

## 高気圧作業安全衛生規則の課題と今後のあり方について

合志 清隆<sup>1,2\*</sup>, 森松 嘉孝<sup>2</sup>, 錦織 秀治<sup>2,3</sup>, 近藤 俊宏<sup>4</sup>, 玉木 英樹<sup>2,5</sup>, 石竹 達也<sup>2</sup>

<sup>1</sup>西日本病院 脳神経外科

<sup>2</sup>久留米大学 医学部 環境医学講座

<sup>3</sup>有限会社 中国ダイビング 潜水技術研究部

<sup>4</sup>オリエンタル白石株式会社 経営企画部第二事業企画チーム

<sup>5</sup>玉木病院 外科・総合診療科

**要 旨**：高気圧環境での労働者の健康管理を規定している法令である高気圧作業安全衛生規則(高圧則)が平成26(2014)年12月1日に改正された。しかし、その改正によって新たに別の問題が浮き彫りになると同時に、労働衛生の側面からは適正な改正には至っておらず、高気圧作業での安全対策の混乱は依然として残されている。高圧則に沿った高気圧作業の安全対策には最善とされない対処が見受けられ、さらに別の法律上の問題に発展するとも考えられる。本稿では主に産業保健スタッフが直接的ないし間接的に関与する高圧則の問題について紹介するが、なかでも健康診断と就業制限は特殊作業の業務内容に合った判断が要求される。健康診断での専門的な検査は、慢性期にみられる労働関連疾患の早期発見を目的として定期的に行う必要があり、さらに雇い入れの適性検査としても重要である。就業制限を判断する際の要点は、高気圧作業で重大な障害を引き起こす病状、さらに減圧障害の後遺症による作業への影響と危険性を検討することである。高圧則は労働者の健康管理の面から科学的根拠に沿った内容にすることが望まれる。

**キーワード**：潜函作業, 潜水作業, 減圧障害, 減圧症, 労働衛生。

(2022年3月1日 受付, 2022年5月30日 受理)

### はじめに

潜水作業や潜函作業は高気圧環境にばく露される特殊作業であるが、この作業による労働災害を防止する目的として定められた法令が高気圧作業安全衛生規則(高圧則)である。その前身は昭和36(1961)年に制定された「高気圧障害防止規則」であり、昭和47(1972)年の労働安全衛生法(安衛法)の制定を機に労働省令(現、厚生労働省令)の「高圧則」に改正された。その対象は「高気圧障害 高気圧による減圧症、酸素、窒素又は炭酸ガスによる中毒その他の高気圧による健康障害をいう。」(高圧則 第1条の2)とあるように、環境圧と呼吸ガスの変化に伴う健康障害であり、なかでも安全対策

の主体は減圧症に置かれている。制定から複数回の改正が行われているなかで、平成24(2012)年5月30日から計6回にわたる高気圧作業安全衛生規則改正検討会(改正検討会)の討議を経て[1]、平成26(2014)年12月1日に高圧則の大きな改正が行われた。厚生労働省によれば高圧則の主な改正点は、①作業計画の作成、②呼吸用ガス分圧の制限、③酸素ばく露量の制限、④減圧停止時間に関する規制の見直し、⑤その他とされている[2]。しかし、改正後の高圧則でも複数の問題点が指摘されており[3-5]、特に産業保健スタッフ(産業医、高圧室内作業主任者、安全衛生担当職員)においては後述する事故対応や就業制限で混乱を招いていると思われる。本稿では主に労働衛生の側面から現行の高圧

\*対応著者：合志 清隆, 西日本病院 脳神経外科, 〒861-8034 熊本市東区八反田3-20-1, Tel: 096-380-1111, E-mail: kohshi33@gmail.com

則の問題を指摘すると同時に、科学的根拠を踏まえた適正な改正の必要性について述べる。また、高気圧医学に関連したキーワードである「高気圧作業安全衛生規則」、「潜函」、「潜水」、「減圧症」、「減圧障害」と「労働衛生」で、2021年12月までの報告資料をPubMedと医学中央雑誌、さらにGoogle Scholarを用いて検索した。

## 高 気 圧 作 業

高気圧作業は高圧室内業務と潜水業務になり(高圧則 第1条の2)、具体的な業務内容は労働安全衛生法施行令(施行令, 昭和47年8月19日第318号)によって以下のように規定されている。高圧室内業務は「高圧室内作業(潜函工法その他の圧気工法により、大気圧を超える気圧下の作業室又はシャフトの内部において行う作業に限る。)」(施行令 第6条の1)とあり、後者の潜水業務は「潜水器を用い、かつ、空気圧縮機若しくは手押しポンプによる送気又はボンベからの給気を受けて、水中において行う業務」(施行令 第20条の9)とされている。高気圧作業に携わる作業者の業務で特殊と考えられることは、その業務管理のなかに安全管理と事故対処が含まれていることである。

高気圧作業のなかで潜函工法を用いる代表的な作業が潜函作業ないし圧気土木作業(ケーソン: 国土交通省で使用するニューマチックケーソンの略称)である。具体的には地下水の流入防止から気密性があり高い気圧を保持できる作業室を作り、その中で土砂掘削を進めるもので700kPa(水深70mの相当圧力)まで行われる。この高い気圧環境下の作業の多くは無人工化されているが、内部での掘削機のメンテナンスや修理などは有人で行う必要がある。さらに、その他の圧気工法には「シールド工法」と呼ばれるものがあり、トンネルや地下鉄の建設工事の一部で利用されることがある。しかし現在は、有人による作業は非常時での限定的なものであるため、高圧室内作業は「潜函作業とその関連作業」が主たるものと考えてよい。潜函作業では「高圧室内作業主任者」の資格を有した作業者の選任が必要であり(安衛法 第14条, 施行令 第6条の1)、その業務は作業全般と作業者の作業管理と事故対応と極めて重要な役割を担っている(高圧則 第10条)。

もう1つの高気圧作業である潜水業務には、漁業潜水、海上保安庁さらにレジャー潜水での潜水ガイドなども含まれるが、通常は狭義の意味で使用され港湾作業やサルベージ作業に係る潜水を高圧則の対象としている[6]。職業潜水で行われる潜水法は主に2つであり(施行令 第20条の9, 高圧則 第27条)、ホースで

高い気圧の呼吸ガスを作業者に送気して行う方法、さらに呼吸ガスをボンベに充填する潜水法がある。前者ではヘルメット潜水やフーカー潜水などがあり、後者の代表的なものがスクーバ潜水である。また、高圧則は基本的に全ての作業潜水に適用されるものであるが、潜水深度が10m未満では「作業計画」(高圧則 第12条の2)と「作業状況の記録等」(高圧則 第20条の2)は同規則の制約を受けない(高圧則 第27条)。潜水作業では「潜水士」の資格が必要であるが(安衛法 第61条の1, 施行令 第20条)、水中での作業は自らの重大事故と隣り合わせであり自己管理が極めて重要になる。

高気圧作業は昭和39(1964)年の東京オリンピック関連工事で最盛期を迎えたが、橋梁の基礎工事、シールド工事立坑や地下構造物など、現在でも潜函作業は幅広く用いられている。さらに潜水作業では、安全性を考慮した潜水器材の開発が進んだことに加えて、ガス成分を調整した特殊な呼吸用ガスが用いられるようになり、作業水深はより深くなっている。したがって、高気圧作業の業務内容の変化に合わせて高圧則の改正も要求され、後述する関連法令との整合性をとる必要性も出てくる。

## 高 気 圧 障 害

高圧則で規定されている高気圧障害でもっとも重点が置かれているものは「減圧症」である。ただ近年では、減圧症は動脈ガス塞栓症と一括して「減圧障害」と呼称されることが多い[7]。この両者の臨床的な鑑別は困難であることが多く、さらに両者の合併の事例がみられるからである。本稿では両者を区別する必要がなければ「減圧障害」の呼称を用いている。以下に高気圧障害の概要について紹介する(Table 1)。

### 1. 減圧障害

環境圧の不適切な低下によって溶解していた不活性ガスが血管ないし組織内に気泡を形成することによる障害が減圧症であり、減圧中の息こらえや急激な減圧によって肺損傷から肺内ガスの動脈内流入でみられる脳の主な障害が動脈ガス塞栓症である[7-9]。しかし、脳の障害はともに脳卒中様の症状を示すことから両者の臨床的な鑑別は困難なことが多い。

減圧障害の急性期の症状は四肢や体幹の疼痛や感覚障害が多く、次いで頭痛や倦怠感などの体調不良、あるいは眩暈などが頻度として高いものである。重症度が増すにつれて、脊髄障害としての感覚障害ないし運動麻痺がみられ、脳障害としては片側の運動ないし感覚障害、さらに痙攣発作や意識障害に至る。最重症にな

Table 1. Clinical characteristics of disorders under hyperbaric environments

| 高気圧障害       | 臨床症状ないし検査所見                                                                                                                                                      |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ✓ 減圧障害      | 減圧症:四肢・関節を中心とした痛み, 下肢や臀部に生じやすい感覚障害, さらに眩暈・吐気などの前庭系の症状もみられやすい. 重症化すると, 両下肢の感覚・運動障害と膀胱・直腸障害, さらに呼吸困難からショック状態に陥る.<br>動脈ガス塞栓症: 減圧から短時間のうちに, 片側の運動麻痺, 痙攣発作や意識障害がみられる. |
| ✓ 酸素による障害   | 中枢神経系の障害: 吐き気, 視野狭窄や痙攣発作などがみられる.<br>呼吸器系の障害: 肺浮腫や肺胞内出血による肺の酸素化低下, さらに胸部 X 線でびまん性の浸潤影がみられる.                                                                       |
| ✓ 窒素による障害   | 麻酔作用による眠気, さらに飲酒後のような陽気な気分が生ずる.                                                                                                                                  |
| ✓ 炭酸ガスによる障害 | 眩暈, 呼吸困難, 頭痛や錯乱などがみられ, 高濃度では視覚障害や耳鳴りから意識消失に至る.                                                                                                                   |
| ✓ 高圧神経症候群   | 深い水深では, 眩暈, 手指の震え, 悪夢や痙攣発作などがみられる.                                                                                                                               |
| ✓ 慢性期の障害    | 難聴, 長管骨の骨壊死, 椎体骨の異常や虚血性の脳病変などがみられ, 認知機能への影響が示唆されている.                                                                                                             |

れば呼吸・循環器系の障害へと進行して致死率も高くなる. 減圧障害の症状は多彩であるが, その診断は症候学的になされる[7, 8]. しかし, 一般診療だけではなく労働衛生でも問題になることは, 統一された減圧障害の診断基準がないことである. それにより, 対処する医師の判断に食い違いか誤診が生ずる可能性がある. さらに, 高気圧作業における減圧障害の発症は労働災害に関連するが, 本邦では十分な調査が行われておらず, その発症率は明らかではない. 参考までにレジャー潜水の国際機関(DAN: Divers Alert Network)による調査によれば, 1回の潜水に伴う減圧障害のリスクはレジャーダイバーで0.01-0.019%, 職業潜水士では0.095%とされている[7].

## 2. 酸素による障害

生体に不可欠な酸素には有害作用の毒性があり「酸素中毒」と呼ばれ大気圧下でもみられるが, 3絶対気圧(ATA: atmospheres absolute)を超える気圧での酸素吸入で生じやすくなり[10], 高気圧作業では中枢神経系と呼吸器系の障害が重大な問題に発展しやすい. 中枢神経系のなかでも脳の酸素中毒は高分圧の酸素ばく露で生ずる. 吐き気や視野狭窄さらに痙攣発作などが主な症状であるが, 労働災害として突発的に痙攣発作が生じることに注意が必要である. 呼吸器系の酸素中毒は大気圧下で酸素化の低下としてみられるが, この障害は高気圧下では顕著になり肺浮腫や肺胞内出血さらに胸部 X 線検査でびまん性の浸潤影としてみられる. その他に, 眼障害として視野障害, 網膜障害あるいは近視などがみられ, さらに血液学的な変化でヘモグロビンの上昇なども知られている.

## 3. 窒素による障害

不活性ガスである窒素には麻酔作用があることか

ら, 窒素分圧が高まることで「窒素酔い」と呼ばれる症状が出ることもある[11]. 例えば, 2~3ATA(水深10~20m相当)でも眠気さらに気分の高揚がみられることがあり, これらの症状は6ATAを超えると顕著になり飲酒後のように笑い出すこともある. この現象が高気圧作業でみられると作業効率が低下するだけではなく, 特に潜水業務では溺死といった致命的な事故を引き起こす可能性がある.

## 4. 炭酸ガスによる障害

炭酸ガスが問題になるのは閉鎖空間である高圧室内での潜函作業であり, 作業室内の換気が不十分であることで生ずる. 最近では, 潜函作業の「作業室」, さらに出入りに使用される「気こう室」では, 作業者は呼吸用マスクを装着して外部からの呼吸ガスが用いられている. したがって, この種の作業によって炭酸ガスが問題となることは少ない. しかし, 作業室内は高温多湿の環境で呼吸用マスクを外して作業を行うこともあり, 不十分な換気によって炭酸ガスだけではなく, 高気圧環境とはいえ酸素欠乏にも注意を払う必要がある. また, 高圧則の改正によって潜水作業で循環式の水中呼吸装置(「リブリーザー」と呼ばれる)の使用が可能になった(第15条 ガス分圧の制限)[12]. 従来の呼吸ガスを排出する方法とは異なり, 呼気中の炭酸ガスを吸着剤で除いて酸素を補充しながら再循環させる呼吸方式である. 今後, 循環式の水中呼吸装置の普及に伴い炭酸ガス吸着剤の問題による炭酸ガス中毒にも注意を払う必要がある.

## 5. 高圧神経症候群

大陸棚や油田などの開発では, 深い水深で長時間の潜水作業を行うために飽和潜水といった方法が採られることがあり, この際に問題になりやすいのが高圧神



経症候群 (HPNS: high pressure nervous syndrome) である [13]。具体的には 200m 以上の潜水の最中に、めまい、吐き気、ふらつき、手の振戦や痙攣発作などの神経症状がみられる。その原因に高い気圧や加圧速度などが議論されたが、深い水深の潜水そのものが問題視され、さらに技術進歩で有人の潜水の機会が少なくなり、最近では通常の高気圧作業で HPNS が話題に上ることが少ない。

## 6. 慢性期の障害

急性期の高気圧障害に加えて慢性期の労働関連疾患としても重要である。これらには中耳や内耳の障害による難聴、さらに潜水作業での骨壊死は以前から知られていた [14, 15]。脳では MRI 画像で大脳白質を中心に虚血性の変化が観察されており [16-18]、さらに脳血流の検査では長期的な潜水作業による脳血流低下が報告されている [19]。また長期的に潜水を行うことによる認知機能への何らかの影響を示唆する報告もあり [18, 20, 21]、長期的に続ける高気圧作業が生体へ障害を及ぼすことが示唆されている。

## 安 全 対 策

特殊環境下の業務での安全対策として作業者の職務適性について論ずることは一般的に難しい。したがって、この種の作業で職務不適性の観点から安全対策を紹介するのが現実的であると考えられる。次いで、高気圧作業での安全対策として特別に注意が必要なものは、作業者が使用する「呼吸用ガス」と作業環境圧を大気圧に段階的に復する工程の「減圧表」である。この両者ともに重大な事故に繋がるものであり、100 年以上にわたり安全対策での研究が続けられていることから、高気圧医学の基盤をなすといっても過言ではない。この説明や解説には物理学や数式が頻繁に出てくることから医学関係者には馴染みにくい、高気圧作業に関係する産業保健スタッフは概略を理解しておく必要がある。

### 1. 職務適性

作業者の職務適性は改正検討会で全く取り上げられていないが [1]、産業保健の側面からもっとも重要な事項と考えられる。高気圧作業で重大な事故を引き起こしやすい作業者の疾患ないし傷病は、主に呼吸器系、中枢神経系さらに聴覚系のものである。これらに重点を置いた職務適性の判断が産業保健スタッフに求められる。

呼吸器系の疾患は高気圧作業によって重大な障害、例えば肺の気圧外傷によって動脈ガス塞栓症や緊張性

気胸などの生命に危険をおよぼす可能性がある [22]。胸部 CT 検査で確認される 10mm 以下の肺のう胞性病変の保有率は成人の 1/3 にみられるとの報告がある一方で [23]、環境圧の変化に伴う破裂率は極めて低いとされている [24]。作業者に胸部 X 線検査で何らかの異常所見が認められると、医療機関の受診が推奨され、その際に予定される検査は胸部 CT 検査になる。しかし、その病変毎の高気圧作業の可否判断に一定の基準がない。胸部 X 線検査で疑われるほどの肺のう胞性病変は比較的に大きなものであり、慎重に作業者の就業制限を検討する必要がある。1つの参考になる基準と思われるのは英胸部学会 (British Thoracic Society) が示している潜水ガイドラインであり [25]、肺のう胞性病変と自然気胸の既往は絶対的な禁忌としており、外傷性肺疾患では肺機能が正常で胸部 CT 画像でも異常がないことが条件とされ、気管支喘息では症状がなく肺機能検査で正常である場合としている。

次いで、中枢神経系疾患で問題になる代表的な疾患は「てんかん」であり、特に潜水作業では重大な事故に発展する可能性がある。しかし、レジャー潜水においても基準が明確ではなく議論の対象とされている [26]。その報告によれば英国のスポーツ関連委員会は潜水の基準に「痙攣はないことが必要で、その既往があっても 5 年以上は内服薬を服用していないこと」の事項では科学的根拠に沿うとしても痙攣発作の可能性が否定できないことが指摘されている。一方で、「てんかん」を病歴に持ちながら健康調査をすり抜けた 3 例で致死的な潜水事故に至った 2 症例の報告からすれば [27]、この件の職務適性で検討が急がれる課題である。

さらに、精神神経疾患の多くは高気圧作業で重大な事故を引き起こす可能性がありながらも関連性の詳細は明らかではない [28]。Querido は精神疾患の治療薬と潜水に関連した文献的な検討で、「専門家の意見」として抗うつ剤の服用では、窒素酔いを生じやすい、眠気や痙攣を誘発しやすい薬剤がある、抗凝固療剤や消炎鎮痛剤の作用増強による出血傾向がある、以上を紹介している [29]。

また、聴覚器さらに副鼻腔の気圧外傷が日常的に問題となる [15]。中耳では耳痛、聴力障害や耳鳴りが自覚され、内耳では聴力障害、眩暈、吐き気や嘔吐がみられる。さらに、副鼻腔では上顎から歯根部、あるいは前頭部の痛みが生ずる。しかし、以上の自覚症状は気圧上昇の初期から現れるために作業継続が多くの場合で困難である。

職務適性の判断の際、作業者が手術を受けている場合があり、代表的なものは胸部と耳鼻咽喉科領域であ

る。前者では開胸手術と内視鏡による呼吸器系の手術になり、後者では聴覚系と副鼻腔の手術であるが、両者ともに専門医との検討が必要である。さらに、「電気的な刺激装置」の埋め込み手術が行われている場合がある。代表例が心臓ペースメーカであり、その機能や圧力による影響を事前に調べておく必要がある[30]。機種によっては気圧の変化で破損ないし誤作動の可能性が否定できないからである。その他の人工的な付属物には脳脊髄液シャントが挙げられ、このシステム自体に問題はないとされながらも精神神経状態の評価が必要とされている[31]。したがって、何らかの手術を受けている作業者の職務適性では、それに関連している診療科の専門医との検討が必要である。

## 2. 呼吸用ガス

高気圧作業の重要な安全対策の1つは、作業者が特殊環境下で使用する呼吸用ガスの開発である。通常の潜水作業には圧縮された空気が用いられるが、水深が深くなると「減圧障害」だけではなく「窒素酔い」の症状が出やすくなる。これらの弊害を軽減する目的と酸素中毒との兼ね合いによって、窒素と酸素のガス濃度を調整した「混合ガス」が用いられる。さらに高圧ばく露になれば高まる気道抵抗を軽減する必要がある、呼吸ガスにヘリウムが混合される。このように混合ガスの使用によって潜水や潜函作業での安全性は向上してきた。

作業室さらに気こう室における呼吸用ガスの3成分で分圧が定められている(高圧則 第15条)(Table 2)。酸素の規定では、混合ガスを用いた際の許容される分圧、さらに減圧に際して純酸素の吸入が可能な圧力が示されている。この件で改正検討会の報告書には“msw(meter of seawater)”の単位が併記されているが[1]、潜水作業では水深が6mから、さらに潜函作業では水深12m相当の加圧状態から純酸素を用いた減圧(「酸素減圧」と呼ばれる)が可能であることを意味している。さらに、酸素ばく露量の制限が定められており(高圧則 第16条)(Table 3)、その基準は「高気圧作業安全衛生規則 第8条第2項等の規定に基づく厚生労働大臣が定める方法等」(平成26年12月1日 厚生労働省告示第457号)の第2条に計算方法と酸素ばく露量(UPTD: unit pulmonary toxic dose)とが示され、1日と1週間での最大許容量はそれぞれ600と2,500とされている[1]。潜水の領域においてはUPTDが使われることは稀であり、一般的にはOTU(oxygen tolerance unit)の呼称が用いられるが、この両者は基本的に同一である[32]。

次いで、窒素分圧は400kPa以下とされており、空気

中の窒素は大気圧下では約79kPaであることから、外部の大気圧を1気圧とした場合に空気を用いた高気圧作業は約5.06気圧、すなわち水深で約40.6m相当の圧ばく露が限界となる。それ以上の水深ないし相当圧となれば混合ガスが必要とされるが、この使用基準は諸外国の潜水深度制限(60~91.5m)とは異なるとの意見も出されている[3]。さらに、厚生労働省による高圧則の施行周知解説(基発0109第2号)は「なお、水深30メートル以上40メートル以下の場所における潜水業務についても、呼吸用ガスとして空気を用いないことが望ましいこと。」と努力義務を示している[33]。ここで示されている単位はメートルであるが、水深40mの窒素分圧は395kPa(79kPa×5)に相当することから、高圧則で示された空気を用いた圧ばく露の400kPaとは差が生ずることになり、作業現場では環境圧の基準における単位の統一が望まれている。また、従来から規定されていた「純酸素使用の禁止」(高圧則 第35条)が削除されており、混合ガスの使用と酸素を用いた減圧法を推奨したものと理解される。

炭酸ガスの分圧は0.5kPa以下とされており、ポンペを使用する潜水では呼気ガスは体外に排出され問題にはならない。しかし、潜函作業での作業室ないし気こう室のなかで作業者が呼吸用の閉鎖式マスクを外すこともあり、室内の空調を適切に行う必要がある。

**Table 2. Control of breathing gases (Article 15), (高気圧作業の呼吸用ガス分圧制限. 第15条)**

|         |                          |
|---------|--------------------------|
| ✓ 酸素    | 18 キロパスカル以上 160 キロパスカル以下 |
| ✓ 窒素    | 400 キロパスカル以下             |
| ✓ 二酸化炭素 | 0.5 キロパスカル以下             |

**Table 3. Control of oxygen (Article 16), (高気圧作業の酸素ばく露量の制限. 第16条, 告示\*第2条)**

|           |          |
|-----------|----------|
| ✓ 1日について  | 600 以下   |
| ✓ 1週間について | 2,500 以下 |

\* 高気圧作業安全衛生規則第8条第2項等の規定に基づく厚生労働大臣が定める方法等

## 3. 減圧表

高気圧環境へのばく露で重要になる安全対策は、呼吸ガスに加えて高気圧から大気圧に復するまでの減圧の時間である。この時間が短ければ組織溶解の不活性ガスが過飽和状態となり、組織や血管内で気泡(バブル)が生じて減圧症に罹患しやすくなる。一方で、ガスの排出が十分に可能なまでに減圧時間を長くすると作

業効率は低下する。どの作業でも安全性と効率のバランスが課題となるが、高気圧作業では1900年代から圧ばく露と減圧時間とを定めた減圧スケジュールである「減圧表」が検討されてきた。しかし、数多くの研究がなされてきたにもかかわらず、現在でも提案された減圧表のなかで最適と評価されたものはなく、各国でさまざまな減圧表が用いられている。平成26(2014)年の改正前には高圧則に減圧表が定められており、さらに減圧表は潜水作業と潜函作業とで異なっていた。当時の減圧表には複数の問題が指摘されており、①減圧表に必要な理論が示されていないこと、②一部の圧ばく露で減圧時間が短い傾向にあること、③安全性の検証が行われていないこと、④空気による90mまでの加圧が認められていること、⑤酸素使用が禁止されていることなどで、これらは重大な事故につながる可能性が指摘されていた[34]。なかでも高圧則で定められた減圧表の重大な不備は圧縮空気のみ呼吸を想定したものであった[35]。

高圧則の改正によって従来の減圧表は廃止され、圧力の低下に沿った減圧時間を計算式によって事業者が設定することになった(高圧則 第18条)(Table 4)。窒素とヘリウムのガス濃度によって気圧を保持する時間を算出するもので(平成26年12月1日 厚生労働省告示第457号 第3条)、その算出された時間ごとに段階的に減圧を行うことになった。この計算法は作業が空気ではなく混合ガス使用に対応するためとされているが[1, 2]、作業圧力と使用ガスに合わせた独自の減圧表を作成することになり、この作業が煩雑になる可能性が指摘されている[3]。さらに、いわゆるM値(当該半飽和組織が許容することができる最大の不活性ガスの分圧、同告示 第3条)といった組織ガス分圧が用いられる。このM値はWorkmanによって提唱されたM-value(MPTT: maximum permissible tissue tension)を指しており[36]、改正検討会の報告書には「ある環境圧に対して労働者の身体が許容できる最大の体内不活性ガス分圧」とある[1]。このM値を用いた減圧理論によって、複数の組織内の不活性ガスの蓄積と排出が計算可能になり、個々のばく露圧における減圧の停止時間が計算され減圧表が作成される。さらに、実際の作業では安全性の考慮からM値を小さく見積もる“換算M値”が用いられている。以上から計算された減圧表を用いることになるが、減圧計算の根拠が十分ではなく一部に危険な減圧表が例示されるなどの課題が指摘されている[3]。また、改正検討会の報告書では「圧力換算は簡便のため1.0atm=10.0msw=1,000hPa=100kPa=0.10MPa(mswは、meter sea waterの略称であり、10.0mswは、海

面から深度10mの場所における圧力を表す。通常はゲージ圧力として用いられているが、本報告書では、原則として絶対圧力を表すものとして用い、必要がある場合はゲージ圧力として用いる旨を明記する。)」と記載されている[1]。しかし、外気環境圧で圧補正を行う絶対圧力(ATA)を用いる際は「1.0atm=10.06msw=202.6kPa (=2ATA)」との認識が一般的であることから[37]、改正検討会で使用されている圧力単位の基準点に違いがあることに注意を要する。

作業ごとに作成される減圧スケジュールに課題があるとの指摘もあるが[3-5]、一方で実際に運用する専門の技術者(高圧室内作業主任者ないし潜水士)にとっては、体内ガスの溶解と排出の機序を基盤としたもので、安全対策(減圧時間の延長など)を数値で把握することが可能であることから、作業者の自己管理と安全意識の向上につながると捉えられている。さらに、この計算式による減圧スケジュールは、前述の換算M値を低くすることで作業条件によって柔軟な対応が可能となり、実際の作業現場では、事業者が事前に作業計画において計算式を満たす減圧表を作成、適用し運用を行っている。この減圧スケジュールの作成には産業保健スタッフが直接的に係わることはない。しかし、圧気土木作業での事業計画は300kPa(水深30m相当の圧力)を超える圧力では厚生労働大臣への届出が必要であり(安衛法 第88条、労働安全衛生規則(安衛則) 第89条の6)、さらに「厚生労働大臣は、前項の審査を行なうに当たっては、厚生労働省令で定めるところにより、学識経験者の意見をきかなければならない。」(安衛法 第89条の2)とある。したがって、これらには専門的な知識と経験を有した産業保健スタッフが関与すると考えられ、予定されている減圧スケジュールの概略を理解しておくことが求められる。

**Table 4. Rate of decompression (Article 18), (減圧の速度等. 第18条)**

|          |                           |
|----------|---------------------------|
| ✓ 減圧の速度  | 毎分 0.08 メガパスカル以下          |
| ✓ 減圧表の廃止 | 減圧停止時間を求める計算式の導入 (*告示第3条) |

\* 高気圧作業安全衛生規則第8条第2項等の規定に基づく厚生労働大臣が定める方法等

#### 減圧障害への対処

高気圧障害のなかで減圧障害の治療について1世紀以上も議論されている。症状で多い疼痛は数日で自然消失するにしても減圧障害の自然経過は明らか



ではなく[38]，神経症状を示す重症例では10%に後遺症がみられたとの1909年の報告が紹介されている[39]．最近の報告でみると神経症状があれば酸素再圧治療を行った場合の後遺症は20-30%と紹介されている[40]．減圧障害には酸素再圧治療が標準的と考えられているが，統計学的に検討した結果では酸素再圧治療の有効性に疑問を呈する報告も散見されており[40-42]，減圧障害の治療は新たな模索段階に入ったといっても過言ではない(Table 5)[43]．このことは高気圧作業に伴う減圧障害の現場で高圧則に沿って緊急対処を考えるうえで重要な意味を持っている．

## 1. 再圧治療

空気による再加圧が最初に行われたのは1896年のことであり，潜函作業による減圧障害に対してである[39]．空気による再加圧は，わが国の漁業関係者では“ふかし”として行われてきたもので，減圧障害の症状がみられると再び潜水を行うものである[35]．これによって症状は一時的に軽減される一方で，その後病状が悪化ないし重篤になることもあることから，空気による再加圧の危険性は専門家の間で指摘されていた[44]．近年，神経系の減圧障害の27例を対象とした“ふかし”の結果が報告され，空気のままで再潜水(水深17m以上)を行うと重大な後遺症が極端に高くなることが示された(odds ratio: 20, 95% confidence interval: 3.3-120.3)[45]．この空気による再加圧は気泡の圧縮効果だけではなく，逆に窒素の組織への再蓄積を引き起こすことになり，この状態で通常の減圧を行うと減圧障害の病状が一気に悪化することになる．空気による再圧治療が減圧障害に用いられたことがあったが，綿密な減圧スケジュールのもとで標準治療の1つでは47時間44分を要する[46]．現在，空気による再圧治療が減圧障害の治療として用いられることはない．しかし，高圧則では作業中の事故に際して高圧室内での急速減圧ないし潜水からの急浮上後の対処に，再圧室にて空気による再加圧を定めている(高圧則 第19条，第32条)．このことは空気による再圧治療と同じ意味を

持っている．急速な減圧の後では肺の気圧外傷による気胸を伴っている可能性があることを考えると，胸部の検査を行うこともなく作業現場で作業者が空気での再加圧を行うのは極めて危険といえる．

## 2. 酸素再圧治療

空気に代わって酸素が再圧治療に試みられるようになったのは1930年代からである[38]．さらに，1950年代に酸素中毒の研究が進むと米国海軍の「治療表5」と「治療表6」といった治療スケジュールが1960年代に開発され，これらの治療は現在も広く国際的に普及している[7, 39, 46]．これは「酸素再圧治療」と呼ばれるが高圧酸素治療の1つになり，具体的には2.8ATAまで加圧して酸素吸入を間欠的に行い，段階的に大気圧まで減圧するものである．減圧障害は数時間で進行しやすく重症化することもあり，軽症でも酸素再圧治療の早急な開始が原則との考えが広まっていた[7, 39, 46]．しかし，この治療には大型の特殊装置が必要となり，治療が可能な専門施設は国際的にも限られたもので，しかも24時間体制で運用される施設は極めて稀である[47]．減圧障害の全般で早急な治療が推奨されると，一部には軽症例や誤診例までも航空機搬送が行われることもあり，救急医療の全般で混乱をきたす傾向にあった．そこで国際学会(Undersea & Hyperbaric Medical Society)は軽症例では酸素吸入のみで対処可能として，それ以外の重症例では酸素吸入後に酸素再圧治療を推奨する方針を出している[48]．

しかし，減圧障害の救急対応を含めた治療で，重症例の酸素再圧治療の効果を文献報告から検討すると以下のことが明らかになった．①重症例のなかでも頻度の高い脊髄障害では，早期あるいは超早期の酸素再圧治療の有効性を積極的に支持する事実は得られず，予後決定因子は治療前の病状の重症度であったこと，②脳さらに呼吸・循環器の症状を示す減圧障害に対しては，酸素再圧治療の対象から除外されているか，あるいは事例報告に留まっており，統計学的に検討された結果は見当たらなかったこと，③酸素再圧治療は減圧障害

**Table 5. Treatments for decompression illness**

| 治療       | 治療の方法                 | 効果ないし危険性                                        |
|----------|-----------------------|-------------------------------------------------|
| ✓ 再圧治療   | 空気で再加圧を行う．            | 現在では治療として行われていない．再加圧で窒素の再蓄積が生ずることから減圧には長時間を要する． |
| ✓ 酸素再圧治療 | 空気で再加圧して，酸素吸入を断続的に行う． | 標準治療とされているが，報告文献の検討では長期的な有効性が明らかではない．           |
| ✓ 酸素吸入療法 | 大気圧下で酸素吸入を行う．         | 病初期での病状進行の抑制と改善率が高いが，長期的な有効性が明らかではない．           |

の標準治療とされながら“数時間以内”の早急な実施で治療予後を大きく変えないことは、この治療が可能な専門施設へ傷病者を緊急に搬送する必要性がないことを示していることである[43]。これらは、高圧則で規定されている作業現場での再加圧が、たとえ酸素を用いた酸素再圧治療であっても、減圧障害の救急対策として疑問であることを示唆している。

### 3. 酸素吸入療法

大気圧下での酸素吸入のみで減圧障害が改善することが実験的に示されていたが、気泡の縮小には気圧の上昇が必須との考えが広く普及していた[46]。しかし、2000年代に入ると欧米の専門機関(DAN)から初期対応として酸素吸入のみで高率に症状改善ないし進行抑制につながることの2つが報告されている[49, 50]。その1つで欧州からの報告によれば1989年から2000年までの調査期間において酸素吸入が初期対応で行われたのは23%(302/1,314人)のみであるが、その検討における改善率は酸素吸入で48.0%に対して対照例では4.3%( $P<0.001$ )が示されている[49]。他の報告は米国を中心とした機関で1998年から2003年までの調査で酸素吸入は47%(1,045/2,231人)に行われていた。その結果では減圧終了から早急な酸素吸入によって対象者の65%に減圧障害の症状改善が得られ、悪化がみられたのは5%のみとある[50]。これら2つの結果は治療効果を示したものではないが、減圧障害の初期対応における酸素吸入の重要性を示したものであり、救急医療だけではなく高気圧作業を考える労働衛生において重要である。すなわち、高気圧作業に伴う減圧障害の救急対応には現場での酸素吸入が重要であることを示唆している。

## 高圧則の課題

従来から高圧則の重大な問題点が指摘されており、平成24(2012)年5月から計6回の改正検討会が開催され、その討議内容を踏まえた改正が平成26(2014)年12月1日に行われている[1]。改正高圧則には事業者の責務を強化ないし明確にしたものも含まれているが、作業内容の規定で改正が不十分な事項も見受けられる。例えば、潜水作業での水深を表示したロープである「さがり網」の規定(高圧則 第33条)は、高圧則が定められた潜水作業の状況からなるもので、ヘルメット潜水のみに限定する必要がある。本稿では産業保健スタッフが直接的ないしは間接的に関与する課題とその対応について述べる(Table 6)。

### 1. 特別の教育(第11条)

後述する再圧室の設置に関した条項(第42条～第46条)の大幅な検討が必要であるとしても、潜函作業に比べて潜水作業では事故に伴う障害が重篤になりやすい。作業現場でもっとも問題になる高気圧障害は減圧障害であり、なかでも作業中の異常ないし異変による急速な減圧ないし浮上は肺損傷を招きやすく、その大多数は作業現場で救急処置が必要になる。したがって、特別教育のなかで「救急そ生法に関すること」と「救急そ生法に関する実技」は必須であると考えられる。高気圧作業は安衛則(第36条)によって、特別教育が必要な業務とされている。その内容は高気圧業務特別教育規程(昭和47年9月30日、労働省告示第129号)で規定されており、潜函作業では「圧気工法による業務の危険性 事故発生時の措置」、さらに潜水作業で「潜水業務の基礎知識及び危険性 事故発生時の措置」と具体的に定められているが、なかでも事故対応の実務訓練

Table 6. Problematic issues in industrial health

| 項目                       | 問題点と改正                                                                                      |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| ✓ 特別の教育(第11条)            | 「再圧室を操作する業務」とその関連事項には問題があり、新たに「事故の対応での業務」に加えて「救急そ生に関する実技」が必要である。連絡員と送気員には人数規定さらに特別教育が必要である。 |
| ✓ 減圧の速度等(第18条)           | 新たな減圧スケジュールの運用において労働災害の短期的ないし中長期的な検証が必要である。                                                 |
| ✓ 減圧ないし浮上の特例等(第19条, 32条) | 再圧室による再加圧は危険であり、新たな法的問題に発展する可能性がある。事故対応では「近隣の医療機関との連携」を含める必要がある。                            |
| ✓ 健康診断(第38条)             | 労働関連疾患の早期発見と雇い入れの適正検査で検討する必要がある。前者では定期的な検査ないし専門的検査が必要である。                                   |
| ✓ 病者の就業禁止(第41条)          | 就業制限を網羅するには「高気圧作業で重大な障害を引き起こす病状さらに減圧障害の重篤な後遺症を認める作業員」とする必要がある。                              |
| ✓ 再圧室の設置(第42条～46条)       | 再圧室による再加圧は危険であり、再圧室の設置は再考する必要がある。作業員を救出するための安全対策と実技訓練を行う必要がある。                              |



が重要である。

潜水作業で必要とされる特別教育において作業現場で問題になっていることは、潜水作業者と連絡をとる「連絡員」(高圧則 第36条)に特別教育の規定がないことである。この業務の重要性から有資格者の潜水土が妥当と考えられ、さらに安全性から高圧則の特別教育が必要と思われる。また、特別教育が課せられる作業員に「送気員」があり、圧縮された呼吸ガス(空気ないし混合ガス)を潜水土に送気する作業であるが、その人数規定がないことも問題である。この両者の作業員は潜水作業で重要な役割を担っており、特別教育を受けた潜水土が妥当であると考えられる。

## 2. 減圧の速度等(第18条)

第1項は減圧速度の制限を示したものであり、第2項は高気圧作業に伴う減圧スケジュールを定めている「減圧表」の廃止と、これに代わり個々の減圧スケジュールを事業者が計算式によって定めるものである[1]。この計算式による方法の運用は容易ではないとする指摘[3]、さらに諸外国で使用されている複数の減圧表を用いた検討などの指摘がある[34]。高気圧作業と許容される障害の発生、さらに重症度との関係を検証するには、ある期間で定まった減圧表の評価を要するとの考えからである[34]。しかし、この検証には高気圧環境における呼吸ガスの物理学や化学、さらに生理学や臨床医学に加えて環境医学の概念が重要になるが、この特殊領域で専門知識を有する研究者は国内外で限られている。現状では新たな減圧スケジュールを運用することで急性の障害が許容範囲であるか、さらに安全性の向上が得られているかを検討する必要がある。また、“呼吸用ガス”の項で述べた「酸素減圧」によって、減圧後の気泡発生が抑制されることから減圧障害の発症は少なくなると予測される[32]。したがって、減圧障害の観点から減圧スケジュールの議論は大きな課題にならない可能性もあるが、高気圧作業に伴う長期的な影響を検討する必要性は残されている。

## 3. 減圧ないし浮上の特例等(第19条、第32条)

この両者の第2項は、減圧や浮上を速めた際の「再加圧の実施」項目である。具体的には「事業者は、・・・後、速やかに当該高圧室内作業者を再圧室又は気こう室に入れ、当該高圧室内業務に係る圧力に等しい圧力まで加圧しなければならない。」(高圧則 第19条の2)と「事業者は、・・・、浮上後、すみやかに当該潜水作業者を再圧室に入れ、当該潜水業務の最高の水深における圧力に等しい圧力まで加圧し、又は当該潜水業務の最高の水深まで再び潜水させなければならない。」(高圧則 第32条の2)としている。これらは高圧室内作業に伴う傷

病者を再加圧する、あるいは急浮上した潜水作業者を再加圧ないし再潜水をさせることを示している。この再加圧は空気で行われることになるが、その際に呼吸ガスが空気ないし混合ガスであれば、不活性ガスの再蓄積によって減圧障害が重症化するか、あるいは大気圧までの減圧には長時間を要することになる[38, 46]。潜水事故による急浮上での再潜水は極めて危険なものであり、その際に肺損傷から気胸ないし動脈ガス塞栓症を起こしていれば、再浮上の最中に気胸の拡大や神経障害の悪化から致命的なものになる。

高気圧作業における事故対応の重要性に異論はなく、作業現場では救急処置に加えて酸素吸入が重要な意味を持つ。高気圧作業の現場で傷病者への最初の対応は「特別の教育を受けた労働者」(高圧則 第11条)になるが、潜函作業では高圧室内作業主任者であり(高圧則 第47条)、潜水作業では潜水土である(高圧則 第52条)。作業現場での事故対応では救急対処が必要になることから「救急そ生法に関する実技」さらに「医療用酸素の講習」を含めることが求められる。ヒトに使用する医療用酸素は「医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律」(薬機法 第2条の1)によって医薬品の1つとされている。減圧障害の救命と救護のなかで医療用酸素を緊急に使用するとしても、高気圧作業に伴う事故は相当程度の発生を予測できることから、減圧障害に酸素吸入を行うことは「医行為」に該当する。しかし、この際の酸素使用は医師法違反にはならないとの厚生労働省の見解が示されると同時に、酸素講習の受講と継続的な訓練が推奨されており[51]、この点を高圧則に含める必要があると考えられる。

再加圧は「空気による再加圧」が減圧障害に標準的とされていた1960年代より前の対処法である。現在、この処置が減圧障害に使われることはないが、かりに加圧が空気で行われるとしても、再圧室を用いた傷病者への再加圧は再圧治療と考えられ、「医行為」として医師法(第17条)に抵触する可能性がある。さらに、その実施によって作業者に何らかの新たな障害が生ずれば、事業者は刑事責任を問われる可能性も出てくる。現場での再加圧によって新たに障害が生ずる可能性が十分に予見できるからである。

したがって、高気圧作業に伴う事故対応では「近隣の医療機関との連携による対処」を基本としたものに改正する必要がある[22]。事故の初期対応では「特別教育」を受けた作業者が救急処置と酸素吸入を行い、その後の対応は医療機関へと引き継がれることで、傷病者の適正な対処に加えて法的問題も解決され则认为ら

れる。

#### 4. 健康診断(第38条)

高気圧作業に従事する労働者に対して特殊健康診断が必要である(安衛法 第66条の2, 施行令 第22条の1)。ここでは一般健康診断の項目に加えて、業務歴、鼓膜と聴力検査、さらに肺活量の測定があり、医師が必要と認めた者には関節のX線検査が追加される。高気圧作業での作業者の業務適性は急性期の減圧障害の防止が基本となり、さらに慢性期にみられる障害の予防と早期発見である。また、健康診断は雇入れの際の適性検査としても重要である。

高気圧作業による代表的な慢性障害として聴力障害と骨壊死は以前から知られている。聴力障害は気圧変化による鼓膜や中耳の損傷に加えて、内耳の減圧障害によるものである[15]。健康診断では耳鏡による鼓膜の状態の確認、さらに聴力障害の有無やその進行の状況を調べる必要がある。次いで、骨壊死は四肢の長管骨に生じやすく進行すると骨頭壊死にいたるが[14]、さらに椎体骨の骨変化と椎間板ヘルニアが生じやすいとの報告がある[52, 53]。骨病変は無症状に進行するもので、病初期の病変の検出は核医学的検査で可能であってもMRI画像では困難とされている[14, 54]。骨病変は進行すると外科的な処置が必要になることから、可能な限り病変の早期発見につなげる対策が必要ではあるが、広く実施可能な検査法に限界があるのが現状である。

高気圧作業における事故ないし急性障害の防止のための適性検査での留意点は、①呼吸器系、②中枢神経系、③精神神経系、さらに④鼻腔・聴覚系などに絞った疾患の有無、さらに治療歴を聴取することが重要である。これらに何らかの疾患が疑われる、あるいは治療が行われている場合には、専門医へのコンサルトや診療状況の把握が必要である。以上に関連した何らかの疾患を有していれば、高気圧作業そのものが困難か、作業中に重大な障害を引き起こす可能性が推測されるからである。さらに、検査項目のなかで胸部X線検査の判断は慎重に行う必要があり、何らかの異常が疑われると専門医へのコンサルトがよいと考えられる。また、肺の気圧外傷を経験している者の肺活量はV50(50%肺気量のときの呼気速度)とV25(25%肺気量のときの呼気速度)とで軽度の低値を示した報告が紹介されている[46]。したがって、肺機能検査で以上の結果がみられると呼吸器系の異常が予測されることから専門医へのコンサルトがよいと考えられる。

#### 5. 病者の就業禁止(第41条)

この事項は産業医の判断さらに決定につながる事項

であるが、就業禁止とされている疾患ないし状態には科学的根拠に乏しいものも含まれている。そこで、可能な限り具体的に疾患や病状を示すことによって、産業医が就業制限について適切に判断できるように変更する必要がある。

最初に問題になりやすいのは呼吸器系の疾患であり、その既往歴や治療状況の聴取と確認が必要で、なかでも肺のう胞性病変は就業制限の判断として重要である。この病変が胸部CT検査で健常者に確認される比率とその破裂率は「安全対策」の項で紹介したが、すべての作業者に同検査を行うことは現実的ではない。そこで、呼吸器系の疾患における判断には高圧酸素治療での禁忌事項が参考になると思われ、相対的な禁忌として「上気道感染症」、「肺気腫」、「胸部の手術歴」と「胸部X線検査で確認できる無症候性病変」が挙げられており、これらは高気圧作業における作業者にも転用できると考えられる。

次いで、中枢神経系疾患での「てんかん」の取り扱いであるが、高気圧作業における就業の可否判断で定まった指針はない。潜函作業は閉鎖室内での高気圧環境へのばく露の意味では高圧酸素治療と類似しており、この治療で「てんかん」は合併症として知られながらも禁忌ではない[55]。しかし、「てんかん」の突発的な発生に際して高気圧作業室内での対処が難しいことが予測され、さらに潜水作業では溺水の可能性が高くなることは容易に推測される。また、精神神経疾患を有した作業者の就労では適切な作業の可否だけではなく、二次的な事故につながる可能性が推測される。したがって、産業医は「てんかん」さらに精神神経疾患を有した作業者の就業制限では病状や治療状況などを踏まえて慎重に判断する必要がある。

さらに、耳鼻咽喉科の領域で聴覚器と副鼻腔の状態は日によって異なり、高気圧作業が可能であるかは作業初期に判断される。また、これらの部位の手術後の状態は気圧外傷と機器破損の可能性から高気圧作業の就労は困難と判断される。

このような疾患での就業制限とは別に、産業医の判断が必要なのは減圧障害から回復した際の高気圧作業への職場復帰の可否である。この基準で国際的に統一されたものはないが、潜水医学の成書の1つには肺の気圧外傷と減圧障害とに分けて紹介されている[46]。肺の気圧外傷では再発の頻度が不明であるが、その再発では重症化しやすく動脈ガス塞栓症を引き起こしやすい。特に肺のう胞性病変が確認されている場合は就業再開の可否が問題となる。次いで、減圧障害では、軽症で治療により完全回復の場合では7日間を

待って再開が可能であり、それ以外の重症であれば治療から4週間は再開すべきではないとある。また、1か月後にも減圧障害による何らかの症状が残存していれば潜水の“相対的な禁忌”としている。高気圧作業の就業制限では以上が参考になるが、産業医による病状判断が重要になる。

#### 6. 再圧室の設置(第42条～46条)

高気圧環境から減圧を行った作業者ないし傷病者への空気による再加圧の危険性、さらに実施による新たな法的問題の派生については前述した。また、たとえ医師が作業現場で傷病者に対して再圧室で酸素を用いた処置(酸素再圧治療)を行うとしても、この治療の緊急的な必要性は減圧障害で明らかではなく[51]、絶対的ないし相対的な禁忌は呼吸器系の損傷ないし疾患にあることから[55]、診療設備のないなかでの再圧室の稼働は致死的な結果を招く可能性がある。したがって、現場で医師の直接的な対応にかかわらず、救急処置として作業現場に設置された再圧室の使用は難しいと考えられる。

一方で、高圧室内業務の最中に作業者が体調不良を起こし、当該作業者の作業室から気こう室への移動が極めて困難な状況が生じることは十分に予測できる。例えば、脳・心血管系の障害が業務中に発症して運動麻痺や意識障害などがみられる場合がそれに該当する。このような予測困難な疾病への対応は再圧室の設置とは異なるものであるが、救出専用的高圧室に傷病者を移動させて、その高圧室内で処置を行いながら減圧する、このような対処法が実用化に向け検討が進められている。しかし、作業者の病状急変での救急ないし救命処置を想定すると、もっとも確実で単純な方法で行う必要がある。例えば、作業室と気こう室の間の移動をエレベーターとして、傷病者の移送にも利用するものであり、実際に一部の作業現場では活用と訓練が進んでいる。厚生労働省の担当官に高圧則の適正な改正の必要性を説明するなかで、使用困難な再圧室の設置と維持には相当程度の費用が必要である旨を伝え、「公共工事の予算に含まれている」との返答であった。改正検討会では膝・腰の負担軽減としてエレベーターが討議されているが[1]、事故対策の基本である安全対策として優先課題として検討を行う必要がある。

#### おわりに

労働災害の頻度である度数率は、高気圧作業のなかの職業潜水では他の作業と比較して高くないが、災害の重症度を示す強度率が極端に高いことが報告され

ている[6]。高気圧作業の安全管理の基本をなす高気圧作業安全衛生規則(高圧則)が平成26(2014)年に改正されたが、複数の課題は残されたままである。本稿では労働衛生の側面から高圧則の問題点を指摘したが、まず可能な対策としては項目別、あるいは全体のガイドラインの整備や専門職向けのマニュアル作成が必要かと考えられる。高圧則の改正には特殊な専門知識が必要ではあるが、さらに労働衛生の関係者の積極的な関与が求められる。

#### 利益相反

なし

#### 引用文献

1. 厚生労働省労働基準局(2014): 高気圧作業安全衛生規則改正検討会報告書 <https://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-11201000-Roudoukijunkyoku-Soumuka/HP-Report.pdf>(2022年2月22日閲覧)
2. 厚生労働省(2015): 改正高圧則リーフレット <https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-11300000-Roudoukijunkyokuanzeniseibu/kaiseikouatusokurifureto.pdf>(2022年2月22日閲覧)
3. 池田知純(2016): 改正高気圧作業安全衛生規則の問題点. 日高気圧環境・潜水医学会誌 51(3): 110-122
4. 森松嘉孝, 合志清隆, 村田幸雄, 他(2018): 改正高気圧作業安全衛生規則と労働衛生. 産業衛誌 60(2): 41-44
5. Medical Information Network for Divers Education and Research (2015): 高気圧作業 安全衛生規則改正 [http://npominder.justhpb.jp/newpage2.16\\_1.mochiduki.html](http://npominder.justhpb.jp/newpage2.16_1.mochiduki.html)(2022年2月22日閲覧)
6. 池田知純, 望月徹(2006): 日本の潜水の問題点について 労働衛生から見た職業潜水の問題点 致死例に焦点を当てて. 日高気圧環境・潜水医学会誌 41(1): 19-23
7. Vann RD, Butler FK, Mitchell SJ & Moon RE (2011): Decompression illness. *Lancet* 377 (9760): 153-164
8. Francis TJR & Mitchell SJ (2003): Pathophysiology of decompression sickness. *In: Bennett and Elliott's Physiology and Medicine of Diving*. 5th ed. (Brubakk AO & Neuman TS, eds). WB Saunders, London pp530-556
9. Neuman TS (2003): Arterial gas embolism and pulmonary barotrauma. *In: Bennett and Elliott's Physiology*



- and Medicine of Diving. 5th ed. (Brubakk AO & Neuman TS, eds). WB Saunders, London pp557-577
10. Clark JM & Thom SR (2003): Oxygen under pressure. *In: Bennett and Elliott's Physiology and Medicine of Diving. 5th ed. (Brubakk AO & Neuman TS, eds). WB Saunders, London pp358-418*
  11. Bennett PB & Rostain JC (2003): Inert gas narcosis. *In: Bennett and Elliott's Physiology and Medicine of Diving. 5th ed. (Brubakk AO & Neuman TS, eds). WB Saunders, London pp300-322*
  12. 錦織秀治, 玉木英樹, 村田幸雄, 野澤徹, 近藤正義 (2017): 水深73mリブリーザー潜水作業の経験. 日高気圧環境・潜水医学会誌 52 (4): 313
  13. Bennett PB & Rostain JC (2003): High pressure nervous syndrome. *In: Bennett and Elliott's Physiology and Medicine of Diving. 5th ed. (Brubakk AO & Neuman TS, eds). WB Saunders, London pp323-357*
  14. Jones Jr JP & Neuman TS (2003): Dysbaric osteonecrosis. *In: Bennett and Elliott's Physiology and Medicine of Diving. 5th ed. (Brubakk AO & Neuman TS, eds). WB Saunders, London pp659-679*
  15. Molvaer O(2003): Otorhinolaryngological aspects of diving. *In: Bennett and Elliott's Physiology and Medicine of Diving. 5th ed. (Brubakk AO & Neuman TS, eds). WB Saunders, London pp227-264*
  16. Moen G, Specht K, Tact T *et al* (2010): Cerebral diffusion and perfusion deficits in North Sea divers. *Acta Radiol* 51 (9): 1050-1058
  17. Seyithanoglu MH, Abdallah A, Dundar TT *et al* (2018): Investigation of brain impairment using diffusion-weighted and diffusion tensor magnetic resonance imaging in experienced healthy divers. *Med Sci Monit* 24: 8279-8289
  18. Coco M, Buscemi A, Perciavalle V *et al* (2019): Cognitive deficits and white matter alterations in highly trained scuba divers. *Front Psychol* 10: 2376
  19. Shields TG, Duff PM, Evans SA *et al* (1997): Correlation between 99Tcm-HMPAO-SPECT brain image and a history of decompression illness or extent of diving experience in commercial divers. *Occup Environ Med* 54 (4): 247-253
  20. Kowalski JT, Varn A, Rottger S *et al* (2011): Neuropsychological deficits in scuba divers: an exploratory investigation. *Undersea Hyperb Med* 38 (3): 197-204
  21. Slosman DO, De Ribaupierre S, Chicherio C *et al* (2004): Negative neurofunctional effects of frequency, depth and environment in recreational scuba diving: the Geneva "memory dive" study. *Br J Sports Med* 38 (2): 108-114
  22. 合志清隆(2018): 高気圧作業者の産業保健対策. 健康開発 22 (4): 61-69
  23. de Bakker HM, Tijsterman M, de Bakker-Teunissen OJG *et al* (2020): Prevalence of pulmonary bullae and blebs in postmortem CT imaging with potential implications for diving medicine. *Chest* 157 (4): 916-923
  24. Toklu AS, Korpınar S, Erelel M, Uzun G & Yildiz S (2008): Are pulmonary bleb and bullae a contraindication for hyperbaric oxygen treatment?. *Respir Med* 102 (8): 1145-1147
  25. British Thoracic Society Fitness to Dive Group, Subgroup of the British Thoracic Society Standards of Care Committee (2003): British Thoracic Society guidelines on respiratory aspects of fitness for diving. *Thorax* 58 (1): 3-13
  26. Almeida Mdo R, Bell G S & Sander J W (2007): Epilepsy and recreational scuba diving: an absolute contraindication or can there be exceptions? A call for discussion. *Epilepsia* 48 (5): 851-858
  27. Smart D & Lippmann J (2013): Epilepsy, scuba diving and risk assessment. Near misses and the need for ongoing vigilance. *Diving Hyperb Med* 43 (1): 37-41
  28. Vorosmarti J (2003): Investigation of diving accidents. *In: Bennett and Elliott's Physiology and Medicine of Diving. 5th ed. (Brubakk AO & Neuman TS, eds). WB Saunders, London pp718-728*
  29. Querido AL (2017): Diving and antidepressants. *Diving Hyperb Med* 47 (4): 253-256
  30. Jepson N, Rienks R, Smart D *et al* (2020): South Pacific Underwater Medicine Society guidelines for cardiovascular risk assessment of divers. *Diving Hyperb Med* 50 (3): 273-277
  31. Shastin D, Zaben M & Leach P (2016): Can patients with a CSF shunt SCUBA dive?. *Acta Neurochir (Wien)* 158 (7): 1269-1272
  32. Hamilton RW & Thalmann ED (2003): Decompression practice. *In: Bennett and Elliott's Physiology and Medicine of Diving. 5th ed. (Brubakk AO & Neuman TS, eds). WB Saunders, London pp455-500*
  33. 厚生労働省労働基準局 基発0109第2号(2015): 高気圧作業安全衛生規則の一部を改正する省令の施行等について <https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-11300000->

- Roudoukijunkyokuanzeneiseibu/sekoutuutatu.pdf (2022年2月21日閲覧)
34. 池田知純(2005): 減圧表のあり方. 日高気圧環境医会誌 40 (1): 13-19
  35. 池田知純(2002): 送気式潜水: 減圧症の治療, 潜水の世界: 人はどこまで潜れるか. 大修館書店. 東京. pp93-97
  36. Tikuisis P & Gerth WA (2003): Decompression theory. *In: Bennett and Elliott's Physiology and Medicine of Diving. 5th ed. (Brubakk AO & Neuman TS, eds). WB Saunders, London pp419-454*
  37. Brubakk AO & Neuman TS (2003): Appendix: some useful data and formulas related to diving. *In: Bennett and Elliott's Physiology and Medicine of Diving. 5th ed. (Brubakk AO & Neuman TS, eds). WB Saunders, London pp760-764*
  38. Francis TJR & Mitchell SJ (2003): Manifestations of decompression disorders. *In: Bennett and Elliott's Physiology and Medicine of Diving. 5th ed. (Brubakk AO & Neuman TS, eds). WB Saunders, London pp578-599*
  39. Moon RE & Mitchell S (2019): Hyperbaric treatment for decompression sickness: current recommendations. *Undersea Hyperb Med 46 (5): 685-693*
  40. Blatteau JE, Gempp E, Constantin P & Louge P (2011): Risk factors and clinical outcome in military divers with neurological decompression sickness: influence of time to recompression. *Diving Hyperb Med 41 (3): 129-134*
  41. Gempp E & Blatteau JE (2010): Risk factors and treatment outcome in scuba divers with spinal cord decompression sickness. *J Crit Care 25 (2): 236-242*
  42. Blatteau JE, Gempp E, Simon O *et al* (2011): Prognostic factors of spinal cord decompression sickness in recreational diving: retrospective and multicentric analysis of 279 cases. *Neurocrit Care 15 (1): 120-127*
  43. Kohshi K, Morimatsu Y, Nishikiori H, Tamaki H & Ishitake T (2021): What is the best therapeutic strategy for decompression illness? First aid oxygen inhalation and hyperbaric oxygen therapy. *J UOEH 43 (2): 243-254*
  44. Wong RM (2003): Empirical diving techniques. *In: Bennett and Elliott's Physiology and Medicine of Diving. 5th ed. (Brubakk AO & Neuman TS, eds). WB Saunders, London pp64-76*
  45. Blatteau JE, Lambrechts K & Ruffez J (2020): Factors influencing the severity of long-term sequelae in fishermen-divers with neurological decompression sickness. *Diving Hyperb Med 50 (1): 9-16*
  46. Moon RE & Gorman DF (2003): Treatment of decompression disorders. *In: Bennett and Elliott's Physiology and Medicine of Diving. 5th ed. (Brubakk AO & Neuman TS, eds). WB Saunders, London pp600-650*
  47. Undersea & Hyperbaric Medical Society (2020): Addressing lack of emergency access to HBO2. In the company of like-minded organization, the Society has sent the following letter to members of the U.S. government. *PRESSURE. 3rd quarter ed. pp12-16*  
<https://media.dan.org/cms/PressurePagesQ32020.pdf> (accessed September 7, 2022)
  48. Mitchell SJ, Bennett MH, Bryson P *et al* (2018): Consensus guideline: Pre-hospital management of decompression illness: expert review of key principles and controversies. *Undersea Hyperb Med 45 (3): 273-286*
  49. Lippmann J (2003): First aid oxygen administration for diver. *SPUMS J 33 (4): 192-198*
  50. Longphre JM, Denoble PJ, Moon RE, Vann RD & Freiburger JJ (2007): First aid normobaric oxygen for the treatment of recreational diving injuries. *Undersea Hyperb Med 34 (1): 43-49*
  51. 合志清隆(2019): 減圧障害の最近の話題 緊急対処と治療をどうするか. 日医師会誌 148 (2): 265-268
  52. Reul J, Weis J, Jung A, Willmes K & Thron A (1995): Central nervous system lesions and cervical disc herniations in amateur divers. *Lancet 345 (8962): 1403-1405*
  53. Gempp E, Blatteau JE, Stephant E *et al* (2008): MRI findings and clinical outcome in 45 divers with spinal cord decompression sickness. *Aviat Space Environ Med 79 (12): 1112-1116*
  54. Uguen M, Pougnet R, Uguen A, Lodde B & Dewitte JD (2014): Dysbaric osteonecrosis among professional divers: a literature review. *Undersea Hyperb Med 41 (6): 579-587*
  55. Jain KK (2009): Indications, contraindications, and complications of HBO therapy. *In: Textbook of Hyperbaric Medicine. (Jain KK, ed). 5th ed. Hogrefe, MA pp79-84*

## The Japanese Law Regulating Underwater and Caisson Work: Current Issues and Future Developments

Kiyotaka KOHSHI<sup>1,2</sup>, Yoshitaka MORIMATSU<sup>2</sup>, Hideharu NISHIKIORI<sup>2,3</sup>, Toshihiro KONDO<sup>4</sup>, Hideki TAMAKI<sup>2,5</sup> and Tatsuya ISHITAKE<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Division of Neurosurgery, Nishinohon Hospital, Higashi-ku, Kumamoto 861-8034, Japan

<sup>2</sup> Department of Environmental Medicine, Kurume University School of Medicine, Asahi-machi, Kurume 830-0011, Japan

<sup>3</sup> Diving Engineering Department, Chugoku Diving Company Limited, Iwakuni 740-0032, Japan

<sup>4</sup> Corporate Planning Department, 2nd team, Oriental Shiraishi Corporation, Koto-ku, Tokyo 135-0061, Japan

<sup>5</sup> Division of Surgery and General Medicine, Tamaki Hospital, Hagi 758-0071, Japan

**Abstract :** The Japan “*Ordinance on Safety and Health of Work under High Pressure*”, which is the law regulating health conditions for workers under high pressure environments, was amended in 2014. The revised regulations have highlighted other difficulties and new problems, but they have not yet written an appropriate amendment based on the aspect of occupational and environmental health. Health management for occupational divers and caisson workers in accordance with the new regulations has not determined the best approach to reducing related disorders and will cause other legal problems. This paper presents some issues in the new regulations for hyperbaric workers, which directly or indirectly involve occupational health physicians. Health checkups and work limitations should be done in consideration of the occupational characteristics of the undersea and hyperbaric environment. Regular examinations using specific studies are useful to diagnose the early stages of chronic conditions for workers, and are also useful for determining the hiring suitability for hyperbaric workers. Work limitations should be decided by the conditions that induce serious accidents or disorders that result from exposure to hyperbaric environments, and depend on the obstacles for work due to sequelae of decompression sickness. The new regulations need to be properly revised, based on scientific evidence, to include health management for workers in undersea and hyperbaric environments.

**Key words:** caisson work, occupational diving, decompression illness, decompression sickness, occupational health.