

研究課題：短時間に繰り返し行われる潜水作業従事者に発症する減圧症に係る  
調査と減圧症予防のためのプロトコール作成 (230401-01)

研究代表者：東京慈恵会医科大学 環境保健医学講座 望月 徹

令和7年3月

## 1. 研究の目的

令和6年度の調査研究は、養殖場での潜水業務におけるリスク要因を明らかにすることを目的とした。これらの潜水業務では、極短時間の潜水を高頻度で繰り返す所謂 yo-yo 潜水が用いられていることから、潜降浮上に伴う頻繁な環境圧力変化が末梢血管の内皮細胞を刺激し、それによって内皮細胞が微小膜胞体 (microparticle: MP) を産生すると仮定し、潜水前後の血管内皮由来の MP 生成量を比較することで、潜水ストレスの大きさを評価した。また、従来から減圧ストレスの指標とされている不活性ガス気泡の調査も実施した。

## 2. 方法

### 2-1. 被験者の選定

被験者は養殖場での潜水業務に従事する労働者とした。選定に際しては、潜水業務への就業に必要な潜水士の資格を有していること、本研究への参加にあたり十分な説明を受けた後、理解の上、本人の自由意思による文書同意が得られた労働者とした。

### 2-2. 調査プロトコール

養殖場での潜水業務におけるリスク評価のため、以下の項目について調査を行うこととした。なお今回の調査研究における全ての手順は、東京慈恵会医科大学倫理委員会によって承認された。

[調査項目]

- ① 唾液中の存在するストレスマーカーとして sIgA、CRP 並びに炎症性サイトカイン (TNF- $\alpha$ 、IL-1 $\beta$ 、IL-6、IL-8) の定量
- ② 高分圧酸素ばく露による酸化ストレスマーカーとして尿中 8-OHdG 等の定量。
- ③ 高分圧酸素ばく露に伴う血管内皮損傷による影響を評価する内皮由来MPの定量
- ④ 潜水後の超音波ドップラー気泡検知法による気泡の検知と評価
- ⑤ 潜水後の Visual analogue scale (VAS)による自覚的疲労感の評価
- ⑥ 経時的な圧力変化を記録するため潜水記録計による潜水プロファイル調査

## 3. 結果

現地調査は令和6年10月から令和7年3月に実施した。

### 3-1. 被験者

現地調査には男性32名女性1名の計33名が参加し、そのうちの31名から検体を採取した。被験者の年齢は、 $33.4 \pm 9.5$ 歳 (範囲: 22-66歳) で、身長は  $170.9 \pm 5.9$ cm (範囲: 158-189cm)、体重は  $74.5 \pm 15.1$ kg (範囲: 50-104kg) であった。調査前後に体調不良を訴えたものはなく、軽微なものを含め減圧症の症状を認めなかった。また、採血等の侵襲による異常も認めなかった。

### 3-2. 潜水プロファイル

今回の調査では、様々な潜水業務が行われた。このうち、潜水中に繰り返し水面まで移動したもの、水深3m程度の潜降浮上を繰り返したもの、潜水間の間隔が15分以下のものを yo-yo 潜水とした。調査した43回の潜水のうち yo-yo 潜水が行われたものは22回であった。yo-yo 潜水における潜水深度は平均値 $\pm$ SDで  $14.0 \pm 6.9$ m、滞底時間は  $41.5 \pm 40.5$ 分、繰り返し潜水回数は  $14.0 \pm 14.2$ 回であった。

### 3-3. 微小膜小胞体 (MP)

微小膜小胞体 (MP) 値 (count/ $\mu$ l) は CD144+/CD42b-群で潜水前 (pre) : 182.35 $\pm$ 98.68、潜水後 (post) : 194.35 $\pm$ 89.97 であり、post で有意に高値の傾向にあったことから、潜水曝露による影響の程度を示している可能性がある。潜水業務後の MP 値を yo-yo 潜水群とコントロール群で比較したところ、yo-yo 潜水群で有意に高かった。MP 値の潜水前後の変化量に関し、yo-yo 潜水における潜水回数、潜水深度、滞底時間、水面時間の関係を調べたが、いずれの要因とも相関を認めなかった。

### 3-4. 不活性ガス気泡検知

超音波ドップラー法による不活性ガス気泡の調査では、31名の被験者中7名(22.6%)から気泡を検知した。これらのうち、yo-yo 潜水が関係したものは2例であった。検知された気泡等級はいずれも等級1であり、潜水業務における潜水ストレスは軽～中等度であると評価された。

## 4. 考察

### 4-1. 微小膜胞体 (MP) による減圧症リスクの評価

今回我々は活性化した細胞から産生される微小膜胞体 (MP) が減圧症リスクのマーカーとして活用できるか検討を行った。潜水などの高気圧曝露によって MP 産生量が増加することが、チャンバーを用いた模擬潜水や実海域での潜水によって確認されている。今回の結果からも同様に MP 増加が認められた。これは、高頻度での潜降浮上に伴う圧力刺激の影響が考えられる。一方 yo-yo 潜水を特徴づける繰り返し潜水回数と MP 変化量に相関を認めなかった。また、潜水深度、滞底時間、平均水面時間も相関を認めなかった。調査した業務における潜水ストレスが低かった可能性が考えられることから、養殖場での潜水業務量が通常時の2倍ほどに達する繁忙期を含め更なる調査が必要である。

### 4-2. 不活性ガス気泡調査による減圧症ストレスの評価

今回の調査では、32例中7例で気泡が検知された。いずれも等級1の軽度なものであり、MP 変化量との相関は認められなかった。今回の調査において気泡が検知された7例のうち5例では当日の労作強度に関する問診で「やや重い」もしくは「重作業」と回答しており、自覚的疲労感が気泡及び減圧症リスクの簡便な指標として利用できる可能性がある。

## 5. 考察

今回の調査研究は、我々の知る限り養殖場での業務に従事する潜水業務従事者を対象とした我が国で初めての本格的な労働衛生研究である。また、yo-yo 潜水のリスク評価に微小膜胞体 (MP) の産生量を用いた最初の研究でもある。減圧症は潜水に特有の疾病であり、その原因は減圧後の体内で形成された不活性ガス気泡による血流の塞栓によるものと考えられてきた。しかしながら、yo-yo 潜水は高頻度に潜降浮上を繰り返すものの、深度は浅くまた短時間であることから、不活性ガスが過大に溶解蓄積することは考えにくく、気泡検知によるリスク評価は困難であると思われる。したがって、不活性ガス気泡に代わり、yo-yo 潜水による曝露の影響を評価できるバイオマーカーが明らかになれば、リスク予測や環境誘発性障害の診断にも有用であると考えられる。我々が調査した MP は、バイオマーカーとして利用可能性があり、また、養殖場や他の潜水業務の現場における労働衛生環境モニタリングへの活用も期待できる。

## 6. 今後の展望

我が国のみならず水産養殖は世界的にも拡大傾向にあり、国連の求める SDGs にも選定されていることから、今後養殖業に関わる労働者も増加することが予想される。yo-yo 潜水に対しては以前からリスクが懸念されており、そのリスクを早期に明らかにし、有効な対策を立案することが肝要である。今後調査を継続し、より多くのデータを取集分析することでリスクの解明と対策の立案を図る予定である。