

第4回

潜水事故総合検討会 (CPC)

2023年8月1日(火)18時～20時:Web会議

結果概要

Ver. 1.1(2023.12.17)

主催:一般社団法人 日本高気圧環境・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 救急隊・収容先病院の経過 | 12 |
| ③ 臨床経過から考えられる病態について | 16 |
| ④ 剖検結果と病態 | 17 |
| ⑤ 総合的な検討による病態 | 18 |
| ⑥ 死因及び病態のまとめ | 19 |
| ⑦ 本例から学ぶもの | 20 |
| 4. おわりに | 21 |
| 5. 参考資料・文献 | 22 |

はじめに

69歳レジャーダイバーの症例です。

9年前に狭心症の症状がありその後内服薬にて良好にコントロールされていて、毎朝の運動トレーニングを欠かさないなど体調管理にとっても留意されていて同年代よりもかなり体力のある方でしたが、最近出てきた腰痛が落ち着いた4ヶ月ぶりのダイビングにて浮上後間もなく意識消失しました。直ちにボートに引き上げられて人工呼吸を含む蘇生が行われましたが、一度も心拍再開することなしに救急搬送先の病院にてお亡くなりになりました。ご家族様をはじめいつも一緒に潜られていたダイバーやインストラクターにとってもまったく思いもよらない事故となっています。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。

本事故症例は海上保安部が担当され大学医学部法医学講座において司法解剖が実施されました。日本高気圧環境・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。ご遺族様、消防本部、海上保安庁、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、高気圧医学専門医など関係各位からご協力いただき検討会を実施することができました。厚く御礼申し上げます。

2023年11月10日

一般社団法人 日本高気圧環境・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)

| | | | |
|-------|---------------------|-------|-----------------------|
| 伊藤憲佐 | 亀田総合病院救命救急科 | 土居 浩 | 牧田総合病院蒲田分院 |
| 江崎裕敬 | 所沢ハートセンター | 堂本英治 | けいゆう病院病理診断科 |
| 遠藤 剛 | 逗子市消防本部 | 西川朋美 | 海上保安庁湘南海上保安署 |
| 大橋正樹 | 亀田総合病院救命救急科 | 西田芳祐 | 逗子市消防本部 |
| 垣本由布 | 東海大学医学部基盤診療学系法医学 | 野澤 徹 | 一般社団法人日本海洋レジャー安全・振興協会 |
| 加藤菜穂 | 福島県立医科大学医学部法医学講座 | 橋本昭夫 | 日本潜水協会, 高気圧作業支援事務所 |
| 北村伸哉 | 君津中央病院救命救急センター | 林 敬人 | 鹿児島大学大学院医歯学総合研究科法医学分野 |
| 小山 敦 | いわき市医療センター救命救急センター | 藤田 智 | 名寄市総合病院 |
| 重松美加 | 国立感染症研究所 | 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 | 防衛医科大学校分子生体制御学講座 | 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高気圧酸素治療室 | 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 | 日本医科大学多摩永山病院総合診療科 | 山上 浩 | 湘南鎌倉総合病院 |
| 瀧端康博 | 海上自衛隊呉衛生隊 | 山見信夫 | 医療法人信愛会山見医院 |
| 辻山美菜子 | 湘南鎌倉総合病院 | 和田孝次郎 | 防衛医科大学校 脳神経外科学講座 |

症 例

69歳 男性

心疾患の既往があり4ヶ月ぶりのレジャーダイビング

① 潜水事故概要

20XX年3月にダイビングショップ・インストラクタとともに最大潜水深度21.4m, 潜水時間37分の空気スクーバによるボートダイビング(ボートからエントリーしてエキジット)を実施した。

ダイビング中に空気残圧が少なくなったため浮上開始したが、水深5メートルの位置で指示された安全停止をせずに浮上した。海面に浮上後、近くのボートに上がる前に意識不明となる。

ダイビングボート上で心肺蘇生を受けつつ入港地の救急隊に引き継がれ、病院へ搬送されたものの、蘇生に至らず死亡した。

1 事故者の背景

日本人69歳男性 身長169cm 体重67.5kg BMI23.6 職業:整体師

ダイビング歴は長いが途中ブランクあり、数年前から月1回ほどのペースで通算では150本以上、事故当日は腰痛などにより4か月ぶりのダイビングであった。

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。

アルコールを飲まないで寝付けず、毎晩晩酌をしており、事故前夜もビール350mL、焼酎グラス1杯、ワイン200mLを飲んでいる。鼾あり、睡眠時に無呼吸あるが診断されているわけではない。仕事の合間に短時間寝ることがある。

喫煙:9年前までは5本/日×41年 以後禁煙

家族歴 父親:82歳没高血圧 母親:90歳没 妹:事故死 妹:膠原病

2 既往歴

#1 冠攣縮性狭心症、発作性心房細動、高血圧

9年前に運動中や入浴中、夜間に心窩部から胸への圧迫感や動悸感があり、頻度が増加してきたため循環器専門病院を受診。その3年前に他院にて不整脈を指摘され当院への受診を勧められていた。受診時理学的身体所見に異常なく、心電図では正常洞調律で早期再分極以外所見なく、心エコーでは心収縮力正常、心肥大や心拡大なく、心臓の明かな拡張障害を認めず、有意な弁膜症なく、下大静脈の拡大もなかった。冠動脈CT上、LAD#6に石灰化を伴う75%-90%の狭窄が疑われたが、カテーテル検査では冠動脈に有意狭窄を認めず、アセチルコリン100 μ g冠注にて99%の過収縮を全般に認め、症状の再燃と心電図変化もあり、冠攣縮性狭心症の診断となった。冠攣縮性狭心症の発作はジルチアゼムにて良好にコントロールされており、20XX-9年8月以降、一度も発作は起きていない。発作性心房細動を認めしたが、発作はほとんどなく、9年間の経過で記録されたのは1回のみであった。20XX-3年中性脂肪高値にてパルモディア錠の内服を開始した。20XX-2年頸動脈エコーにて有意狭窄は認めないが、両側頸動脈にプラークを認め、IMT 1.9mmと増加。年齢も67歳となっており、CHA₂DS₂-VASc 2点となったため、経口抗凝固薬エドキサバン30mg開始。経過中のその他の愁訴としてはめまい・ふらつき・浮動感・胃部不快感・逆流性食道炎・花粉症・前立腺肥大に伴う頻尿があったが、重大な疾病に伴うものではなく、投薬にてコントロール下にあった。

内服薬：ジルチアゼム塩酸塩徐放カプセル100mg、ツムラ八味地黄丸エキス顆粒、パルモディア錠0.1mg、エドキサバンOD錠30mg、ビオスリー配合錠、ネキシウムカプセル20mg

#2 腰部脊柱管狭窄症、閉塞性動脈硬化症

腰痛、間欠的跛行あり前年12月から整形外科外来にて腰部脊柱管狭窄症と診断され、痛みを緩和するため、2週間に1度の頻度で注射や点滴を打ってもらっており、事故日の前日には痛みはなかったようだが点滴*を打ってもらっていたとのこと。

*ノイロトロピン、ザルソロイチン、ビタメジン、デカドロン、パルクス(アルプロスタジル)

内服薬：リマプロストアルファデクス錠20 μ g 2x、プレガバリンOD錠300mg 2x、セレコキシブ錠200mg 2x、サインバルタカプセル30mg 1x、メコバラミン錠、ユベラNカプセル



潜水場所



12L スチール製ボンベ



使用した潜水器



3. 事故の状況

気温14.9℃、水温15.1℃、天気：晴、波高43.6cm、うねりなし、潮流わずか*、水中視界5～8m

(水温、水中視界：イントラ情報。気温：藤沢市辻堂地域気象観測所、波高：平塚沖波浪観測塔データ)*潮流：関係者情報、具体的な数値は不明

9時21分頃、事故者はインストラクタや他のダイビング客と共にダイビングボートから潜水開始した。開始時、事故者の12リットル空気タンク圧は200 barであった。

潜水開始して26分経過した頃、事故者のタンク残圧が100barを切ったため、他のダイビング客と離れてインストラクタとともに安全停止深度まで移動を開始した。

移動途中の潜水開始して28分経過した頃、事故者のタンク残圧が70barを切ったため、インストラクタとオクトパスブリージングを実施した。

潜水開始して33分経過時、まだ海底にいる他のダイビング客に浮上の案内をするため、インストラクタは事故者とのオクトパスブリージングをやめて、事故者には安全停止深度である水深5メートルまで浮上して安全停止するよう指示して、その場を一旦離れる。

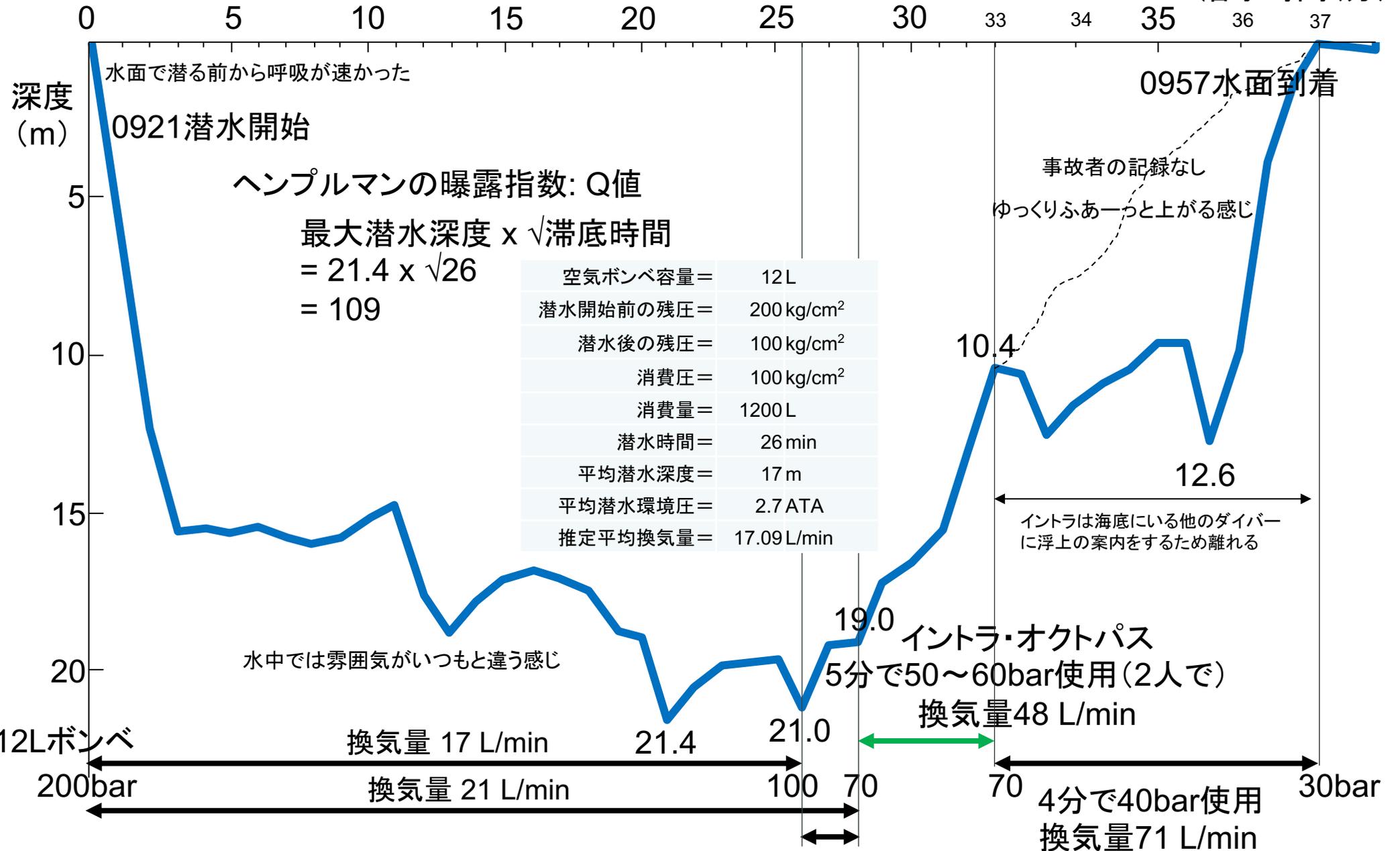
数分後、インストラクタが再び事故者の所へ戻る途中、事故者が安全停止せずにゆっくりと水面に向かって浮上していくのを目撃したインストラクタは、異常を感じたため事故者を追いかけて急浮上した。

9時57分頃、事故者は海面に浮上し、インストラクタの呼びかけに「はい」と返事をした時は顔面が蒼白であった。約2メートル離れたダイビングボートのロープに手をかけたところで意識不明となり、ダイビングボートに揚収するも、呼吸、意識もない状態であったため、インストラクタ等がCPRを実施した。なお、意識不明となったときにインストラクタが付いていたため顔面が水に漬かることはなかった。インストラクタの水面浮上は事故者が水面到着後数秒というタイミング。

ボート上でのCPRは、胸骨圧迫とインストラクタが気道確保してマウスツーマウスを行い胸部が拳上するのを確認している。口からは血が混じった分泌物があった。マウスツーマウスでは吹き込み難かった感じあり。約5分ぐらい経ってから一緒にダイビングをされていた医師がCPRに加わった。

ダイビングプロフィール (インストラクタ)

潜水時間(分)



事故後: 潜水器材には異常は認められなかった。

換気量 (40)~60 L/min

② 救急隊・収容先病院の経過

意識消失後の経過

09時57分頃事故者は海面に浮上し間もなく意識不明となり、ダイビングボートに揚収後、胸骨圧迫開始。5分以上経過後気道確保されCPR

10時00分：ダイビングボート船長から118番通報。港へ向かう。

10時02分：消防覚知 119番通報

10時04分：救急指令「友人通報 69歳男性 スキューバダイビング中CPA」出場途上にバイスタンダーによる胸骨圧迫実施中、現在沖合から船が向かっていると追加情報ありブリーフィング実施：想定疾患は減圧障害、溺水、急性心筋梗塞として救命資器材を確認し、人工呼吸については肺圧挫傷に対する配慮として、胸部挙上が確認できれば必要以上に送気しないことを注意喚起。減圧障害に対応が可能な医療機関の情報を隊員間で共有

10時14分：現場到着 沖合に船を確認し棧橋到着までの時間を確認し、救急指定病院医師に減圧障害を疑う傷病者の収容可否についてオンラインメディカルコントロールを行い、CPAであれば収容可能と回答を受ける。搬送資器材を準備して棧橋で待機

10時19分：救急隊接触時、船内でバイスタンダーによる有効とみられる胸骨圧迫実施中 棧橋上に配置したスクープストレッチャーに移動 呼吸・脈拍ともになくCPA確認し、搬出を優先し、棧橋から10m離れた岸壁まで搬出

10時21分：車内収容 CPA、両瞳孔6mm対光反射なし、体温35.5℃、心電図で心静止

10時23分：救急指定病院へ指示要請と収容依頼し、静脈路確保とラリゲアルチューブ4号の指示と収容可能の回答

10時26分：ラリゲアルチューブ4号による気道確保完了、静脈路確保は2回実施して腫れあり中止

10時28分：救急隊が病院向け搬送開始。病院到着まで心静止

10時50分：病院着、救急初療室入室。呼吸停止。モニター波形 心静止。両瞳孔 5mm対光反射なし。CPR開始

10時55分：心静止

10時57分：心静止

10時58分：気管挿管 気管内分泌物として泡沫状の痰はほとんどなく、特に吸引が必要ということはない。

10時59分：心静止

11時00分：血液ガス採取 何人かの医師で行ったが空気しか引けない状態で血液採取に時間がかかった。

11時01分：CPR中止

11時16分：死亡確認

病院での処置は気管挿管のみであり、蘇生が見込まれなかったため、薬液投与、血液検査は実施せず。

来院時動脈血液ガス

| | |
|-------|-------------|
| pH | 測定不能 |
| PCo2 | 測定不能 |
| PO2 | 10.3mmHg |
| HCO3- | 測定不能 |
| B.E. | 測定不能 |
| Na+ | 152.1mmol/L |
| K+ | 8.9mmol/L |
| 乳酸 | 17.45mmol/L |

ダイビング死亡事故症例コメント

心肺停止 (10:00) から約1 時間38 分、死亡確認から約22 分での撮影です。

【画像】 03/** 11:38 Ai-CT

【所見】

1. 頭部CT

頭蓋内の動脈に大量のgas が認められる。頭蓋内に明らかな出血巣は指摘できない。副鼻腔、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

気管内挿管後。先端は気管内に認められる。

舌骨、甲状軟骨、頸椎に明らかな骨折は指摘できない。両側椎骨動脈、総頸動脈内にgas が充満している。

3. 胸部CT

胸骨、肋骨、胸椎に明らかな骨折は指摘できない。明らかな気胸、胸水、心嚢液の貯留は指摘できない。

上行大動脈、右冠動脈、右室右房、左室、両側冠動脈にgas が貯留している。両側冠動脈には石灰化が認められる。心大血管内には血液就下が認められる。

気管、左右主気管支の膜様部は圧排されている。気管遠位から両側主気管支内に液体貯留が認められる。

肺野、両側上葉に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。気管支壁の肥厚、肺門部周囲浸潤影は明らかではない。

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。

明らかな腹水、腹腔内free air は指摘できない。

腹部大動脈、下大静脈内はgas が貯留し、腹部臓器、腸間膜の血管内にgas が認められる。

胃はgas で拡張し内部に食物と思われる少量の内容物が認められる。

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】

心肺停止後約1.5 時間前後の撮影としては、大量の血管内gas が認められます。

肺野のスリ硝子影は溺水の可能性も考えられますが、副鼻腔、胃内に液体貯留が認められない点が非典型です。

気管、左右主気管支膜腰部に圧排が認められ、胸腔内圧の上昇を示唆すると思われます。

以上より、肺過膨張による体循環系への大量gas の流入が考えられます。

他に明らかな直接死因を示唆する所見は指摘出来ません。

本症例の特徴

1. 60歳代のスクーバ潜水
 - ① 冠攣縮性狭心症、発作性心房細動、高血圧、脂質異常症、41年の既喫煙者
 - ✓ 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
 - ② 脊柱管狭窄症にてPGE1、プレガバリン使用、前日点滴治療
 - ③ 4ヶ月ぶりのダイビング
 - ④ 前日の飲酒
 - ⑤ 睡眠時無呼吸疑い

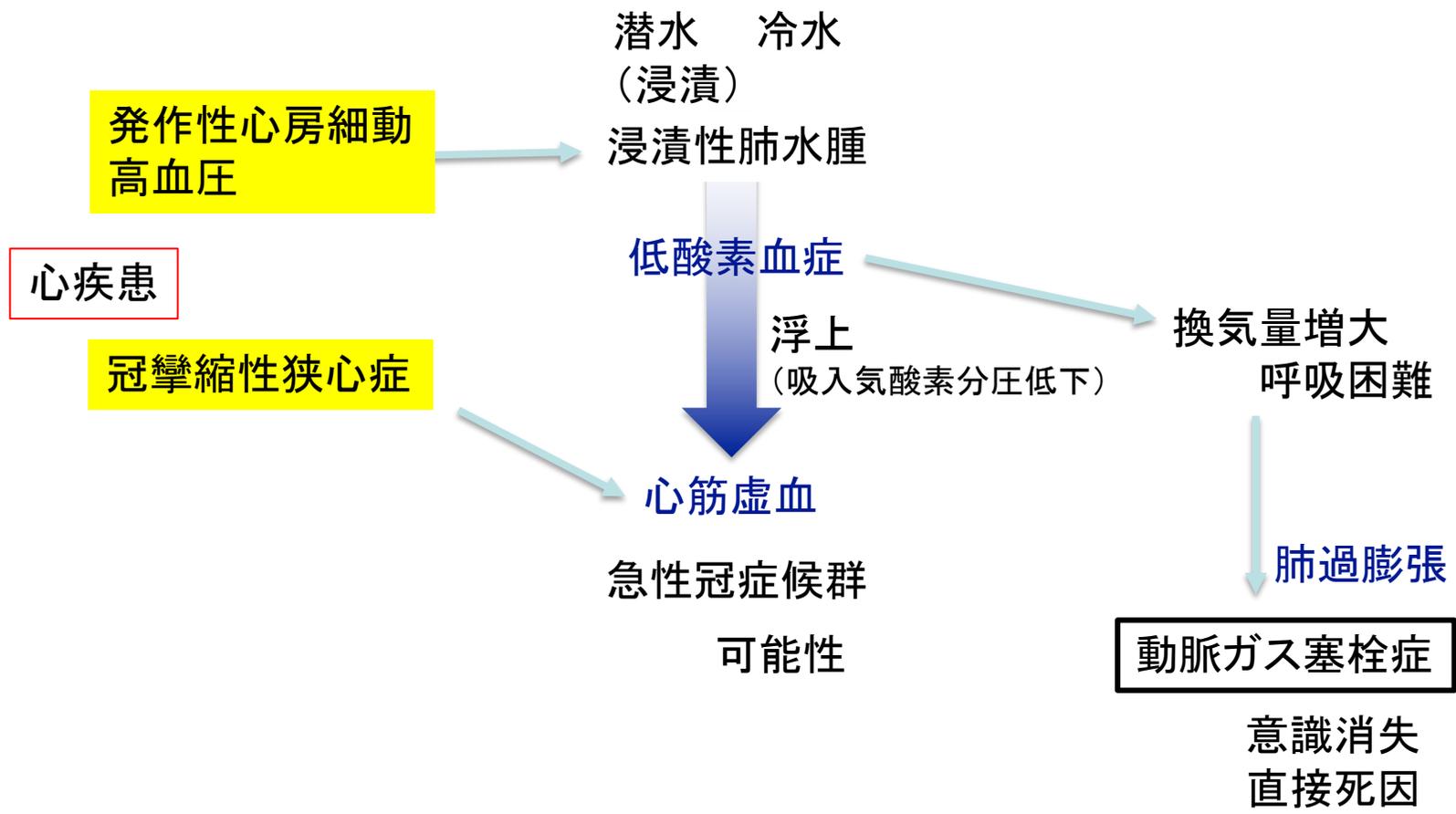
2. 潜水経過と症状
 - ① その日最初のダイビング
 - ② 呼吸数・換気量増大
 - ✓ 入水時に増加
 - ✓ 15m深度で一旦落ち着く
 - ✓ 中盤から次第に増大
 - ✓ 水面近くで極めて多い換気量
 - ✓ 普段の潜水でも多く、3回に1回はボンベ空気が不足
 - ③ オクトパス・ブリージング
 - ④ 安全停止せず浮上だがQ値:109、ゆっくり浮上
 - ⑤ 浮上後まもなくボートに上がる前に意識消失

3. 蘇生処置に抵抗
 - ① バイスタンダーによるCPR開始
 - ② 浮上3分後救急要請
 - ③ 浮上23分後救急隊接触
 - ✓ CPA確認、ラリングルチューブ使用
 - ✓ AED実施せず 心電図で心静止(以後不変)
 - ④ 浮上31分後病院へ搬送開始
 - ⑤ 浮上53分後病院に到着
 - ⑥ 浮上61分後気管挿管
 - ⑦ 浮上63分後血液ガス採取時空気のみ吸引
 - ⑧ 浮上64分後蘇生中止、死亡確認

4. Ai-CT 死亡確認から22分後
 - ① 動脈血管内の多量のガス像
 - ② 肺に過膨張を疑う所見

③ 臨床経過から考えられる病態について

病態



④ 剖検結果と病態

剖検所見

CT : 急浮上29時間後
 : 背側の気泡が腹側へ移動、大動脈内の気泡増加、筋肉内の気泡減少

外表 : 身長169cm、体重67.5 kg。頭部はうっ血、治療痕以外に大きな傷はない。

脳 : 1307g 脳底動脈の硬化高度、脳表血管内に少量のガス像を認める。
 : 神経細胞の数と構築は正常。くも膜下・脳実質ともに出血・炎症はない。脳表・脳実質内ともに血管内ガス像は目立たない。

肺 : 胸水貯留(左22mL,右17mL)。気管内に泡沫血性液貯留。左肺525g/右肺611g。両肺うっ血高度。肺動脈血栓なし。
 : 肺胞内に少量の漿液が貯留。小血管内に微細ガス像。一部の肺胞内で出血するが炎症所見は乏しい。

心臓 : 求心性心肥大(468g)。大動脈弁硬化なし。心筋癒痕なし。
 : 冠状動脈3枝で脂質を多量に含む多相性プラーク形成。左冠状動脈前下行枝#6ではプラークが破綻しフィブリン血栓を伴う。
 : 心筋と核は肥大するが走行は正常。左室前壁の心筋に収縮帯壊死・好酸性波状変性。炎症・線維化はない。急性心筋梗塞

肝臓 : 軽度の脂肪沈着。炎症・線維化はない。中心静脈と類洞内に微細ガス像

腎臓 : 糸球体の数と構築に異常はない。炎症・線維化はない。血管内ガス像は目立たない。

組織検査のまとめ:

左冠状動脈前下行枝のプラーク破綻。心臓左室前壁の急性心筋梗塞。高血圧性心肥大。
 諸臓器の小血管内微細ガス。軽度の脂肪肝。諸臓器うっ血

| 検査項目 | ナトリウム | クロール | カリウム | カルシウム | マグネシウム |
|------|-------------|-------------|-----------|------------|------------|
| 単位 | (Na) rnEq/L | (Cl) rnEq/L | (K) mEq/L | (Ca) mg/dL | (Mg) mg/dL |
| 左胸腔液 | 111 | 84 | 40.4 | 10.4 | 6.4 |
| 右胸腔液 | 108 | 80 | 42.8 | 10.5 | 6.6 |

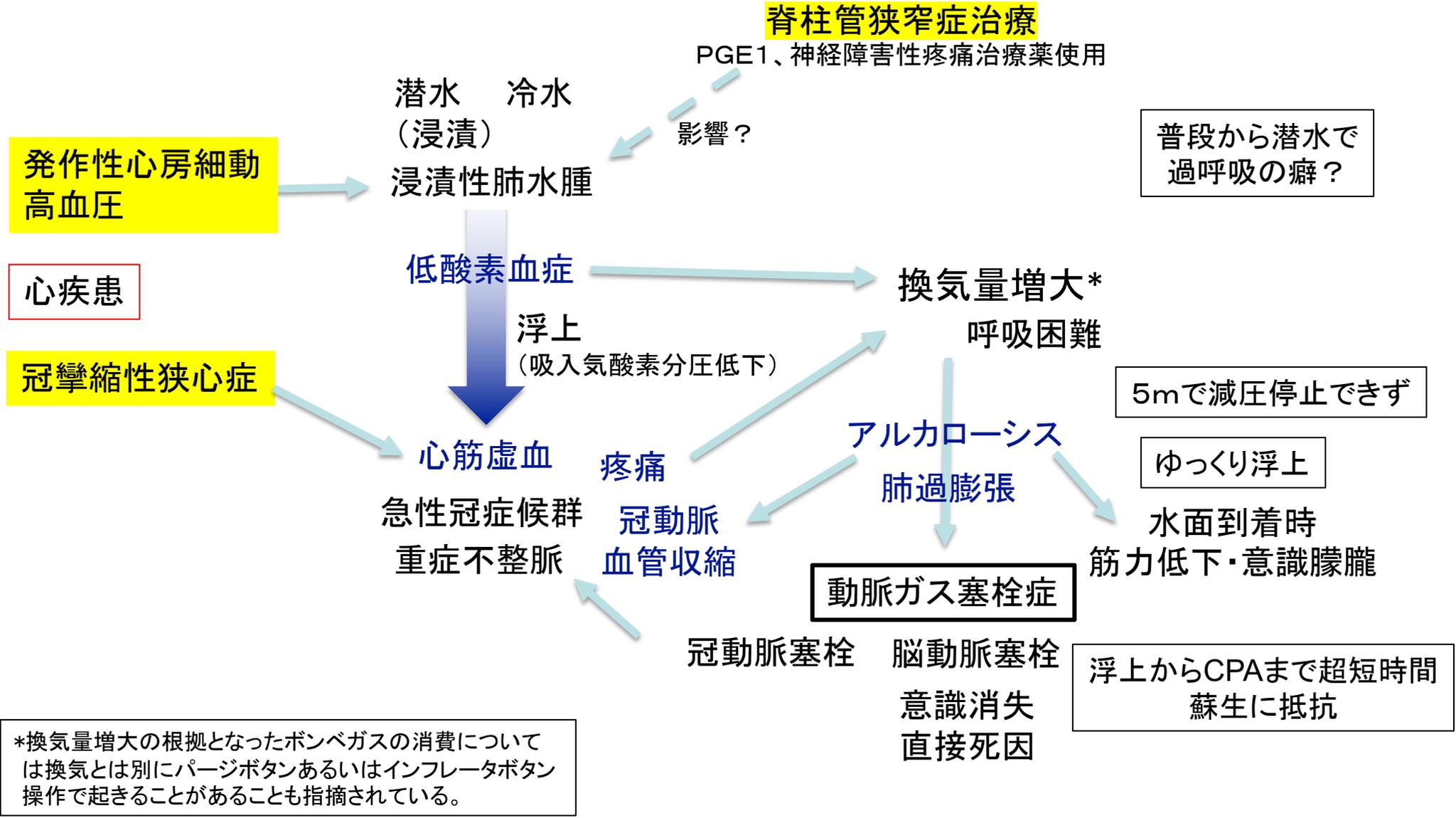
多量の海水はのんでいない。

| 項目 | 基準値 | 結果 | ビリルビン分画 (直接, 間接) | |
|-------------|--------------|-------|------------------|----------------------|
| BNP | < 18.4 pg/mL | 20.5 | 直接ビリルビン | < 0.4 mg/dL 0.4 |
| 総蛋白(TP) | 6.7~8.3 g/dL | 11.5 | 間接ビリルビン | < 0.8 mg/dL 0.3 |
| HDL-コレステロール | 40~86 mg/dL | 48 | 尿素窒素(UN) | 8.0~22.0 mg/dL 32.7 |
| LDL-コレステロール | 70~139 mg/dL | 237 | クレアチニン | 0.61~1.04 mg/dL 3.45 |
| CRP定量 | < 0.30 mg/dL | 0.076 | γ-GT (γ-GTP) | < 70 U/L 34 |
| | | | コリンエステラーゼ (ChE) | 242~495 U/L 402 |

薬物スクリーニング: いずれも陰性

⑤ 総合的な検討による病態

病態



⑥ 死因および病態のまとめ

死因および病態のまとめ

- 1 本症例は動脈ガス塞栓症が直接の死因であると考えられる。
 - 1) 水面への浮上時に気泡が血管内に入り動脈ガス塞栓症を引き起こして水面到着直後に意識消失したと考えられる。
 - 2) 過呼吸状態で水面へ浮上したため、気道内圧があがって肺過膨張状態となり、気泡が血管内に入ったと考えて矛盾はない。
 - 3) 過呼吸は浸漬性肺水腫による低酸素血症が水面への浮上とともに深刻となり呼吸困難感が増大したためと考えられる。
 - ・ 過呼吸によりアルカローシスとなり冠れん縮が誘発されて心筋虚血となり、その疼痛により過呼吸が更に高度になった可能性がある。
 - 4) 動脈内ガスの分布と量から心肺蘇生に抵抗して一度も心拍再開がなかったことを説明することができる。
- 2 心血管イベント
 - 1) 浸漬性肺水腫による低酸素血症、更には過呼吸によるアルカローシスから冠れん縮が誘発され心筋虚血となった可能性がある。
 - 2) 冠動脈#6に血栓が詰まっていたかは不明だが収縮帯壊死に局在性があることから心筋梗塞になったと考えられる。
 - 3) NSTEMI(non-ST-elevation myocardial infarction: 非ST上昇型心筋梗塞)の可能性がある。
- 3 浸漬性肺水腫
 - 1) 水中の運動量に関係なく呼吸量が多く水面への浮上時には更に増えていることから浸漬性肺水腫が起きた可能性がある。
 - ・ エントリー時に呼吸量が増えるもその後落ち着いたのは潜降による吸入気酸素分圧の増加で低酸素状態が緩和された可能性がある。
 - ・ 潜水継続により浸漬性肺水腫の病態が進んで潜水後半では呼吸量が増え、浮上による吸入気酸素分圧の低下で低酸素状態が深刻となり、更に呼吸量が増えたと考えられる。
 - 2) 浸漬性肺水腫の発症因子としては、50歳以上の高齢ダイバー、心疾患の既往(高血圧・発作性心房細動・冠攣縮性狭心症)、内服薬(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)、水温15.1°Cが考えられる。
 - 3) 空気ポンベのエアが少なくなりバディブリージングをこれまで3回に1回は行っていたことから、浸漬性肺水腫を繰り返していた可能性がある。
- 4 水面到着前後の意識状態について
 - 1) ゆっくりと水面に浮上していることから、水面到着までは浮上に伴う浮力調整が適切に操作できる意識状態であったと考えられる。
 - 2) 予定されていた減圧停止を行わなかったのは異常な呼吸困難感により余裕がなくなった結果であると推測される。
 - 3) 浮上直後の呼び掛けに対して「はい」と答えたものの顔面蒼白であり直後に意識が消失していることから、浮上直後に急速に意識が低下する病態があったものと考えられる。浸漬性肺水腫が進んでいる状態で浮上に伴う吸入気酸素分圧の低下による低酸素血症の進行、過呼吸状態での浮上による動脈ガス塞栓、心筋虚血による重症不整脈のいずれか、もしくは複合して意識が急速に低下したのものと考えられる。

⑦ 本例から学ぶもの

本例から学ぶもの

1 事故予防・予知

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

- 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ダイビングは中止とする。
 - ✓ 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ダイビングを取りやめる。
- ③ ダイビング中、特に浮上時に呼吸困難感や呼吸量の増加が見られたとき、もしくは過去に繰り返して潜水呼吸ガスの残圧減少イベント(オクトパス・ブリージングなど)がある場合は潜水医学を専門とする医師の診察を受けることが推奨される。
- ④ 50歳以上のダイバー、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ダイビングの可否やダイビングで配慮すべき事(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。特に疾患治療のためダイビングをしばらく休んでいた場合には、ダイビングを再開する前の受診相談が推奨される。(資料3~5参照)

2) 心血管イベントについて

心疾患の既往がある場合は循環器専門医と潜水医学専門医が情報を共有して潜水適性について検討されることが推奨される。

2 事故対処

1) 浸漬性肺水腫への早期対応

インストラクタ等周りのダイバーは、当ダイバーの過換気が進行する前に浮上を誘導し、急浮上とならないように水面浮上まで付き添い、浮上後はエキジットを介助して速やかに高濃度酸素マスクで酸素を吸入させる。

2) 呼吸不全状態の改善

- ① 酸素を投与する。そのために高濃度酸素マスク(リザーバー付きマスク)、酸素ボンベ(救急隊接触まで継続投与できる量)、圧力調整器(15L/分)を事前に準備しておく必要がある。
 - ② 呼吸停止時は救急蘇生マスク(ポケットマスク)に酸素を繋いで人工呼吸する。(資料1参照)
- 3) 意識消失が見られた場合は動脈ガス塞栓症を疑い、速やかに再圧治療施設へ搬送する。再圧施設までの搬送に時間がかかる場合は直近の救急医療施設に搬送して呼吸循環状態の安定化を図り再圧処置のための再搬送について検討する。

おわりに

浸漬性肺水腫Immersion Pulmonary Edema (IPE)¹⁾は、1981年から報告され始めた比較的新しい疾患概念¹⁷⁾で潜水医学専門の医師以外にはまだあまり知られておらず、ダイバーにも近年になり紹介され始めているに過ぎません¹⁸⁾。

人は水に漬かることにより手足の血液が体の中心に移動して心臓や肺がうっ血しやすくなるという生理的な特性をもっていることが基本にあり、これにダイバーの体質や体調のほかに水泳・潜水方法、環境条件が影響して浸漬性肺水腫として発症するものであり、中高年、運動ストレス、冷水曝露、心疾患、その他の疾患や内服薬があるなど、様々な要因が指摘されていて^{4)~10)13)19)}、けっして稀な疾患ではありません。

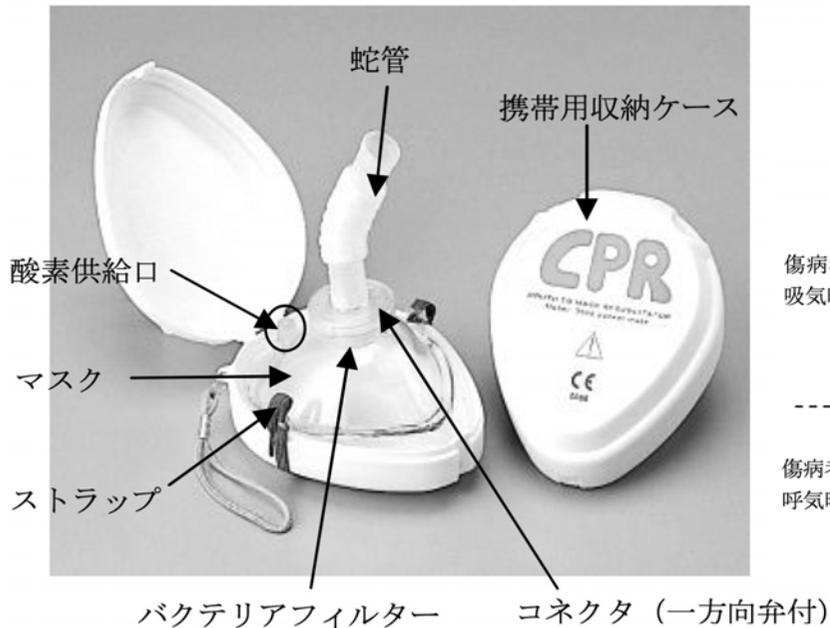
ごくありふれた心疾患としての高血圧があるだけでもIPEの発症リスクとなります。動脈硬化が進んでいて狭心症を持っている場合には、IPEによる低酸素血症が進行すると心筋虚血となって重篤な不整脈を誘発する可能性もでてきます。更には、低酸素血症による過換気となつての浮上は致命的な動脈ガス塞栓を引き起こすこととなります。

水に漬かることのない陸上生活ではIPEに気づくことはないので、IPEという疾患に陥りやすい基礎疾患などの誘発因子がないかどうか、個々のダイバーが健康診断結果に真摯に向き合うことが必要であると思えます²⁾³⁾。

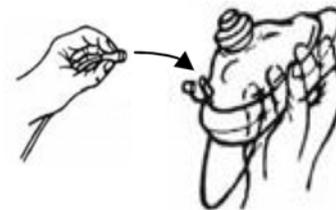
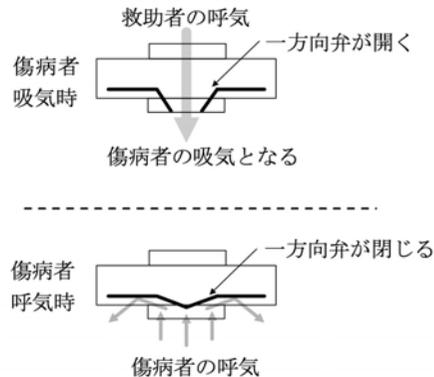
今回の検討により、高齢の方、既往疾患のある方がダイビングを行う上で、IPEによる事故の予防や対処について具体的な留意点を抽出することができました。今回のような事故を二度と繰り返すことがないように役立てることができれば幸いです。

救急蘇生マスク(ポケットマスク)

【各部の名称】



【一方向弁の原理】



酸素チューブを接続

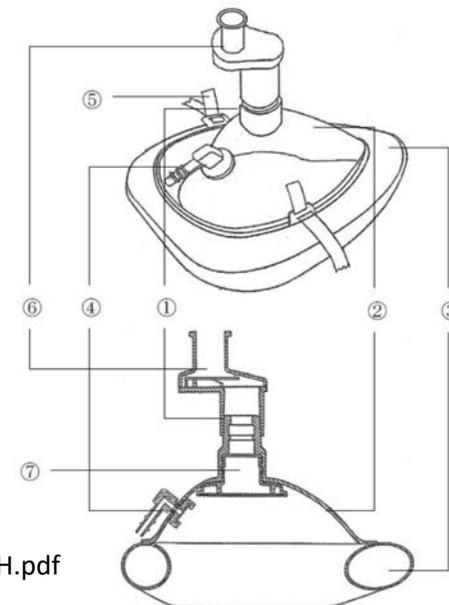


蛇管を口にくわえ人工呼吸
傷病者の胸が膨らむまで
ゆっくりと息を吹き込み、傷
病者に息を吐き出させる。

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。

| 番号 | 名称 |
|----|-----------------|
| ① | 一方向弁取付部 |
| ② | マスクドーム |
| ③ | マスクカフ |
| ④ | 酸素インレット |
| ⑤ | ヘッドストラップ(オプション) |
| ⑥ | 一方向弁 |
| ⑦ | フィルタ |



https://cdn.laerdal.com/downloads/f6821/_I01601H.pdf

資料2 10)

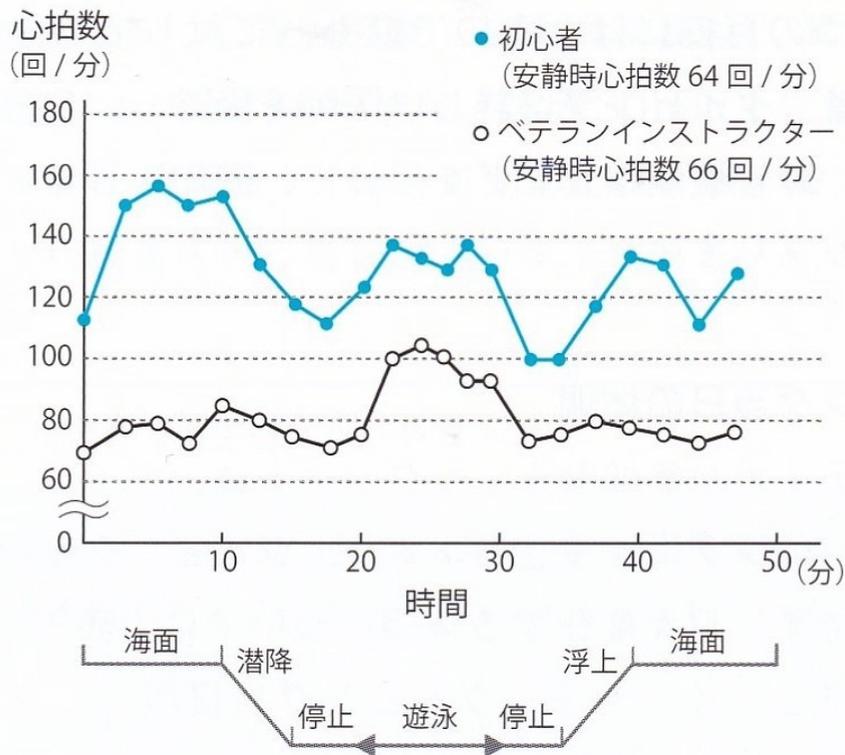


図32-1 スクーバダイビングにおける心拍数

資料3 10)

表18-1 浸水性肺水腫を誘発する可能性のある因子

| | |
|----------------------------|---|
| <p>血管内の血圧上昇または血流量増加</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・低水温 (低気温) ・寒冷曝露により末梢血管が収縮しやすい人 ・緊張、精神的ストレス ・ダイビング前の運動 ・過度な水中運動 (労作)、繰り返し潜水 ・トレーニングダイブ ・疲労によるパフォーマンス低下、泳力が低い ・加齢 (50歳以上) ・男性<女性 ・水分過多、塩分過多 ・ウェットスーツによる身体圧迫 ・急激な水圧の上昇 ・ブラッド・シフトの増大 ・バルサルバ法による耳抜き時のいきみ ・高分圧酸素吸入による末梢血管収縮 ・水深20m以深へのスクーバダイビング ・高所潜水 |
| <p>肺胞の過膨張または過伸展による肺胞障害</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・フリーダイビングで行われるバックギング ・海水吸入による咳込み ・海水吸引による肺胞と肺毛細血管間のバリア障害 ・リブリーザーダイビング |
| <p>肺胞内陰圧</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・シュノーケル使用時の過換気 ・レギュレータの呼吸抵抗 ・ガス密度増加による呼吸抵抗 ・深い深度 (水深40m以上) への息こらえ潜水 ・水中で横隔膜を動かす行為 ・呼吸を吐き切った状態での潜降 |
| <p>病気</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・浸水性肺水腫の既往、高血圧、心臓病 (弁膜症、不整脈、心筋症、心筋虚血、心機能低下)、高脂血症、糖尿病、気管支喘息、グッドパスチャー症候群など |
| <p>薬</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・毎日の服薬 (多くは降圧薬)、降圧薬 (β遮断薬など)、交感神経刺激薬、プソイドエフェドリン、昇圧剤、ダイビング前の解熱鎮痛薬 (アスピリンなど)、血栓溶解薬、血小板凝集抑制薬など |
| <p>喫煙</p> | |

資料4 13)

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)

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

資料5 19)

浸漬性肺水腫(31例)に関連する可能性のある因子

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 |

文献

- 1) Wilmshurst PT: Immersion pulmonary oedema: a cardiological perspective. *Diving and Hyperbaric Medicine*. 2019;49(1):30–40.
[https://dhmjournals.com/images/IndividualArticles/49March/Wilmshurst_IPEcardio_2018-58\(476\).pdf](https://dhmjournals.com/images/IndividualArticles/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/japplphysiol.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/rq.210076>
<https://pubs.rsna.org/doi/full/10.1148/rq.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.