

第3回

潜水事故総合検討会(CPC)

2022年2月28日(月)18時～20時: Web会議

結果概要

Ver. 1.1(2023.6.2)

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	22
4. おわりに	25
5. 参考資料・文献	26

はじめに

専門学校で授業で実施されたスクーバダイビング実習中に起きた学生の事故症例です。

事故に遭った学生は水泳が苦手で気が進まないまま、初めてのスクーバダイビングとなる海洋実習を午前中のプール実習後の午後に行い、ダイビングを開始して4分前後に深度4mの海底で意識不明の状態で見られ、海面に引き上げ陸に曳行され発見後3分ほどでバイスタンダーによる一次救命処置が開始され、その12分後に救急隊に引き渡されて搬送先の病院で一時心拍再開するものの、発見から約4時間後に誠に残念ながらお亡くなりになりました。子どもの時からサッカーをされていて運動能力のある元気な青年でした。残されたご家族様におかれましては嘸かし無念とご心中察し申し上げます。ここに謹んで哀悼の意を表します。

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。亡くなられた学生が通っていた専門学校では事故原因の究明と再発防止及び安全管理体制の改善のため第三者委員会として潜水事故調査委員会が立ち上げられました。この潜水事故調査委員会に協力する形で日本高気圧環境・潜水医学会の減圧障害対策委員会が従来から委員会活動として行っている潜水事故総合検討会を開催させていただくこととなりました。

この検討会はWeb会議による総合的な臨床病理検討会(CPC)ですが、法医学講座解剖担当医、収容先病院担当医に提案させていただきご快諾いただきました。ご遺族様をはじめ、消防本部、海上保安庁、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、救急医療施設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4月24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

参加依頼者名簿(敬称略)

秋山裕由	くしもと町立病院	其田 一	市立釧路総合病院救命救急センター
池田知純	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
石井保之	富津市消防本部	高木 元	日本医科大学付属病院総合診療科
石上安希子	和歌山県立医科大学法医学講座	高間辰雄	鹿児島県立大島病院救急科
石黒一麻	海上保安庁敦賀海上保安部	瀧端康博	防衛医科大学校医学研究科
井戸謙一	井戸謙一法律事務所	種市和郎	市立釧路総合病院臨床工学室
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
伊藤壮一	麻生総合病院救急総合診療科	堂本英治	けいゆう病院病理診断科
大橋正樹	亀田総合病院救命救急科	豊原 隆	市立釧路総合病院救命救急センター
織田貴昭	弁護士法人三宅法律事務所	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	西村伸也	市立根室病院医療技術部
北村伸哉	君津中央病院救命救急センター	野澤 徹	一般社団法人日本海洋レジャー安全・振興協会
黒田勝也	南越消防組合	橋本昭夫	日本潜水協会, 高気圧作業支援事務所
小島和則	海上保安庁敦賀海上保安部	藤田 智	名寄市総合病院
小島泰史	東京海上日動メディカルサービス株式会社 第二医療部	藤田 基	山口大学医学部附属病院先進救急医療センター
小山 敦	いわき市医療センター救命救急センター	不動寺純明	亀田総合病院救命救急科
近藤稔和	和歌山県立医科大学法医学講座	星岡佑美	千葉大学大学院医学研究院法医学
佐久間敬宏	医療法人林病院脳神経外科	松永 毅	自衛隊呉病院
櫻庭直達	釧路ろうさい病院臨床工学部	宮本悠史	南越消防組合
四ノ宮成祥	防衛医科大学校分子生体制御学講座	望月 徹	東京慈恵会医科大学医学部環境保健医学講座
島田一郎	福井大学法医学・人類遺伝学分野	森松嘉孝	久留米大学医学部環境医学講座
清水徹郎	南部徳洲会病院高気圧治療部	山口孝治	学校法人佛教教育学園佛教大学
新海正晴	東京品川病院呼吸器内科	山見信夫	医療法人信愛会山見医院
杉原一步	海上保安庁敦賀海上保安部	和田孝次郎	防衛医科大学校 脳神経外科学講座
鈴木信哉	亀田総合病院救命救急科高気圧酸素治療室		

症 例

19歳 男性 学生

スクーバダイビングの海洋実習中に
短時間で意識消失して心肺停止した症例

① 潜水事故概要

症例： 19歳 男性学生（以下事故者Aという）

身長175cm 体重60kg（事故の約3ヶ月前に記入されたスチューデント・レコード・ホルダーに記載のもの）

生育歴

出生時体重3614g 正常分娩

幼・小児期をとおして、けいれん(－)、めまい・たちくらみ(－)、アレルギー(－)

小さい頃からサッカーをしていて健常であるが泳ぎは不得意

高校の水泳授業：1年2学期に3回(6時間)（体育受け持ちの先生からの情報）

- ・25m泳げない
- ・体脂肪が少なく身体が沈む
- ・息継ぎが苦手
- ・授業ではプールの端のコースで泳ぐ
- ・25mクロールで24秒の記録

高校ではサッカー部(Bチーム)（サッカー部顧問の先生からの情報）

- ・足が速くスピードのある選手
- ・元気、活発、まじめに頑張るタイプで周りに調子を合わせる

高校担任健康観察記録

- ・健康な状態で無欠席

高校3年時健康診断心電図

- ・洞性除脈 46拍/分、洞性不整脈、RSR'パターン、高T波V4V5

① 潜水事故概要

事故の経過

事故者Aは日帰り1日コースの初めてのスクーバダイビング実習に参加
他の学生3名(以下学生B,学生C,学生Dという)と4人のグループ

9月X-1日 飲酒なし 疲労なし 就寝23時45分から0時頃

9月X日 起床6時20分頃 朝の体温:36度2分 朝食:菓子パン、ヨーグルト、飲料

08:00頃 貸し切りバス集合場所から出発

10:42頃 スクーバダイビング実習場所にバス到着

【午前: プール実習】 インストラクターE(以下イントラEという)からスクーバ・スキルトレーニング

11:00頃からプールサイドで各潜水機材の使用方法や確認方法の講習

イントラEがプールに入り学生はプールサイドに並んで、各潜水器材の取扱方法、正常な状態や異常な状態について講習

11:15頃からプール内での講習

1 各潜水器材の取り扱い

・BCジャケットの使用法 ・レギュレータの使用法 ・残圧計の見方

2 トラブル時の対応について

・ボンベの残量がなくなったときの対応方法

・レギュレータやマスクが顔から外れた際の対応方法

水中メガネに入った水を抜く練習で事故者Aはプールに足をつけて水面に顔を上げたためやり直しを実施

・ハンドシグナルの種類及び使用方法

・BCジャケットを使用した浮上方法

① 潜水事故概要

13:00～13:40 昼食

イントラEと事故者Aを含む学生4人は一緒に弁当を食べた。

事故者Aは弁当を全量摂取

【午後：海洋実習】

・晴れ, 気温30°C, 南風5-6m/s,

・水温29°C, 波高30-80cm, エントリー口波なし, 透明度5m,

・事故者A, 学生B, C, Dの4人を一人のイントラEが引率ダイビング

台風が接近しているという予報があり、海面に波があったため、この日は梯子を下りて波の影響を受けない海中を泳いで実習ができそうな場所(ブイ周辺)まで移動予定であった。

14:00頃 15分間、海洋実習の説明

梯子を伝って海底に降り、練習スポットまで海底を泳いで行き、その後梯子に戻ってきて海面に上がることを、練習はプールで行ったようにレギュレータを付け直したり、水中メガネの水を抜く練習をしたり、予備のレギュレータをバディに渡す練習をすること、緊急時の対処法として万が一週りに誰もいなくなったらその場でじっと待っていること、空気の残量をこまめに確認し、一定の残量を切ったら報告することなどを伝えました。(イントラE)

バディを組むことを説明してペアを決めたが学生たちに対して細かにお互いを確認しなさいとまでは伝えていませんでした。(イントラE)

説明後、プールサイドに置いている潜水器材をそれぞれ持ち海岸へと向かい、海岸の階段に座らせ順番を待った。

この時、学生たちは、海の状況を見て、「こわいな」「波が高いなあ」等の会話をしながら不安を口にしている様子で、私は学生たちに対し、「大丈夫だよ」「レギュレータだけは放さないように」のような感じで声をかけました(イントラE)

結構荒れていた(学生C) 海、何か黒かった。波が高くめちゃくちゃ怖かった(学生D)

14:25頃 エントリーして梯子を伝って海底へ

潜水機器等の情報 (検討会議後の調査で判明)

ダイビングスーツ: ワンピースタイプ厚さ 5 mm, 表生地ポリエステル85%, ポリウレタン15%, 裏生地ポリエステル100%

ウエイト: BCジャケット左ポケット1kg・2個, 右ポケット1kg・1個, ベルト3.14kg 計6.14kg

ベルトに付いているウエイトについては、ベルト装着時に右側が大のウエイト、左側が小のウエイトとなる位置関係であった。それぞれのウエイトは個別に計量されていなかった(ウエイトベルト写真を確認)

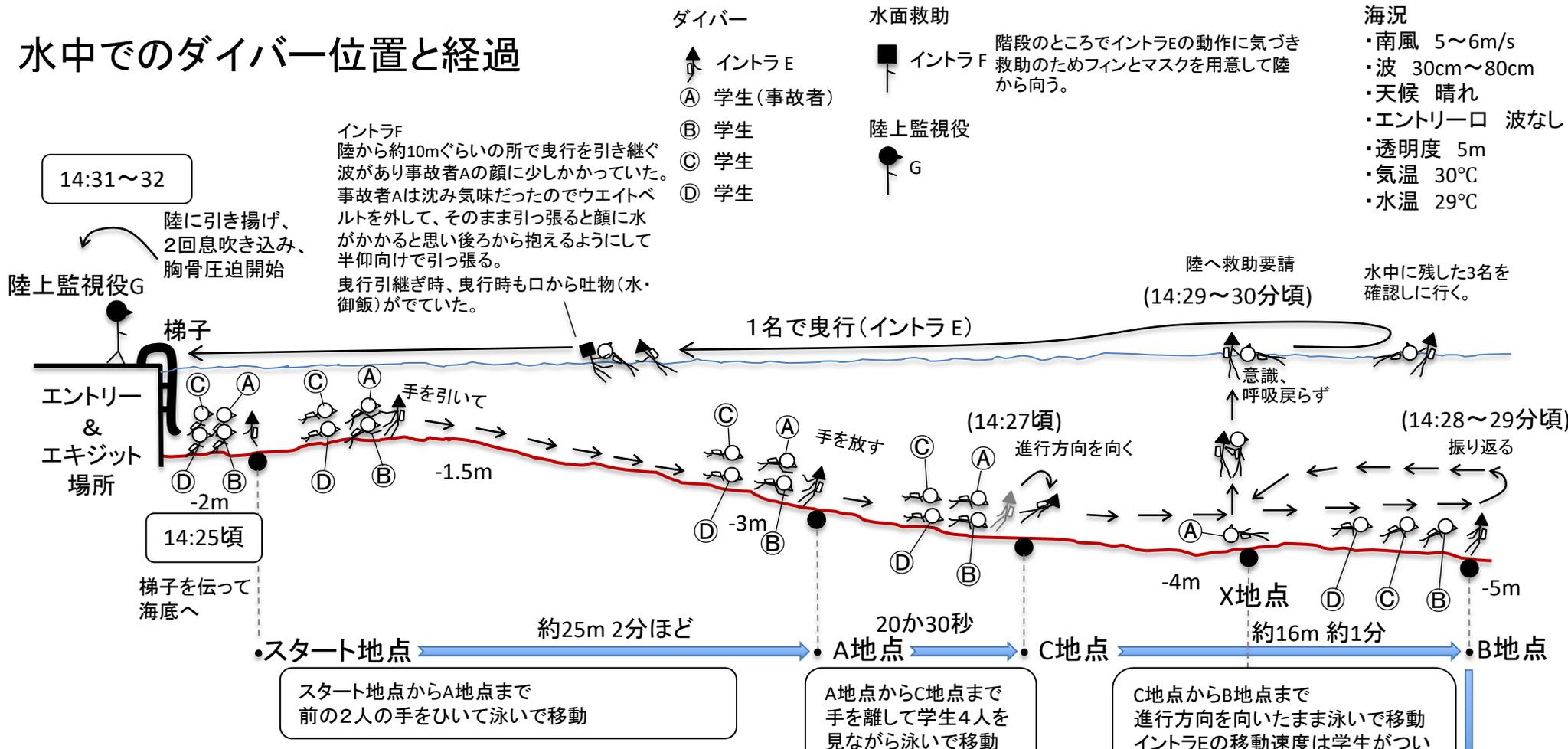
ウエイト調整: プールでの講習を始めた時はベルトのみのウエイトではじめたが、潜降できなかった為、1kgずつウエイトを足した結果上記の数量になった。その後海洋実習時は追加していない。

空気ボンベ: スチールタンク、プール実習前19.6MPa(200kg/cm²)、海洋実習前140～150気圧(記録イントラEの記憶による)、事故後残圧120kg/cm²、容積10.3L

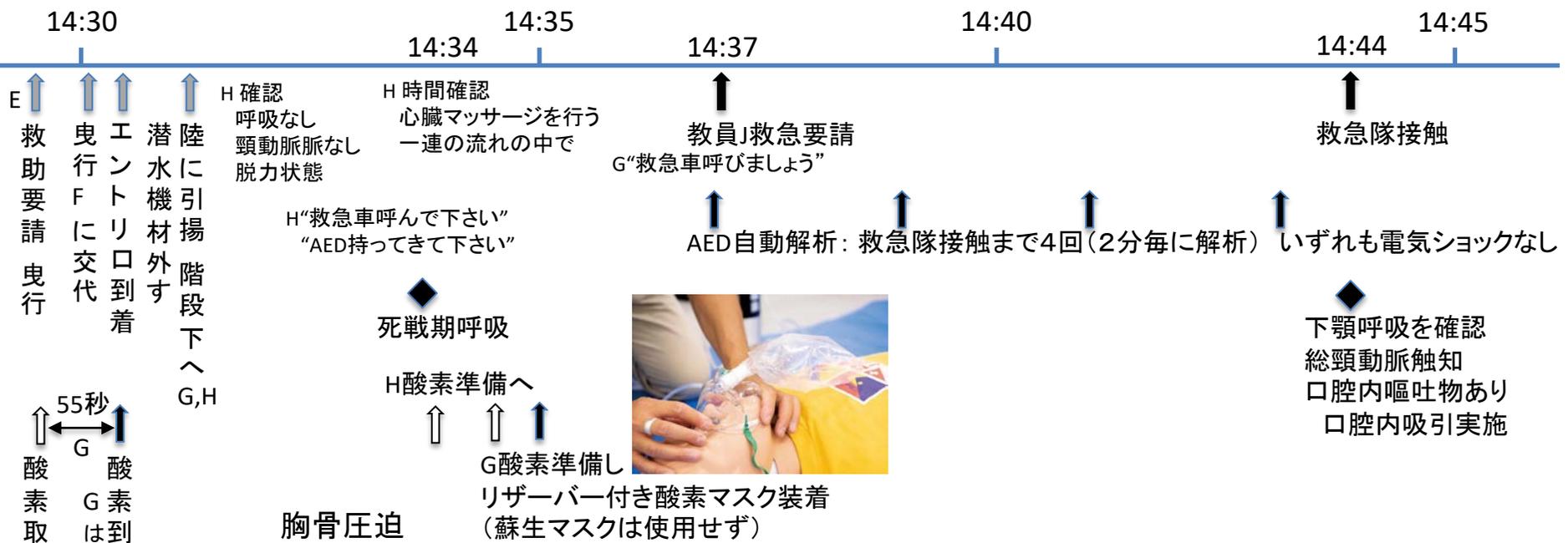
潜水時換気量: 潜水時間が仮に4分間、平均4m水深の場合、39.6L/min～59.4L/min。潜水時間が5分間の場合では31.7L/min～47.5L/min(海洋実習前の空気ボンベ圧が140～150気圧とした場合)

浮力調整器(BC)のパワーインフレーターボタンの型式: インフレーター・ホースにボタンがついているタイプを使用

水中でのダイバー位置と経過



水面浮上後の経過



AED-3100 (日本光電)

14:32頃 蘇生術開始か

息吹き込み → 酸素マスクを付けてからは 息吹き込みせず

G 最初 2回 「ぼぼ ぼぼ」

息吹き込みは8~10回
3回目から吐物でてきて
その後多量にでてくるようになる(G)

2回吹き込みした直後に嘔吐
吐物は最初多くその後少なくなる
息吹き込みは最初の2回のみ
連続して胸骨圧迫
酸素投与は4~5分後だったかも(H)

②救急隊・収容先病院の経過

14:37 消防署覚知

14:43 救急車現場到着

【概要】 現場到着から約4分後に心肺停止に移行したため蘇生処置を開始した。現場到着から12分後に救急車内に収容。搬送途上の救急車内で気管内挿管、静脈路確保、アドレナリン投与された。覚知から医師引継ぎまで43分であった。

【詳細】 傷病者は、発生現場に仰臥位で、胸部にAEDパッドが装着され、バイスタンダーにより胸骨圧迫が施されていた。JCS III-300、下顎呼吸が見られ、総頸動脈は触知可能であった。瞳孔は両側散大、顔面はチアノーゼ状態で嘔吐物が付着しており、口腔内に大量の嘔吐物を視認したため吸引器で口腔内の嘔吐物を吸引し、BVMによる換気を実施した。その際換気抵抗はなく胸部挙上が見られたが、口腔内からゴボゴボと水泡音が聞かれ口腔内には嘔吐物の流出が見られ、再度口腔内を吸引しBVMによる換気を実施したが直ぐに嘔吐物が流出するため、BVM換気と吸引を交互に続けた。救急隊の心電計パッドに張り替えてQRS波形は確認できたが総頸動脈が確認できなかったためPEAと判断し、胸骨圧迫を実施した。3分後には心静止に移行した。全身に目立った外傷等は観られなかった。

現場での気管挿管については嘔吐物の流出がとまらなかったことと波打ち際で活動スペースが確保されなかったため救急車内で実施することとした。救急車内収容後にも嘔吐物が流出してきたため口腔内を吸引してBVMで換気したところ換気良好であり嘔吐物の流出も収まったため搬送先医療機関の医師に気管挿管及び薬剤投与のための静脈路確保の指示要請をした。搬送中の救急車内で気管挿管して気管内吸引をしたところ少量の水分のみ吸引した。バック換気は良好であった。静脈確保してアドレナリン1mg・1回投与し、病院到着となった。最終波形は心静止だった。

【以下15:20:02医師引継ぎまで救急活動記録】 心電図記録: 16~37頁

14:44 傷病者接触 下顎呼吸を確認 総頸動脈触知 口腔内嘔吐物あり、口腔内吸引実施 BVM換気抵抗なし、胸部挙上あり 口腔内から水泡音聴取	14:53:02 収容依頼連絡開始	15:03:32 非同期CPR開始
14:46:08 パッド貼付	14:53:12 搬送準備開始	15:03:42 挿管チューブ固定開始
14:46:33 口腔内嘔吐物あり 口腔内吸引実施	14:54:52 収容依頼連絡完了	15:04:52 気管挿管完了 BVM換気抵抗なし、胸部挙上あり
14:46:50 BVM換気抵抗なし、胸部挙上あり	14:55:46 心静止確認	15:05:12 気管内吸引実施(少量の水を吸引)
14:47:45 致死的アラーム 心静止	14:55:52 救急車まで搬送開始	15:05:52 人工呼吸器接続
14:47:52 総頸動脈確認	14:56:52 車内収容	15:09:42 静脈路確保開始
14:48:08 PEA判断	14:57:02 口腔内から大量の嘔吐物あり	15:10:12 静脈路確保1回目穿刺開始
14:48:13 胸骨圧迫開始	14:57:12 口腔内吸引実施	15:10:42 静脈路確保1回目失敗 心静止確認
14:49:02 口腔内から大量の嘔吐物あり 口腔内吸引実施	14:57:52 気管挿管及び静脈路確保の指示要請実施	15:11:42 静脈路確保2回目穿刺開始
14:50:26 BVM換気抵抗なし、胸部挙上あり 心静止確認	14:58:32 現場出発	15:12:02 滴下良好、先端に漏れ腫れ無し
14:51:02 自動心臓マッサージ器装着開始	15:00:22 口腔内から大量の嘔吐物あり	15:13:12 静脈路確保完了
14:51:42 心静止確認	15:00:32 口腔内吸引実施	15:15:12 救命士報告及び薬剤投与指示要請
14:51:46 自動心臓マッサージ器作動開始	15:01:52 BVM換気抵抗なし、胸部挙上あり	15:16:07 心静止確認
14:52:26 BVM換気抵抗あり 口腔内水泡音確認	15:02:12 心静止確認	15:17:02 薬剤投与完了
14:52:32 口腔内嘔吐物確認 口腔内吸引実施	15:02:22 挿管開始	15:19:02 病院到着
14:52:52 BVM換気抵抗なし、胸部挙上あり 心静止確認	15:03:22 挿管チューブ挿入 胃流入音なし 左右差なし 換気抵抗なし チューブに曇りあり	15:20:02 医師引継(最終波形:心静止)

②救急隊・収容先病院の経過

救急活動内容に関する資料

- (1) 質問: 傷病者接触時のバイスタンダーによる蘇生処置はどのように行われていたでしょうか。人工呼吸はされていたでしょうか。
回答: 胸骨圧迫のみ実施されており、AEDパッドが貼り付けられていましたが、除細動は実施していないと付近にいた人から聴取しました。なお、現場到着までの人工呼吸実施の有無は確認していません。
- (2) 質問: バイスタンダーとはどのような会話をしたでしょうか。
回答: 胸骨圧迫実施者に対し、傷病者との関係性を聴取しました。また、付近には多数の人がいたため、事故概要、人定等を聴取しました。
- (3) 質問: 接触時の下顎呼吸について詳しい様子をお願いします。呼吸間隔や呼吸の規則性はどのようであったのでしょうか。
回答: 接触時に下顎が動いているのを確認した段階で呼吸停止と判断したため、呼吸間隔や呼吸の規則性については確認していません。
- (4) 質問: 接触時の頸動脈触知ははっきりしたものだったでしょうか。
回答: 触れるのは確認できました。
- (5) 質問: 接触時に認めた多量の口腔内嘔吐物の除去は容易だったでしょうか。
回答: 口腔内吐物が多量であったこと及び嘔吐物に含まれていた固形食物残渣が多く、吸引中に何回もヤンカーカテーテル内で詰まり、吸引困難になったことにより容易ではありませんでした。
- (6) 質問: 口腔内嘔吐物の性状はいかがでしたでしょうか。血性でしょうか。
回答: 固形食物残渣を含む嘔吐物であり、血性は確認できませんでした。
- (7) 質問: BVM換気は人工呼吸器接続までに換気抵抗と胸部挙上について7箇所記載がありますが、これ以外にBVM換気は実施されていますか。
回答: 嘔吐物除去時、傷病者搬送時及び気管挿管実施時以外はBVM換気を実施しています。なお、7箇所のBVM換気の記載については、嘔吐物除去後の効果確認のため実施したBVM換気の結果を記載したものです。
- (8) 質問: 静脈路確保後に投与された薬剤名と数量及び投与回数をお教えてください。
回答: アドレナリン1mg1mlを1回投与しました。

②救急隊・収容先病院の経過

【以下病院記録】

- 15:22 病院に救急車到着
到着時の状態
・気管内挿管 CPR中
・ルート確保 アドレナリン投与
- 15:26 モニター装着 PEA波形
アドレナリン投与
対光反射なし 瞳孔右5mm 左5mm
- 15:28 モニター上PEA
- 15:33 アドレナリン1A IV
- 15:35 心拍再開 HR80-90 採血検査:右
- 15:36 心拍停止のため胸骨圧迫開始
- 15:42 アドレナリン投与
- 15:46 アドレナリン投与、ドパミン投与
- 15:50 心拍再開 血圧100/40
- 16:33 全身CT撮影 読影所見:次頁
- 18:12 心拍停止
- 18:18 アドレナリン投与 心拍再開
- 18:22 心拍停止 胸骨圧迫再開
- 18:23 アドレナリン投与するも心拍再開せず
- 18:41 死亡確認

9月X+1日14:09 解剖

15:35 採血検査結果

pH	6.446
pCO2	110.1 mmHg
pO2	45.2 mmHg
BE	-32.8 mmol/L
HCO3	7.4 mmol/L
Aniongap	31.8 mmol/L
WBC	6540 / μ L
RBC	4.77 $\times 10^6$ / μ L
Hb	14.7 g/dL
HCT	50.2 %
Plt	24.0 10^3 / μ L
ALB	4.0 g/dL
T.Bil	0.9 mg/dL
AST	61 U/L
ALT	34 U/L
アンモニア	538 μ g/dL
アミラーゼ	243 U/L
BUN	13.0 mg/dL
Cre	1.60 mg/dL
CK	218 U/L
Na	158 mEq/L
K	8.1 mEq/L
Cl	115 mEq/L
血糖	417 mg/dL
CRP	0.03 mg/dL
PT(%)	43 %
APTT	71 秒
Dダイマー	11.6 μ g/dL
トロポニンT	(-) 定性

16:10 採血検査結果

pH	6.381
pCO2	105.6 mmHg
pO2	88.1 mmHg
BE	-35.2 mmol/L
HCO3	6.1 mmol/L
Aniongap	29.7 mmol/L
動脈血Na	150.4 mmol/L
動脈血K	5.46 mmol/L
動脈血Cl	120 mmol/L

輸液量 1,570mL
(病院収容後)

胸部X線 (病院到着時)
両肺野全体すりガラス様陰影
心陰影拡大

【画像】

16:33 CT（発見(14:25)から約2時間08分で撮影）

【所見】

1. 頭部CT

頭蓋内に明らかな出血巣は指摘できない。脳実質には腫脹と皮髄境界の不鮮明化が認められる。脳血管内に明らかなgasは指摘できない。

篩骨洞、両側上顎洞、蝶形骨洞、右乳突蜂巣に液面形成を伴う液体貯留が認められる。

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。胃管留置後。先端は胃内に認められる。

舌骨、甲状軟骨、頸椎に明らかな骨折は指摘できない。

右総頸静脈に少量のgasが認められる他、椎骨動脈を含め頸部に明らかなgasは指摘できない。

3. 胸部CT

胸郭にmotion artifactが認められる。

肋骨、胸骨、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。

左右冠動脈はmotion artifactのため不鮮明です。起始異常の有無は判断できない。

肺動脈、大動脈、心房心室に著明な異常、gasは指摘できない。

両側肺野には腹側に多発斑状スリ硝子影、背側にair bronchogramを伴う濃厚な浸潤影が認められる。

気管、主要気管枝は開存し、内部に明らかな砂礫などの高吸収は指摘できない。

4. 腹部CT

腰椎、骨盤骨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。

胃内に食物と思われる内容物が認められる。水濃度の示す内容物は少量と思われる。

空腸にgasの貯留を伴う拡張が認められ、蘇生処置による変化と思われる。消化管内に錠剤、砂礫などの異物は指摘できない。

肝実質には吸収値の低下が認められ、脂肪肝などが考えられる。

胆嚢、膵臓、両側副腎、腎臓、脾臓に著明な異常は指摘できない。

腹部実質臓器、門脈、大動脈、下大静脈に明らかなgasは指摘できない。

【考察】

篩骨洞、両側上顎洞、蝶形骨洞、右乳突蜂巣の液体貯留、肺野のスリ硝子影、浸潤影は溺水として矛盾しないと思われる。

胃内に大量の液体は指摘できない。

明らかな気胸、皮下気腫、血管内gasは指摘できず、肺野に明らかな過膨張は指摘できない。

【まとめ】

溺水による低酸素脳症が認められます。溺水に至った原因となりうる所見は指摘できません。

医療処置、経過、血液検査などをご確認ください。

③ 臨床経過から考えられる病態について

本症例の特徴

1. 初めてのスクーバ潜水
 - ① 水泳は不得手
 - ② 健常若年男性
 - ③ 昼食後約1時間で潜水
2. 意識ない状態で発見さる
 - ① マスク・レギュレータ外れ、仰向け
 - ② 潜水開始3分後
 - ③ 30秒程度で意識消失か
 - ④ パニックは視認されていない
 - ⑤ 4mの浅深度
 - ⑥ 血管内・組織内気泡なし
 - ⑦ 毒性ガス検出されず
 - ⑧ 意識消失の既往なし
 - ⑨ けいれん発作既往なし
3. 海水による溺水
4. 蘇生処置に抵抗
 - ① 意識消失から2～3分でCPR開始
 - ② 心拍停止-再開繰り返し
5. 心拍再開時のヘマトクリット 50.2%

スキューバダイビング中の意識消失

1. 吸入ガスの問題
 - ① 窒素酔い、酸素中毒、一酸化酸素中毒
 2. 上昇時の意識消失
 - ① AGE 神経症状を伴うことが多い
 3. その他の原因
 - ① てんかん発作
 - ② 潜水反射(心拍数減少、血圧低下、利尿)意識を失うことは少ない
 - ③ 迷走神経反射
 - ④ QT延長症候群
1. 2.は否定的
3.の可能性 ③、④を考慮する必要

参考文献: Peter Wilmschurst, Margaret Clamp: Impaired consciousness when scuba diving associated with vasovagal syncope. Diving Hyperb Med. 2020 Dec 20;50(4):421-423. doi: 10.28920/dhm50.4.421-423.

④ 剖検結果と病態

死後経過時間: 19時間あまり ・ 身長175.0 cm、体重67.24 kg、BMI 21.96

○損傷: 左の胸部皮下出血、左右の膝窩の皮内出血はいずれも鈍体の作用で死因に関与しない軽度損傷

○死因: 原死因は海水の吸引に基づく窒息であり、直接死因は低酸素脳症

- 根拠: 窒息死(急死)の特徴である心臓・肺の溢血点、流動性血液、諸臓器のうっ血
 - 気管・気管支内に多量の血色素性水溶液および細小泡沫を容れ、肺は膨大・辺縁鈍角化・重量増大(右肺932g、左肺1074g)、海水を吸引したための水性肺気腫および水性肺水腫: 高度うっ血性水腫
 - 肺に海水中にみられるプランクトン検出
 - 眼房水、血清、心嚢液(12mL)、左胸水(59mL)、右胸水(59mL)の生化学検査は海水吸引に矛盾せず
 - 脳室狭小化、小脳皮質顆粒細胞の広範壊死は、海水吸引による窒息と脳虚血状態に基因
- ・ 頸部表面外傷所見なし
 - ・ 眼瞼眼球結膜の溢血点なし
 - ・ くも膜下出血なし、硬膜外血腫なし、脳動脈瘤なし、脳割面に出血・難化なし、中脳・橋・延髄・小脳異常なし
 - ・ 胸骨、肋骨、鎖骨に骨折なし、舌骨・喉頭の諸軟骨に骨折なく周囲軟部組織間に出血なし
 - ・ 心臓: 340g、手拳等大、左室壁厚2.0cm、卵円孔閉鎖、心筋割面異常なし、冠状動脈異常なし
 - ・ 気道: 食物残渣なし
 - ・ 胃: あまり消化していないトウモロコシその他の野菜片、若干の海水を含む褐色調の粘液内容190mL
 - ・ 十二指腸: 褐色調水溶液中等量、空腸: 黄土色水溶液少量、回腸: 黄褐色水溶液中等量、大腸: 黄褐色水溶液多量、諸腸の粘膜病変なし、虫垂異常なし
 - ・ 脾臓: 中等血量 肝臓: 1334g、血量多、表面・割面色調は尋常 胆嚢: 黄褐色胆汁少量、胆道通過障害なし
 - ・ 膵臓(112g): 軽度うっ血、表面・割面色調は尋常、病変なし
 - ・ 腎: 左120g、右113g 左右共に異常なし、血量多 副腎: 左10g、右8g 左右共に異常なし
 - ・ 尿中薬物DRIVEN-FLOW検査陰性、血液中エチルアルコール検出せず、シアン化合物検出せず

⑤ 総合的な検討による病態

病態

健常若年男性

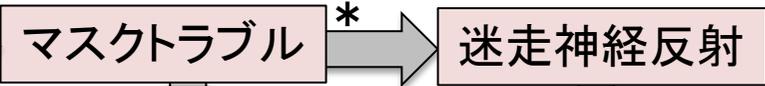
身長175.0 cm、体重67.24 kg、BMI 21.96(解剖時)
 体重60 kg(3ヶ月前自己記入)

- ・午前中プール実習
- ・昼食後約1時間でスクーバ潜水
- ・晴れ、気温30°C、南風5-6m/s、
- ・水温29°C、波高30-80cm、
- ・エントリ口波なし、透明度5m
- ・BCポケットにウエイトを入れ浮力調整

* マスクに浸水or曇りがでてプール時と異なる前傾姿勢、過大な運動中でのマスククリアにて不用意に鼻に海水吸引か？

- ・意識消失既往なし
- ・血管内・組織内気泡なし
- ・毒性ガス検出されず
- ・けいれん発作確認されず
- ・浮上・異常行動目撃なし

- ・初めてのダイビング
 - ・泳力がない
 - ・テクニックがない
- 心理的プレッシャー



- パニック 咳嗽
- ・マスク外れ
 - ・レギュレータ外れ



- ・潜り始めて約3分間はダイビング中
- ・1分前後で意識消失、体動なしで発見

- ・深度4mの海底
- ・仰臥位
- ・マスク外れ
- ・レギュレータ外れ

- ・15秒程で水面へ引き揚げ・陸へ曳行
- ・3分程で一次救命処置開始
- ・12分後救急隊接触・挿管、静脈路確保
- ・36分後病院医師に引き継ぎ
- ・14分後心拍再開
- ・3時間後死亡

“ずっと怖いと言っていた”

・手を放した後
 ・空間識失調??
 “Blue orb syndrome”

喉頭けいれんが関与すると海水吸引はあまり起きない



- ・気道・肺内に多量の海水
- ・消化管にはある程度



- ・心臓・肺の溢血点
- ・流動性血液
- ・諸臓器のうっ血



- 蘇生処置に抵抗
- 意識消失から3~4分でCPR開始するも

★ 意識消失時は声門が開き海水が気道に入りやすい

⑥ 死因および病態のまとめ

死因および病態のまとめ

- 1 本件は、19歳の健常男性が初めてのダイビング実習を行い、潜り始めてから3分ぐらいまではダイビングしていたが、その1分前後で深度4mの海底で意識消失して動かず水中メガネとレギュレータが外れた状態で発見され、15秒ほどで水面に引揚げ陸上へ曳行され、海底で発見後3分～4分でダイビングインストラクターによる一次救命処置が開始され、その約12分後に救急隊が接触して搬送され、気管内挿管、静脈路確保され救急活動35分で病院に到着し、事故発生から1時間20分後に一時的な心拍再開あるも、その約3時間後に死亡に至った事例である。
- 2 本症例は多量の海水吸引による窒息と高度うっ血性水腫による低酸素状態が高度となり低酸素脳症により死亡した、溺死であると考えられる。
- 3 多量の海水吸引と意識消失が起きた経緯について

1) 極度の緊張状態

泳力がなく足の着かない初めての洋上で、台風の影響で海面に波が立っている状況であったこと、ダイビングテクニックが身につけていないことが心理的プレッシャーとして背景にあり、インストラクタから手を離されたあとインストラクタが学生を見ている方向から進行方向に向き直して離れていったことで極度の緊張状態になり、何らかの水中でのイベント(トラブル)が引き金となりパニック状態に陥り、正常な判断や行動ができずに海水吸引した可能性が高い。

2) 水中での予期せぬイベント(トラブル)

事故者Aが水中でトラブル状態であったことをインストラクタ及び周りの学生は直接目撃していない。しかしながら、インストラクタが学生を見ていない時間があったこと、周りの学生については水中メガネをかけていたため視野が狭くなっていたこと及び前を先行するインストラクタに付いていくことで周りに気を配る精神的余裕がなかったと考えられること、一般的にダイビングでは他のダイバーの異常に気づきにくいという特性から、トラブル状態であった可能性は否定できない。

水中メガネを外すと水中視力が不良となるほか直接目が海水に触れることが心理的ストレスとなるため、ダイバーが自分から水中メガネを外すことは通常ない。しかしインストラクタが発見したとき、事故者Aは水中メガネが外れた状態であったことから、水中メガネが外れるあるいは外さざるを得ないトラブルがあった可能性がある。

この点、トラブルのきっかけとして水中メガネの内側の浸水あるいは曇りが起きて前がよく見えない状態が考えられる。その場合、対処方法としてプールで実習したようにマスククリアを試みることになるが、これがうまく実行できずに結果としてマスクが外れる状態を引き起こした可能性が考えられる。

たとえば推測にすぎないが、プールでは上体を立てた姿勢でマスククリアしていたのに対し、事故時は上体を前に倒した姿勢で前に進みながら慣れないフィン操作で運動量が多い中でマスククリアすることになったために、不用意に鼻から海水を吸い込んでしまってパニックになり水中メガネを外してしまった可能性が考えられる。この場合、同時に咳嗽反射が起きてレギュレータが外れたと考えても矛盾はない。

なお、他の学生のフィンなどが事故者Aの水中メガネやレギュレータに当たって顔からずれたり外れたりした可能性も考えられるが、意識消失して発見される約1分前に後尾を泳いでいたと推定される学生に追い抜かれていることから、その時点で既になんらかのトラブルあるいはパニックに陥っていた可能性がある。

死因および病態のまとめ(続き)

3) 意識消失

- (1) 最後尾の学生による最終遊泳目撃から不動で発見されるまで最大1分程度であったが、そのように短時間で意識消失する原因の一つとして迷走神経反射による心停止が考えられる。マスクが外れるあるいはレギュレータが外れて突然海水が鼻咽頭に入ったことで迷走神経反射がおきて心機能抑制による意識消失に至ったということになる。海水の飲み込み量が少ないこと及び右乳突蜂巣内に認められた液体はごく僅かであったことは、水中でもがいている時間は短かったことを支持する。意識消失後であれば声門は開いており容易に気道に海水が入り込むことになる。(病態図#2)
- (2) 何らかの原因でレギュレータが外れてパニック状態となり海水を直接吸引して窒息により意識消失する可能性(病態図#1)については、水中でもがいて意識消失に至るまでにはある程度の時間が必要であり、通常は海水飲み込み量が相当にあると考えられるが、最終遊泳目撃から不動で発見されるまで最大1分程度であったこと、気道への海水吸引量が多かったことに比べ海水飲み込みは多くなかったこと、水中でもがいて溺水となる場合は喉頭けいれんが起きやすく海水吸引量は少なくなることを考慮すると、パニック状態が継続して海水をもがきながら吸引して窒息に至る可能性は低いと考えられる。
- (3) 短時間で意識消失する他の原因として肺過膨張による動脈ガス塞栓症がある。考え得る状況としては、レギュレータ内に入った水を排除するためレギュレータのパージボタンを使用する際、舌を上顎に付ける方法がとられないと直接ガス圧が気道にかかるため肺過膨張状態を引き起こすことがある。この場合の肺過膨張は海底近くでも動脈ガス塞栓症が起きることとなる。脳血管内に明らかなガスは指摘されていないが、これをもって動脈ガス塞栓症を否定することはできないため、可能性は残る。
- (4) 浮上することで酸素分圧が急激に下がることによる意識消失いわゆるShallow-water Blackoutについては、レギュレータトラブル等で呼吸ができずに体内の酸素が少ない状態で浮上した場合に、肺内の酸素分圧がさがり水面近くでは意識を維持できないくらいの低酸素状態となることにより起きるものであるが、同時に動脈ガス塞栓症を引き起こす可能性もある。しかしながら浮上しようとしていた目撃情報がないこと、最後尾の学生に追い抜かれた時は海底近くであり発見時も海底であったことから、浮上しようとしたとするとBC操作ではなくフィン操作であると推定されるため、水面近くで意識消失して海底に横たわるまでの時間を考慮すると、最大1分の時間でこのイベントが起きた可能性は低いと考えられる。
- (5) 潜水反射による徐脈でQT時間が延長するが意識消失にいたる可能性は低い。また、事故者Aはこれまで意識消失を起こした既往はなく、ごく短時間で意識消失状態で体動がなかったことを考慮するとてんかん発作の可能性はかなり低いと考えられる。
なお、吸入ガスとして窒素酔い及び酸素中毒については潜水深度から否定され、一酸化炭素中毒については空気ポンベのガス分析結果から否定される。

死因および病態のまとめ(続き)

4 水中で意識がない状態で発見されたあと、比較的短時間で救命活動が行われたが、救命し得なかった要因は以下が考えられる。

1) 多量の溺水が肺に入ってしまった。

右肺932g、左肺1074gと重量が増大していた。

2) バイスタンダーによる人工呼吸が適切に行われなかった。

(1) 水面浮上時の息吹き込みがなかった。

(2) 一次救命処置時に酸素マスク装着後は胸骨圧迫のみで息吹き込みがなかった。

一次救命処置開始時の息吹き込みについては、「ぼぼぼぼ」という音を伴い、その後間もなく嘔吐物が多量に出てきているため、食道へ空気が送り込まれた可能性がある。また、その後の息吹き込みについては実施されなかった可能性がある。

3) 救急要請が遅れた。

陸引揚げから約5分後に救急要請されていた。

⑦ 本例から学ぶもの

本例から学ぶもの

1 事故予防

1) 初めてのダイビングを行うにあたっては海洋実習の前にプール実習等で以下の確認が必要である。

(1) 不測の事態に対応できる精神状態と体力について

- ✓ 水への恐怖心がないこと
- ✓ パニックに陥りやすい傾向がないこと
- ✓ ダイビングする意欲があること
- ✓ 泳力を確認すること

(2) 潜水器の取扱や調整について

- ✓ パージ・ボタン作動時には肺過膨張がおきる危険性があることを説明して、圧力が気道にかからない要領を修得させること
- ✓ 有効なクイックリリース及び水中バランスを考慮してウエイトベルトにウエイトを付けて適切に浮力調整する。

(3) 健康診断等で身体適性があることを確認すること

2) 海洋実習中の安全管理態勢を確立して実習を行う。

(1) 適切な人員配置と役割分担を明確にして事前打ち合わせを行うこと

① 実習生を引率するインストラクタ

- ✓ 実習生の状態・動作を常に把握してトラブル対処が即時可能な態勢をとること
- ✓ 潜水器の取扱やバディシステムが組めないなど技量の習熟度及び実習生の数に応じてアシスタントを配置すること

② 全体責任者、監視・救助係、救急要請・連絡調整係

- ✓ 全体責任者は全体を把握できる位置から離れないこと
- ✓ 監視・救助係は装備など直ちに救助できるようにしておくこと
- ✓ 救急要請・連絡調整係は全体責任者を補佐して事故が発生したら直ちに救急要請を行うこと

(2) 救助に必要な物品を確認及び使い方を習熟しておくこと

- ✓ 蘇生マスクを使って酸素を投与しながら息を吹き込む方法を習熟しておくこと

(3) 実習の前に事故を想定した訓練を行うことを推奨する。

本例から学ぶもの(続き)

2 事故対処

水中においてレギュレータが外れて意識消失状態で発見された場合の留意点¹⁰⁾

1) 発見時

✓ 遅滞なく救出浮上する。

2) 救出浮上時

✓ 肺過膨張による動脈ガス塞栓症を防ぐ目的で頭頸部は中立位からやや伸展位とする。

3) 海面到着時

溺者には低酸素改善が優先され、換気されないと危険に陥る。可及的速やかに息吹き込みが必要である。最初の息吹き込みで直ちに呼吸再開する可能性がある。最初の息吹き込みは5回を推奨(欧州基準¹²⁾)

✓ 事故者を仰向けにしてウエイトベルトを外し、事故者と救助者両方の浮力を確保する。

✓ 救助者は助けを呼び、事故者の気道を確保して、自発呼吸なければ息を吹き込む(訓練されている場合)。

✓ 監視・救助係は直ちに事故者へ向かう。

✓ 全体責任者は救急要請・連絡調整係に救急車要請を指示し、酸素供給セットとAEDの準備を指示する。

4) 陸上への曳行時

✓ 陸上まで曳行する間、救助者は断続的に人工呼吸する。

5) 陸上へ引き上げ後の救急蘇生

✓ 気道確保して酸素を繋いだ救急蘇生マスク(参考資料参照)を用いて直ちに人工呼吸を行ってから2人法にて心肺蘇生を開始し、救急隊が到着して引き継ぐまで継続する。

本例から学ぶもの(続き)

＜課 題＞	＜対 策＞
短時間で意識消失することがある。	常に監視を怠ってはならない。
パニックを起こしても気づかれない。助けを求める余裕がない。 パニックを起こす要因がある。	水への恐怖心、受講意欲、泳力を事前に確認し、 泳力、練度に応じた講習内容とする。
初心者はバディ・システムに期待できない。	実習生の数と練度に応じたアシスタントを配置する。
溺水においては高度の低酸素状態である。	蘇生術では人工呼吸を最優先する。 酸素投与が可能な蘇生マスクを使用する。
事故は起こるものとする。	事故を想定した予防と危険を予測し対処する。 想定した事前訓練を推奨する。
曳行時にウエイトを外さないと水の抵抗がある。 曳行時に海水が顔にかかり気道に入る。	ウエイトを外して浮力を確保する。
BCジャケットポケットにウエイトを入れた浮力調整により緊急時浮力不足・水上曳行時抵抗・水中バランス不安定の可能性	有効なクイックリリース及び水中バランスを考慮してウエイトベルトにウエイトを付けて適切に浮力調整する。

おわりに

本検討会は専門学校の第3者委員会として設置された潜水事故調査委員会に協力する形で開催されましたが、検討会の開催日(2022年2月28日)は会議メンバーの都合上、事故調査委員会調査活動の途中で開催されております。

検討会において、時間経過について検討が必要であること、水中で意識がない状態で発見されたあと比較的短時間で救命活動が行われたものの結果として救命し得なかったことが疑問点として指摘されました。そこで検討会後の事故調査委員会活動では、事故に関係した方々からのヒアリングを行いながら分析を進めるとともに、併せて事故現場での潜水を行って当時の状況を再現して検証が行われました。事故当時居合わせたインストラクタの方々や捜査に当たられた海上保安庁及び海上自衛隊潜水医学実験隊が開催する潜水安全講習会での症例検討をはじめ、事故調査活動にご協力いただいた方々に深く感謝申し上げます。

事故発生から1年以上経過した段階で潜水事故調査が始められて関係者からのヒアリングが実施されましたが、ある程度詳細な時間経過の分析ができ、事故に遭った学生がダイビングしている状態から最大1分前後で意識消失状態で発見されたことが判明した一方、当時の記憶が曖昧になりヒアリング内容の不一致もでてきましたので、解釈にはある程度の幅を持たせざるを得ませんでした。この種の調査は可能な限り早い段階で実施されることが今後の反映事項と思います。

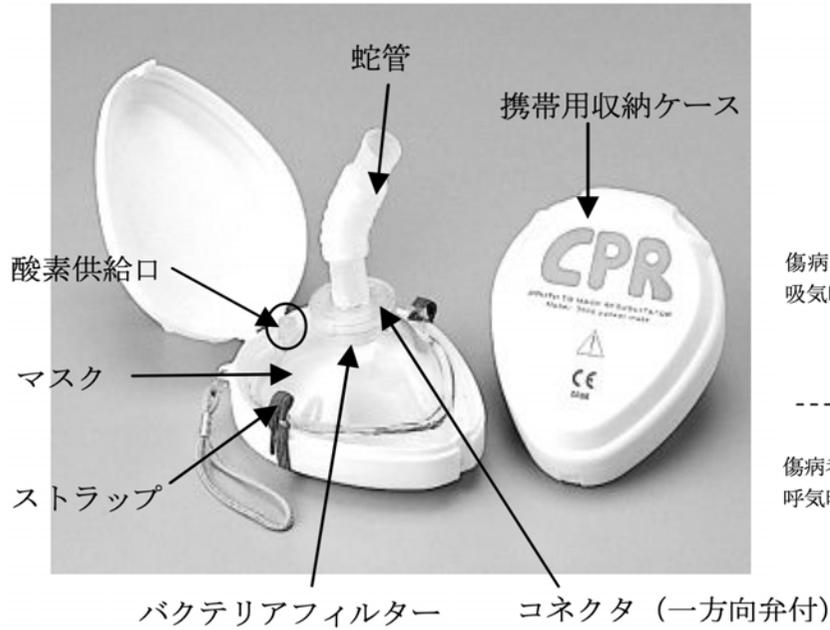
今回の調査・検討により、初めてのダイビング実習を行う上での事故予防や事故を想定した準備並びに事故発生時の対処について具体的な留意点を抽出することができました。今回のような事故を二度と繰り返すことがないように事故予防や適切な事故対処に役立てることができれば幸いです。

疑問が上がった点

- ① 泳力不足で潜水させるのか？
 - ② 半日のプール実習で海実習を行うのか？
 - ③ イントラ1人で、未経験者4人を見るのか？
 - ④ 海象気象の判断が妥当であったか？
 - ⑤ 海実習の際、警戒艇はなぜなかったのか？
 - ⑥ 水中での意識不明者の引き上げに問題なかったのか？
 - ⑦ 引き上げ後のCPRに問題がなかったか？
 - ⑧ 全体の管理体制は問題なかったか？
-
- ① 泳力不足で潜水させるのか？
 - ・資格を伴う課程
 - ✓ 耐圧検査(30m)
 - ✓ 25mの潜水(無呼吸)
 - ✓ 45mの潜水(4呼吸まで)
 - ✓ 400mを10分以内で完泳
 - ・資格を伴わない課程
 - ✓ 耐圧検査(30m)
 - * 海上自衛官は、毎年水泳能力測定を行っており大半は泳力あり。
 - ② 半日のプール実習で海実習を行うのか？
 - ・1日の体験潜水実施の課程
 - ✓ 事前に耐圧検査を実施している。
 - ✓ 半日 座学(器材説明、潜水全般の説明)
 - ✓ 半日 プール実習(最大1.7m)
 - * 海実習なし
 - ・海実習のある課程
 - ✓ 事前に耐圧検査を実施している。
 - ✓ 半日 座学(器材説明、潜水全般の説明)
 - ✓ 半日 プール実習(最大1.7m)
 - ✓ 1日 恒温水槽(最大10m)
 - ✓ 半日 海実習
 - ③ イントラ1人で、未経験者4人を見るのか？
 - ・海上自衛隊では、過去潜水事故をもとに安全を最重要視している。
 - ・学生教育時
 - ✓ 基本的には、教官1名に対し学生2名
 - ✓ 学生には、バディー潜水の必要性を説明
 - ✓ 教官は、学生から目を離さない。
 - ④ 海象気象の判断が妥当であったか？
 - ・海象気象については、荒天が予想される際は海での実習は取りやめる。
 - ・海実習の代替として恒温水槽または、プールに置き換える。
 - ・警戒艇が出られない状況では海での実習は行わない。
 - ⑤ 海実習の際、警戒艇はなぜなかったのか？
 - ・海上自衛隊では、必ず警戒艇で水上から監視を行う。
 - ⑥ 水中での意識不明者の引き上げに問題なかったのか？
 - ・水中からの引き上げは、非常に難しい。(講習、練習が必要)
 - ⑦ 引き上げ後のCPRに問題がなかったか？
 - ・陸上での意識不明者へのアプローチは、日赤や消防での講習方法が良い。
 - ・海、河川やプールでの意識不明者へのアプローチは、肺に海水(水)が入っている場合があるので対応が若干変わる。
 - ⑧ 全体の管理体制は問題なかったか？
 - ・必修の科目(単位)の場合でも、実際に実習を行わなくても見学でも単位はもらえる(一部の課程教育)。
 - ・必修の科目(単位)であると、一部には「いやいや」やる学生がいる可能性がある為、リスクのある講習や実習を行うと事故が起こりやすい。
 - ・必要な人員が現場にあるように人を手配している。
 - ・事前に教官側が実習内容の確認を行う。

救急蘇生マスク

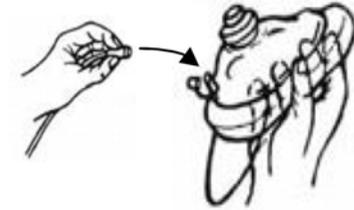
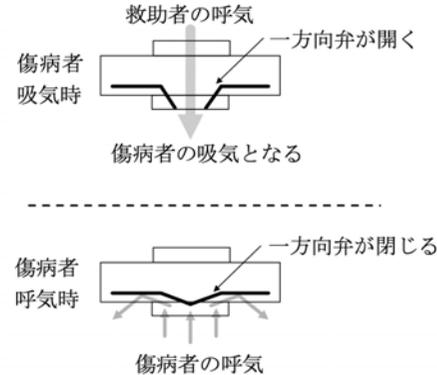
【各部の名称】



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】

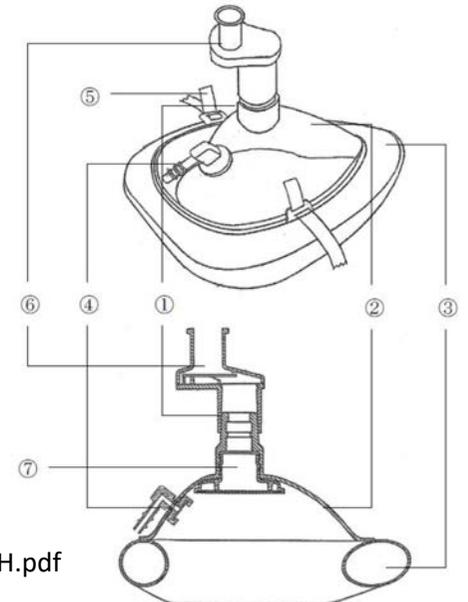


酸素チューブを接続



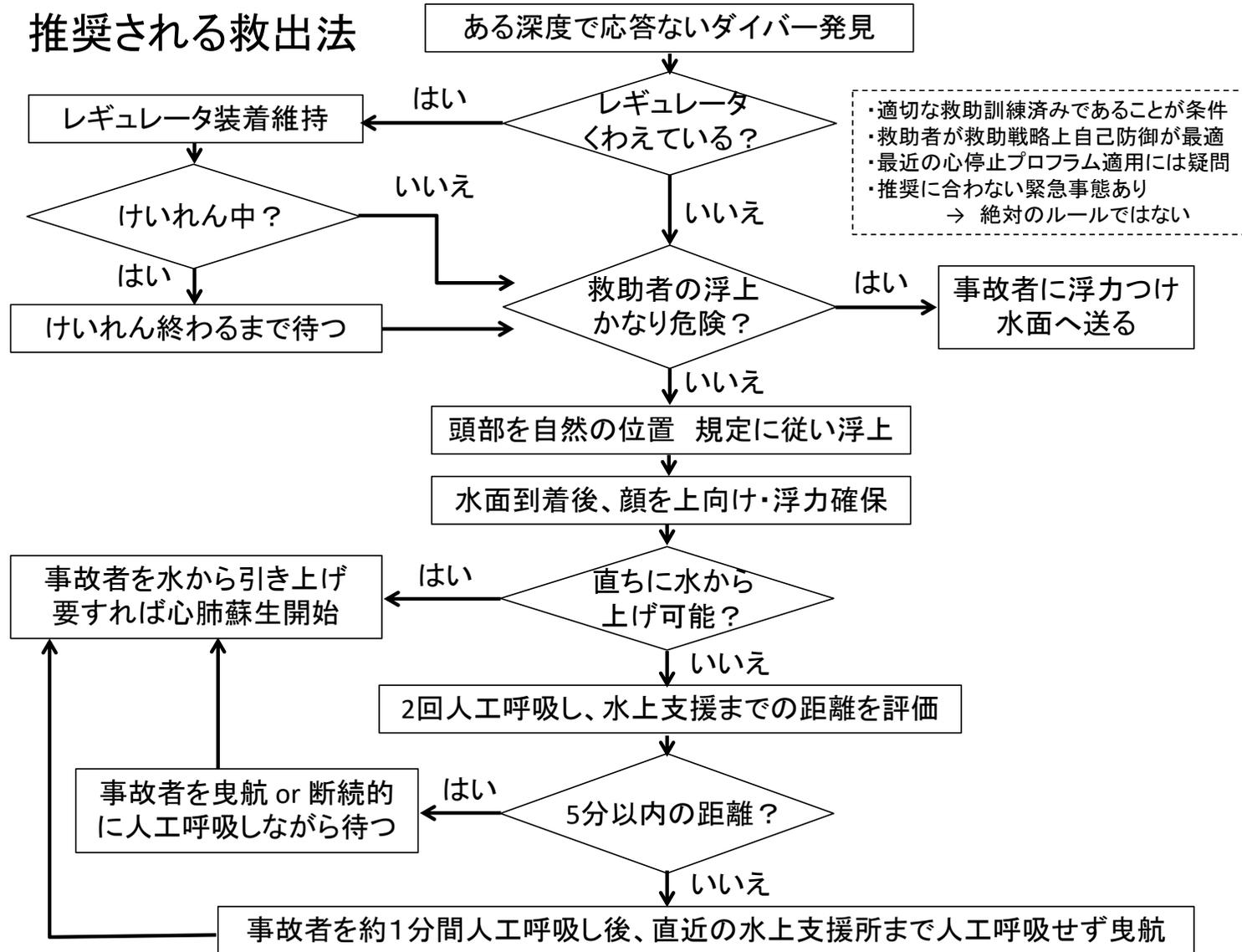
蛇管を口にくわえ人工呼吸
傷病者の胸が膨らむまで
ゆっくりと息を吹き込み、傷
病者に息を吐き出させる。

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

推奨される救出法



The Encyclopedia of Recreational DIVING

日本語/JAPANESE



PADI

り幅広いカマーバンドなどになっています。

次第にバックル付きナイロンのストラップは少なくなり、ファステックス™タイプのクリップなどがジャケットに使われるようになりました。

カマーバンド・タイプのウエスト・バンドの大きな長所は、その快適さです。幅広くパッドの入ったバンドは、広い範囲を押さええます。また、カマーバンドは水面で浮いているときに、BCDがずり上がらないようにします。BCDによっては体に緩くフィットするタイプ、一方できつくフィットして背中にタンクが張りつく感じのものもあります。テック・ダイバーはまったくカマーバンドを使いません。システムBCDではカマーバンドを使うか使わないかの選択ができます。

ポケット。ほとんどのBCDには、水中ノート、バックアップ用タイプ・テーブルなどを入れておくポケットが付いています。ポケットはレクリエーション・ダイビングでは大変役立つ機能です。バック・マウントのテック・ダイビング用のBCDには、追加できるポケットが用意されています。しかしテック・ダイバーは、BCDにはポケットをまったく付けないか、付けてもごく小さなポケットだけです。ポケットは保護スーツの太股に付けています。

ホース留め。ある時期ほとんどのBCDには、残圧計やバックアップ空気源がぶら下がらないように（水中生物にダメージを与えないためと、器材そのものを傷めないために）、ホース留めが付いていました。ところがこのホース留めでは、重いゲージ・コンソールや予備のセカンド・ステージをうまく留めておくことができず、トラブルの元でした。今日の気配りダイバーは、クリップなどを使って器材をしっかりと留めて、ぶら下がらないようにしています。このようなクリップを使えば、残圧計などを自分の使いやすい場所に付けておくことができます。多くのBCDには複数のホース用のクリップが付けられています。

アクセサリ用Dリング。テック・ダイビング用BCDの目立つ特徴に、減圧タンク、その他の器材を留めておくためのBCDの肩や腰の位置に付けられたDリングがあります。レクリエーション・ダイバーは、このDリングをすぐに取り入れました。現在の多くのジャケット・タイプBCDには、Dリングが何カ所かに付けられています。残圧計、バックアップ空気源、アクセサリなどを留めておける場所が増えたのです。Dリングを使うときには、クリップ側はBCDではなくアクセサリーのほうに付けることを忘れないでください。

インテグレイテッド・ウエイト・システム（ウエイト一体型BCD）。このBCDと一体型のウエイトは1972年（At-Pack）に登場していましたが、1990年代になるまで一般には受け入れられなかったのです。BCDにウエイトを組み込むことには、いくつかの利点があります。ウエイト・ベルトがいらぬこと、そしてその分快適なことです。通常のウエイト・ベルトを着けて垂直姿勢（水面に浮いているとき）では、ウエイトはダイバーの腰を下の方に引っ張り、一方BCDは上体を引っ張り上げようとします。結果としてBCDだけが水面上にずり上がるようになってしまいます。



ウエイト一体型BCDなら、腰だけ沈むことはありません。常にBCDはしっかりと肩と背中に密着します。

テック・ダイバーは装着する器材が多いので、ウエイト・システムを使わないことが少なくありません。着けたとしても、レクリエーション・ダイバーほどの量は着けません。できるだけハーネスがかさばらないようにするために、テック・ダイバーはウエイト一体型のシステムを使わないのが一般的です。

ウエイト・ハーネス。広く使われているわけではありませんが、ウエイト・ハーネスなら腰に着ける代わりに肩で背負うので、多くのウエイトを身に付けることができます。安全のために、ウエイト一体型BCDと同じように、ウエイト・ハーネスにもクイック・リリース・システムが必要です。ドライスーツを使う寒冷地で最も人気があります。



ウエイト一体型BCDでは、ダイバーの浮力はBCDと一体です。プラス浮力、マイナス浮力、中性浮力であっても同じです。BCDの重みは心地良く肩にかかります。ウエイト・システムがBCD一体型でないBCDを使用しているときは、ウエイトはダイバーを下に引っ張ろうとし、一方BCDは上へ引っ張り上げようとします。たくさんウエイトを必要とするときほど、BCD一体型のウエイト・システムが快適なことに気づくでしょう。

次にウエイト・システムを更に詳しく見ていくことにしましょう。

ウエイト・システム

保護スーツがなくても、ほとんどの人は浮きぎみです。しかし、筋肉量に対して体脂肪の割合が小さい人は、浮くためにウェットスーツ、ドライスーツを着なければなりません。



大量のウエイトを着けるときには、ハーネス・ウエイトがよいでしょう。ウエイトの重さが腰でなく、肩にかかります。緊急時には黄色の輪を引いてウエイトのポケットを開け、リリースします。

いつもではないにしても、ほとんどの場合、ウエイト・システムが必要です。ここで取り上げるウエイト・システムには、インテグレイテッド・ウエイト・システム（ウエイト一体型）、ウエイト・ハーネス、ウエイト・ベルトが含まれます。

材質と構造

ウエイト・システムの中心を占めるのは鉛です。比重が大きく、比較的安価で、多様なダイビング目的に合わせて製造するのも簡単です。メーカーは、使用目的に合った色々な形のウエイトを鉛から製造しています。

BCD組み込みのインテグレイテッド・ウエイト・システムに使われているポケットの材質はメーカーによって違いますが、大半はBCD本体に使われているのと同じ丈夫な材質のポケットが採用されています。インテグレイテッド・システムではベルクロ™で閉じるようになっているものが多く、ウエイト量の調節もしやすく、緊急時にはすぐに捨てられます。

長い間にわたって様々なタイプのウエイト・ベルトがありましたが、5cm幅のナイロンのベルトが、今でも最も一般的です。高級タイプには、丈夫な生地ポケット付きのウエイト・ベルトもあります。伸び縮みするネオプレン・タイプもあります。クイック・リリース・バックルにはプラスチック、金属製両方があります。

タイプ

インテグレイテッド・ウエイト・システムは個人的なウエイト・システムなので、ここではウエイト・ベルトに絞って話を進めます。標準的なウエイト・ベルト、ショット・フィールド（散弾型）ベルト、ポケット・ベルトの基本的な3タイプがあります。

標準ベルト。最も一般的なウエイト・ベルトで、クイック・リリース・バックルの付いた5cm幅のナイロンまたはネオプレンのベルトです。このベルトにウエイトを通して使います。金属製プラスチック製のストッパーでウエイトが動かないように留めることもあります。

標準ウエイト・ベルトの主な長所は、シンプルで安価なこと。ウエイトの増減に時間がかかるのが主な欠点です。また多くのダイバーが着け心地が悪いと考えています。

ショット・フィールド・ベルト（散弾ベルト）。このタイプのベルトには、鉛の散弾を入れる袋が付いています。入れる散弾も定量の小袋に分けられています。ウエイトがゴツゴツと体に当たらないので、標準タイプのベルトよりはるかに快適です。最大の欠点はウエイト量の調節にひどく時間がかかることです。また散弾のウエイトを用意しているダイビング・オペレーターがほとんどないので、調節用の散弾を自分で持って歩かなければなりません。

ポケット付きベルト。ウエイトをひとつずつ入れるポケットが並んでいるベルトです。長所はウエイト量の調節が簡単なことと、違ったタイプのウエイトが使えることです。ナイロン製なので体への当たりが柔らかく、着け心地が良いことも長所です。このタイプは、最初はウェットスーツ用のネオプレン製でしたが、快適でしたが、長持ちしないのが難点でした。最近のポケット・タイプは丈夫な織りのベルトになって、長持ちするようになっています。

ウエイトのタイプ。様々なタイプと形のウエイトがあります。最も一般的なウエイトは、角形のベルトを通す穴のあるタイプです。大きさも色々で、自分にぴったりのサイズに調節できるようになっています。ほとんどのハーネス・ウエイト・システム、BCD組み込みウエイト・システムは、この角形のウエイトが入るようになっています。

ヒップ・ウエイト（腰用大型ウエイト）は、大型の角形ウエイトですが、腰に合わせてカーブさせてあります。通常の角形ウエイトをたくさんウエイト・ベルトに着けるよりも快適です。ハーネス・タイプ、BCD組み込みタイプのウエイト・システムはヒップ・ウエイトに合わないことが多く、ヒップ・ウエイトはほとんど標準タイプのベルトで使われています。

ビュレット・ウエイト（弾丸タイプ・ウエイト）は筒形で両端を丸くしたウエイトです。真ん中に開けた穴にベルトを通しますが、滑って動くのでウエイト留めが必要です。このタイプは非常に快適です。ほとんどのBCD組み込みタイプ、ポケット・タイプのウエイト・システムに使えます。

散弾タイプのショット・ウエイトは、鉛が少しずつ小袋に入っていて、必要なウエイト量になるまで足していきます。このウエイトは非常にソフトなので、着け心地が良く、誤って足に落としても大きなケガはしないでしょ。しかし、このショット・ウエイトはポケット・タイプ、ハーネス・タイプ、BCD組み込みタイプのウエイト・システムにしか使えません。

特徴

クイック・リリース。レクリエーション・ダイビングで使用されるすべてのウエイト・システムは、片手で、しかも一動作で、ウエイトの一部、あるいはウエイト全部を捨てられる、クイック・リリース・システムでなければなりません（ここで一部とあるのは、必ずしもすべてのウエイトを捨てなくても、楽に浮いていられるだけのウエイトを捨てるという意味です。詳しいことは後で取り上げます）。

ウエイト・ベルトには例外なくクイック・リリース・バックルが付いています。自分のベルトがすぐにわかるように（カラー、形など）になっているものもあります。ウエイト・ベルトは常に右手で外せるように装着します。緊急時に他のダイバーが手助けするときに、まごつかないためです。また、右手で外すのを標準化することで、どうやって外すか迷わずに済むからです。

インテグレイテッド・ウエイト・システム（ウエイト一体型）のBCDとウエイト・ハーネスには、はっきり目立つ輪あるいはT型のハンドルが付いています。すべてのウエイトを一度に捨てるタイプもありますが、2つのハンドルがそれぞれ半分ずつウエイトを捨てるタイプのクイック・リリースがより一般的です。これらのシステムを使ってウエイトを捨てたり、ウエイトを入れたポケットを開けることができます。



ウエイト・ベルト（左）はクイック・リリース・バックル付きです。ウエイト一体型BCD（右）のクイック・リリース・システムはメーカーやモデルによって様々です。ダイバー・チームはそれぞれのダイバーのウエイト・システムを知っておく必要があります。

このシステムを実際に役立てるには、このリリース・システムの使い方をパディにも必ず教えておくことが必要です。テック・ダイビングでは、通常のウエイト・システムは使いませんが、テック・ダイバーがウエイトをクイック・リリースで捨てるのは最後の手段です。誤ってウエイトを落としてしまっても、レクリエーション・ダイビングならダイビングがしにくいだけで済みますが（オーバー・ウエイトでない限り）、ケープ・ダイビング、レック・ダイビング、減圧ダイビングなどのテクニカル・ダイビングをしているときに起きれば、最悪の事態です。この理由でテック・ダイバーはウエイト・ベルトに2つのバックルを付けていて、ウエイトを捨てるときは両方のバックルを外します。更にウエイトを落とすのを防ぐためにハーネスの股がけを、ウエイト・ベルトの上にかけるダイバーもいます。

深度調整ベルト。潜降するにつれてウェットスーツが圧縮されるので、水面ではぴったりしていたウエイト・ベルトも緩んできます。伸縮性のゴムの入ったもの、スプリング付きバックル、ネオプレン製のものなど、緩みをとる機能の付いたウエイト・ベルトがあります。伸ばした状態でベルトを着けておけば、潜降中の緩みをとってくれます。

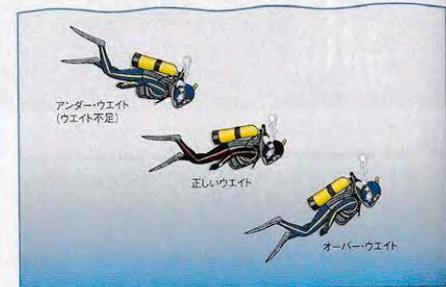
ビニール・コーティング・ウエイト。鉛だけのウエイトはシンプルで安価なのですが、ビニール素材でコーティングしたウエイトも人気があります。見た目がきれいなだけでなく、コーティングされたウエイトは長持ちし、ボードやプールのデッキに傷をつけにくく、より着け心地が良いという長所があります。素手で鉛のウエイトを扱う場合、それほど重大ではありませんが、危険性があります。ビニールカバーされたウエイトにはこのリスクがありません（むき出しの鉛を扱う場合は、グローブを使うことが理想的です。鉛に触ったときは、手を完全に洗うまでは鼻、口、目に触れないようにします）。

ウエイト、浮力、流線形

ウエイト、浮力、流線形、これらはセットです。どれかひとつが欠けても、うまくいきません。最も重要なのは、ウエイトの量です。アンダー・ウエイト（ウエイトが足りない）ならば、体を下に向かわせるために、脚を高く保って泳がなくてはならず、水平でないため、流線形にはなりません。効率が悪いだけでなく、タンクが空になるにつれて軽くなるので、事態は更に悪化します。

オーバー・ウエイト（重すぎる）のときは、マイナス浮力を相殺するために、BCDに空気を足すこととなります。すると体の中心位置が移動し、脚が低く、胸部が上向きになります。これでは、また流線形にはなりません。泳ぎの効率が悪くなるだけでなく、この姿勢では誤ってフィンで水中の生物にダメージを与える可能性があります。

正しくウエイト調整をしていれば、スーツが圧縮された分だけBCDに空気を補うだけです。水平姿勢が保てれば余計なものを引きずらずに済み、エネルギーの消費も少なくて済みます。これは完成されたダイバーになるための条件です。



正しくウエイト調整をしていれば、水中で水平の姿勢が保てます。アンダー・ウエイト、オーバー・ウエイトでは水平姿勢が保てないので、水に対する投影面積が多くなり、余計なエネルギーを使うことになります。

参考

PADIピーク・パフォーマンス・ボイヤンシー・ビデオ

ウエイト・システムの使い方

見た目のシンプルさから、ウエイト・システムは軽んじられる傾向があります。沈むために多めのウエイトを着け、浮上するにはBCDを使えばよいというダイバーもいます。このような誤解がダイバーの水中の行動力を妨げ、安全を損なっています。

正しいウエイト量。ウエイト量の犬雑把な決め方を、これまでに色々聞いてきたでしょう。正しいウエイト量の決め方はただひとつ、器材を着けて水中に入って決める方法しかありません。正しくウエイト調整ができていれば、完全に空気を抜いたBCD（ドライスーツのときは、ドライスーツの空気も）を着け、ほとんど空のタンクを背負い、通常の呼吸をして止めた状態で、水面が目の位置で浮いています。息を吐くとゆっくりと沈み、タンクの空気が35bar（500psi）であれば、水深5m（15ft）でホバリングできなければなりません。

必要なウエイト量が決まったら、そのときの器材とともにウエイトの量をログブックに記録しておきます。タンクのサイズとタイプ、保護スーツの厚さとスタイル（ワンピース、フーピースなど）、淡水か海水かなども記録しておきます。ウエイト量の決定にはこれらの条件が関係するからです。記録しておけば、同じ器材で、同じロケーションでダイビングをするときに、ウエイト調整の時間が節約できます。



完全に空気を抜いたBCDと（ドライスーツを着ているときにはドライスーツも）、ほとんど空になっているタンクを着けた状態で、正しいウエイト量ならば、普通の呼吸をして息を止めたときに、目の位置に水面がきます。

これ以上の予備ウエイトには意味がありません。その反対にBCDに空気を入れなくてはならず、水中で体に負担がかかります。体力を消耗します。BCDに空気を入れていたのでは深度の変化によって浮力が変化するので、BCDによる浮力のコントロールに追われることになります。ウエイトを着

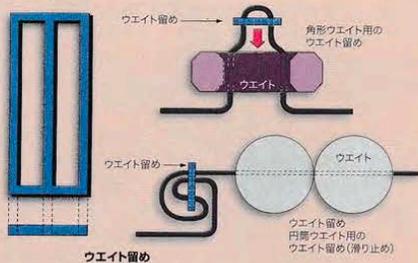
けすぎると、足のほうが沈んでしまい、上体が起き上がりやすくなります。流線形でない体勢で泳ぐことになり、足が下にあるので水底を蹴ってしまうことにもなります。多すぎるウエイトは、浜を歩くときにも、ボートのハシゴを上るときも、波打ち際を通り抜けるときも、いつでもトラブルの元です。

ウエイトの配置。ウエイトの必要量が一度わかってしまえば、次はどこに着せるかです。体の両側に平均してウエイトを着けるべきです。平均して着けないと、重い側に体が傾いてしまいます。

ウエイト一体型BCD、ウエイト・ハーネス、ポケット付きベルトは、体の両側に完全に左右対称にウエイトが着けられます。タンクの重量とバランスをとるために、重めのウエイトは体の前のほうに着けるようにします。通常のウエイト・ベルトでもこれは同じですが、動かないようにするには、少し工夫が必要です。

まずバックルにベルトを取り付けます。バックルにベルトを25~30cm（10~12in）ほど通して折り返し、また通します（長くする必要が出たときの余裕分として）。次にバックルが左にくるように置きます（右手で外すために）。バックルの近くまでウエイトを入れていきます。左右対称になるように、右側、左側の中央部はバランスをとるために空けておきます。一番奥のウエイトとはバックルから8~10cm（3~4in）ほど離します。ウエイトは詰めて並べますが、ベルトが曲げられるようにウエイトとウエイトは少し間隔を空けます。タンクの当たる中間部はウエイトを置かず空けておきます。空きスペースの両側のウエイトにウエイト留めを付けるか、ベルトの空きスペースの両端にウエイト留めを付けておきます。最後のウエイトは留めないようにします。

保護スーツを着てベルトを着着てみます。正しくウエイトが配置されたベルトなら、バックルを閉めたときに、ベルトの端が15~20cm（6~8in）ほど出ます。それ以上長いときは、ベルトの長さを直す必要があります。ウエイト・ベルトは、ホットナイフ（はんだごての先がカッターナイフのようになっている工具）で切れば切り口がほつれません。ベルトの切り口が角ばっているときは、バックルに通しよいうに角を少し丸めておきます。ホットナイフがないときは、ガスライターのようなもので炙ってほつれを止めます。



ウエイト留めも、ウエイトのタイプで使い方が違います。

最終的なウエイト量のチェックが終わっていないときは、更に15~20cm（6~8in）ほど残しておきます。ウエイト・チェックの結果、ウエイトを足す必要があるときのためです。必要なウエイト量を確認して、最終的なベルトの長さを決めてから切ります。

複数ウエイト・システム。最も冷たい水域でのダイビングでは、最も厚いドライスーツとアンダーガメントが必要で、その結果浮力も大きくなります。時にはウエイトが23kg（50lbs）にもなります。これだけの量のウエイトを1本のウエイト・ベルトに着けるのは、とても快適とは言えません。自分の意志でやったにしても、誤って落としてしまったときも、ウエイトが外れたときはどちらも危険なスピードの急浮上を招きます。

14~18kg（30~40lbs）以上もウエイトが必要なきは、複数のウエイト・システムを使うことを考えなくてはならないでしょう。通常のベルトとBCD組み込みタイプを組み合わせたり、ウエイト一体型のBCDとウエイト・ハーネスを組み合わせるようによります。BCD一体型のウエイト・システムによっては、前にも述べたように、2系統にウエイトを分けています。ウエイトを配分することで、急浮上が防げます。ウエイトの半分、3分の1、4分の1だけを捨てることでも、十分な浮力が得られます。ウエイトを配分して着けるほうが快適です。

テクニカル・ダイビングのウエイト。テクニカル・ダイビングでも正しいウエイト調整は難しいことではないのですが、実際には多くのテック・ダイバーは、知らずにアンダー・ウエイト（ウエイト不足）でダイビングをしています。テクニカル・ダイビングで正しくウエイト調整をするということは、ほとんど空になったダブルのタンクを背負い、ステージ/減圧タンクなしの状態、5m（15ft）で減圧停止できるようにウエイト調整していることを意味します。これは、タンクにほとんどガスが残っていない、しかもステージ/減圧タンクをすでに捨てたか失くしている状況で減圧するという最悪のケースに備えて、ウエイトを調整しておかなければならないということです。

実際には、テック・ダイビング中は、ほとんどすべての時間、ダイバーはマイナス浮力です。予備のタンクを持っている場合は、更に重さが加わります。更にガスの重さだけでも9kg（20lbs）にもなることがあります。つまり、ダイビングのスタート時に14kg（30lbs）もマイナス浮力になる可能性があるのです。皆さんのようなレクリエーション・ダイバーは緊急手段としてウエイトを捨てることができますが、テック・ダイバーはそう簡単にウエイト・システムを捨てるわけにはいかないのです。これがテック・ダイバーが常に最小限2つの浮力コントロール・システムを持っている理由です。

スタート時にマイナス浮力なので、ダイバーは十分なウエイトを持っていると思いがちです。ダイビングも終盤にさしかかり、タンクのガスもほとんど消費してしまったときに減圧することになって、ウエイトが足りないことに気がつくのです。

タンク

高圧タンクは、すべてのタイプのスクーパー（オープン・サーキット（開放式）、SCR（半閉鎖回路式リブリーザー）、CCR（閉鎖回路式リブリーザー）の心臓部です。膨大な量のガスをかなり小さな容器に圧縮して詰めておけないならば、スクーパー（自給式）ダイビングはできません。オープン・サーキット・スクーパーでは、タンク（シリンダー、ボトルという名称でも知られています）は、深度、呼吸スピード、タンクの違いにもよりますが、およそ1時間のダイビングが十分にできるガスを蓄えています。

タンクはその考え方そのものはシンプルですが、細かく見ていくと驚くほど複雑です。基本的にはガスの流れをコントロールする開閉バルブの付いた、非常に強力な容器ということです。ダイブセンターはタンクに規定の圧力までガスを充填してくれます。ダイバーは、レギュレーターがコントロールするタンクからのガスを呼吸します（レギュレーターについては、この後で説明します）。それだけのことと思いがちですが、その材質の特徴、手入れ、安全機能、材質とサイズの違いなどを知れば、考え方が変わります。

材質

スクーパー・タンクをレンタルしたり、買ったりするとしたら、材質はスチール製かアルミニウム（正確にはアルミニウム合金）製のどちらかでしょう。長い間にわたって、ステンレス・スチール、チタン、繊維複合素材などから、実験的、原型的なタンクが作られてきましたが、どれもほとんどないも同然の存在でした。はっきり言えば、レクリエーション・ダイビング、テクニカル・ダイビングの世界では、これらのタンクを見ることはないでしょう。

スチール。最初のレクリエーション・ダイビング用のタンクはクローム・モリブデン鋼（スチール）製でした。この素材は現在でも多くのダイバーに人気があります。スチール製のスクーパー・タンクしか手に入らない地域もあります。

スチール・タンクは硬く（そのため外部からのダメージに強い）、空のときでもマイナス浮力です。スチール・タンクの長所はウエイト・ベルトに着けるウエイトが少なくて済むことです。大容量のタンクはスチール製です。その浮力の特長と相まって、ほとんどのテック・ダイバーがスチール製のダブル・タンクを使っています。

スチール・タンクの主な欠点は、正しい手入れをしないと錆びやすいことです（酸化反応を起こし、酸化鉄を作る）。

アルミニウム。アルミニウムはスチールより軟らかいので、打撃や不注意な取り扱いで、ダメージを受けやすくなります。更に、元々スチールほど強くないので、アルミニウムのタンクの壁は厚くする必要があります。そこでタンクはスチールに比べて大きく、水の外では重くなっていますが、水中ではより浮力があります。アルミニウム・タンクは、スチールほどの過充填（過剰圧力）には耐えられません。

参考文献

- 1) Medical Examination of Diving Fatalities. Proceedings Summary, DAN and UHMS Medical Examination of Diving Fatalities Symposium. June 18, 2014. (<https://dan.org/health-medicine/health-resource/health-safety-guidelines/medical-examination-of-diving-fatalities/>, 2023.3.15 accessed)
- 2) John Lippmann: Physiological and Psychological Considerations of Depth. In The Essentials of Deeper Sport Diving: An Overview of the Theory and Requirement of Deeper Diving. Aqua Quest Pub. New York, 1992, pp.13-14.
- 3) Campbell ES: Panic Attacks and the Blue Orb Syndrome. (<http://scuba-doc.com/panic-attacks-and-the-blue-orb-syndrome/>, 2023.3.15 accessed)
- 4) Colvard DF: Prevention Strategies for Anxiety & Panic in Divers. (<https://vdocument.in/prevention-strategies-for-anxiety-panic-in-divers-david-f-colvard-md-psychiatrist-divemaster-divepsychcom-raleigh-north-carolina-usa.html>, 2023.3.15 accessed)

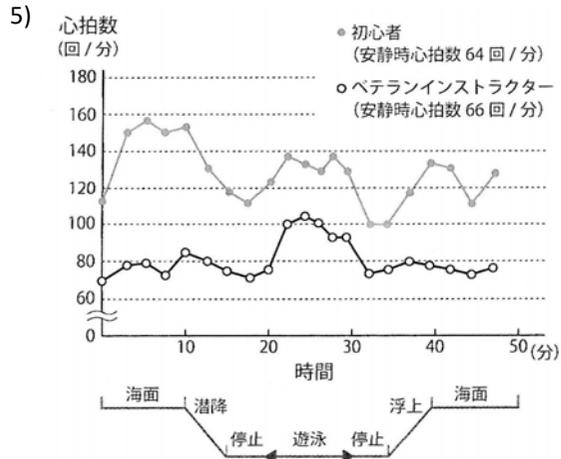


図32-1 スクーバダイビングにおける心拍数

習熟度によって大きな差異がある。

- 6) Simon TB, et al.: Hematocrit Change in Tropical Scuba Divers. Wilderness and Environmental Medicine, 18, 48-53 (2007). ([https://www.wemjournal.org/article/S1080-6032\(07\)70204-1/pdf](https://www.wemjournal.org/article/S1080-6032(07)70204-1/pdf))
- 7) Szpilman D, et al.: Drowning. N Engl J Med 2012;366:2102-10. (<https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/nejmra1013317>)
- 8) Vittone M: Drowning Doesn't Look Like Drowning. added 2 JAN 2014 (<http://foster.vic.au/drowning-doesnt-look-like-drowning/>)
- 9) 水死・溺死の原因. 日本スポーツ振興センター (https://www.jpnsport.go.jp/anzan/Portals/0/anzan/anzan_school/suiei2018/suiei2018_7.pdf)
- 10) Mitchell SJ, et al.: Recommendations for rescue of a submerged unresponsive compressed-gas diver. Undersea Hyperb Med. 2012;39(6):1099-108. (<https://umaine.edu/scientificdiving/wp-content/uploads/sites/335/2014/10/Recommendations-for-rescue-of-a-submerged-unresponsive-compressed-gas-diver.pdf>)
- 11) Vanden Hoek TL, Morrison LJ, Shuster M, Donnino M, Sinz E, Lavonas EJ, Jeejeebhoy FM, Gabrielli A. Part 12: cardiac arrest in special situations: 2010 American Heart Association guidelines for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care. Circulation. 2010;122(suppl 3): S829 - S861. (<https://www.ahajournals.org/doi/epub/10.1161/CIRCULATIONAHA.110.971069>)
- 12) Carsten Lott, et al. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Cardiac arrest in special circumstances. Resuscitation. 2021;161:152-219. (<https://www.cprguidelines.eu>)
- 13) 厚生労働省: 救急蘇生法の指針2015 市民用. 日本救急医療財団心肺蘇生法委員会監修. (http://www.fdma.go.jp/neuter/topics/kyukyu_osei/sisin2015.pdf)