

第5回

潜水事故総合検討会 (CPC)

2024年6月19日(水)18時～20時: Web会議

結果概要

Ver. 1.2(2024.11.12)

主催: 一般社団法人 日本高気圧潜水医学会 減圧障害対策委員会

目次

	ページ
1. はじめに	3
2. 参加者名簿	4
3. 症例 総合司会:鈴木信哉 剖検司会:堂本英治	5
① 潜水事故概要	6
② 搬送から収容先での経過	16
③ Ai-CT画像所見	23
④ 剖検所見	24
⑤ 総合的な検討による病態	25
⑥ 本例から学ぶもの	27
4. おわりに	30
5. 参考資料・文献	31

はじめに

ダムでの潜水作業中に発生した68歳の潜水士症例です。

ダムは山間部にあり、標高884.5mの高所であるため気圧が896hPaと低く、ダム水面の大気酸素分圧は18.6kPaで海水面に比べ約1割ほど低くなっています。また、所轄の消防署から47km離れていて救急車の現場到着には時間がかかる場所に位置していますが、今回の事故は12月の寒い時期で降雪があり、ドクターヘリが運航できない状況でした。

潜水深度3mの潜水作業でおよそ1時間の予定でしたが、片側半分の作業が終了した時点で浮上した後、水面に仰向けに浮いた状態となったまま次第に動かなくなるとともにドライスーツが異常に膨らんだ状態となり、ダムの突堤上に引き揚げられたときには心肺停止状態でした。被災者は長年潜水作業に従事されていて潜水器の取り扱いには習熟しておられるため、意識が低下してドライスーツの圧解除操作ができなくなったことによりドライスーツが異常に膨らんだとするのが妥当であると考え、意識低下に至るまでの原因や病態を検討するために今回の潜水事故総合検討会を開くことになりました。

日本高気圧潜水医学会減圧障害対策委員会ではダイビングによって亡くなられた方の事故原因や病態を明らかにする潜水事故総合検討会(CPC: Clinico-pathological conference臨床病理検討会)を2020年から行っております。本検討会では、潜水死亡事故に関係した医療者と潜水医学専門職が一堂に会し、事故の背景を含めた事故内容と臨床経過から、事故原因と死亡に至る病態を考察して、病理で確認するという一貫した検討を行い、今後の事故予防と適切な事故対処に役立てることを目的としております。

本検討会の開催にはご家族様のご理解とご承諾をいただくことができました。厚く御礼申し上げます。謹んでお悔やみ申し上げますとともに、心からご冥福をお祈りいたします。

本検討会は2024年6月19日にWebにて開催されましたが、検討会後も追加の情報・資料を収集して意見交換を実施しております。消防本部、県警察本部、大学医学部、医療施設、日本潜水協会、海上自衛隊潜水医学実験隊、高気圧医学専門医、潜水器製造会社など関係各位からご協力いただき検討することができました。深く感謝いたします。

2024年10月5日

一般社団法人 日本高気圧潜水医学会
減圧障害対策委員会 委員長 鈴木信哉

参加者名簿(敬称略)

石渡 彰	自治医科大学附属病院総合診療内科	土居 浩	牧田総合病院蒲田分院
伊藤憲佐	亀田総合病院救命救急科	堂本英治	けいゆう病院病理診断科
伊藤壮一	麻生総合病院救急総合診療科	豊原 隆	市立釧路総合病院救命救急センター
大橋正樹	亀田総合病院救命救急科	中島典宏	利根広域消防本部
垣本由布	東海大学医学部基盤診療学系法医学	中村健太郎	鹿児島県立大島病院救急科
加藤菜穂	福島県立医科大学医学部法医学講座	野澤 徹	日本海洋レジャー安全・振興協会
北村伸哉	君津中央病院救命救急センター	橋本昭夫	日本潜水協会, 高気圧作業支援事務所
見城貴弘	利根広域消防本部	藤田 智	名寄市総合病院
佐野利恵	熊本大学法医学講座	藤田 基	山口大学医学部附属病院先進救急医療センター
四ノ宮成祥	国立感染症研究所・客員研究員	不動寺純明	亀田総合病院救命救急科
清水徹郎	南部徳洲会病院高気圧治療部	星岡佑美	千葉大学大学院医学研究院法医学
杉浦崇夫	海上自衛隊潜水医学実験隊	松永 毅	自衛隊呉病院
鈴木信哉	亀田総合病院救命救急科, 日本潜水協会	望月 徹	東京慈恵会医科大学医学部環境保健医学講座
鷹合喜孝	海上自衛隊潜水医学実験隊	森松嘉孝	久留米大学医学部環境医学講座
高木 元	日本医科大学付属病院救急・総合診療センター	山見信夫	医療法人信愛会山見医院
高久大輝	亀田総合病院循環器科内科	横田航志	筑波大学附属病院救急・集中治療科
瀧端康博	海上自衛隊呉衛生隊	和田孝次郎	防衛医科大学校 脳神経外科学講座

症 例

68歳 男性

冬期ダムの全面マスク式潜水による浅深度潜水作業にて
浮上後意識消失

潜水事故症例：68歳男性 潜水士

1. 事故概要

20XX年12月にダム(標高水位884.5m)で3m深度の全面マスク式潜水によるボルト締め付け作業を午前10時頃から行い、左側半分の作業を終えたところで浮上し右側へ水面移動後、ドライスーツが膨らんで動けない状態となっているところをクレーンでつり上げ救助したが心肺停止状態であり、病院に搬送するも救命できなかった。

2. 事故者の背景

日本人68歳男性 身長163.5cm 体重66.3kg BMI24.8 潜水士資格:1976年取得

【健康診断】高気圧業務健診ではX-2年8月までは軽度聴力低下以外は医師の診断欄に特記すべき事項はなく、X-1年7月から尿糖3+、尿蛋白2+、糖尿病治療中の記載があり、X年1月には糖尿病に加え高血圧の記載があるも、医師の意見欄には就業制限はされていなかった。

【通院歴】X-1年7月から前医からの紹介を受けたクリニックに糖尿病、高血圧、過活動膀胱で定期通院(次頁:経過記録)

X年1月胸部単純X線検査:所見なし。心電図:心拍数59bpm, 正常範囲

【潜水当日朝健康管理チェック】自覚症状なしにチェック、前日飲酒した量:2合(焼酎)、睡眠時間:7時間、呼気アルコール濃度:0.00mg/L、体温36.2°C、血圧120/78mmHg、脈拍76/分、血中酸素飽和度98%

【潜水当日作業前チェック】リスクアセスメントとして危険予知活動表チェック(1.足を滑らせ転倒→歩行時は足元に注意・ヘルメット確実着用、2.ゴンドラから落下→吊りワイヤにハーネス取り付け・合図連絡の徹底、3.潜水者に送気が行かなくなる→潜水機材の使用前点検・コントローラとの合図連絡の徹底)、作業指示書チェック(仮設備始業前点検:コンプレッサー・吊り具ワイヤ、高所作業:落下防止、水際作業:ライフジャケット・浮輪・救助用ロープ・監視連絡員・安全帯・有線電話、潜水作業:作業責任者・使用前機器点検・作業手順確認・潜水タイムスケジュール・連絡員・送気員・潜水記録・連絡合図確認 [注意事項:機器の始業前点検・合図連絡の徹底・ホースの絡まれ防止]、共通その他:ゴンドラ昇降時は安全帯の着使用、作業の留意事項:天候の悪化により作業が難しい場合は作業は中断もしくは中止)、服装チェック(作業着・ヘルメット・安全靴・安全帯・ライフジャケット:異常なし)、個人潜水装備チェック(潜水用ドライスーツ・フード・グローブ・フルフェイスマスク・ウエイトベルト・ウエイトベスト・足ひれ・ブーツ・水深計・水中時計・水中ライト:異常なし)、機材チェックリストのチェック

① 潜水事故概要

糖尿病、高血圧、過活動膀胱で定期通院 クリニックカルテから

通院 年/月	X-1/4	X-1/7	X-1/9	X-1/10	X-1/11	X-1/12	X/1	X/4	X/5	X/6	X/7	X/9	X/10/	X/10	X/12
42歳から糖尿病 (前医)															事故8日前
HbA1c % (NGSP)	7.5	7.5	6.7			6.2	7.2		6.7				7.1		
体重 kg	72.1	66.1	65.2				66.3	64	64	64	65.2	65	65	65	65
血圧 最高mmHg	145	140	131	134	120	120	141	141	132	132	130	109	126	123	130
最低mmHg	78	82	76	78	70	60	84	79	78	78	71	70	76	72	73
脈拍 /分							69	64			69	69			64
血糖 mg/dL		169	111				127		133				356		
尿酸 mg/dL		6.9	8.0				6.0		6.5				7.1		
クレアチニンmg/dL		0.96	1.01				0.87		0.96				1.03		
γ-GT U/L		26	27				32		25				29		
中性脂肪 mg/dL		197	148				200		192				293		
HDL-C mg/dL		53	57				65		53				53		
LDL-C mg/dL		96	107				114		92				99		

内服薬

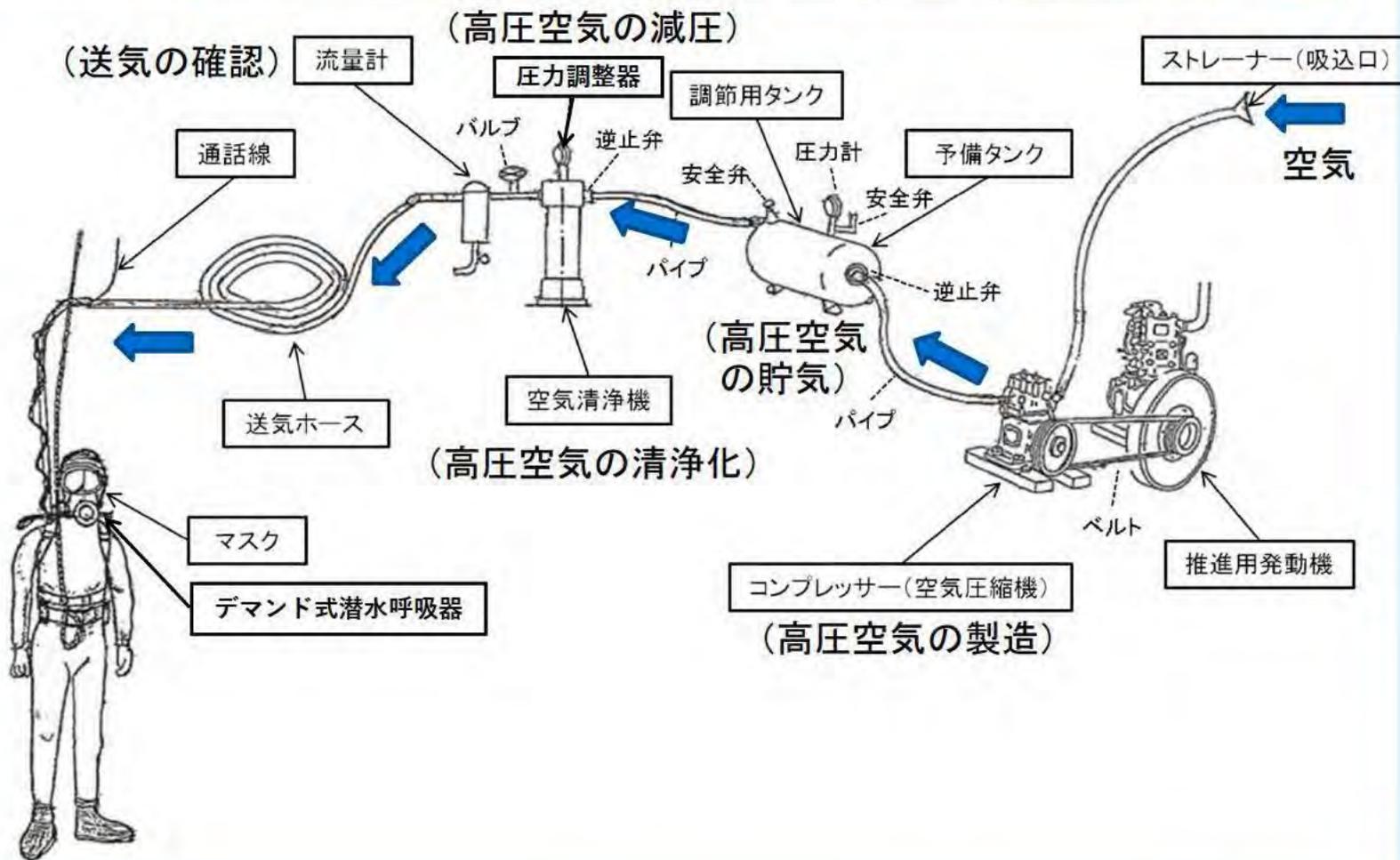
エクメット配合錠	ビルダグリプチン50mg・メトホルミン塩酸塩 500mg 2錠 1日2回 (選択的DPP-4阻害薬/ビグアナイド系薬配合剤)														
シュアポスト錠	レパグリニド錠0.25mg 3錠 1日3回 (即効型インスリン分泌促進剤)														
メトグルコ錠	メトホルミン塩酸塩錠 250mmg 3錠 1日3回 (ビグアナイド系経口血糖降下剤)														
カナグル錠	カナグリフロジン水和物錠 100mg 1錠 1日1回 (SGLT2阻害剤)														
ベイスン錠	ボグリボース錠 0.2mg 3錠 1日3回 (食後過血糖改善剤)														
テラムロ配合錠AF	テルミサルタン40mg・アムロジピン5mg 1錠 1日1回 (持続性AT1受容体ブロッカー/持続性Ca拮抗薬合剤)														
デトルシトールカ	徐放性	トルテロジン酒石酸塩カプセル 4mg 1錠 1日1回 (過活動膀胱治療剤、抗コリン剤)													
ベシケアOD錠		コハク酸ソリフェナシン口腔内崩壊錠 5mg 1錠 1日1回 (過活動膀胱治療剤、抗コリン剤)													

毎日ウイスキー200mL飲む
節酒指導

寒くなると過活動膀胱
になるため内服再開



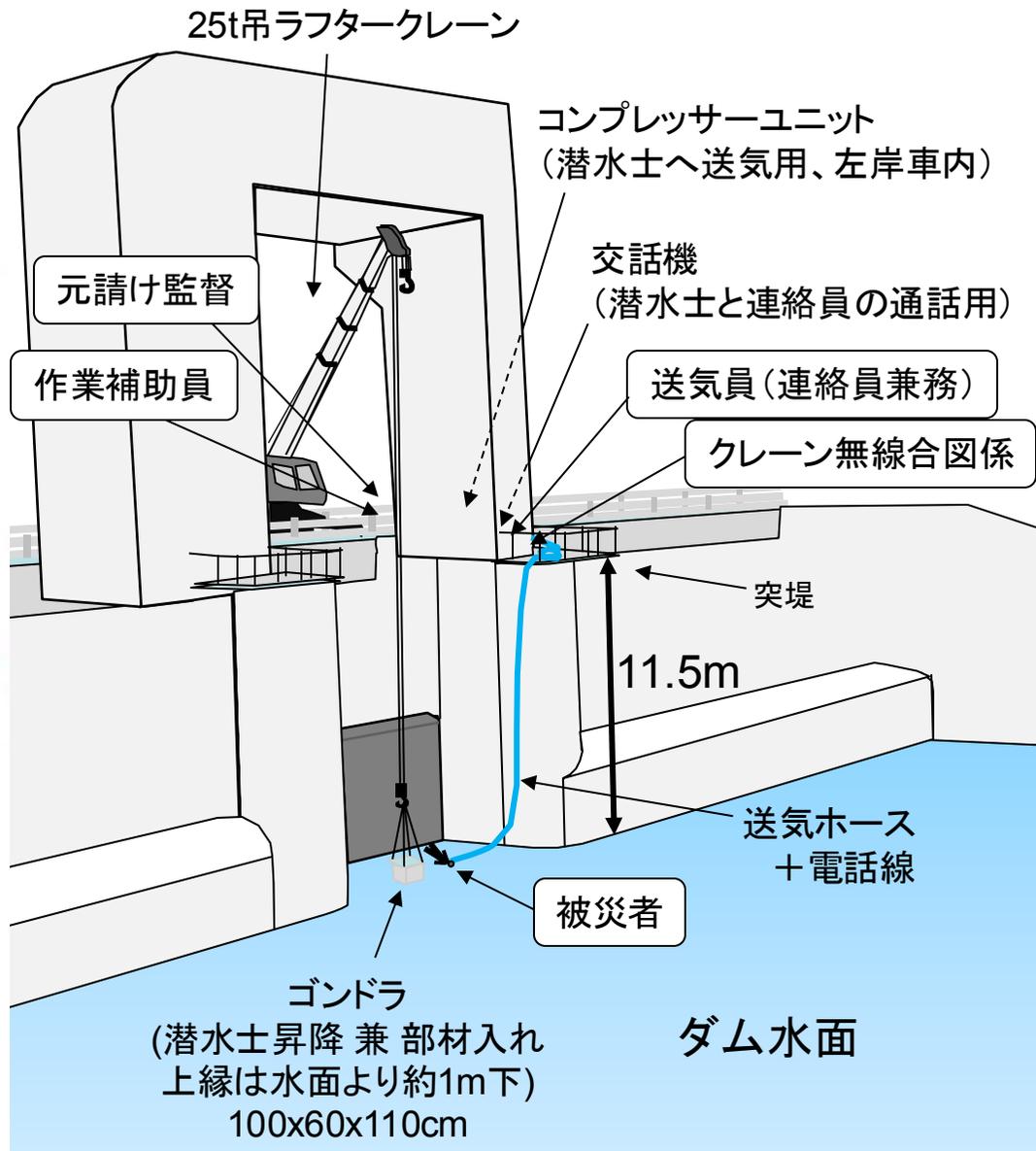
全面マスク式(フルフェイスマスク式)潜水器の機器構成



① 潜水事故概要



機器、関係者配置図



① 潜水事故概要

ダイビングフード



パージボタン



全面マスク



パージボタンは押下時空気が送り込まれる

ウエイトベルト



:20キロ

コンプレッサー



予備タンク



作業中ハイエストラック内で稼働中

給気ボタン



押下するとコンプレッサーから送られた空気がスーツ内に流入する
ボタンが固い



排気ボタン



ボタンを押下し中から空気を押し出して排気する

完着イメージ



手袋



空気清浄機



背負子(ハーネス)



電話機



フィン

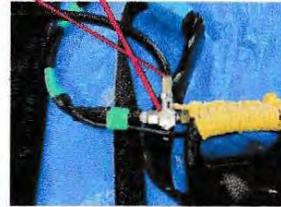


ドライスーツ

購入2014年

頸部はダイビングフードとは分離する
頸部はラバーを内側に折り返しダイビングフードを被る
右腹側部に給気ボタン、左上腕部に排気ボタン
潜水中のボタン操作は作業者が行う ともに押下で給排気

弁



セキュリティタンク等を経由したチューブと電話機の電話線を背負子につなぐ
背負子にポンベは背負わない

① 潜水事故概要

<日本潜水協会技術顧問からの質問>	<警察から情報取得>
呼吸用圧縮空気の清浄度(O ₂ 、CO、CO ₂ 、油分等)の点検(計測)は	測定して異常なし。
ドライスーツへの送気圧は	0.9MPa
ドライスーツへの給気は「分配器清浄機」を通して送気されたか	「分配器清浄機」を通して送気した。
「セキュリティータンク」とは、「予備タンク」もしくは「調節用タンク」のことか	その様だ。
被災者は緊急用タンクを携行したか	携行せず。
排気ボタンについては一定の圧に達すると自動排気されるものか	手動タイプ

潜水器製造会社から情報取得

1 ○○社製ドライスーツオリジナル手動排気バルブ(5個)の開圧弁試験
 方法:①弊社給排気バルブの機密を確認する機器へオリジナル手動排気バルブをセットし、水を張ったバケツに入れる。②圧力を開放し、0.1kPaから0.1kPaずつ圧力を上げる。③圧力を上げると、オリジナル排気バルブボタンを連続して押す。④連続して排気する状態になるまで確認する。
 結果:5個とも1.3kPaに圧力を上げた時に、連続排気した。
 備考:①経年劣化・部材の汚れや傷によって、排気量・排気圧力等が変化する事がある。②給気バルブの押しボタンが押したままの状態になり、ドライスーツ内にエアが入り込んで膨らみが止まらない場合の時間は計測していないが、給気バルブの押しボタンが押されたままの状態でもエアがドライスーツ内に給気され続けるのを防ぐ方法として、「給気ホースのノズル部(♀)」から「給気バルブのノズル部(♂)」の装着を解除すればエアがドライスーツ内に給気される事をストップし、それ以上ドライスーツ内にエアが入り込むことを防ぐことができる。③排気バルブの押しボタンを押してもエアが出ないのは、「塩かみ」等で部材が固まって作動しない事が原因である。手入れ不足が一番大きな原因で、潜水後、真水で給気バルブ・排気バルブは、海水等で汚れた部材を洗い流せば、押しボタン等が固まる事はない。「Zバルブ取扱説明書」「Zバルブ展開図」提供(参考資料8)

2 リストシールの強さについて
 ドライスーツ内部にエアが入りっぱなしになって服の内圧が高くなった緊急時は、ドライスーツのリストシール部(折り返し無)を「手を上に挙げる」状況にすれば、腕部の内圧が更に高くなり、リスト部よりエアが漏れ、服内よりエアが排出する。則ち、リストシールは、水中で垂直に手首を挙げる程度の水中深度圧差で空気が抜ける。なお、手首部に密着したリスト部スキン面を強制的に開いてエアを抜く事も可能である。また、ネックシールについては内側に折り返して使用するためスーツ内圧が上昇してもネックから排気することはない。

3. 事故発生状況 12月X日10時 気温 -1.7℃ 水温(放流)5.2℃ 雪 気圧998hPa 標高884.5m(気圧896hPa)

当日朝、会社からハイエースを約3時間運転(潜水士A)してダムに到着

9:15頃	朝礼・RKYK・健康チェック実施(作業指示書により作業指示、作業手順を図面で説明)
9:30頃	潜水機材準備(2人で)点検チェックリストにより機材点検
10:00頃	潜水作業開始
10:30頃	左側半分が終了したため右側に移動するとの連絡あり (被災者[潜水士A]から送気員Bに水中電話にて) 送気員Bはコンプレッサー燃料チェックのため、電話を離れる
10:40頃	水面際にいる被災者のドライスーツが膨らんでいることを元請Cが確認した。 (ドライスーツにはコンプレッサーより給気できる仕組み) 送気員Bが作業場に戻り、水中電話にて被災者に声掛けしたがはっきりとした返事はなかった。 異常な膨らみではなく被災者本人もクレーンを上げたり下げたりする合図を行っていたので、送気員Bはその合図に従いクレーンに合図を行った。 被災者は仰向けになった状態で泳いで移動していた。
10:50頃	被災者の全面マスクが鼻までズレて、ドライスーツがさらに膨らんで動けない状態になったため、送気を止めるため給気ホースのコックを閉めた。 送気員Bの判断でフーカーホースをクレーンフックに固定し、被災者を吊り上げ救助した。
11:00	心臓マッサージ(元請D・E 協力F・G)及び人工呼吸(送気員B)を開始
11:01	119番を現場代理人(元請D)が通報
11:33	救急車が到着する前に警察が先に到着したため元請Cが救助を要請した。
11:40	被災者を警察車両(パジェロタイプ)にて同僚による胸骨圧迫をしながら搬送開始

ダム固定カメラ記録

09:23	潜水会社ハイエース到着
10:08	潜水士ゴンドラに乗りクレーン下がる
10:24	ころ 陸上下覗きこむ
10:33	突堤からハイエース方向に1人向かう
10:34	ハイエースから1人もどる
10:35	突堤からハイエース方向に1人向かう ハイエースから1人もどる 水面確認
10:41	突堤の1人が下を覗く様子
10:46	ダムの左岸に4人集まってそこに1人向かう 話している様子
10:49	左岸から1人突堤にもどる
10:50	4人から2人が突堤に行く様子 1人水面をのぞき込んでクレーンに合図をしているように見える(ゴンドラを下ろす合図)
10:51	突堤で3人が下をのぞき込んでいる 左岸で水面を見ている
10:53	左岸から突堤方向に1人
10:55	左岸から突堤方向に1人
10:56	クレーン下がる
10:59	引き上げ映像 フーカーホースをクレーンにフックにかけたよう 約1分後 突堤で胸骨圧迫 突堤は最終的に6人集まる
11:33	パトカー到着 突堤から50m離れたパトカーに抱きかかえて連れて行く
11:39	パトカーに乗せる
11:40	パトカー現地発進

【左側半分の作業後の浮上は予定の行動だったのか】

送気員B: 予定していません。材料(ボルト、ワッシャー)は、水中の作業バッグに準備しておりましたので、そのまま継続の予定でした。直前の連絡でも、そのまま作業場所を移動するという連絡でした。

【被災者の示すクレーン操作の合図はなにを意図するものだったか】

送気員B: ゴンドラに掛りたかったのだと思いました。

【被災者の意識状態はどのように変化していったのか】

送気員B: 水面に浮かんでおり休みたかったのかと思いましたが、そのうち、手合図を始めたので、ゴンドラに掛りたかったのかと思い、クレーンを誘導しました。

そうしているうちに、スーツが再度膨らみ、合図もしない状況で動きがゆっくりとなったため、引き上げることを判断しました。

地上に引き上げた時には、恐らく意識はなかったものと思います。

後になって思えば、塞栓の状況で、微かな意識の中で、手合図をしていたのかもしれませんが、分かりません。

【被災者が動かなくなったのは突然か、スーツが膨らむに従ってか】

送気員B: スーツが膨らむに従ってです。

【被災者の行動は予定されたものか、あるいは想定された動きだったのか。異常行動はなかったか】

送気員B: 予定していませんし、想定もしていません。直前まで、通常の交信で確認しており、作業内容も同じ作業の繰り返しでした。

【仰向け状態での水面移動は通常の行動か】

送気員B: スーツが膨らんだため、仰向けの状況になったのだと思います。

【左半分が終了したため右側に移動すると連絡があったあとの浮上は見ているか。浮上までの時間はだいたいどれくらいか】

送気員B: Bは浮上するところを確認していません。Cさんも注視していなかったと思いますが、再度確認します。

潜水士Aから連絡があったからは、3分程度ではなかったかと思えます。

元請C: 浮上しているところは見えてませんが、水面で道具を整理していたり、ゴンドラに乗ろうとしていたり、ゴンドラ付近でクレーンへの合図なのかフーカーホースの巻き取りの合図なのかは不明ですが合図をしていたのは確認しています。

【被災者が水面に浮上したあと、動かなくなるまでの時間は、感覚的でもよいがだいたいどれくらいか】

送気員B: クレーンを誘導していた時間ですので、5分程度ではなかったと思います。

元請C: 私も5分程度だと思います。

3. 事故発生状況 送気員B、元請けCからの情報 2/2

【被災者は一連の経過で顔面が水に漬かることはなかったか。意識ない状態で水を飲み込む状態はなかったか。】

送気員B: 顔面が水面につかることはなかったと思います。意識のない状態で水を飲み込んでしまう状況はなかったと思います。

元請C: 右岸側に泳いでいる時は背泳でした。その後ドライスーツが膨れて動かなくなったので顔は水面にはついていないと思います。

・フーカーのマスクはつり上げるまで装着されたままだったか。

送気員B: 吊上げる時は、マスクは、ずれて、鼻まで出た状況でした。

・被災者が潜水中の呼吸音はいつもと変わらなかったか。

送気員B: 潜水中の呼吸音は問題なかったと思います。

検討会后送気員Bから情報取得

6月19日実施の潜水事故総合検討会ですが、現場の状況について参加者から質問がありましたので回答をお願い致します。

1 現場のゴンドラについて:潜水士の上げ下ろしにだけに使っていたのか、あるいは左右に少し振って使うようにしていたのか。あるいは水の中に沈めて足場としても使っていたのか。

回答: ゴンドラは、潜水士の昇降用(水面へのアクセス)に使っておりました。足場としての使用はありません。多少の工具やボルト類を仮置きはしていました。

2 ゴンドラは被災者が浮上していたときには水面に降りていたか。降りていた場合、ゴンドラの床と水面との差はあったか。

回答: ゴンドラは水面に下りていました。ゴンドラの天端は、水面から若干下にありました。

3 潜水士がゴンドラに乗るのに労作が要るか。

回答: 通常であれば、ゴンドラ天端を1m程度水面から沈めると、楽に乗ることができます。

4 被災者はゴンドラに乗ろうとしたか。

回答: 私を含め、地上にいた作業員は、そのように見えました。背泳のように泳いでゴンドラに掴りたいという様子に見えました。

10:30頃、潜士Aから(作業の)「半分終わった」という水中電話連絡が送気員B(交話員兼務)にあり、「燃料をみてくる」と潜士Aに伝えて送気員Bは突堤からハイースにコンプレッサーの燃料を10:33に見に行き2分弱後の10:34に突堤に戻った。

この時送気員Bはそのまま右側に移動するものと思っていたが、突堤に戻ったときに元請けCから潜士Aが浮いていると聞いたので水面を見ると、潜士Aは仰向けに水面に浮いていた。ドライスーツの膨らみに異状がなかったため送気員Bは潜士Aがこれまで時々休むために水面に浮いていることがあったのでその様に思ったが、水中電話で声掛けしたが聞き取れず、その後も電話では通じなかった。

潜士Aが手を挙げる予想外の動作をしていたため、ゴンドラのつり上げワイヤにつかまりたいものと思い、クレーン操作でゴンドラを潜士Aのところに寄せようとした。

ゴンドラは箱状のもので床面が横100cm縦5~60cmで高さが1m少しあり、箱の上縁が水面より少し下がった位置にあり、ゴンドラの四隅にワイヤが4本繋がれていてクレーンで吊り上げ下げされるもので、ダイバーはそのワイヤの間から出入りするようになっていた。

潜士Aは水面に浮いた状態のため水面下のゴンドラ自体は見え、ワイヤも見つけにくい状態だった。ゴンドラと潜士Aとの距離は2mもなかったが、潜士はゴンドラのワイヤに届くことができず、そうしている内にスーツが異常に膨れて潜士が動かなくなった。潜士Aが浮上してから潜士Aの手が動かなくなるまでの時間は測っていないが感覚的には5分ほどであった。そこで送気員Bは潜士Aへの送気を止めるため給気ホースのコックを閉めた。

クレーンの子フックで吊り下げている水面下のゴンドラを一旦突堤までつり上げて送気員Bが乗って救助に向かうことも考えたが、時間がかかるため、クレーンの親フックを下げて潜士Aのフーカーホースに引っかける方法を探ることにした。しかしクレーンオペレーターがクレーン座席にいなかったため10:46に送気員はクレーン操作を指示するため突堤から左岸に行き10:49に突堤に戻った。10:56にクレーンがさがり、親フックで潜士Aのフーカーホースを引っかけて10:59に突堤まで潜士Aをつり上げた。

クレーン親フックは子フックをそのままにして上げ下げするので時間が掛かる。親フックを下げて始めてからフーカーホースに引っかけるのに3~4分は掛かり、上げるのに2~3分掛かる。

【送気員Bから今後の対策について】

水面(船あるいはポンツーン)に必ず作業員を1人置くこととした。AEDは全て配備した。

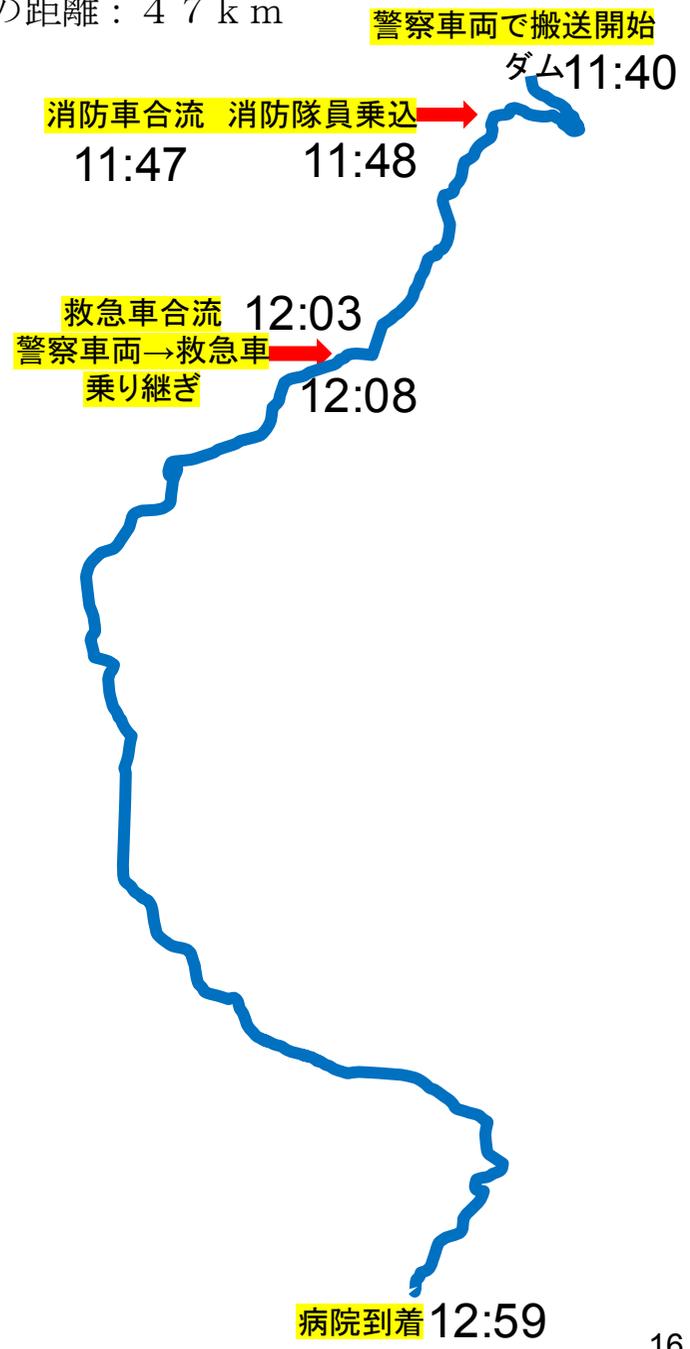
消防署から現場までは距離(47km)があり、緊急時に救急車は期待できない。冬期のダムは上流にヘリポートがあるが除雪されていないとドクターヘリが着陸できない。着陸場所を確保できるのかという課題があり、基本的には会社車両で搬送を行い救急車とドッキングする手段しかないだろうと考えている。

ドライスーツの給排気ボタンについては消耗がみられるものについては現在使用している正面から押すタイプは不用意に押してしまう可能性があるため、横から押すタイプに順次交換することになっている。

② 搬送から収容先での経過

ダムから病院までの距離：47km

11:01	消防覚知(入電)
11:03	司令
11:23	救急車の到着が遅いため、元請Cが再度 119番通報した。その際救急車が出払っているため消防車を向かわせていると伝えられた。
11:33	救急車が到着する前に警察が先に到着したため元請Cが救助を要請した。
11:40	被災者を警察車両(パジェロタイプ)にて同僚による胸骨圧迫をしながら搬送開始
11:47	〇〇ダム付近で警察車両と合流
11:48	警察車両に消防車から救急隊員がAEDを持って1人乗り込み心肺停止状態を確認、AEDショック不要
11:50	救急隊員が胸骨圧迫をしながら警察車両で搬送継続
12:03	警察車両と合流 警察車両から救急車に乗り継ぎ 心静止 ルーカス装着・経鼻エアウェイ・BVMによる人工換気
12:08	病院へ搬送を開始し、途中からPEA
12:52	静脈路確保
12:54	アドレナリン投与
12:59	病院到着
13:25	病院よりこれ以上の処置はできないと伝えられる。



② 搬送から収容先での経過

【搬送確認書(医療機関控え)】記録

X年12月〇〇日
 事故種別: 労災
 出勤先: 〇〇〇ダム
 覚知方法: 119
 68歳、男、会社員
 初診医所見
 傷病名: 肺圧挫傷→CPA
 傷病程度: 重症
 救急隊緊急度判断: 緊急
 入電 11:01
 指令 11:03
 出勤 11:11
 現場到着 12:02
 接触 12:03
 車内収容 12:08
 現場出発 12:08
 病院到着 12:59
 収容 13:00

観察時刻	12:03	12:50	12:54
JCS	300	300	300
GCS	E1V1M1	E1V1M1	E1V1M1
呼吸	0回/分	0回/分	0回/分
脈拍	0回/分	40回/分	40回/分
ECG	Asystole	PEA	PEA
血圧	- / -	/	/
瞳孔	5mm(-)5mm(-)	5mm(-)5mm(-)	5mm(-)5mm(-)
眼位	正中		正中
SPO2/酸素	- % ℓ	- % ℓ	- % ℓ
体温	-	35.0℃	

救急要請概要: 水中作業中(約2m)に心肺停止となったもの(高度救急)
 現着時の状況: 発生現場にいた警察車両に傷病者をのせ、後部座席で〇署隊員が胸骨圧迫をし救急隊とドッキング 引き継いだ。
 初期評価: JCS III桁、気道 舌根沈下、呼吸なし、循環 総頸不触
 L&G判断: 有 理由: CPA
 病歴: 不明、服用薬: 不明、かかりつけ医療機関: 不明、アレルギー: 不明、脳卒中判断: 不明
 最終食事: 7時00分
 接触時状況
 状態: 仰臥位、表情: 無表情、顔貌: チアノーゼ、出血: なし、嘔吐: なし、痙攣: なし、麻痺: なし、血痰: なし
 酸素吸入、気道確保(経鼻エアウェイ)、心電図、静脈路確保、CPA後、アドレナリン投与、心肺蘇生(自動)、保温、聴診器

注釈 L&G: (ロード&ゴー, load and go) 生命維持に関係のない部位の観察や処置を省略し、生命維持に必要な処置のみを行って、一刻も早く外傷治療が可能な医療機関へ搬送するための判断と行為の全体的な概念
 CPA: 心肺停止
 PEA: (無脈性電気活動, pulseless electrical activity) 心電図上は波形を認めるが、有効な心拍動がなく脈拍を触知できない状態。
 JCS: (日本昏睡尺度, Japan Coma Scale)
 300: 痛み刺激に反応しない, III桁: 刺激をしても覚醒しない状態
 GCS: (グラスゴー昏睡尺度, Glasgow Coma Scale)
 E1: 痛み刺激に開眼しない V1: 発語なし M1: 痛み刺激に反応なし
 ECG: 心電図
 Asystole: 心静止(心室の収縮がない状態)

② 搬送から収容先での経過

搬送先医療機関記録

20XX年12月X日CPA

【主訴】窒息

【現病歴】

注釈1

注釈2

10:50 湖(隣県との県境)に潜水中(仕事)に、コンプレッサー(地上から酸素を送る機械)が故障し持続的な加圧状態となった。(患者は酸素が送られてくるのみで息が吐けない状態)

11:01 同僚が救急要請。同僚によりCPR開始。AED装着、初期波形Asystole。

12:02 現着 心電図波形Asystole 右正中に20G。右鼻腔にエアウェイ。

13:04 病着 波形Asystole epi 1回目

北海道在住、救急隊から家族に連絡済み

【既往歴】不明

【生活歴】不明

【A/P】

#窒息 短時間

注釈3

#肺の圧挫傷→胸腔内圧上昇→CPA

注釈4

左胸部の穴状の傷は、ルーカスによる肋骨骨折で内部からの損傷があり生じたと考えられた。

13:24 姉 ○○○○様にお電話。

注釈4

・今回は潜水中に空気を送る機械が故障し、持続的空氣が送り込まれる状況になったようです。これにより肺が損傷し、心臓も止まってしまったと考えられました。同僚のかたによって心臓マッサージも開始され、我々の病院に運ばれてからも処置を継続させていただきましたが、心臓の拍動は再開しませんでした。心臓マッサージを1時間半程度やったため、これ以上は蘇生は困難と考えられます。

→CPR終了の同意を得たのちに終了した。

注釈

- 1: 事後検証でコンプレッサーの異常はなかった。ドライスーツの給気ボタンの不調により持続的にドライスーツへ給気される状態となっていた。
- 2: 患者(被災者:潜水士)は全面マスクでフーカー・レギュレータを使用し、送気された空気をデマンド式で呼吸していた一方、ドライスーツ内へ持続的に空氣が給気されていたため、意図的にドライスーツの排気弁を操作する、あるいはネックシールやリストシールに手を入れてドライスーツ内の空氣を排出しなかったため、ドライスーツ内の圧力が上昇して息が吸いにくい状態であった。
- 3: 数十cmH₂O(数kPa)程度のスーツ内圧上昇によるある程度の吸気制限となっていた。
- 4: 事後検討によりCPA(心肺停止)の原因として肺の圧挫傷、胸腔内圧上昇はなかった。

② 搬送から収容先での経過

搬送先医療機関記録

- 13:00 病着 救急車内で右正中20Gルート確保あり、ラクテック500mL、右鼻7fr鼻腔エアウェイ挿入済み、ルーカス
- 13:05 Asys O2 10L、ルーカスにてCPR
- 13:06 アドレナリン1mg 1A、生食20mL シリンジ 1A iv ①
- 13:07 Asys 挿管試みるも困難、BVM換気継続
- 13:09 Asys 右正中ルート漏れあり、末梢取り直し
- 13:11 Asys
- 13:13 Asys 右下腿腔骨骨髓針ルート確保
- 13:14 Asys アドレナリン1mg 1A、生食20mL シリンジ 1A iv ②
皮下内へ漏れあり
- 13:16 Asys
- 13:18 Asysアドレナリンスキップ
- 13:20 左前腕22Gルート確保しソルアセット500mL開始
アドレナリン1mg 1A、生食20mL シリンジ1A iv ③
- 13:21 Asys 直腸温33.4度、保温開始
- 13:24 Asys
- 13:25 アドレナリン1mg 1A、生食20mL シリンジ1A iv ④
- 13:26 Asys
家族へ〇〇Drよりお姉さんへ電話にてIC
■■■■出身、会社は■■■■、家族は■■■■■■■■■■がキーパーソン
- 13:28 Asys
- 13:29 〇〇Drより家族へ同意確認
- 13:32 死亡確認家族へAI確認済み

注釈

ルーカス：心臓マッサージシステム。用手胸骨圧迫が適用となる患者に対し機械的に胸骨圧迫する装置

Asys：Asystole：心静止（心室の収縮がない状態）

エアウェイ：舌による気流遮断を防止し、気道を確保する目的で使用する。

Ai：（オートプシー・イメージング＝死亡時画像診断、Autopsy imaging）CTやMRI等の画像診断装置を用いてご遺体を検査し、死因究明等に役立てる検査手法

② 搬送から収容先での経過

搬送先医療機関記録

検査項目名称	結果値	基準値	単位	検査項目名称	結果値	基準値	単位	検査項目名称	結果値	基準値	単位
TP	L 6.4	6.7-8.3	g/dL	血算	*			PH	L 6.515	7.380-7.460	
ALB	L 3.7	3.8-5.3	g/dL	WBC	9600	4000-10000	/μL	PCO2	H 149.1	32.0-46.0	mmHg
A/G	L 1.4	1.5-2.6		RBC	424	350-570	万/μL	PO2	L 13.7	74.0-108.0	mmHg
T-BIL	0.74	0.2-1.2	g/dL	Hgb	13.8	13-17	g/dL	HCO3-	L 11.3	21.0-29.0	mmol/L
AST(GOT)	H 128	13-33	U/L	Hct	47.2	36-48	%	TCO2	L 15.9	22.0-30.0	mmol/L
ALT(GPT)	H 74	8-42	U/L	MCV	H 111.3	86-104	fl	BE	L -24.5	-2.0-2.0	mmol/L
LDH(IF)	H 368	119-229	U/L	MCH	32.5	27.5-36.8	Pg	O2SAT	L 35.4	92.0-98.5	%
ALP(IF)	76	38-113	U/L	MCHC	L 29.2	31.3-36.6	g/dL	Na	H 154.5	139.0-147.0	mmol/L
γ-GT	22	10-47	U/L	PLT	14.6	14-34	万/μL	K	H 9.79	3.30-4.70	mmol/L
CPK	H 647	62-287	U/L	NEUT%	52.6	28.0-68.0	%	Cl	103.8	102.0-110.0	mmol/L
BUN	13.0	8-20	mg/dL	LYMPH%	40.3	17.0-57.0	%	Ca	H 1.63	1.20-1.26	mmol/L
CREA	H 1.63	0.6-1.1	mg/dL	MONO%	3.7	0.0-10.0	%	t-Hb	L 4.6	12-18	g/dL
Na	H 152	139-146	mEq/L	EO%	3.0	0.0-10.0	%	FO2Hb	L 35.4	94.0-97.0	%
Cl	105	101-109	mEq/L	BAS%	0.4	0.0-5.0	%	FCOHb	0.1	0.0-10	%
K	H 9.2	3.7-4.8	mEq/L	NRBC%	0.4	2.0以下	%	FMetHb	0.0	0.0-10.0	%
CRP	0.10	0.3以下	mg/dL	PT	*			FHHb	H 64.5	0.0-5.0	%
血糖(血漿)		70-110	mg/dL	PT-%	100.8	70.0-130.0	%	大気圧	720.0		mmHg
HbA1c(NGSP)		4.6-6.2	%	PT-Ratio	1.00	0.85-1.15		乳酸	>25.0		mmol/L
HbA1c(JDS)		4.3-5.8	%	PT-sec	10.8		sec	CK-MB	H 49	0-11	U/L
トポニンT	(-)	(-)		PT-INR	1.00	0.90-1.10		P-Amy	26	16-52	U/L
BNP		18.4以下	pg/mL	APTT	H 41.4	24.0-34.0	sec				
FreeT4	0.85	0.7-1.48	ng/mL	Fbg	227.3	150-340	mg/dL	コト抗原定量	(-)	(-)	
TSH	H 4.99	0.35-4.94	μIU	FDP	H 197.5	0.0-10.0	μg/mL	pg/mL	0.30	1.00未満	pg/mL
eGFR	33.8		mL/m	Dダイマー	H 23.1	1.0未満	μg/mL				

② 搬送から収容先での経過

搬送先医療機関記録 (Ai-CT検査)

検査目的

肺挫傷→胸腔内圧上昇→CPA

肺挫傷→胸腔内圧上昇→CPA

所見

左第3, 4胸骨の内側に骨折があるようで、刺創のような変化も伴います。同部近傍の肺には限局的濃度上昇があります。

両肺には気管内貯留、網状影が広がります。CPA後の肺水腫を疑います。

まとまった血胸なし。緊張性気胸なし。心臓周囲に明確な異常なし。

肝臓、胆嚢、膵臓、脾臓、腎臓に明らかな異常を指摘できません。腹水なし。骨盤内に明確な異常なし。

冠動脈に石灰化があります。大血管内に血液就下があります。

頸部に皮下気腫があります。

皮髄境界は不明確です。頭蓋内に出血なし。脳室、脳溝に明確な異常なし。小脳、脳幹に明確な異常なし。

診断

第3, 4肋骨の内側に骨折の疑い

限局的な左肺挫傷の疑い

緊張性気胸などもなく、胸腔内圧が上昇しているとはいいいかねるようです。

CPAの直接的な原因は不明ですが、急な経過であった可能性はあります。

② 搬送から収容先での経過

搬送先医療機関記録

12月X+4日のカルテ記録

警察から死体検案書の作成依頼

12/X+2に大学で解剖したが窒息の所見はあるが死因は不詳であった。

大学の解剖結果を踏まえ

I (ア)不詳期間不詳

II 記載なし

解剖の結果を添付した(内容は以下)

解剖の主要所見

- 1) 急死の所見
 - (1) 暗赤色流動性心臓血
 - (2) 粘膜漿膜の溢血点(頭皮下・眼結膜・胸膜・胃粘膜・腎盂粘膜)
 - (3) 諸臓器のうっ血(肺・肝臓・脾臓・腎臓・膀胱)
- 2) 左右肺の高度うっ血水腫
- 3) 頭部・頸部の皮膚うっ血
- 4) その他、肉眼的に直ちに致死的損傷、疾病は指摘出来ない
- 5) 今後、病理、組織学的検査、プランクトン検査を行う

③ Ai-CT画像所見

【画像】20〇〇/12/〇〇 13:54 Ai-CT

死亡確認 (13:32) から約22分、救急隊覚知 (11:01) から約2時間53分での撮影です。

【所見】

1. 頭部CT

頭蓋内に明らかな出血巣は指摘できない。皮髄境界には不鮮明化が認められ死後変化と思われる。

前頭洞、篩骨洞、両側上顎洞に粘膜の浮腫が認められる。両側乳突蜂巣の含気は保たれている。

頭蓋骨に明らかな骨折は指摘できない。

2. 頸部CT

舌骨、甲状軟骨、頸椎に明らかな骨折は指摘できない。椎体腹側の軟部織に明らかな肥厚は指摘できない。右総頸動脈壁に石灰化が認められる。

3. 胸部CT

胸骨骨体、左第3-8肋軟骨骨折が認められる。左少量気胸、胸骨背面の前縦隔に少量血腫が認められる。明らかな胸水、心嚢液貯留は指摘できない。

3D-VR再構成では胸骨上の皮膚に圧痕が認められ、これに一致する。心臓マッサージシステム (ルーカス(R)) による変化と思われる。

両側上葉、両側下葉左側優位に肺野の中間層を主とする小葉間隔壁の肥厚を伴う広汎なスリ硝子影が認められる。

左上葉腹側の斑状スリ硝子影は骨折部に隣接し、これは肺挫傷と思われる。

両側主気管支から下葉気管支内に液体貯留が認められる。気管支壁には肥厚が認められる。

心室中隔内、左腕頭静脈内に少量のgasが認められる。左鎖骨周囲の皮下組織にも少量のgasが認められる。

大動脈、肺動脈、心房心室に他に著明な異常は指摘できない。両側冠動脈に石灰化が認められる。心大血管内に血液就下が認められる。

4. 腹部CT

腰椎、骨盤骨、撮影範囲の四肢に明らかな骨折は指摘できない。腰椎L5、両側腸骨、仙骨、大腿骨に5mm前後の多発する溶骨性病変が認められる。

明らかな腹水、腹腔内free airは指摘できない。

肝実質、両側腎に少量の脈管内gasが認められる。胆嚢、膵臓、脾臓、両側副腎に著明な異常は指摘できない。

膀胱尖部に壁肥厚が認められる。骨盤内、傍大動脈に有意なリンパ節腫大は指摘できない。

腹部大動脈、下大静脈に軽度の虚脱が認められる。

胃、小腸はgasにより拡張している。明らかな内容物は指摘できない。

他に肺野、縦隔、上腹部、骨盤内に著明な異常は指摘できない。

【考察】

左肋骨骨折、胸骨骨折、左気胸は胸骨圧迫後の変化と思われます。

肝腎実質、心室中隔のgas、左鎖骨周囲のgasは蘇生術による変化を考えます。

肺野の所見は肺胞性の肺うっ血と思われます。気管内に液体が出現しており、急性左心不全、神経原性肺水腫などが考えられます。

膀胱尖部の壁肥厚は悪性腫瘍の可能性があります。腰椎、骨盤骨の多発溶骨性病変は多発性骨髄腫、転移性骨腫瘍の可能性があります。

他に明らかな直接死因を示唆する所見は指摘できません。

④ 剖検所見

【解剖結果】

外表：死後経過時間48時間 身長162cm、体重65.5kg BMI24.96

頭部顔面のうっ血、結膜の溢血点。治療痕以外の顕著な損傷を指摘できず。

脳：1480g、やや浮腫状。外傷なし。脳底動脈に中等度の動脈硬化。動脈瘤なし。

海馬神経細胞や小脳プルキンエ細胞の変性は指摘できず。

肺：左右胸腔内液体貯留少量。左右肺はやや膨大。気道内に泡沫・血性水様液。左肺830g右肺840g。高度肺水腫。肺動脈血栓なし。肺うっ血、肺胞内の赤血球、肺水腫、気道内に赤血球を混じる粘液貯留像、肺毛細血管内好中球充満。

頸部器官：溢血点多数、うっ血。

心：やや肥大（重さ390g）。心臓血は暗赤色流動性。弁に異常なし。心筋に明らかな癒痕形成はなし。冠動脈3枝に石灰化。左冠動脈前室間枝に75%の狭窄あるも、プラーク破綻や血栓性閉塞像なし。心筋細胞は処々に断裂するも、変性、壊死像や出血、炎症細胞浸潤を指摘できない。顕微鏡的規模の線維化あり。

脾：150g。著変なし。

肝：1690g。うっ血高度。軽度の脂肪沈着。炎症や線維化はなし。

腎：左腎160g 右腎130g。表面に陥凹部多数、顆粒状。糖尿病性腎症。

副腎：皮質過形成。

消化管：胃粘膜高度うっ血、食物残渣なし。

膀胱：黄白色透明尿100ml 粘膜著変なし。薬物スクリーニング陰性。

肺毛細血管内好中球充満について

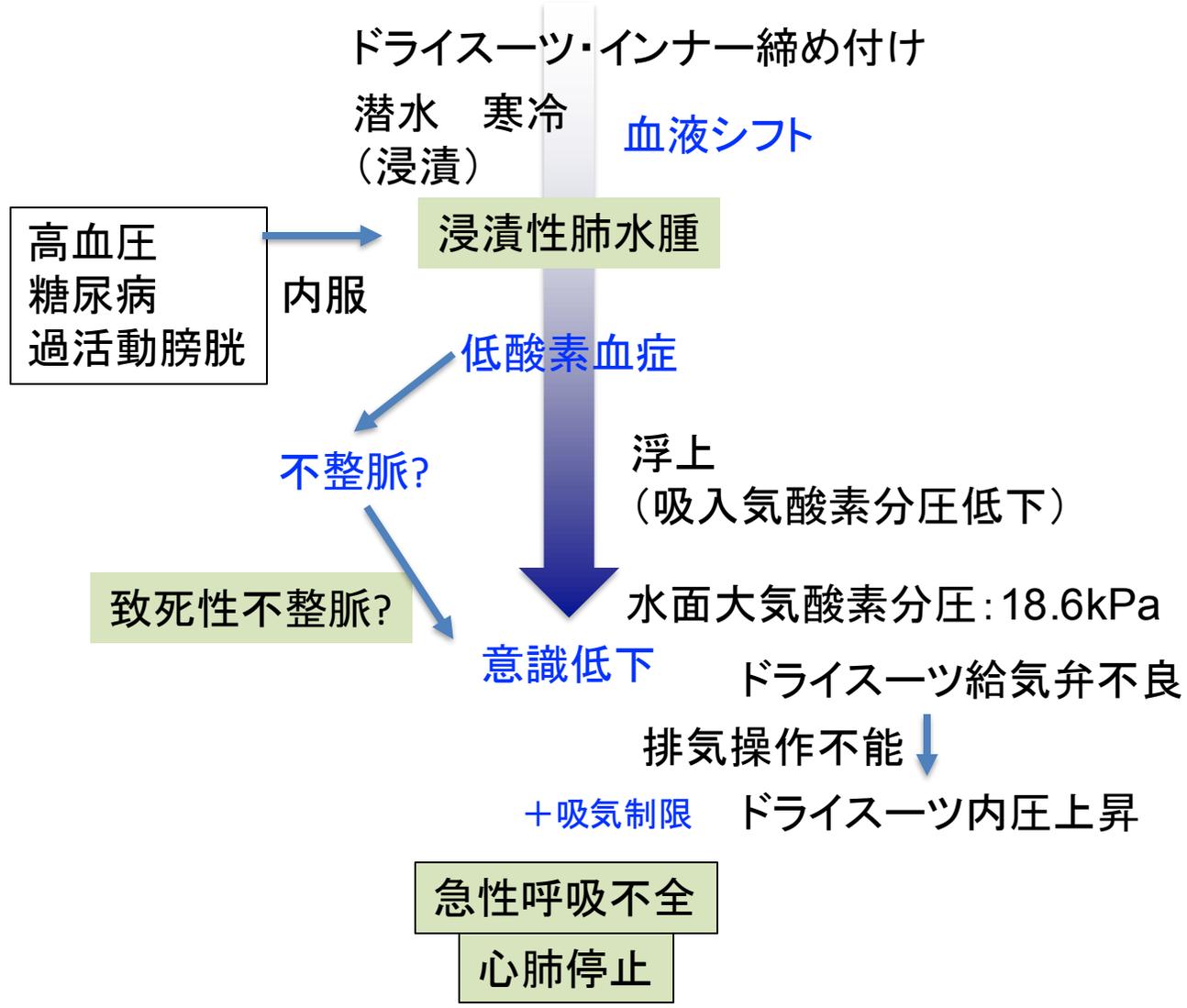
- 第1回CPC症例(参考資料1)では好中球と種々の炎症細胞が集まった細胞はみられるものの多寡は不明であり、蘇生処置による影響の可能性がある。
- 第4回CPC症例(参考資料2)では好中球の集簇を認めるものの他の急性心不全例と比較してとくに多い印象はなく、炎症細胞としては好中球よりリンパ球が多い。
- 肺癌の手術検体よりも解剖検体では好中球がやや目立つように見える例もあるが、症例によりあるいは同じ症例でも場所により見え方が異なる。
- 肺の毛細血管はうっ血がある程度ないと血管壁の破綻の有無を評価するのは非常に困難である。
- 生活反応を示す肺胞壁損傷は病理組織学的検査から指摘するのは困難であるが、気道内の血液を混じる粘液貯留は生前の肺胞壁損傷に基づく肺胞毛細血管からの赤血球の漏出を間接的に示唆するものである。

⑤ 総合的な検討による病態

本事例の特徴

- 【環境】 冬期ダム：寒冷(気温-1.7℃、水温5.3℃)、標高884.5m(気圧896hPa) 水面大気酸素分圧：18.6kPa
医療施設から遠隔地 所轄の消防署から47km 降雪でドクターヘリ運航不可
- 【潜水装備】 フーカー潜水、ドライスーツのインナーの重ね着(体表締め付け)、浮力調整装置(BC)を装着せず、硬い給気ボタン、
手動式排気ボタン
- 【潜水作業】 3m深度・30分の潜水時間
クレーンでゴンドラを水面下へ吊り下げ、潜水士はゴンドラから出てボルト取り付け作業
単独潜水、水面での直接支援が不可
送気員のいる突堤から水面まで11.5m(陸上支援員が対応困難)
- 【身体】 高齢、高血圧、糖尿病、過活動膀胱で内服治療中 前日焼酎2合の飲酒
- 【経過】 予定にない作業途中の浮上と想定外の動作(クレーン操作もしくはゴンドラへの帰還を意図したか)
浮上後の意識消失： 水中有線電話による交話不能、次第に(5分程度で)動かなくなる
ドライスーツ過膨張： 数十cmH₂O(数kPa)程度のスーツ内圧上昇によるある程度呼吸抑制
水面から突堤へのつり上げ救出に難航
心肺蘇生に反応せず
長時間の搬送： 1時間20分 パトカー→救急車、病着32分後死亡確認
- 【Ai-CT】 両側上葉、両側下葉左側優位に肺野の中間層を主とする小葉間隔壁の肥厚を伴う広汎なスリ硝子影
- 【解剖】 主病変 暗赤色流動性の心臓血 諸臓器のうっ血、顔面のうっ血、頸部皮膚、
眼結膜、頸部器官等に溢血点多数やうっ血
左右高度肺水腫
副病変 冠状動脈硬化症 糖尿病性腎症 副腎皮質過形成
諸臓器にプランクトンは検出されず
病態：急性呼吸不全

病 態



前日に焼酎2合の飲酒
当日朝に約3時間の車移動

天候 雪
気温 -1.7°C 水温(放流)5.2°C
標高884.5m(気圧896hPa)

単独潜水
水面での直接支援が不可
(水面から支援員まで11.5m)
陸上支援員の対応が困難

数十cmH₂O(数kPa)程度の
スーツ内圧上昇によるある程
度の吸気制限

⑥ 本例から学ぶもの

本例から学ぶもの

1 ダム潜水について

- 1) 標高への配慮： 標高が高い場合は減圧症に配慮した高所潜水の手順が必要であるが、今回の潜水は深度が3m程度であり減圧症のリスクはなかった。しかしながら、標高884.5mの高所であったために気圧が896hPaと低く、ダム水面の大気酸素分圧は18.6kPaで海水面に比べ約1割ほど低くなっていた。生理的な範囲での酸素分圧であるが、低酸素になる病態があった場合の影響を考慮して応急用酸素吸入の準備が推奨される。
- 2) 医療施設へのアクセス： ダムが消防署、医療施設から離れて位置する場合は所轄の消防署に連絡体制や事故時の対応について事前に相談することが推奨される。ドクターヘリの運航条件、ドクターヘリとのランデブーポイントの確認が必要である。
- 3) 水面での支援態勢： 体の不調により水面に浮上した被災者への支援を水面で実施できる人員配置と可能であれば応急の酸素吸入ができる準備が推奨される。
- 4) 水面からの救出： ダムの構造上、堤体からクレーンを利用してゴンドラ等で水面に降りて潜水作業をする場合は、水面からの救出においてクレーン引き揚げ中は蘇生術ができないという課題がある。一方、台船を組んで台船から潜水を行う場合においては、台船上の支援員による被災者の応急処置が可能(再圧室を搭載した場合は再圧処置も可能)であるが、台船から救急隊への速やかな移送・引き渡しに難点がある。救急隊の現場でのアクセス法については事前に工事会社と消防署で検討することが推奨される。
- 5) 低水温対策： ダムにおける潜水作業はダム湖への水流入が少なく水面が下がる冬期に計画されることが多く、また冬期以外でも湖底の水温は低いことがある。水温の低下により浸漬性肺水腫の発症リスクが高まるため、環境温度に応じた潜水服の選択を行い水温が7℃以下の場合には潜水中に温水を適切に潜水土へ供給して寒冷曝露を軽減することが推奨される。(参考資料11)

2 浸漬性肺水腫(Immersion Pulmonary Edema: IPE)について

- 1) 浸漬性肺水腫が潜水中に発症すると意識消失の可能性があることを潜水関係者に周知する必要がある、発症リスクを理解して予防に努め適切な対処ができるようにする必要がある。(参考資料10-1～5: 潜水関係者用参考資料)
- 2) 高気圧業務健診を行う医師には浸漬性肺水腫となる可能性のある潜水土に対して適切な助言や潜水制限ができるように啓発する必要がある。(参考資料1～7: 医療者用参考資料)
- 3) 潜水土から潜水医学を専門とする医師への受診相談を推進する必要がある。

50歳以上の潜水土、心疾患関連(高血圧、発作性心房細動、冠攣縮性狭心症、睡眠時無呼吸症候群等)の既往、薬剤使用(降圧剤、非ステロイド性抗炎症薬、プロスタグランジン製剤、神経障害性疼痛治療薬、血栓溶解剤等)など、IPEを誘発する可能性のある要因を持つ場合は潜水医学を専門とする医師に潜水作業の可否や潜水作業で配慮すべき事(運動量・海水温・深度・スーツ・応急用酸素の準備等)について相談することが推奨される。また、疾患治療のため潜水作業をしばらく休んでいた場合には、潜水作業を再開する前の受診相談が推奨される。(参考資料1～7: 医療者用参考資料)

⑥ 本例から学ぶもの

本例から学ぶもの(つづき)

3 潜水士の健康管理について

- 1) 健康診断: [高気圧安全衛生規則](#)の第四十一条(参考資料7-3)には潜水禁止を考慮しなければいけない疾病が掲げられているが、その取り扱いについて具体的に示されていないため、特殊健康診断として[高気圧作業員健診](#)(参考資料7-3)を担当した医師の裁量に寄らざるを得ない状況である。潜水環境が人体に及ぼす影響や潜水に起因する疾患についての知識や経験がないと潜水制限について適切な判断や潜水士への助言が困難である場合が少なくないと考えられ、潜水適性についての考え方や標準的なガイドラインが待たれるところである。

[国際潜水業者協会](#)(The Association of Diving Contractors International: ADCI)から[潜水要員医学・訓練資格\(文献31\)](#)、[英国健康安全局](#)(Health and Safety Executive: HSE)から[職業ダイバー健康診断指導要綱\(文献32\)](#)が出されており、わが国でも同様に職業潜水の健康診断要綱を示す必要がある。

レジャーダイバーについては、[国際ダイバー・メディカル・スクリーニング委員会](#)(the international Diver Medical Screen Committee: DMSC)から[レジャー潜水適性評価システム\(ダイバー問診票/医師評価用紙\)](#)(文献29)及び[潜水医学指導要綱\(文献30\)](#)が2020年に公開され運用されていて、職業ダイバーの潜水適性を検討する上で参考になると考えられる。

4 潜水装備について

- 1) ドライスーツ: ドライスーツ内のインナーの重ね着で体表を締め付けることが無いようする。給気・排気ボタン(参考資料8)などの経年劣化に留意する。給気時に余分な空気が下半身に入らないように下肢の大きさに合わせたオーダーメイドのドライスーツを着用することが推奨される。給気ボタンに器材等が触れて作動する可能性がある場合はクリップタイプの給気バルブ(参考資料9)に切り替える。
- 2) 浮力調整装置(Buoyancy Compensator: BC): BCを使用することにより細かい中性浮力調整、水面での浮力確保で安定体位をとれるという利点があるため安全面からドライスーツ使用時でもBC装着が推奨される。しかしながら高気圧作業安全衛生規則ではスキューバの時はBC装着が規定されているが、フーカー潜水など送気式では規定されていないことからこれまで装着の要否について議論がなかったため、BCはほとんど使用されていないという現状がある。

フーカー式潜水でBCを着用する実証試験を行っている潜水会社があり、使用に際して特に支障がないという報告がある。一方、ドライスーツを使用するフーカー潜水でBCを装着することにより、ドライスーツへの送気用ホース、残圧計ホース、BCのホースと体の周囲に3本のホースとなり、また浅海部ではチェスト・ウェイトを装着することもあり、BC装着により装備品が複雑になるのは避けたいと考えている潜水会社もある。ドライスーツ(参考資料9)の型式によってはBCがサイズの装着困難となるとの意見に対しては、潜水協会技術顧問からボンベ・ハーネスと一体型になったタイプのBC(参考資料9)が紹介されている。

日本潜水協会としては、緊急用浮上用4Lボンベの装着が標準化してきていることもあり、BC装着は若手の潜水士には受け入れやすいようであるが、BCを使用したことがない潜水士がほとんどであるため、戸惑いや使用を嫌う潜水士がいること、費用面で追加負担となるため固辞されることも考えられるものの、BCの効果を粘り強く協会各社に周知して標準化を目指したいとしている。

⑥ 本例から学ぶもの

本例から学ぶもの(つづき)

5 心肺蘇生について

1) 低酸素血症対策: 水中および水面での低酸素状態に対応できるように人員及び救急の器材を備えることが強く推奨される。

(1) バディ潜水に努め水面で応急対応できる人員を配置する。

(2) 酸素ボンベ、圧力調整器、リザーバー付き酸素マスク、救急蘇生マスクを備える。

2) 潜水関係者のスキルアップ対策:

(1) 心肺蘇生術、酸素投与方法について理解し実行できるように日本赤十字社、消防署、DAN JAPANの講習会等を利用する。

(2) 総務省消防庁が提供している一般市民向け応急手当WEB講習を利用する。

普通救命講習編https://www.fdma.go.jp/relocation/kyukyukikaku/oukyu/01futsu/01oukyuteate-manabi/01_01_00.html

胸骨圧迫https://www.fdma.go.jp/relocation/kyukyukikaku/oukyu/05kobetsu/01/05_01_14.html

心肺蘇生の一連の流れhttps://www.fdma.go.jp/relocation/kyukyukikaku/oukyu/05kobetsu/01/05_01_26.html

3) 心肺蘇生術は救急隊等の医療者に引き継ぐまで途切れることなく継続する。

救急搬送や今後の事故予防・対策について

救急搬送担当消防本部から

1 本件は消防署から47km離れた山間部のダムで発生した潜水事故ですが、救急車の現場到着には時間がかかることから、ドクターヘリ要請の選択肢はなかったでしょうか。

【回答】 事故発生時は、大雪であり、ドクターヘリ運航不能状態であったため、要請はいたしませんでした。ドクターヘリが運航可能であれば要請をいたします。

2 今後の事故予防、事故発生時の対策として、潜水作業を開始するに当たって工事会社から消防本部へ事前相談されることが求められると考えておりますがいかがでしょうか。その際、どのような検討が必要とお考えでしょうか。

【回答】 潜水事故が特殊な事故であり、事前相談していただけると助かると考えています。その際の検討、相談事項ですが、連絡体制や事故時に対応について相談が必要ではないかと考えています。

3 意識不明の状態から水面から突堤につり上げられた後の工事会社の現場処置、消防・警察への通報、警察車両による搬送について振り返ってみて、今後のより良い対処として推奨される場所をお教えいただきたいと考えております。

【回答】 現場処置もドライスーツを切り、すぐに胸骨圧迫の開始、警察車両による搬送の決断はよかったのではないかと思います。警察車両による搬送中、ポンプ隊に引き継ぐまで、胸骨圧迫未実施であった可能性があることから、実施を試みてもよかったのではないかと感じます。

また、ポンプ隊(救急隊)と関係者との連絡手段が確立していない状態での現場からの搬送についてですが、今回は1ルートしかないため問題はないですが、複数ルートあった場合、ポンプ隊(救急隊)とドッキングできない可能性があるため、連絡手段を確立しておく必要があるのではないかと感じます。

おわりに

これまで潜水における疾病対策は減圧症もしくは空気塞栓症を中心に実施されてきた感がありますが、潜水特有で致命的となり得る疾患として浸漬性肺水腫についての対策が急務であると思います。浸漬性肺水腫については第1回及び第4回潜水事故総合検討会でも取り上げられており、決して稀な致死性疾患ではありません。潜水土及び潜水土の管理者への啓発は今後とも機会を捉え精力的に行うとともに、制度的な観点からの取り組みが必要であり、潜水土に対しては特殊健康診断で適切な潜水適性が判断できるように健診担当の医師へ啓発してゆきたいと考えております。

參考資料

第1回潜水事故総合検討会CPC症例

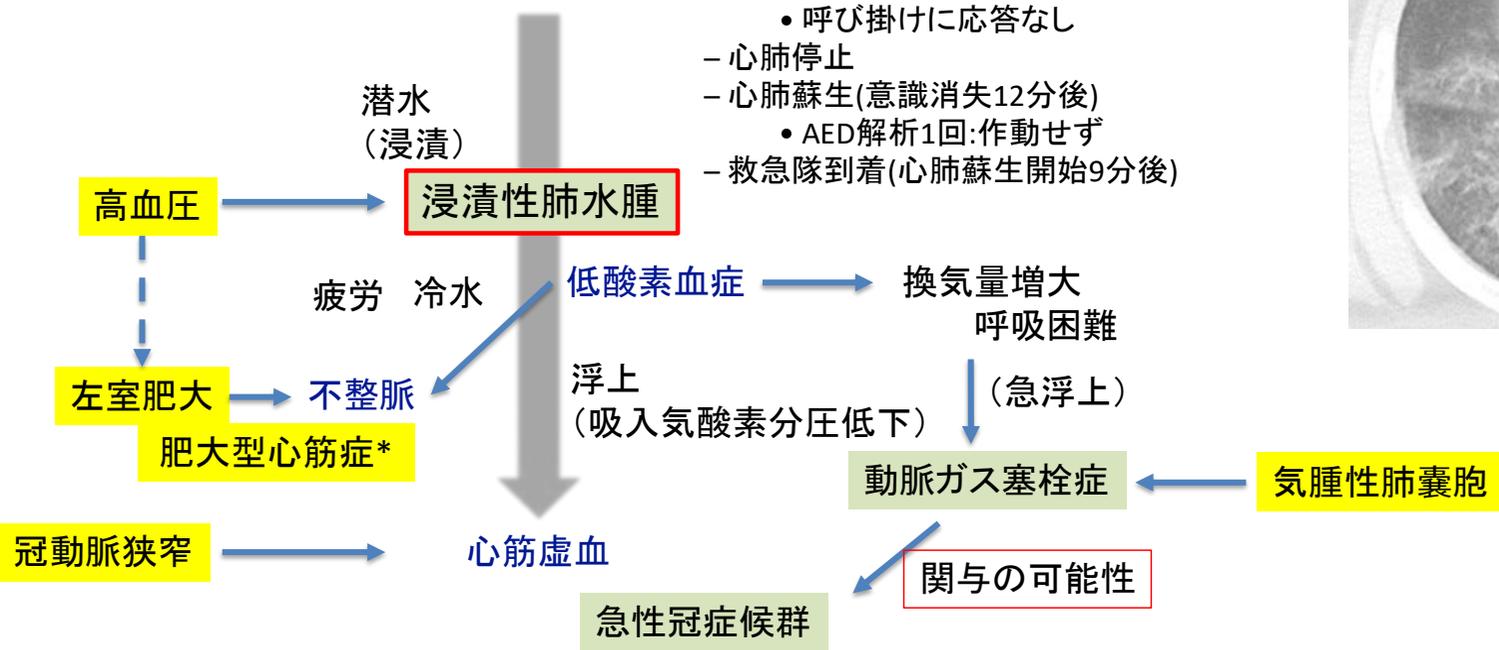
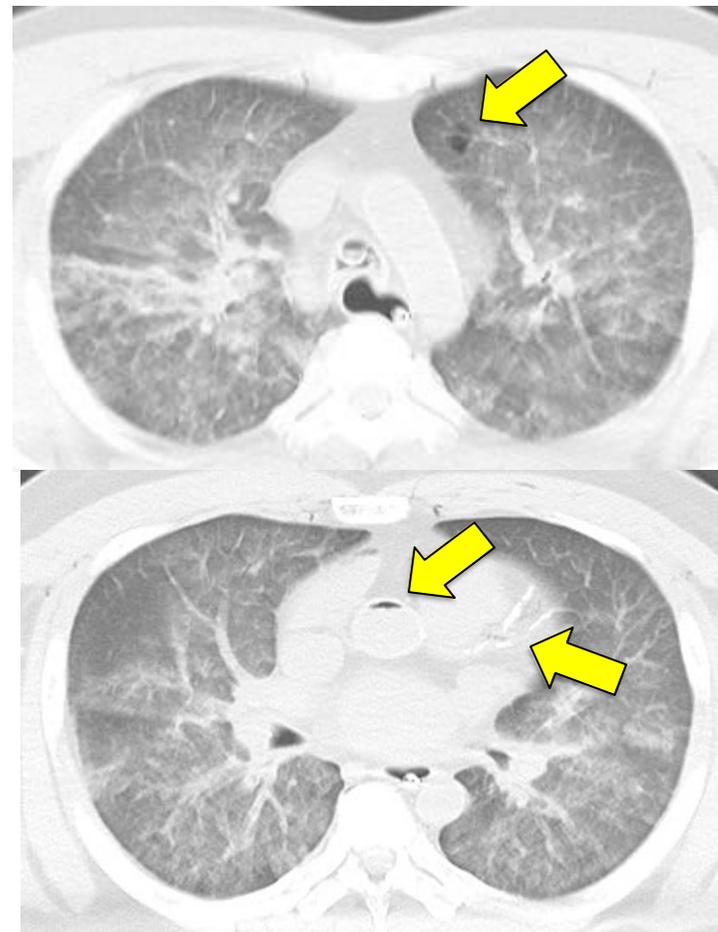
50歳代 男性 着岸船の船底清掃作業 浮上後呼吸困難・意識消失



- 高気圧業務健診
- 高血圧(無治療)
 - 収縮期心雑音
 - 心拡大(54%)
肺紋理増強
 - 喫煙、肥満

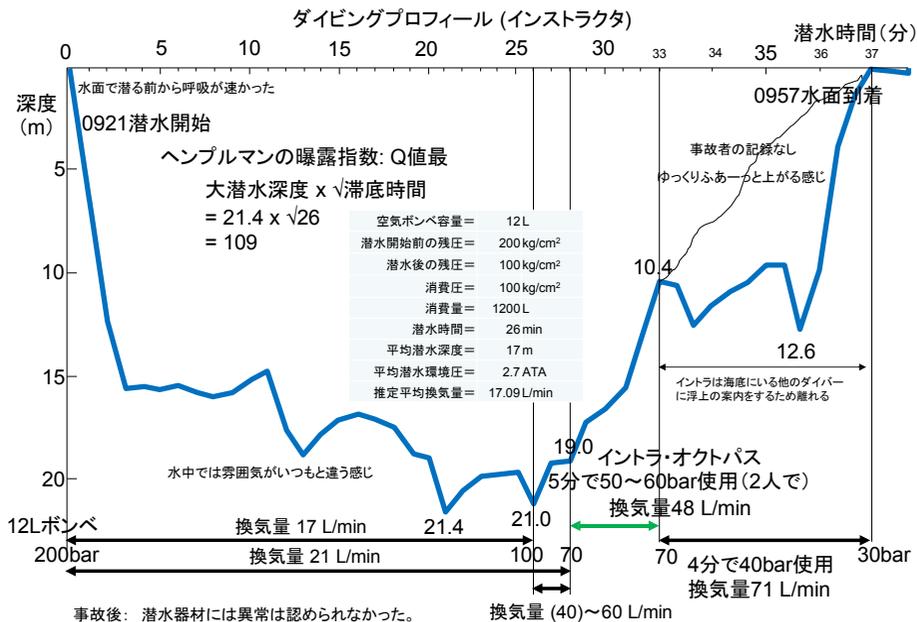
- 潜水前体調
 - 20日前痛風発作
- 1週間前から作業再開
 - 睡眠不足
 - 疲労蓄積
- 早朝起床、潜水前後長距離移動
 - 3日連続の潜水
- 浮上後
 - 従命あるも発語なし
 - 緩慢な動作、余裕なし
 - 装備脱ぎ捨て、錐ベルト外せず
 - 呼吸困難
 - ドライスーツに指入れ
 - ふるえ、意識消失(浮上9分後)
 - 呼び掛けに応答なし
 - 心肺停止
 - 心肺蘇生(意識消失12分後)
 - AED解析1回:作動せず
 - 救急隊到着(心肺蘇生開始9分後)

- 潜水中
 - 水温15℃
 - 早めの潜水終了(50~59分 → 47分)
 - 換気量の増大(残圧:0.5Mpa → 0.4Mpa)
 - ブラシを持たずに浮上
 - 浮上速度 早い



第4回潜水事故総合検討会CPC症例

69歳 男性 心疾患の既往があり4ヶ月ぶりのダイビング
 スクーバ潜水



- 冠攣縮性狭心症、発作性心房細動、高血圧、脂質異常症
41年間の既喫煙者
✓ 9年前から運動中や入浴中、夜間に心窩部から胸への圧迫感の頻度増加も、ジルチアゼムにて良好にコントロール
- 日課として自転車40分・筋トレ90分(腹筋・ステッパー・ゴム引き: インナーマッスルを鍛える)・逆立ちを午前中に行い体調を整えるなど同年代と比較して体力があった。
- 脊柱管狭窄症にてPGE1、プレガバリン使用、前日点滴治療
- 4ヶ月ぶりのダイビング
- 前日の飲酒
- 睡眠時無呼吸疑い

潜水経過と症状

- その日最初のダイビング
- 呼吸数・換気量増大
 ✓ 入水時に増加
 ✓ 15m深度で一旦落ち着く
 ✓ 中盤から次第に増大
 ✓ 水面近くで極めて多い換気量
 ✓ 普段の潜水でも多く、3回に1回はボンベ空気が不足
- オクトパス・ブリージング
- 安全停止せず浮上だがQ値: 109、ゆっくり浮上
- 浮上後まもなくボートに上がる前に意識消失

発作性心房細動
高血圧

心疾患

冠攣縮性狭心症

潜水 冷水 (浸漬)
浸漬性肺水腫

低酸素血症
浮上 (吸入気酸素分圧低下)

心筋虚血
急性冠症候群
重症不整脈

疼痛
冠動脈血管収縮

アルカローシス
肺過膨張

動脈ガス塞栓症

冠動脈塞栓
脳動脈塞栓
意識消失
直接死因

脊柱管狭窄症治療
PGE1、神経障害性疼痛治療薬使用

普段から潜水で過呼吸の癖?

5mで減圧停止できず

ゆっくり浮上

水面到着時
筋力低下・意識朦朧

浮上からCPAまで超短時間
蘇生に抵抗

【50歳代 男性 インストラクター】

潜水歴20年 2500本以上 前日日本酒700ml 2日前頃から咳嗽と息切れ軽度あり

波高2m
海水温20.4℃
ウェットスーツ着用

最大潜水深度18.7m, 潜水時間58分の空気スクーバ潜水
水中観察の後に水中酸素減圧のデモ撮影目的

救急外来受診時(発症2時間後)

SpO₂ 96%(酸素6L マスク), 脈拍 138 /min,
呼吸 24/min

呼吸音は両側減弱し、心音は心尖部から腋下に放散するLevine III/VIの収縮期雑音あり、四肢浮腫や頸静脈怒張はない。皮膚症状なし、神経学的所見なし

【シックコンタクト】
特記すべきことなし

【既往歴】
僧帽弁閉鎖不全症(moderate) 5ヶ月前に指摘される
感冒後に咳が長引き、喘息気味といわれたことがある

安静・酸素吸入で改善しないため、近くの医療機関の救急外来受診

減圧停止点5mでレギュレータ交換

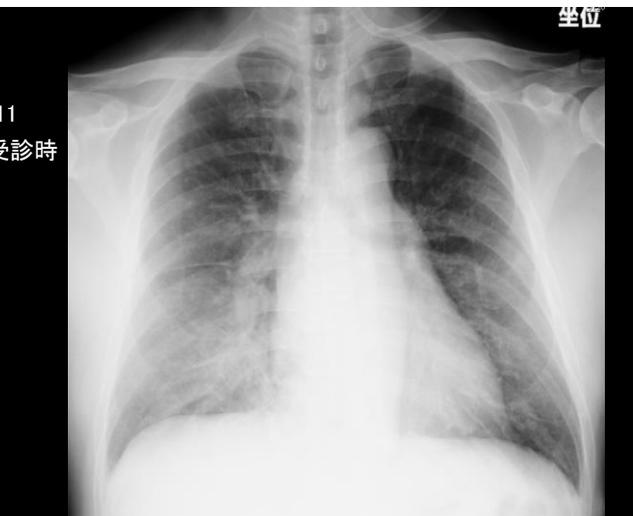
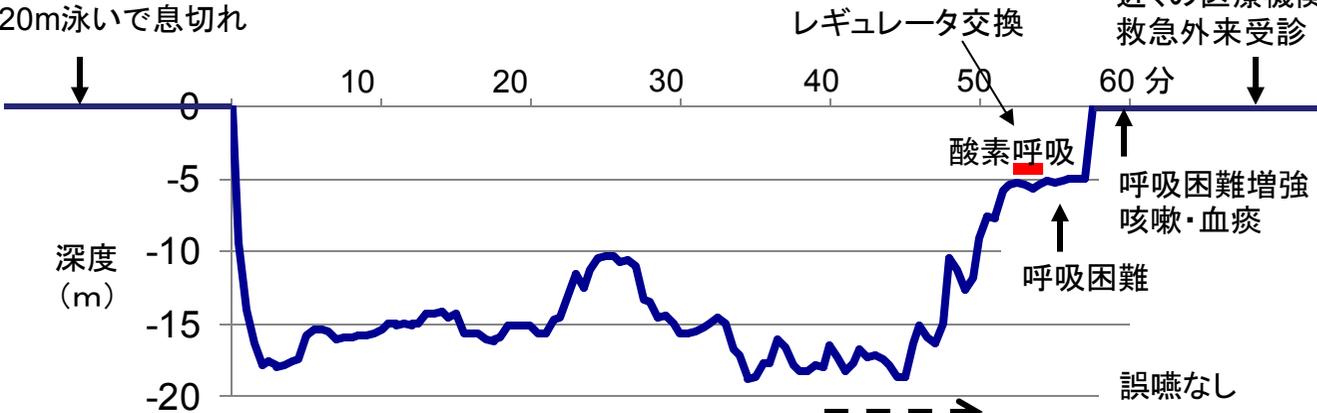
呼吸困難増強
咳嗽・血痰

呼吸困難

誤嚥なし

運動強度は軽く
体感温度はやや寒かった。

呼吸に違和感



【胸部CT】

右優位の両側胸水、肺動脈の拡張、小葉間隔壁の肥厚、気管支血管束に沿ったすりガラス状濃度上昇

【心臓超音波検査】

EF良好、IVCは呼吸性変動あり、心不全徴候なし

【血算】

WBC 10200 / μ L
Seg 85.2 %
Eo 0.7 %
Ba 0.2 %
Mono 4.4 %
Lymp 9.5 %
RBC 487 万/ μ L
Hb 15.0 g/dL
Plt 18.9 万 / μ L

【凝固】

PT-INR 1.04
APTT 24.2 秒

【動脈血液ガス】

(room air)
pH 7.435
PaCO₂ 40.2 mmHg
PaO₂ 49.9 mmHg
HCO₃ 26.6 mmol/L
BE 2.7 mmol/L
Lac 2.0 mmol/L

【血液生化学】

BUN 18 mg/dL
Cr 0.79 mg/dL
Na 139 mEq/L
K 4.1 mEq/L
Cl 105 mEq/L
血糖 121 mg/dL

【血液生化学】

TP 6.4 g/dL
Alb 4.0 g/dL
AST 23 IU/L
ALT 20 IU/L
LD 192 IU/L
ALP 231 IU/L
 γ -GTP 133 IU/L
T-bil 0.6 mg/dL
D-bil 0.2 mg/dL
CK 118 IU/L
CK-MB 10 IU/L
CRP 0.7 mg/dL
BNP 150.8 pg/mL
高感度トロポニン
0.020 ng/mL

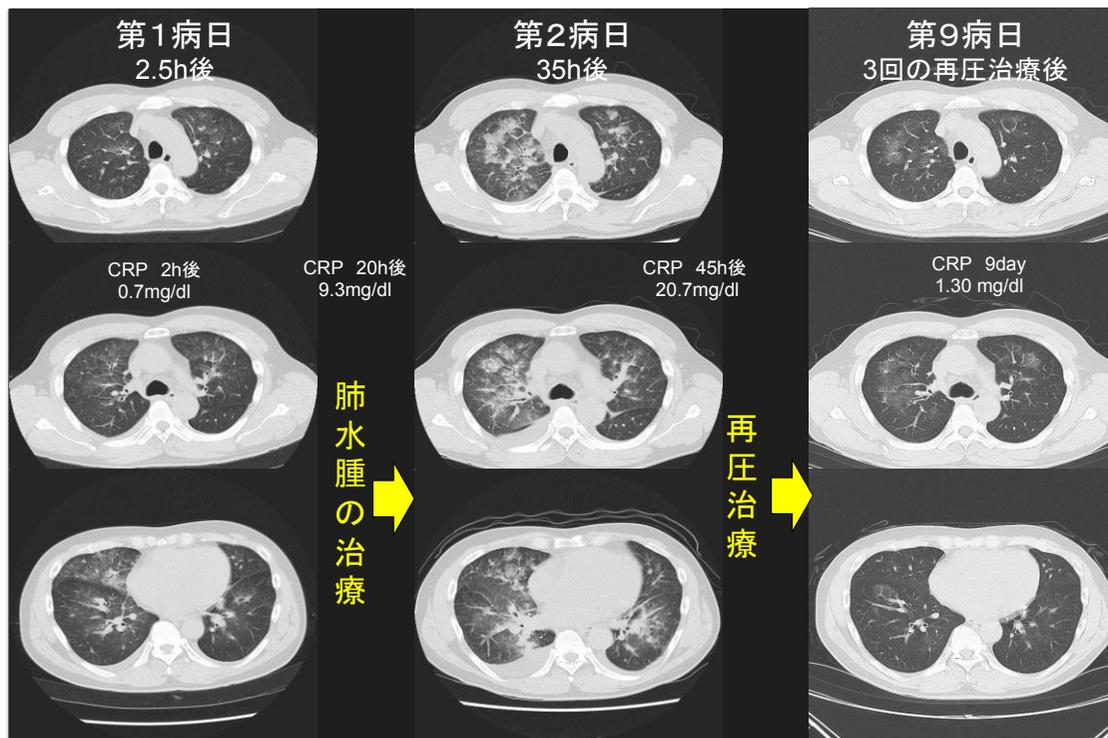
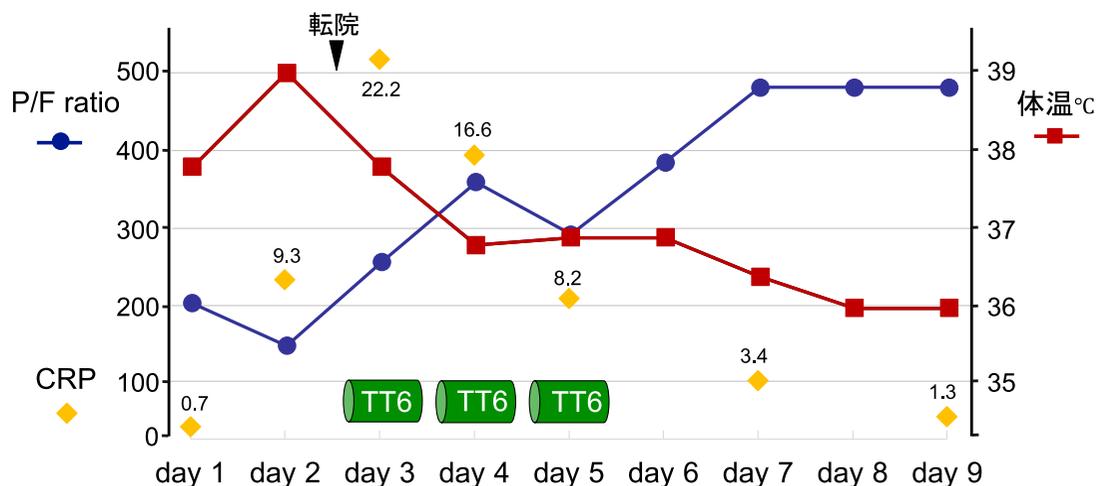
肺動脈陰影の増大と両中下肺野にすりガラス影

浸漬性肺水腫の診断で経過観察となるも第2病日夜に湿性咳嗽と頻呼吸で増悪。利尿薬にて若干症状改善あるも、胸部CT所見は増悪し第3病日に39度の発熱とCRP上昇があり、臨床所見・経過から感染症は否定的。減圧障害が疑われ転院となる。

転院時所見

血圧 113/68mmHg, 脈拍 114/min, 呼吸 25/min, SpO₂ 95% (O₂ 3L), 体温 38.4℃, 肺聴診 fine crackles, 四肢浮腫(-), チアノーゼ(-), CRP 22.2mg/dL, BNP 134pg/mL, 喀痰培養:常在菌, 血液培養(-), 尿肺炎球菌抗原(-), 尿レジオネラ抗原(-), 咽頭マイコプラズマ抗原(-), 喀痰細胞診:好中球多数, 好酸球增多

米海軍再圧治療表6による治療により臨床症状、酸素化、炎症所見および画像所見の改善がみられた。



【40歳代 男性 レジャーダイバー】 浮上後呼吸困難 高濃度酸素必要

空気スクーバ潜水：最大潜水深度23m、潜水時間30分、滞底時間20分初圧19MPaで潜水開始し、20分で残圧5MPaとなったため23m深度から徐々に浮上して5m深度で安全停止の予定だったが、レギュレータを吸ってもエアが来なかった。バディのオクトパスをもらってもエアが来なかったため、水面へ浮上した。水面到着直後まわりが暗くなり、息ができないとインストラクタに話したあと周りがわからなくなり、船に引き上げられた。救急要請され高濃度酸素マスクで酸素10L/分として救急車で搬送された。

【潜水歴】20年前から98本目で1年ぶりのダイビング

【既往歴】小児喘息はあったが成人してからは特に通院や服薬歴はなく健康診断で血圧148/92mmHgと高血圧を指摘されるも放置していた。

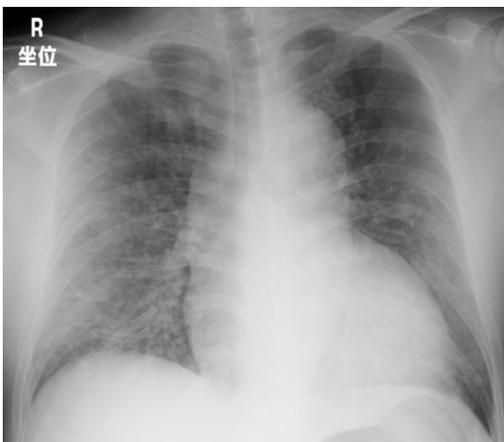
【嗜好】アルコールは潜水前日はひかえている。タバコ 70本/週 潜水当日はアイコス3本使用

【最近の体調】息切れあり。前日の睡眠は普通、疲労は少しあった。

【来院時所見(発症から1:17経過)】

呼吸困難 ピンク泡沫状痰

JCS II -20, E3V4M5, 血圧 181/140mmHg, 脈拍 115/min, 呼吸 32/min, SpO2 100% (O2 15L RM), 体温 36.9°C 両肺水疱音(+), 心音: 整 雑音なし, 皮下気腫(-), 皮疹(-)



【心エコー】

心壁運動の明らかな局所壁運動異常は認めず。

EF50-60%, B-line著明

【血算】

WBC 11700 / μ L

Neutro 92.3 %

Eo 0.7 %

Ba 0.1 %

Mono 1.5 %

Lymp 5.4 %

RBC 546 万/ μ L

Hb 17.1 g/dL

Plt 16.6 万 / μ L

【動脈血液ガス】

(酸素15L RM)

pH 7.398

PaCO2 32.6 mmHg

PaO2 175.0 mmHg

HCO3 19.7 mmol/L

BE -3.5 mmol/L

Lac 3.6 mmol/L

COHb 1.2 %

血糖 171 mg/dL

【血液生化学】

BUN 21 mg/dL

Cr 2.04 mg/dL

Na 145 mEq/L

K 3.1 mEq/L

Cl 108 mEq/L

Ca補正 8.7 mg/dL

Alb 3.8 g/dL

AST 19 IU/IL

ALT 26 IU/L

LD 316 IU/L

ALP 177 IU/L

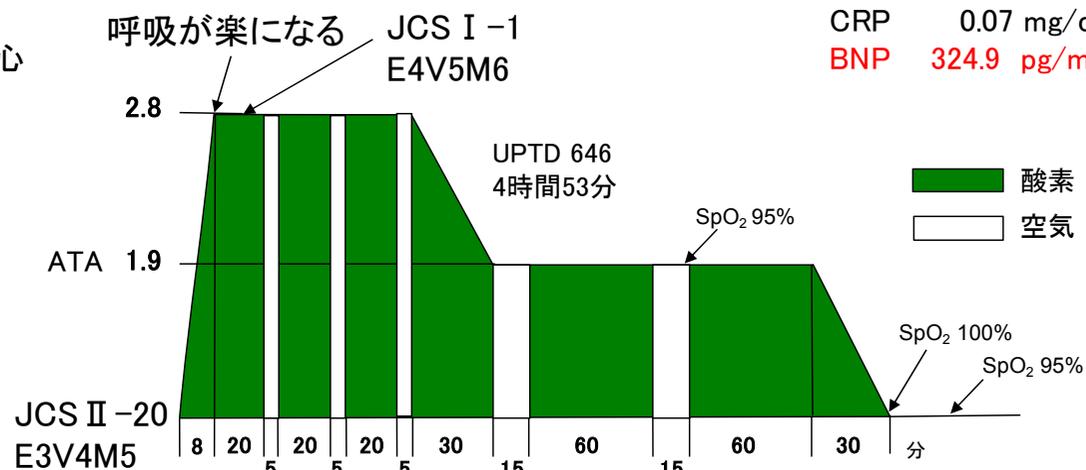
T-bil 0.7 mg/dL

D-bil 0.2 mg/dL

CK 190 IU/L

CRP 0.07 mg/dL

BNP 324.9 pg/mL



約5時間の治療終了した時点で、室内空気でSpO2 95%となり、以後酸素必要なく、翌日の症状は後頸部痛軽度のみで、追加の米海軍再圧治療表5により改善し、胸部X線所見も改善傾向であったため翌日退院となった。

ダイビング環境には肺に多くのストレスがある

減圧

気泡の発生

肺血管内皮細胞の刺激

遊泳／潮流

運動負荷

浸漬／低水温

肺循環血流量増加

肺毛細血管内圧の上昇

潜水呼吸ガス

高気圧酸素

高密度, 乾燥, 低温

有害物・アレルゲン混入

気道内圧の変動

潜水器

抵抗, 口呼吸, 海水吸入

静水圧差(レギュレータ／呼吸袋)

素潜り

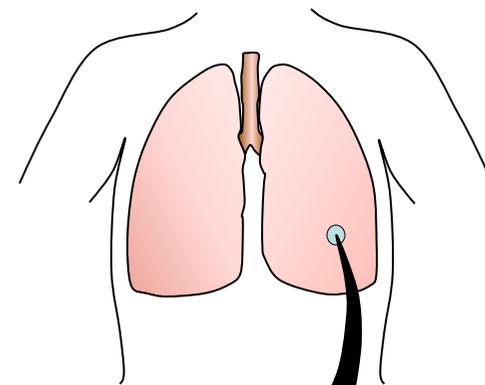
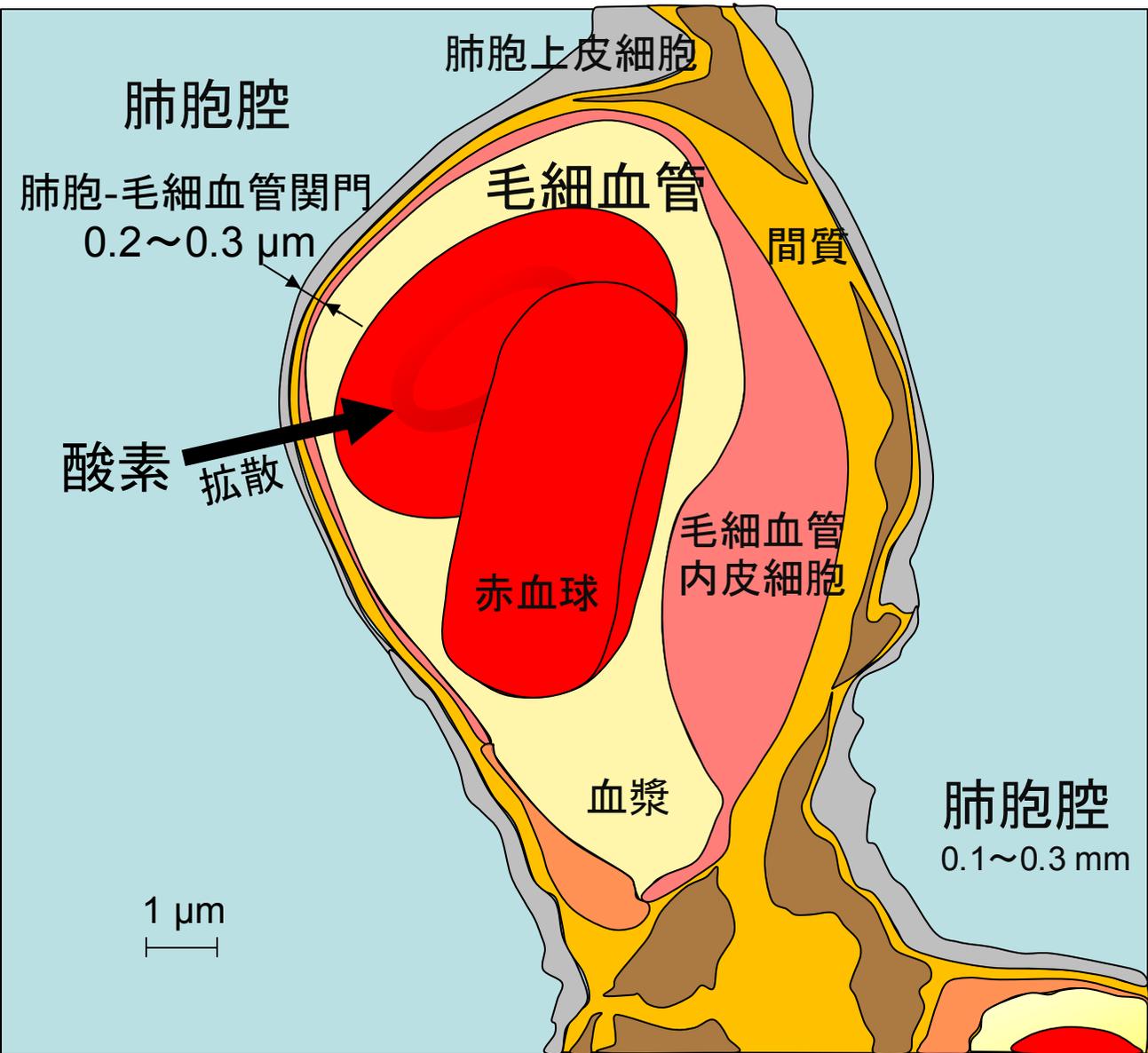
横隔膜の痙攣

パッキング

心的負荷

パニック

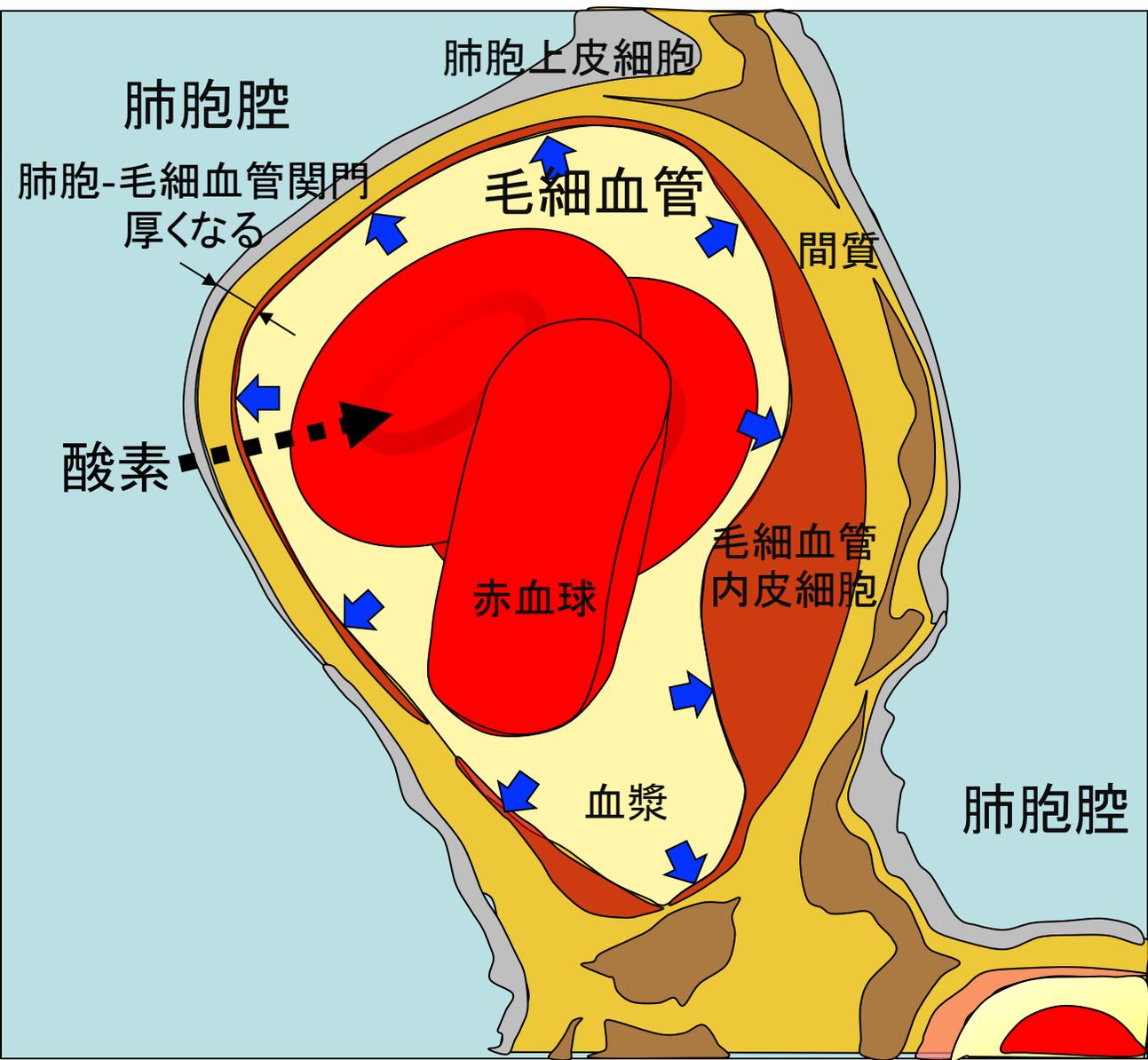
過換気



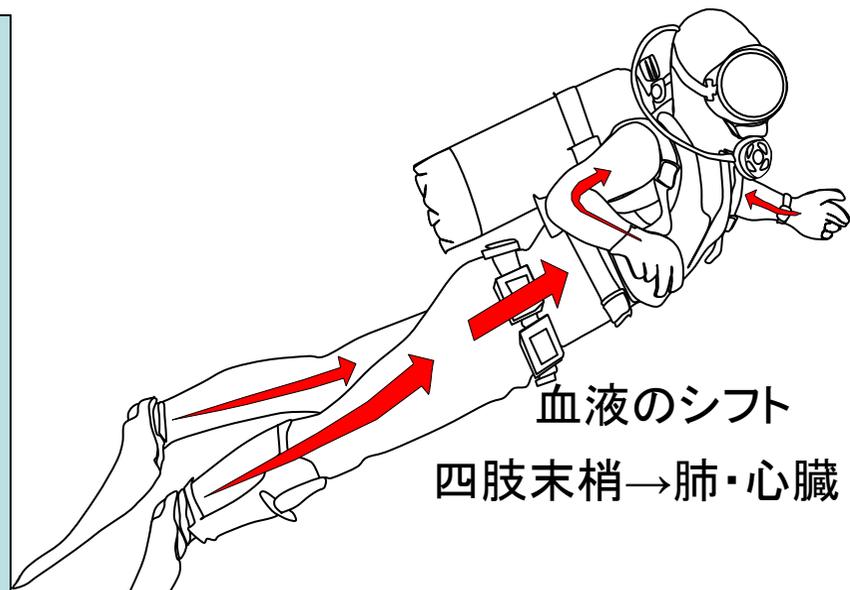
肺は
酸素を取り込み
二酸化炭素を出す
ガス交換の場所

肺胞-毛細血管関門という極めて
薄い膜を通して
酸素が分圧差により拡散して
気腔から血液に取り込まれる

肺における酸素の取り込み
(肺胞と毛細血管の10,000倍強拡大イメージ)



浸漬による肺への影響



肺にシフトした血液により
毛細血管内圧上昇



毛細血管内皮細胞が過伸展
血漿成分が間質へ出て
肺胞-毛細血管関門が厚くなり
酸素の拡散が制限され低酸素へ



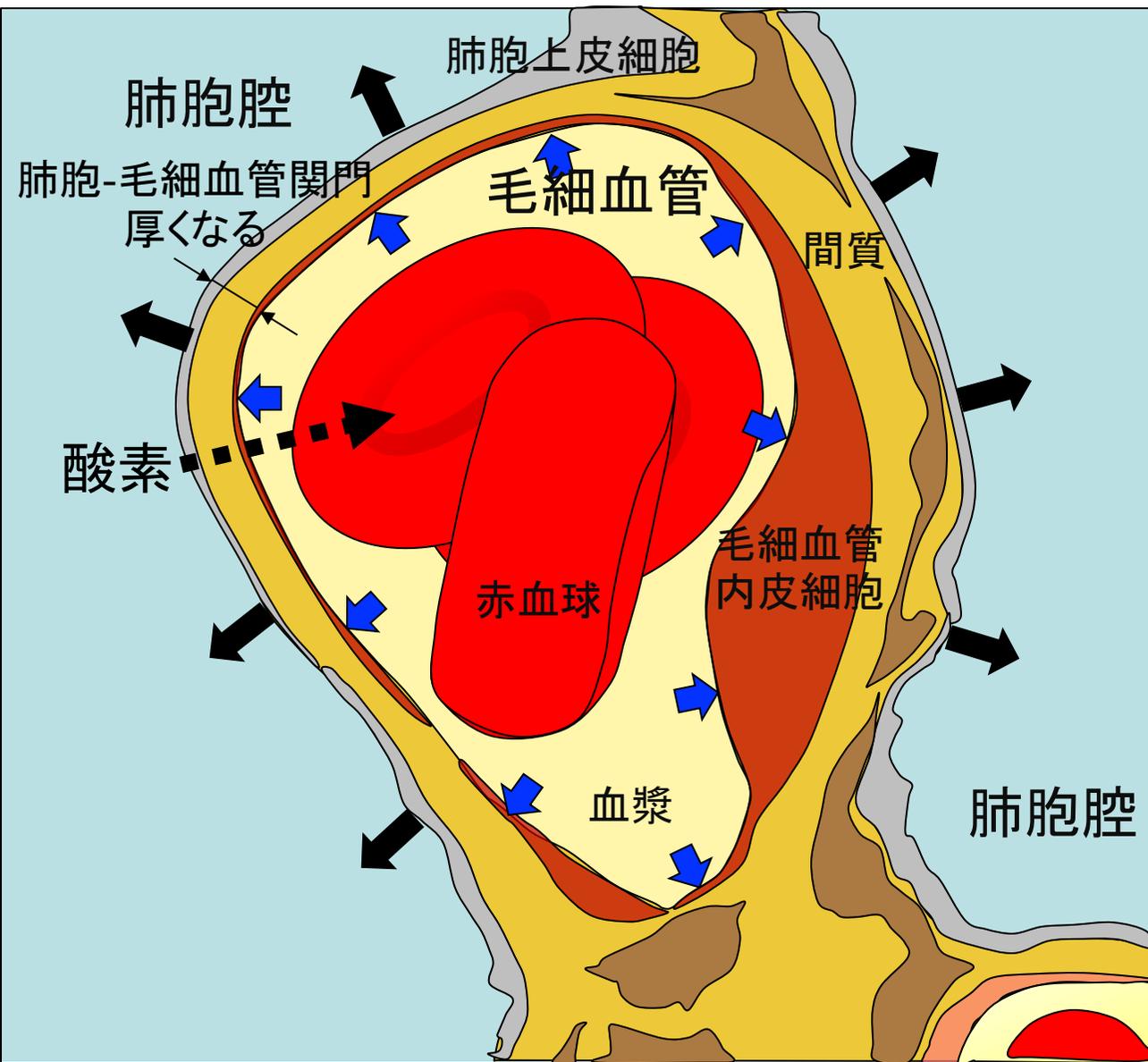
しんせいはいすいしゅ
浸漬性肺水腫 IPE
(Immersion Pulmonary Edema)



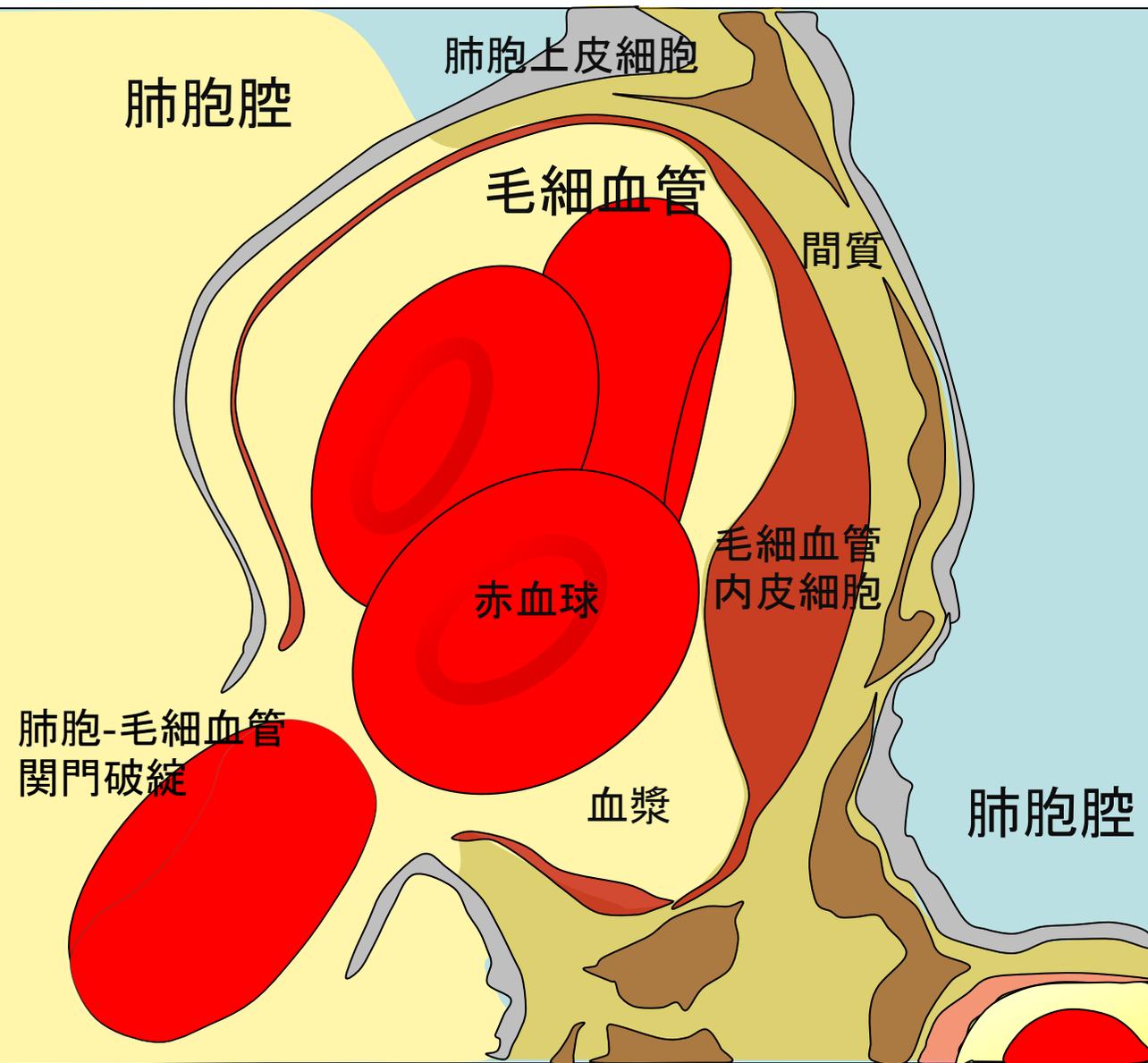
浸漬性肺水腫に関連する危険因子

- 寒冷
- 過大な運動
- 気道が陰圧(静水圧差・横隔膜痙攣)
 - ・ 吸気努力による陰圧増大
- 心疾患(不整脈・高血圧など)

- 50歳以上
- 薬(降圧剤、解熱鎮痛剤など)
 - ・ 潜水前内服、日常内服
- きついスーツ(BCD, インナー含む)
- 不安・精神的ストレス
- 水分過剰摂取



吸気努力により気道内は陰圧が強くなり、肺胞-毛細血管関門が更に厚くなり酸素拡散制限が強くなって低酸素が進行する



肺胞-毛細血管関門が破綻し血球・血漿が肺胞腔内へ漏出

浸漬性肺水腫の症状

水中で低酸素状態に

水面への浮上に伴い
吸入気酸素分圧が低下

↓
低酸素が進行

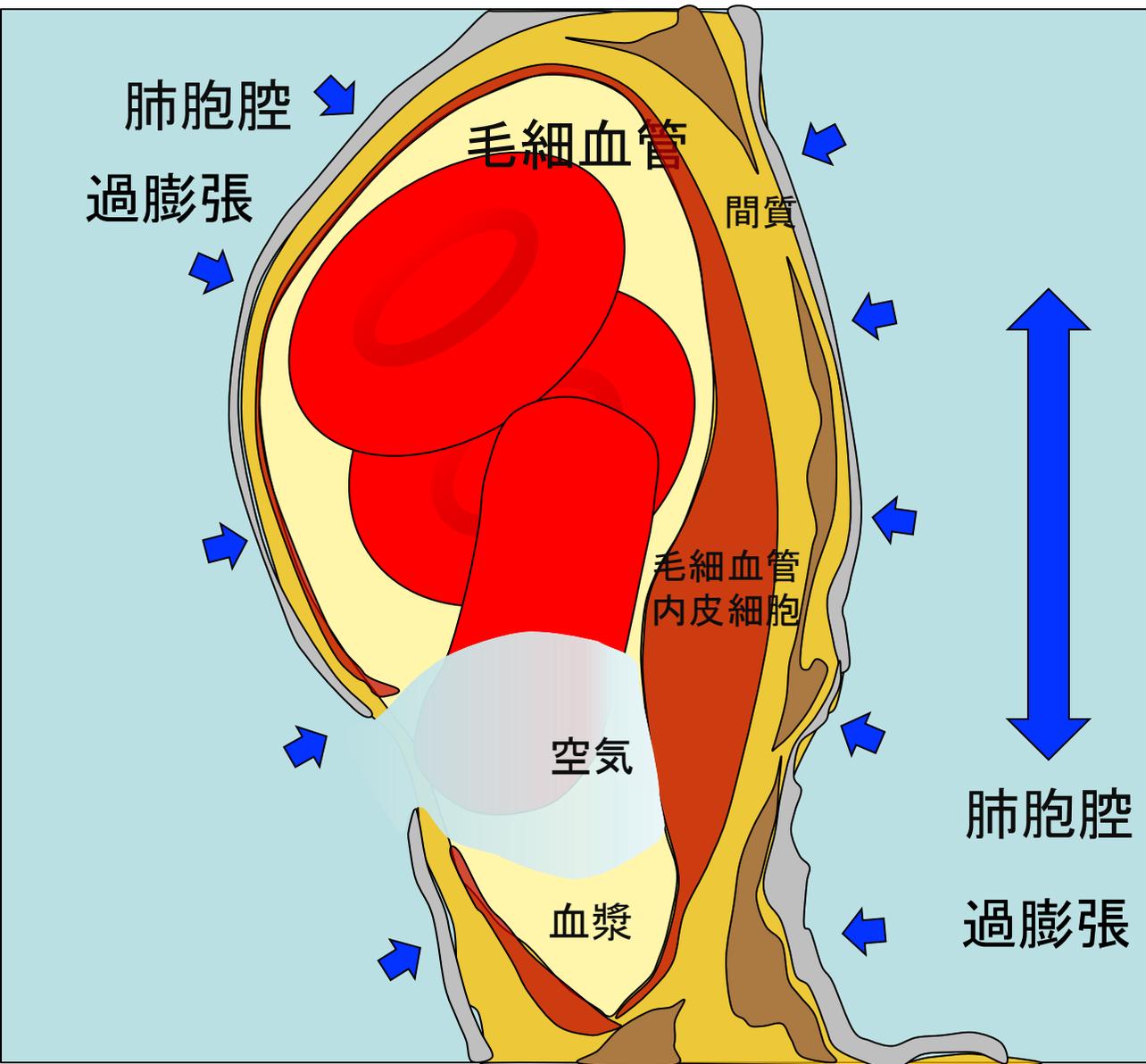
意識消失

呼吸困難感
息切れ・喘鳴
喀痰・血痰

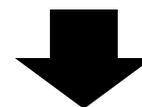
【症状についての留意点】

症状は病態の程度と時間経過により出現するため、潜水終了前後で喀痰や血痰が出ないことがある。

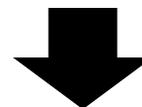
呼吸回数やボンベ空気の消費が多いことが特徴といわれるが、レギュレータから空気が来ないと感じるが呼吸が多くなったと自覚しない例もある。



浸漬性肺水腫による
低酸素／(心理的不安定)



水中での過換気、急浮上

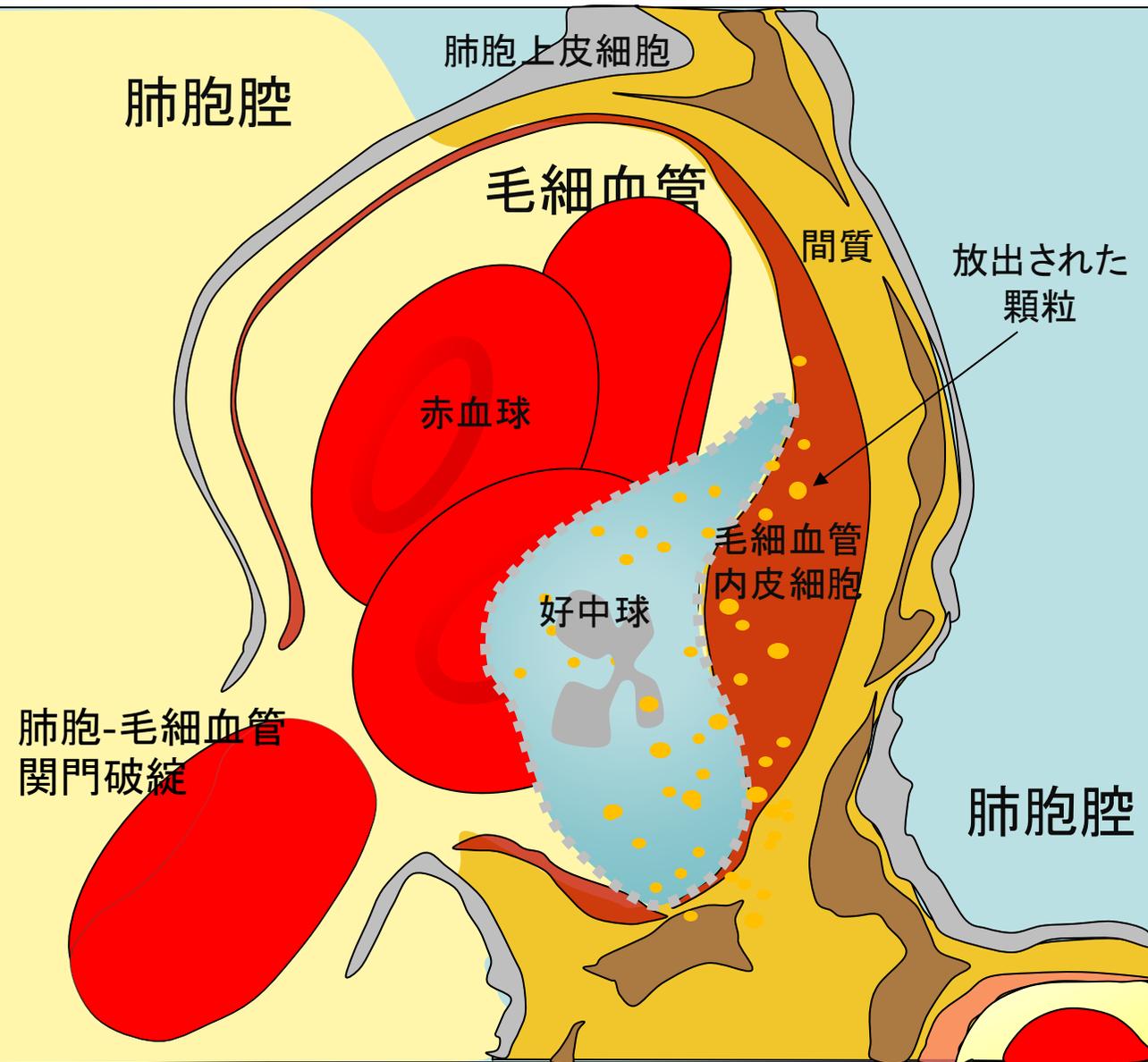


気道内が陽圧になり
肺胞腔が過膨張
肺胞-毛細血管関門が破綻



肺毛細血管内に空気が入り
●動脈ガス塞栓症へ
●血管内皮細胞を刺激

気道・肺胞腔内が陽圧になる障害(肺過膨張症候群)が起きやすい



空気の接触により血管内皮細胞が刺激を受け、好中球といわれる白血球が接着して

炎症を起こす顆粒を放出



間質に炎症が波及して厚くなり
酸素取り込みが阻害

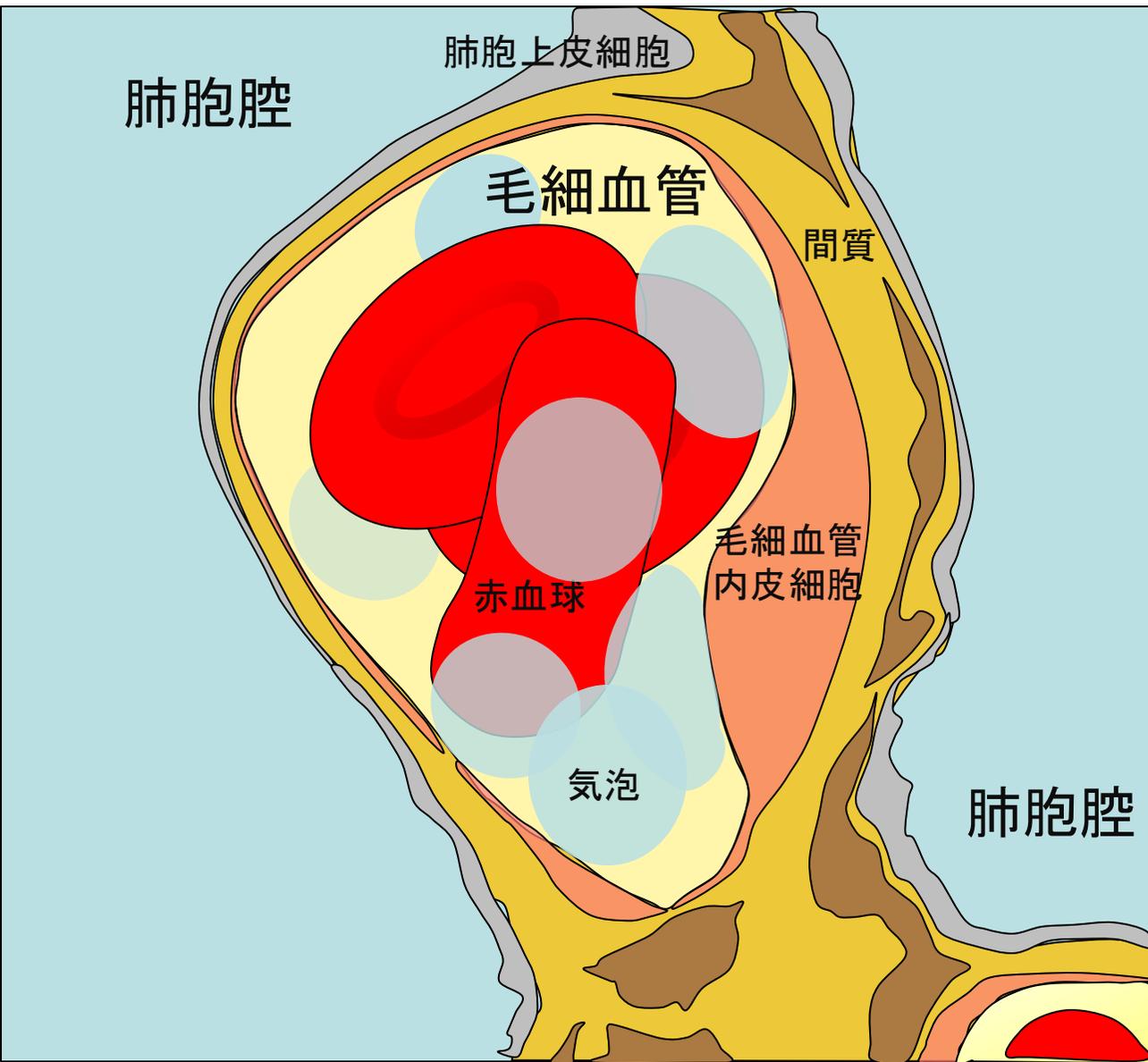


低酸素血症が進行・遷延

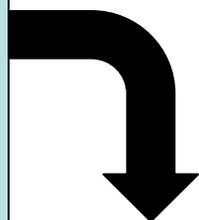
毛細血管に流入した空気は
心臓へ送られ動脈から体組織へ

破綻した肺胞-毛細血管関門から
血液成分が肺胞腔内へ：血痰

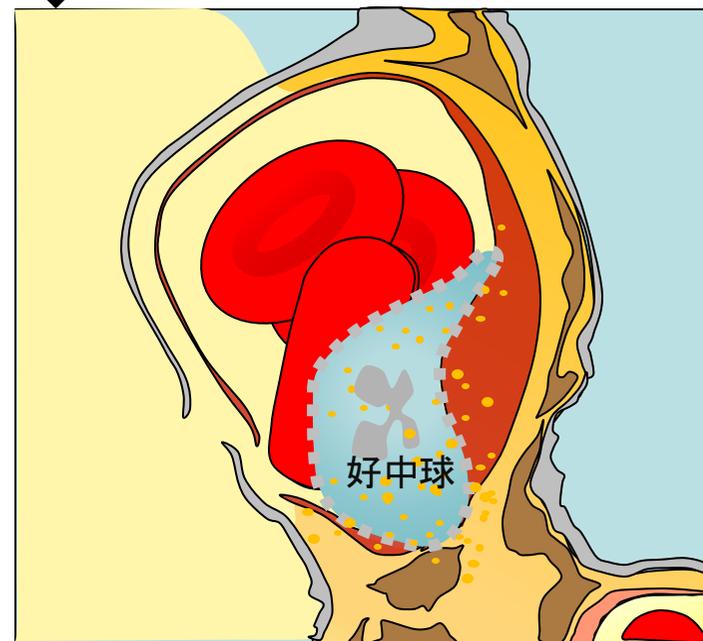
毛細血管へ空気流入後の状態(肺過膨張症候群その後)



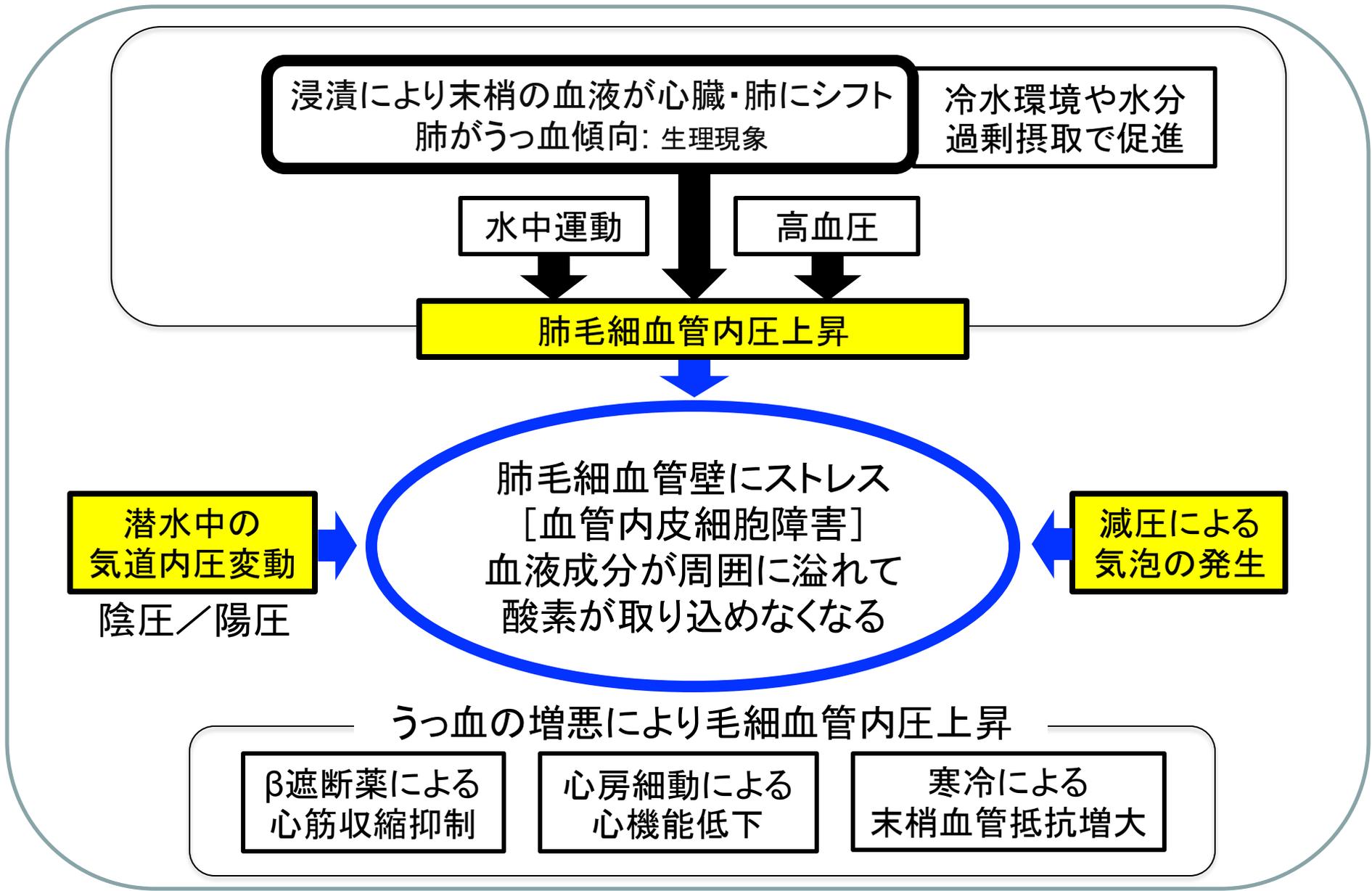
減圧により
体の末梢組織で発生した気泡は
静脈を介して肺に集まってきて
内皮細胞に接触して刺激。



好中球が接着して脱顆粒し、
炎症で血液が溢れ、
酸素が取り込めなくなる。



肺型減圧症(チョークス: Chokes)による低酸素血症



浸漬性肺水腫 IPE (Immersion Pulmonary Edema) の病態

浸漬性肺水腫(88例)に関連する危険因子(単変量解析と多変量解析)¹³⁾

Table 4: Univariate and multivariate analyses

Variable	Univariate analysis	Multivariate analysis		
	OR (95% CI)	p*	OR (95% CI)	p†
Age ≥ 50 yr	2.81 (1.74-4.53)	<0.001	3.30 (1.76-6.19)	<0.001
Female	2.10 (1.31-3.37)	0.002	2.20 (1.19-4.08)	0.012
Daily medication intake	3.50 (2.16-5.68)	<0.001	2.79 (1.50-5.21)	0.001
NSAID intake before diving	61.74 (7.91-481.83)	<0.001	24.32 (2.86-206.91)	0.003
Dive depth > 20 m	1.70 (1.04-2.78)	0.035	2.00 (1.07-3.74)	0.031
Physical exertion before and/or during diving	7.08 (4.03-12.42)	<0.001	5.51 (2.69-11.28)	<0.001
Training dive	6.24 (3.64-10.72)	<0.001	5.34 (2.62-10.86)	<0.001
Hypertension	3.88 (2.03-7.39)	<0.001		
Hyperlipidemia	1.76 (0.94-3.29)	0.077		
Medication intake before diving	3.60 (2.00-6.48)	<0.001		
Feeling cold	1.64 (0.93-2.89)	0.090		
Obesity	1.73 (0.87-3.43)	0.115		
Cigarette smoker	0.56 (0.27-1.17)	0.125		
Thermal protection suited to the water temperature				
Borderline vs No	0.44 (0.14-1.36)	0.102		
Yes vs No	0.44 (0.21-0.94)			

* p-value from Chi-square or Fisher test for proportions or from Student's t-test or Mann-Whitney test for means; † p-value from Wald test; OR odds ratio; 95% CI, 95% confidence interval; NSAID: non-steroidal anti-inflammatory drug

浸漬性肺水腫(31例)に関連する可能性のある因子¹⁹⁾

Table 2. Associations and possible contributors to IPE

	frequency	%
ascent or surfacing	21/29	72
medical comorbidity	21/31	68
cardiac comorbidity	13/31	42
mitral/aortic valve dysfunction	9/31	29
transient cardiomyopathy	8/31	26
dysrhythmia	5/31	16
exertion	12/31	39
anxiety/stress	11/31	35
drugs	6-10/31	26
hypertension	7/31	23
tight wetsuit/BCD	6/31	19
cold water exposure	5/31	16
aspiration/swallow water	5/31	16
overhydration	4/31	13
negative inspiratory pressure	3/31	10
nil identified other than immersion	7/31	23

- 1) Wilmshurst PT: Immersion pulmonary oedema: a cardiological perspective. *Diving and Hyperbaric Medicine*. 2019;49(1):30–40.
[https://dhmjournal.com/images/IndividArticles/49March/Wilmshurst_IPEcardio_2018-58\(476\).pdf](https://dhmjournal.com/images/IndividArticles/49March/Wilmshurst_IPEcardio_2018-58(476).pdf)
- 2) The international Diver Medical Screen Committee (DMSC) . *Diving Medical Guidance to the Physician*. 2020.
https://www.uhms.org/images/Recreational-Diving-Medical-Screening-System/forms/Diving_Medical_Guidance_EN_English_2023-05-31.pdf
- 3) DMSC 医師向けダイビングメディカルガイドライン. 2020.
https://www.uhms.org/images/Recreational-Diving-Medical-Screening-System/forms/Diving_Medical_Guidance_JPN_Japan_2021-09-16.pdf
- 4) Morishima R et al.: A diver with immersion pulmonary oedema and prolonged respiratory symptoms. *Diving and Hyperbaric Medicine*. 2018;48(4):259-261. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6355313/>
- 5) 注射用アルプロスタジル アルファデクス添付文書 <https://pins.japic.or.jp/pdf/newPINS/00061694.pdf>
- 6) プレガバリンOD錠添付文書 <https://pins.japic.or.jp/pdf/newPINS/00069021.pdf>
- 7) 日本麻酔科学会: 麻酔薬および麻酔関連薬使用ガイドライン 第3版第4訂. アルプロスタジル. *薬物動態* 200-201, 2015.
https://anesth.or.jp/files/pdf/circulating_agonist_20190905.pdf
- 8) リマプロストアルファデクス添付文書 <https://pins.japic.or.jp/pdf/newPINS/00061233.pdf>
- 9) Marabotti C et al.: Cardiac changes induced by immersion and breath-hold diving in humans. *J Appl Physiol*106: 293–297, 2009.
<https://journals.physiology.org/doi/epdf/10.1152/jappphysiol.00126.2008>
- 10) 山見信夫: ドクター山見のダイビング医学. 成山堂書店, 東京, 2021; pp158, 237.
- 11) 鈴木聡一郎ら: 過換気症候群としてフォローされていた冠攣縮に伴う心筋梗塞の1例. *冠疾患誌* 22: 157-160, 2016.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jcoron/22/3/22_22.15-00028/_pdf
- 12) Yasue H et al.: Coronary artery spasm--clinical features, diagnosis, pathogenesis, and treatment. *Journal of Cardiology* 51, 2–17, 2008.
<https://www.journal-of-cardiology.com/action/showPdf?pii=S0914-5087%2808%2900002-6>
- 13) Henckes A et al.: Risk factors for immersion pulmonary edema in recreational scuba divers: a case-control study. *Undersea Hyperb Med* 46(5):611-618, 2019.
- 14) 芝山正治ら: 潜水に伴う労作強度の検討. *日高圧医誌* 21, 139-145, 1986.
<https://journal.jshm.net/lib/1986/21306.pdf>
- 15) Demetrios A. Raptis, Ryan Short, et al.: CT Appearance of Pulmonary Arteriovenous Malformations and Mimics.
Published Online:Jan 6 2022 <https://doi.org/10.1148/rg.210076>
<https://pubs.rsna.org/doi/full/10.1148/rg.210076>
- 16) D'Souza D, Glick Y, et al. Pulmonary arteriovenous malformation. 2023
<https://radiopaedia.org/articles/pulmonary-arteriovenous-malformation>
- 17) Wilmshurst PT, Nuri M, Crowther A, Betts JC, Webb-Peploe MM: Forearm vascular responses in subjects who developed recurrent pulmonary oedema when scuba diving: a new syndrome. *Br Heart J*. 1981;45:349. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC482532/?page=14>
- 18) 鈴木信哉: ダイビングで息切れを感じたことはありませんか? -浸漬性肺水腫(Immersion Pulmonary Edema)を考える- DAN JAPAN会員誌「Alert Diver Monthly」2019(11).(<http://www.jshm.net/file/genatsu/alertdiver201911.pdf>)
- 19) Edmonds C, Lippmann J, Bove A: Immersion pulmonary edema: an analysis of 31 cases from Oceania. *Undersea Hyperb Med*. 2019;46(5):603-610.
- 20) Xuhua Yu et al.: Bubble-Induced Endothelial Microparticles Promote Endothelial Dysfunction. *PLoS One*. 2017; 12(1): e0168881.
<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0168881>

- 21) 山見信夫ら: 息こらえ潜水における浸水性肺水腫(IPE). 日本高気圧環境・潜水医学会関東地方会誌. 11(1), 28-31, 2011.
- 22) 原田智紀: Acute Altitude Illness: 急性高地性疾患、とくに高地肺水腫(HAPE)について. 登山研修. 39, 22-28, 2024.
<https://www.jpnsport.go.jp/tozanken/Portals/0/images/contents/syusai/2024/tozankensyu39/1-4-vol.39.pdf>
- 23) Swenson ER: Early hours in the development of high-altitude pulmonary edema: time course and mechanisms. J Appl Physiol. 128(6):1539-1546, 2020. <https://journals.physiology.org/doi/epdf/10.1152/jappphysiol.00824.2019>
- 24) 梅田孝ら: 各種運動環境下における好中球・免疫機能動態の検討. 日衛誌. 66, 533-542, 2011.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjh/66/3/66_3_533/pdf-char/ja
- 25) Sureda A et al.: Scuba diving increases erythrocyte and plasma antioxidant defenses and spares NO without oxidative damage. Med Sci Sports Exerc. 41(6):1271-6, 2009. https://journals.lww.com/acsm-msse/fulltext/2009/06000/scuba_diving_increases_erythrocyte_and_plasma.16.aspx
- 26) Sureda A et al.: Scuba diving induces nitric oxide synthesis and the expression of inflammatory and regulatory genes of the immune response in neutrophils. Physiol Genomics. 46(17):647-54, 2014. <https://journals.physiology.org/doi/epdf/10.1152/physiolgenomics.00028.2014>
- 27) 斧康雄: 糖尿病患者の好中球機能異常. 日本化学療法学会雑誌. 64(5), 735-741, 2016.
<https://www.chemotherapy.or.jp/journal/jjc/06405/064050735.pdf>
- 28) 高気圧作業安全衛生規則. 令和5年4月1日 施行 労働安全衛生規則等の一部を改正する省令(令和四年厚生労働省令第八十二号) <https://laws.e-gov.go.jp/law/347M50002000040>
- 29) The international Diver Medical Screen Committee (DMSC): ダイバーメディカル参加者チェックシート. Undersea & Hyperbaric Medical Society https://www.uhms.org/images/Recreational-Diving-Medical-Screening-System/forms/Diver_Medical_Participant_Questionnaire_10346_JPN_Japanese_2022-02-01.pdf
- 30) The international Diver Medical Screen Committee (DMSC): 医師向けダイビングメディカルガイドライン. Undersea & Hyperbaric Medical Society https://www.uhms.org/images/Recreational-Diving-Medical-Screening-System/forms/Diving_Medical_Guidance_JPN_Japan_2023-05-31.pdf
- 31) The Association of Diving Contractors International (ADCi): Diving personnel medical and training requirements. [https://www.adc-int.org/files/ADCi%20PHYSICAL%20&%20MEDICAL%20REQUIREMENTS%20_0\(1\).pdf](https://www.adc-int.org/files/ADCi%20PHYSICAL%20&%20MEDICAL%20REQUIREMENTS%20_0(1).pdf)
- 32) Health and Safety Executive (HSE): Medical examination and assessment of working divers (MA1). <https://www.hse.gov.uk/pubns/ma1.pdf>

高気圧作業安全衛生規則 . 令和5年4月1日 施行 労働安全衛生規則等の一部を改正する省令(令和四年厚生労働省令第八十二号)

(病者の就業禁止)

第四十一条事業者は、次の各号のいずれかに掲げる疾病にかかっている労働者については、医師が必要と認める期間、高気圧業務への就業を禁止しなければならない。

- 一 減圧症その他高気圧による障害又はその後遺症
- 二 肺結核その他呼吸器の結核又は急性上気道感染、じん肺、肺気腫その他呼吸器系の疾病
- 三 貧血症、心臓弁膜症、冠状動脈硬化症、高血圧症その他血液又は循環器系の疾病
- 四 精神神経症、アルコール中毒、神経痛その他精神神経系の疾病
- 五 メニエル氏病又は中耳炎その他耳管狭さを伴う耳の疾病
- 六 関節炎、リウマチスその他運動器の疾病
- 七 ぜんそく、肥満症、バセドー氏病その他アレルギー性、内分泌系、物質代謝又は栄養の疾病

<https://laws.e-gov.go.jp/law/347M50002000040>

氏名	生年月日	年 月 日	雇 入 年 月 日	年 月 日
	性別	男・女		
健 診	年 月 日	年 月 日	年 月 日	年 月 日
既 往 歴				
高気圧業務の経歴				
自覚 症状 又は 他覚 症状	関 節 の 痛 み			
	腰 の 痛 み			
	下 肢 の 痛 み			
	耳 鳴 り			
	そ の 他			
骨・ 関節	四肢の運動機能			
	エックス線直接撮影			
聴 器	鼓 膜			
	聴 力			
循 環 器	血 圧			
	心 電 図			
呼 吸 器	肺 活 量			
	肺 換 気 機 能			
尿	糖			
	蛋 白			
作 業 条 件				
参 考 事 項				
医 師 の 診 断				
健康診断を実施した医師の氏名				
医 師 の 意 見				
意見を述べた医師の氏名				

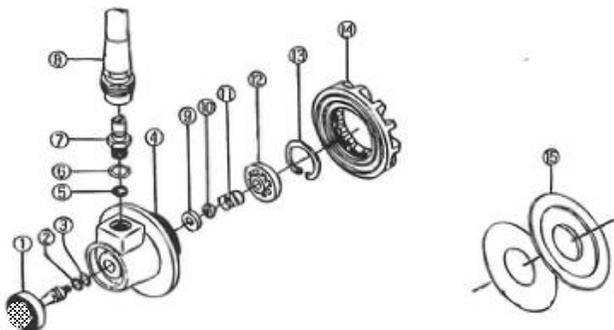
備考

- 1 「参考事項」の欄は、この票に記載した高気圧業務健康診断を行うまでの期間にとられた高気圧障害に関する医学的処置及び就業上の措置について記入すること。
- 2 「医師の診断」の欄は、異常なし、要精密検査、要治療等の医師の診断を記入すること。
- 3 「医師の意見」の欄は、健康診断の結果、異常の所見があると診断された場合に、就業上の措置について医師の意見を記入すること。
- 4 この票に記載しきれない事項については、別紙に記載して添付すること。

バルブ展開図

バルブパーツ

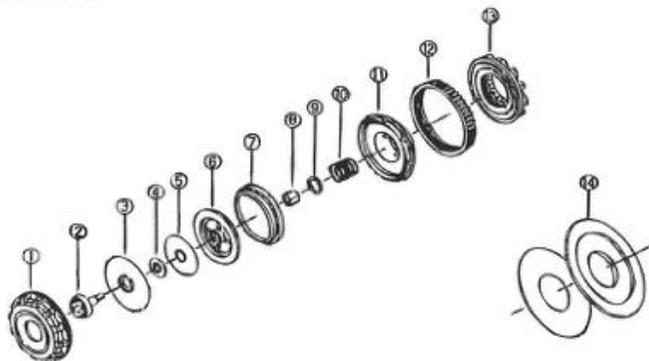
給気



No.	品番	品名	上代
①	NVI-001	インフレットホタン	1,700
②	NVI-002	Oリング	200
③	NVI-003	Oリング	200
④	NVI-004	インフレットホディー	6,000
⑤	NVI-005	フィルター	100
⑥	NVI-006	Oリング	200
⑦	NVI-007	ダイヤル	1,000
⑧	NVI-008	中圧ホース	6,000

No.	品番	品名	上代
⑨	NVI-009	スプリングカバー	200
⑩	NVI-010	ロックナット	100
⑪	NVI-011	スプリング	400
⑫	NVI-012	スプリング調整	1,500
⑬	NVI-013	Gリング	300
⑭	NVI-014	締結ナット	3,000
⑮	NVI-015	バルブプレートセット	1,100

排気



No.	品番	品名	上代
①	NVO-001	バルブケース	3,000
②	NVO-002	エキゾーストホタン	1,000
③	NVO-003	バルブシート(大)	500
④	NVO-004	バルブシート調整	400
⑤	NVO-005	バルブシート(小)	500
⑥	NVO-006	スライドテーブル	2,000
⑦	NVO-007	ダイヤル	1,500
⑧	NVO-008	ロックナット	400

No.	品番	品名	上代
⑨	NVO-009	スプリング調整	300
⑩	NVO-010	スプリング	300
⑪	NVO-011	バルブホディー	3,000
⑫	NVO-012	バルブリング	1,500
⑬	NVO-013	締結ナット	3,000
⑭	NVO-014	バルブプレートセット	1,200

バルブ取扱説明書

■ ■ ■ 水中での排気

▲ 注意

◇下半身が上半身よりも高い位置にあると排気操作されません。水平姿勢より、やや上半身を高い位置において排気バルブの押しボタンを押して排気してください。

▲ 注意

◇排気バルブの押しボタンを押しているときだけ排気されているか？押ししていないときに空気の泡が漏れていないか確認してください。空気の泡が漏れているときは異常なので、ダイビングを中止し、お買い上げ店もしくは弊社までご相談ください。

【お知らせ】

◇排気がスムーズに行われない場合は、左腕をくの字に曲げて、やや上げ、排気バルブの位置を最も高くなるような姿勢をとるとスムーズに排気が行えます。

緊急時の対応

▼浮上が止まらない

▲ 危険

◇ダイビング中もしくは浮上開始時にスピードコントロール出来ない状態での浮上は、『エアエンボリズム』や『減圧症』など人身事故につながる恐れがあります。浮上速度をコントロールした状態で必ず浮上してください。又、排気のしすぎは逆に『潜水落下』を起こして身体に支障をきたすことがあります。

緊急浮上を要する際、ウエイトの失落を起こした際など急激な浮上をよぎなくされた場合は下記の処理方法を行ってください。

- 排気バルブの押しボタンを押し続けても浮上が異常に速い場合などは、脚を広げ、フィンなどで抵抗をつくり、首のネックシール部に手の指をかけてネックシール部を広げて、ドライスーツ内の余剰の空気を排出します。又は、ドライスーツのリストシール部の最も高い位置に持っていき、反対の手でリストシール部を広げて、余剰の空気を排出します。

▲ 危険

◇この方法は『エアエンボリズム』や『減圧症』をさえるための方法であり通常のダイビング中では行わないでください。

【お知らせ】

◇緊急の排気方法は、ドライスーツ内に水が浸入しますが、身体に異常を起こさないための方法であり、指導団体の指導員の元にトレーニングとして行っておいてください。

▼逆立ち状態になった時

▲ 警告

◇逆立ち状態になると排気が行われなくなり、さらに『吹き上げ』が起こりやすくなります。また、ネックシール部やリストシール部より水没も起こりやすくなりますので下記の方法で対処してください。

- ①おむえけになり、フィンや膝などをつかみ上半身をおこします。(ドライスーツ内の空気が上半身に移動します。)
- ②緊急浮上等必要な場合は、排気バルブの押しボタンを押して、ドライスーツ内の空気を排出します。
- ③緊急浮上しなくなり、元の位置に戻ったら、その位置での中性浮力を保つために、給気バルブの押しボタンを継続的に押して空気をドライスーツ内に給気してください。

給気バルブ・排気バルブ

■■ 給気バルブ



■■ 排気バルブ





“O式”ドライスーツ

<http://zero-zero.co.jp/catalog/2024PRO.pdf#page=3>

PROJECT BCフルセット



<https://store.shopping.yahoo.co.jp/verygood/dt-p50-s3.html>

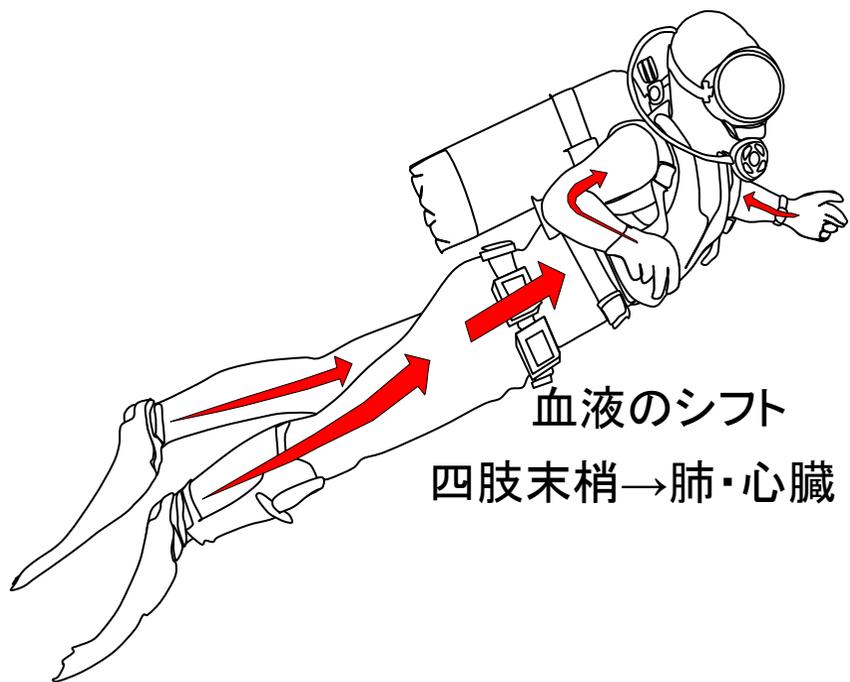


クリップタイプ給気バルブ

<http://www.diveways.jp/products/professionaluse.htm>

浸漬性肺水腫

しん し せい はい すい しゅ



肺にシフトした血液により



心臓にストレス
肺の血管が浮腫む



肺からの酸素取り込みが低下して
低酸素状態になる

浸漬性肺水腫

しん し せいはい すい しゅ

症状

水中で低酸素状態に

水面への浮上に伴い
吸入気酸素分圧が低下

↓
低酸素が進行

意識消失

呼吸困難感
息切れ・喘鳴
喀痰・血痰

【症状についての留意点】

症状は病態の程度と時間経過により出現するため、潜水終了前後で喀痰や血痰が出ないことがある。

呼吸回数やボンベ空気の消費が多いことが特徴といわれるが、レギュレータから空気が来ないと感じるが呼吸が多くなったと自覚しない例もある。

関連する危険因子

- 寒冷
- 過大な運動
- 気道が陰圧(静水圧差・横隔膜痙攣)
 - ・ 吸気努力による陰圧増大
- 心疾患(不整脈・高血圧など)
- 50歳以上
- 薬(降圧剤、解熱鎮痛剤など)
 - ・ 潜水前内服、日常内服
- きついスーツ(BCD, インナー含む)
- 不安・精神的ストレス
- 水分過剰摂取

浸漬性肺水腫の予防と対処

しん し せい はい すい し ゅ

• 予防

- 健診で高血圧、心電図所見、胸部X線所見：潜水専門医受診
- いびき・肥満・寝酒・40歳以上：睡眠時無呼吸、不整脈について医師相談
- 防寒対策：適切な潜水スーツ・インナーの着用、潜水土への温水供給
- 過大な運動・労作の制限
- 血圧管理：減塩、朝夕血圧測定 最高血圧130mmHg以下および最低血圧80mmHg以下維持
 - ✓ 潜水日朝の血圧 150mmHg以上もしくは90mmHg以上の時は潜水中止

• 対処

- 準備
 - 応急用酸素：酸素ボンベ（酸素準備量は救急隊接触もしくは医療施設まで投与可能量）、酸素流量圧力調整器、リザーバー付酸素マスク救急蘇生マスク（ポケットマスク）
 - 心肺蘇生法等の事前教育：酸素投与方法、救急蘇生マスク使用法
 - 水面での作業支援者の配置および意識低下に即応できる救出法の確立
 - 救急搬送について消防署・救急医療施設へ事前相談
- 予知
 - 気象・海象（水温、潮流）、作業負荷量、作業時間、潜水土年齢・体調
 - 潜水土呼吸監視：呼吸音、呼吸回数、ガス消費量、呼吸感覚
 - 浮上時、浮上後の観察
- 処置
 - 気道確保、応急用酸素吸入（流量15L/分）
 - 呼吸なければ人工呼吸（救急蘇生マスクに酸素接続）、胸骨圧迫（二人法）
 - 救急要請し、救急隊に引き継ぐまで人工呼吸2回と胸骨圧迫30回サイクル継続
 - 動脈ガス塞栓症の可能性と再圧処置の要否について潜水専門医に相談

- ① エントリー時に息切れを感じた場合にはその後IPEとして発症する可能性があることから潜水は中止とする。
 深度が深くなると吸入気酸素分圧が高くなり、息切れが隠れてしまう落とし穴がある。
 その後浸漬性肺水腫状態が深刻となり、吸入気酸素分圧が高くても換気量が増え、浮上により吸入する空気の酸素分圧が低下するに従い換気量が更に増大し、気道内圧があがり動脈ガス塞栓症が起きやすくなる。
 浮上前に既に換気量が多い場合には浮上に伴う異常な過呼吸が予測されるため、水面浮上まで見守り補助が必要である。
- ② 水中の運動量に関係なく潜水呼吸ガスの消費が多いと覚知した場合は浮上してその後の潜水を取りやめる。

酸素流量調整器

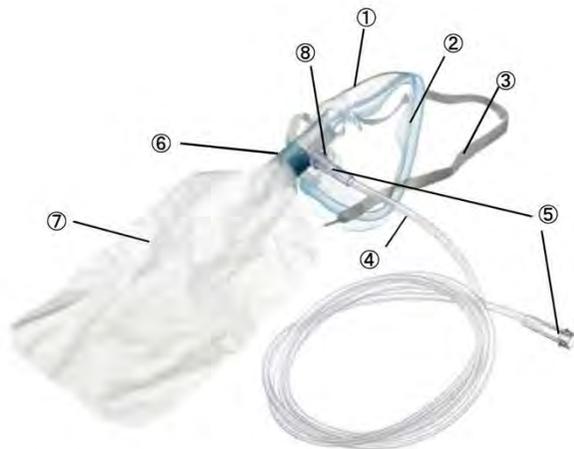


<https://awmi.co.jp/product/978/>



<https://www.shinei.me/catalog/book/pdf/9.pdf>

リザーバー付き酸素マスク(高濃度酸素マスク)



サイズ : S, M/L

番号	各部の名称	番号	各部の名称
①	マスクシェル	⑤	酸素チューブコネクタ
②	マスククッション	⑥	非再呼吸弁
③	ストラップ	⑦	非再呼吸バッグ
④	酸素チューブ	⑧	呼気弁

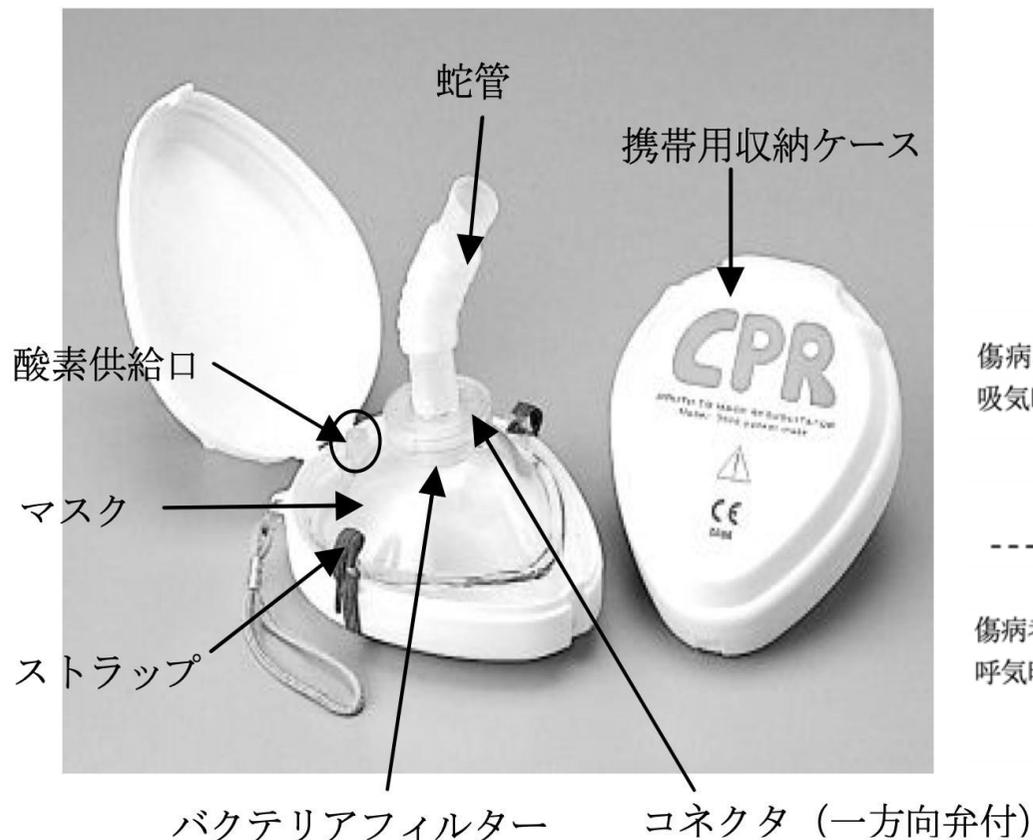


https://www.info.pmda.go.jp/downfiles/md/PDF/530579/530579_228ABBZX00045000_C_16_03.pdf

酸素ボンベの容量は、毎分15Lで酸素吸入しながら救急隊
接触もしくは医療施設まで投与可能であること
(3Lの酸素ボンベであれば30分間投与可能)

救急蘇生マスク(酸素インレット付 ポケットマスク)

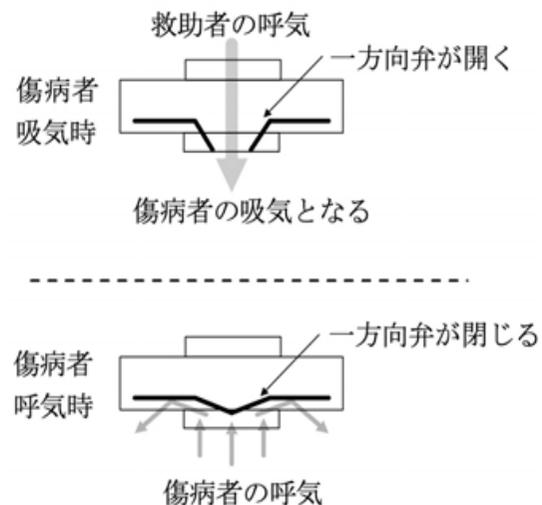
【各部の名称】



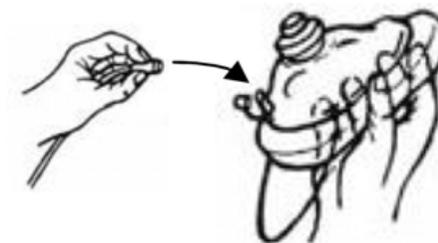
https://www.muranaka.co.jp/upload/pdf/50201431_Z05_torisetsu.pdf

救急蘇生マスクは主として屋外で人工呼吸が必要なとき、マスクを通して患者の肺に強制的に酸素を送り込むために使用する。マウス・ツー・マウス蘇生法の代替とすることを目的としているため、交差感染を防ぐことができる。

【一方向弁の原理】



酸素チューブを接続

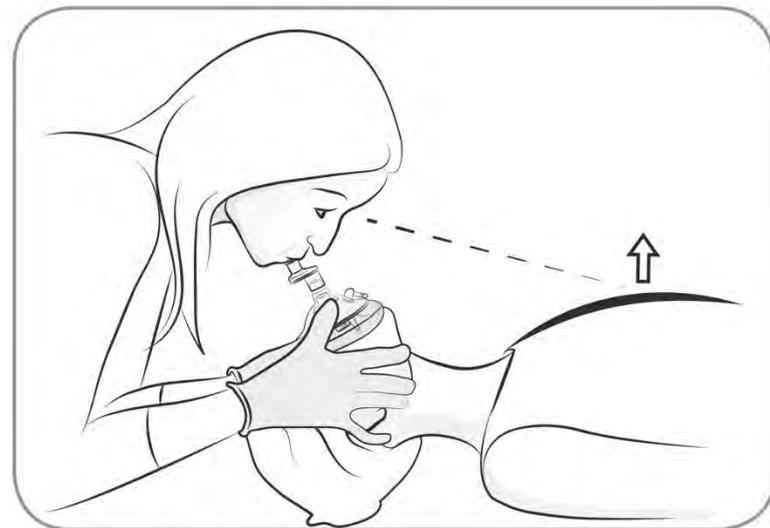


蛇管を口にくわえ人工呼吸
傷病者の胸が膨らむまで
ゆっくりと息を吹き込み、傷
病者に息を吐き出させる。

救急蘇生マスク(酸素インレット付 ポケットマスク)



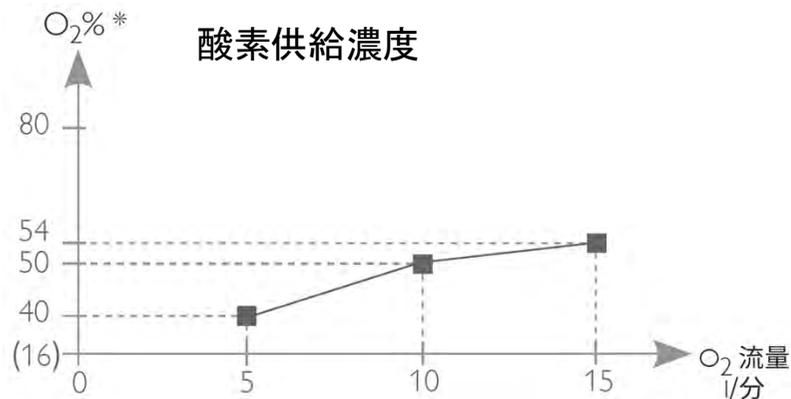
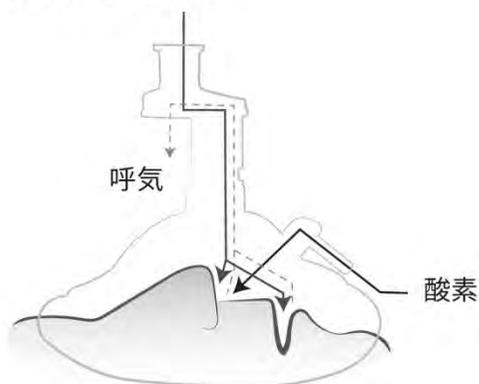
酸素投与時 - 酸素ホースをマスクの酸素インレットに接続します。



図の通りにマスクを密着させ、胸が上昇するまでゆっくり息を吹き込みます。



酸素を使用しての換気



* 1 回換気量 600 ml、1 分あたり 15 回の換気、1.5~2秒の吸気時間でテストした酸素富化口対口換気からの吸気酸素 (FiO₂) の割合。

<https://laerdal.com/jp/doc/113/82-00-Laerdal-Pocket-Mask#/Downloads>

https://cdn.laerdal.com/downloads/f6290/user_guide_-_pocket_mask_with_oxygen_inlet_japanese_

<https://laerdal.com/jp/products/medical-devices/airway-management/laerdal-pocket-mask/>

水温と温水服による防寒 (US Navy Diving Manual 1985)

