

労災疾病臨床研究事業費補助金総合研究報告書（研究全体）

【研究課題名】高気圧作業に伴う船上（水上）減圧における減圧症発症状況等人体影響に係る調査研究（160302-01）

【研究代表者】東京医科歯科大学 医学部附属病院高気圧治療部 柳下和慶

【研究目的】

船上減圧とは、所定の水中減圧停止時間をとらせることなく急速減圧し、その後直ちに船上の再圧室でダイバーをある深度レベルまで再加圧した後、改めて減圧する方法である。船上減圧では減圧途中の最終段階で急激に減圧して大気圧に曝露するため、通常の水中減圧に比べて減圧症リスクが高まると考えられる。そのため水中減圧深度を離脱してから一旦大気圧に曝露し、再圧室に入って所定深度まで再加圧を完了するまでの時間を5～7分ほどに制限されている報告がある（U.S.Navy Diving Manual Rev.6, DCIEM Diving Manual : Defence and Civil Institute of Environmental Medicine）。

船上減圧における人体への影響、特に減圧症発生状況の調査のためには、船上減圧の実情などを把握し、減圧症などの発症について比較検討を要する。諸外国での船上減圧については、公的機関（U.S.Navy や DCIEM など）以外でのデータを収集・把握するのは非常に困難である。国内では、公的機関での船上減圧の実績は少ない。一方、1970年代当時の海洋科学技術センター（JAMSTEC：現国立研究開発法人 海洋開発研究機構）において実施されたシートピア計画で混合ガス潜水の技術が導入されたが、その際の技術を基盤として深海潜水を実施している民間企業が、最も船上減圧の実績を有している。以上の背景より、今回の研究目的は、主に十分に実績を有した民間企業での船上減圧（混合ガス・空気潜水）の方法・実績を調査し、船上減圧による減圧症の発症状況などの人体への影響に係る情報を収集することである。さらに、安全に船上減圧を行う場合に配慮すべき事項の検討に資する知見を得ることを目的とする。

【方法】

十分に船上減圧の実績を有した2社を対象として、下記の項目について検討した。

- 潜水夫の基本情報：年齢、身長、体重、BMI、就業年数
- 潜水方法：深度、時間、減圧パターン、一日の潜水スケジュール
- 潜水機材：実際に使用された船上減圧のための潜水装備・機材の仕様
- 船上減圧テーブル：浮上から船上減圧までの時間、船上減圧の加圧、最大圧力、減圧法
- 人体への影響、減圧症、減圧症以外疾病発症例、発症率
- 減圧症等の発症時における、潜水方法、船上減圧テーブルの特徴の検討

さらに、減圧症の発症誘因について、減圧症群と対照群の比較にて減圧症の既往症の有無、潜水海拔（3項目）、スーツ（3項目）、呼気ガス、水温（3項目）、深度（8項目）、作業強度（3項目）、潜水テーブル（3項目）、浮上手段（3項目）の28項目について、オ

ッズ比 (OR) を検討した。

【結果】

船上減圧の実績のある対象 (民間企業の 2 企業) から、1994 年～2015 年における 5,739 例のデータを収集した。うち、空気呼吸 2,185 例、ヘリウム使用 3,554 例だった。人体に影響する有害事象としては 40 例であり、すべて減圧症であった。減圧症の発症率は 0.7% だった。その他、得られた結果としては、

1. 呼吸ガスにおいて空気は Heliox に比べ 11.5 倍の減圧症を発症することが認められ、船上減圧において空気潜水は避けるべきである。
2. 水温が 0～10℃ のとき、そうでない場合と比べ 2.7 倍の減圧症発症を認め、冷水温環境では身体負荷の軽減を図る対策が必要である。
3. A 社の減圧表を使用したとき、そうでない場合と比べ 0.090 倍の低い発症であることから、減圧表に安全率を加えた減圧表を考慮する必要がある。
4. U.S.Navy Revision 4 を使用したとき、そうでない場合と比べ 16.757 倍の減圧症を発症しやすい結果となったが、現在は U.S.Navy Revision 4 の使用はされず、U.S.Navy Revision 7 が使われているので、安全率は確保され減圧症の発症率は抑えられていると考えられる。
5. Heliox 吸入と減圧表の安全率を高めることにより減圧症発症率を下げる可能性がある。
6. 船上減圧から再加圧完了までの 5～7 分以内における安全かつ迅速な船上減圧システムの構築が必要である。

【結論】

本調査研究で船上減圧方法はルールに準じて実施すれば安全に潜水可能であることが確認できた。以上より、本研究で国内外の船上減圧作業記録の分析にて、減圧症の発症率は空気呼吸による作業では発症率は高い結果を認めたが、混合ガス (Heliox など) を用いること発症率は抑えられていることが確認できた。ただし、今回の調査結果は、船上減圧システムが構築された環境下での結果であり、安全な船上減圧の実施にはシステムの構築が基盤に必要と考えられる。

【今後の展望】

本研究で得られた成果により、船上減圧から再加圧完了までの時間やその環境、使用ガスを規定し、減圧症発症率の高い条件を避けることで、安全な船上減圧の実施が可能であることを示すことができた。今後論文化に向けて作業を継続する。また、高圧則の何らかの規定の変更等により船上減圧法の実施が可能となれば、国内でも安全な作業潜水方法の選択肢を広げることが可能となる。