧プロトコルが大きく影響し、繰り返し潜水、潜水中の運動負荷、寒冷も減圧症発生リスクとなる。潜水後の過度な運動は気泡発生を誘発し、屈伸作業やいきみは胸腔内圧の上昇によるPFOを介した右→左シャントの原因となる。また、減圧後の高所移動や航空機搭乗は減圧症誘発や症状悪化の要因となる。

減圧症の発生防止のためには、レジャーダイビングでは基本的にリスクの少ない無減圧潜水が推奨される。また、職業潜水や各国軍・法執行機関の活動に伴う潜水では許容されるリスクを算定した上で、適切な減圧表の選定がなされるべきである。

オンサイトマネジメント 治療施設への搬送

村田 清臣

静岡地区水難救済会 静岡広域 DRS 救難所長

平成28年にDRS救難所を開設し、伊豆半島を中心に関係機関と協力してダイビング事故をはじめとした水難事故発生時に救助活動を行っている。

発足以来、水難救助活動を102回行い、令和5年は16回出動した。その内、ダイビング事故が4件で、その他12件は観光客、釣り人等の落水事故だった。

救助員の多くはダイビング指導員であり、日頃から海にすることが多いので、水難事故現場で適切な対応ができるように、日頃から関係機関との関係性の構築、相互理解を深める以下のような活動を行っている。

- (1) 関係機関との合同水難救助訓練及び救助活動については、当救難所の救助員は海上保安庁潜水士の指導のもと、伊豆半島や横浜海上防災基地での訓練に参加することを義務付けている。消防潜水士、海上保安庁潜水士、当DRS救難所救助員は、ダイビング事故発生に備えて潜水捜索をはじめとした水難救助訓練、ダイビング事故以外の水難事故に備えた合同救助訓練を定期的に行っている。これらによってお互いの練度の確認をすることもできる。自然災害時にも出動するので現場でもお互いの顔が見える関係構築が重要となる。
- (2) 静岡広域の救難所であるので、東伊豆、南伊豆、西伊豆全てが活動エリアに含まれる。それぞれのエリアの救助訓練、安全活動連絡会等にも参加し、お互いの顔が見える環境の構築も進めている。
- (3) 平成23年より順天堂大学医学部附属静岡病院 静岡県東部ドクターヘリチームの主導で、各エリアの消防・ダイビング指導員との合同勉強会に参加。この勉強会を通じて「ダイビング事故チェックリスト」を作成し、各エリアのダイビングサービスへの配布。各ダイビングエリアで行われる安全講習会等に参加し記入方法を伝えてきた。
- (4) 行政機関との災害発生時の応援協定の締結。

- (5) 自然災害発生時の合同救助訓練への参加。

今回のセミナーでは、ダイビング事故発生時に、ダイビングエリアにはどのような安全装備があり、現場にいるダイビング指導員がどのように対応しているのかを、実際に発生した事故事例を踏まえて紹介する。

ダイビング事故現場では出来るだけ多くのダイバーの協力が必要で、事故者の引き上げ、救急通報、事故者の状況把握、酸素供給、AED使用、CPR、ダイビング事故チェックリスト作成、事故者の器材確保等を救急隊に引き継ぐまで行わなければならない。その後の高気圧酸素治療のためにも事故者のダイブコンピューターの詳細データ(最大・平均水深、潜水時間、急浮上の有無等)をチェックリストに記載して救急隊に渡すことが重要となる。このチェックリストは救急隊からドクターヘリに渡され、さらに受入れ医療機関に渡される。現在では救急搬送した後に新たな情報が入った場合でもFAXやメールで情報を伝達することも可能となっている。