

令和 2 年 7 月 13 日現在

機関番号：37104

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K09145

研究課題名（和文）潜水・潜函作業現場における酸素普及状況と減圧障害予防効果の解明

研究課題名（英文）Investigation of the status of oxygen penetration and its effect on prevention of decompression injury at diving and submarine work site

研究代表者

森松 嘉孝（Morimatsu, Yoshitaka）

久留米大学・医学部・准教授

研究者番号：40320163

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：沖縄本島インストラクターダイバーへの聞き取り調査の結果、気管支喘息有病率は11.1%で、未治療重症高血圧者も見られた。喫煙率は既往も含めると85.1%で、減圧症経験者は若いダイバーに多かった。健康診断未受診者は42歳未満の季節雇用者に多く、総じて自身の健康に対する意識が低かった。マニュアルを遵守した繰り返し潜水における唾液中コルチゾール、尿中アミラーゼは正常で、ゲストを連れていない潜水では、インストラクターのストレスは低いことが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

インストラクターの健康管理が不十分であることが明らかとなり、これはインストラクターの不安定な雇用体系が原因の一つと考えられた。また、呼吸器や循環器疾患を有するインストラクターは少なくなかった。英国のシステムを遵守しているマレーシアでは、疾病を有しているインストラクターダイバーは、その疾病の重症度によって具体的な就労制限が設定されている。我が国の高気圧作業安全衛生規則においても、潜水・潜函作業への明確な指針を設定することが、職業性潜水作業者のみならずゲストダイバーの生命を守ることに繋がる。

研究成果の概要（英文）：As a result of the survey of instructors on the main island of Okinawa, the prevalence of bronchial asthma was 11.1%. Untreated severe hypertension was also observed. The smoking rate was 85.1% including previous history, and those who had experienced decompression sickness were more likely to be young divers. Many seasonal workers under 42 years old did not take health check up, and they generally had low awareness of their own health. Salivary cortisol and urinary amylase in repeated dives in accordance with the instructor diving manual are normal, and it was found that the instructor's stress was lower when diving without guests.

研究分野：産業医学

キーワード：スキューバダイビング インストラクターダイバー 健康管理 健康診断 改正高気圧作業安全衛生規則 ストレス コルチゾール アミラーゼ

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

沖縄県を訪れるレジャーダイバーの数は年間 50 万人以上と年々増加傾向にあるにもかかわらず、インストラクターダイバーの数は約 2,000 人と一定で、かつ若年ダイバーが少ないため、過重労働や減圧障害のリスクが高まっている。一方、沖縄県における潜水漁漁師は環境の変化による漁獲高の減少や漁師の高齢化により年々減少しているが、一人親方である彼らは安全性を無視した漁スケジュールを組み、近年ではダイバーにおいて稀とされている減圧性骨壊死を、最近我々は経験した。しかしこれまで、潜水や潜函作業中の減圧障害罹患時には現場で酸素を治療目的に使用できず、医療機関を受診しないと酸素を用いた治療を受けることができなかった。このため、実際の現場では、個人購入した酸素を用いながら潜水を行う、もしくは浮上後に個人の判断にて酸素吸入を行っている実態がある。2015 年 4 月、改正高気圧作業安全衛生規則が施行され、現場にて純酸素の使用が明記されたが、治療目的に酸素を使用する場合は緊急時に限られ、またその使用においては適切な講習を受けた者が扱うことが望ましいとされている。これは、減圧障害発症時や予防の観点からみれば、酸素をいつ、どのような方法で、どれくらい投与するかといった明確な指針がなく、実際の現場では、治療用酸素の設置が普及していないのみならず、治療目的に酸素の利用が可能となった事実さえ認知されていない。

本邦における減圧障害の治療に関しては、これまで米海軍治療表に沿って行われてきたため、治療対象者を高圧酸素機器のような大型装置を有する専門施設へ緊急搬送しなくてはならなかった。しかし近年では、減圧障害発症一ヶ月後の状態は、発症から治療開始までの時間に影響されないとされ、予後影響因子は初期の重症度と言われている。更に、早期の酸素投与が予後を改善する事もわかっており、申請者らも、減圧障害を疑い早期に自己受診した軽症減圧障害のレジャーダイバーに対し再圧治療を行わず、酸素投与のみで良好な経過をたどった事例を経験している。更に、潜水前 30 分間の酸素吸入が潜水後の血管内気泡を顕著に抑制することも分かっており、減圧障害予防における酸素の重要性も報告されている。最近では、減圧障害予防のために、水深 5 m まで浮上した時点で吸入するための酸素を処方されているダイバーがいるが、実際にはどのタイミングで、どれくらいの量の酸素を投与すべきか明確な指針がなく、処方された酸素を利用しないダイバーもいるのが現状である。

減圧障害発症の病態解明については、重要な原因である減圧後の血管内気泡に関して、窒素含有ボンベ使用が気泡による塞栓症のリスクを下げ、この気泡形成は潜水後の呼気一酸化窒素(NO)低下率と有意な相関があることが報告されてはいるものの、新たなストレスマーカーが模索されているのが現実である。

以上より、インストラクターダイバーにおける背景と改正高気圧安全衛生規則の周知状況を明らかにすると同時に、世界の高気圧関連情報を収集する必要がある。また、過酷なスケジュールにおける潜水時の生体ストレス、予防投与を含めた減圧障害に対する酸素利用による生体への影響解明が待たれている。

2. 研究の目的

インストラクターダイバーの背景と治療としての酸素利用を含む高気圧関連法規周知状況を明らかにすると同時に、海外の高気圧作業状況と法規を調査する。さらに、インストラクターダイバーの作業時における循環動態、肺機能変化と呼気一酸化窒素、喀痰、唾液および尿から、潜水時における生体ストレスを評価し、酸素利用による減圧障害の予防・軽減の可能性を明らかにする。その結果、潜水・潜函作業時における酸素の使用指針作成の参考となるデータが得られ、潜水・潜函作業現場への酸素普及、ならびに使用を推進する。

3. 研究の方法

沖縄のインストラクターダイバーを対象とした聞き取り調査

沖縄本島を主な就労フィールドとする 27 名のインストラクターダイバーへ、質問紙表を用いた聞き取り調査を行った。

インストラクターダイバーにおける潜水時生体ストレス評価、および酸素利用・非利用による生体侵襲評価に関する比較試験およびインストラクターダイバーを対象とした酸素使用群・非使用群の非ランダム化比較試験

プロトコール（繁忙期ダイブ再現研究）

1. 7:30 前兼久港、名護市久保田漁港、宜野湾市嘉手納漁港、伊豆半島のダイビングスポットの漁港、もしくはダイビングショップにおいてバイタル、呼気一酸化窒素を測定し、心臓超音波検査を行い、喀痰、唾液ならびに尿を採取する。採取した検体は、速やかにドライシッパー（凍結試料搬送容器）内へ保存する。
2. 8:00 出航。9:00 空気タンクによる 50 分間の潜水開始。潜水深度は一回目 30m、二回目 20m、三回目 10m より浅い深度とし、各回の最も深い深度で 25m 間を 2 往復する。各回の潜水から浮上後にバイタル、呼気一酸化窒素、心臓内気泡を測定。その後、喀痰、唾液、尿を採取し、ダイブを終了する。
3. 第二回目の潜水後は、昼食のため一度港へ帰港する。
4. 採取した検体は最終研究日翌日、簡易型液体窒素保存容器と共に久留米大学環境医学講座へ輸送。後日、Western-blot/ELISA 法を用いてストレス・炎症マーカーの評価、ならびに蛋白定量を行う。
5. 呼気一酸化窒素と心臓超音波検査については、浮上から 30 分後に行い、可能な場合は最終ダイブから 90 分後、180 分後も両検査を行う。
6. 潜水開始前中後の自覚症状をチェック。減圧障害の可能性のある症状を認めたら、すぐに病院受診の手配を行う。

プロトコール（酸素使用・非使用者研究）

1. 出航前にバイタル、呼気一酸化窒素を測定し、心臓超音波検査を行い、喀痰、唾液、ならびに尿を採取する。採取した検体は、速やかにドライシッパー（凍結試料搬送容器）内へ保存。
2. 出航。第一回目の潜水を行ない、酸素使用者は通常の酸素使用方法に基づき、減圧浮上 5m の時点で酸素吸入を行ない、非使用者は酸素吸入せずに減圧停止を行う。浮上後にバイタル、呼気一酸化窒素、心臓内気泡（浮上 30 分後）を測定。その後、喀痰、唾液、尿を採取する。
3. 第二回目の潜水以降も、同様のプロトコールにて評価・検体採取を行う。
4. 評価・検体の採取に関しては両群（酸素使用群 8 名、非使用群 7 名）ともに同様のプロトコールで行う。
5. 採取した検体は最終研究日翌日、簡易型液体窒素保存容器と共に久留米大学環境医学講座へ輸送。後日、Western-blot/ELISA 法を用いてストレス・炎症マーカーの評価、ならびに蛋白定量を行う。
6. 呼気一酸化窒素と心臓超音波検査については、浮上から 30 分後に行い、可能な場合は、最終ダイブから 90 分後、180 分後も両検査を行う。

インストラクターダイバーマニュアルに推奨されている繰り返し潜水を再現し、ゲストを連れていない状態で、潜水前後の生体上昇を収集した。使用タンクを圧縮空気とし、一部の同意をえたダイバーに対して、浮上 5m の深度で純酸素を吸入する方法を行った。

海外高気圧作業現場の視察並びに法規関連情報収集

マレーシアの現場にて、日本の企業が現地の職業性潜水士を雇用している状況について、マレ

ーシア、日本の法規の観点から取材を行った。

4．研究成果

本島で就労しているインストラクターダイバー27名に対し、健康・安全管理に関する聞き取り調査を行った結果、気管支喘息の合併が11.1%に見られ、未治療重症高血圧ダイバーが1例見られた。85.1%が喫煙歴があった。29.6%が減圧障害経験を有し、これは若年ダイバーに多く、その原因は無理な潜水によるものであった。39歳以下では定期健康診断を全く受診していないダイバーが6名見られ、彼らは全員臨時スタッフであった。1名を除き、全員が改正された高気圧作業安全衛生規則における治療用酸素の取り扱いが変更されたことを認識していたが、実際に職場へ治療用酸素が設置されているのは67%にとどまった。インストラクターダイバーの健康に対する意識は低く、自己の健康管理に乏しいインストラクターがいることは、就労時の疾病発作発症時にゲストダイバーの生命を危機に晒す可能性が高く、免責を免れない可能性が浮き彫りとなった。さらに、高気圧作業安全衛生規則にある「注意すべき病態」としての呼吸器疾患を有するインストラクターダイバーの頻度は、本邦における気管支喘息有病率と近似していることから、英国のような、疾病を有する高気圧作業員に対する具体的な就労マニュアルを明確にすると同時に、治療用酸素の現場普及を推進する必要がある。一方、彼らがインストラクターダイバーズマニュアルに推奨されている繰り返し潜水を行った際の身体ストレス評価では、唾液中コルチゾールは日本人における一般労働者の日内変動と相違はなく、尿中アミラーゼは正常範囲内における下限値であった。これより、ゲストダイバーを随伴していない単独潜水では、インストラクターは繰り返し潜水によるストレスを受けている可能性はないと思われる。

マレーシアにおける職業性潜水士は、英国の基準を遵守していたら、現地ダイバーの知識や意識は高いと言えず、マレーシア潜水協会を通して教育システムを改善する必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 合志清隆、田中慎一郎、玉木英樹、森松嘉孝、石竹達也	4. 巻 31
2. 論文標題 高気圧作業と健康管理	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 産業医学レビュー	6. 最初と最後の頁 199-208
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kiyotaka Kohshi, Yoshitaka Morimatsu, Hideki Tamaki, Yukio Murata, Katsuko Kohshi, Tatsuya Ishitake and Peter Denoble	4. 巻 44
2. 論文標題 Cerebrospinal vascular diseases misdiagnosed as decompression illness: the importance of considering other neurological diagnoses	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Undersea & Hyperbaric Medicine	6. 最初と最後の頁 309-313
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 森松嘉孝、合志清隆、村田幸雄、合志勝子、井上都、久篠奈苗、松本悠貴、森美穂子、星子美智子、増田宏、石竹達也	4. 巻 60
2. 論文標題 改正高気圧作業安全衛生規則と労働衛生	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 産業衛生学雑誌	6. 最初と最後の頁 41-44
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1539/sangyoeisei.17-034-W	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Kohshi Kiyotaka, Morimatsu Yoshitaka, Tamaki Hideki, Ishitake Tatsuya, Denoble Petar J.	4. 巻 0
2. 論文標題 Hyperacute brain magnetic resonance imaging of decompression illness in a commercial breath hold diver	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Clinical Case Reports	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/ccr3.2843	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 森松嘉孝, 村田幸雄, 合志清隆, 大坪仁, 千崎正教, 久保田優斗, 森美穂子, 久木田一郎, 石竹達也	4. 巻 20
2. 論文標題 インストラクターダイバーの唾液中コルチゾールを用いたストレス評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 九州高気圧環境医学会誌	6. 最初と最後の頁 7-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 森松嘉孝, 村田幸雄, 合志清隆, 玉木英樹, 大坪仁, 森美穂子, 星子美智子, 石竹達也	4. 巻 20
2. 論文標題 沖縄本島インストラクターダイバーの健康管理・安全管理に対する予備調査	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 九州高気圧環境医学会誌	6. 最初と最後の頁 15-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 森松嘉孝, 錦織秀治, 岡原義典, 小島泰史, 木之下聡, 森美穂子, 星子美智子, 石竹達也	4. 巻 62
2. 論文標題 マレーシアにおける職業性潜水作業者の労働安全衛生における現状と課題	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 産業衛生学雑誌	6. 最初と最後の頁 165-167
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 合志清隆, 錦織秀治, 近藤俊宏, 玉木英樹, 森松嘉孝, 石竹達也	4. 巻 96
2. 論文標題 高気圧作業の関連法令と課題	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 臨床と研究	6. 最初と最後の頁 88-93
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 森松嘉孝、合志清隆、村田幸雄、大坪仁、井上都、増田宏、森美穂子、星子美智子、増田宏、石竹達也
2. 発表標題 沖縄県におけるインストラクターダイバーの就労時バイタルサインと健康に関する認識
3. 学会等名 第91回日本産業衛生学会総会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森松嘉孝、合志清隆、村田幸雄、増田宏、森美穂子、星子美智子、石竹達也
2. 発表標題 唾液中コルチゾール値からみたインストラクターダイバーの就労時ストレス
3. 学会等名 第53回日本高気圧環境・潜水医学会総会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森松嘉孝、合志清隆、村田幸雄、増田宏、森美穂子、星子美智子、石竹達也
2. 発表標題 繰り返し潜水における心腔内気泡の検出度と重症度
3. 学会等名 第19回九州高気圧環境医学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森松嘉孝
2. 発表標題 高気圧作業と労働衛生
3. 学会等名 平成29年度日本産業衛生学会九州地方会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森松嘉孝
2. 発表標題 高気圧作業と労働衛生
3. 学会等名 第52回日本高気圧環境・潜水医学会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森松嘉孝、村田幸雄、合志清隆、大坪仁、森美穂子、石竹達也
2. 発表標題 圧縮空気ポンペを用いて潜水したインストラクターダイバーの呼気一酸化窒素は、深度30mの潜水にて有意に低下する
3. 学会等名 第53回日本高気圧環境・潜水医学会総会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森松嘉孝、村田幸雄、大坪仁、千崎正教、久保田優斗、井上都、森美穂子、増田宏、合志清隆、久木田一郎、石竹達也
2. 発表標題 経験の浅いダイビングスポットにおけるインストラクターダイバーのストレス
3. 学会等名 第20回九州高気圧環境医学会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 森松嘉孝	4. 発行年 2019年
2. 出版社 医学書院	5. 総ページ数 2069
3. 書名 今日の治療指針 2019年版	

1. 著者名 合志清隆、森松嘉孝、玉木英樹、村田幸雄、合志勝子、石竹達也、井上治	4. 発行年 2017年
2. 出版社 医歯薬出版株式会社	5. 総ページ数 2
3. 書名 医学のあゆみ	

1. 著者名 合志清隆、玉木英樹、Frederic Lemaitre、森松嘉孝、石竹達也	4. 発行年 2020年
2. 出版社 医学書院	5. 総ページ数 7
3. 書名 BRAIN and NERVE	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	増田 宏 (Masuda Hiroshi) (10321861)	久留米大学・医学部・助教 (37104)	
研究分担者	大坪 仁 (Otsubo Hitoshi) (30320188)	久留米大学・医学部・講師 (37104)	
研究分担者	石竹 達也 (Ishitake Tatsuya) (60232295)	久留米大学・医学部・教授 (37104)	

