

## 素潜り漁業者（アマ）の減圧障害：臨床的特徴、発生機序と予防について

合志 清隆<sup>1, 2)</sup>、玉木 英樹<sup>2, 3)</sup>、原田 昌範<sup>4)</sup>、中嶋 裕<sup>4)</sup>、宮野 馨<sup>4)</sup>、横田 啓<sup>4)</sup>、片山 寛之<sup>4)</sup>、勝部 聡太<sup>5)</sup>、村井 達哉<sup>6)</sup>、合志 勝子<sup>7)</sup>、森松 嘉孝<sup>2)</sup>、石竹 達也<sup>2)</sup>

1) 西日本病院 脳神経外科、2) 久留米大学医学部 環境医学講座、3) 玉木病院 外科・総合診療科、

4) 山口県立総合医療センター ヘキ地医療支援部、5) 萩市国民健康保険 見島診療所、6) 萩市国民健康保険 大島診療所、

7) 前琉球大学病院

### 要約

繰り返す素潜りは血液や組織に窒素を蓄積させることから減圧障害を起こす可能性がある。この種の潜水による障害の発生は長く議論されてきたが、本邦の素潜り漁業者であるアマの事例や調査研究によって1つの疾患として確立されている。その臨床像の特徴は主に神経障害であり、なかでも脳卒中様の症状を示すことである。アマの神経画像では境界領域や穿通枝領域に虚血性病変が確認されている。素潜りによる脳障害の発生機序は議論の多いところであるが、静脈性の窒素ガスの気泡が肺を通過して動脈化することで、これに血栓が一体化して脳塞栓を起こすと考えられる。アマの減圧障害の治療は確立されておらず、その予防が重要であり過度な潜水を避ける必要がある。なかでも息継ぎの時間を長くすることや連続した長時間の作業を避けることである。本稿ではアマの減圧障害の特徴、発生機序、さらに予防の重要性について述べる。

キーワード：海士、海女、MRI、気泡、窒素

### 1. はじめに

1950年代の南太平洋で真珠貝を採取する素潜り漁業者に“taravana”と呼ばれる障害が頻発しており<sup>1)</sup>、その地域に特有の疾病か潜水に伴う減圧障害（decompression illness）かの議論が続いていた。しかし、わが国の素潜り漁業者（アマ：海女ないし海士）で同様の事例が報告され<sup>2, 3)</sup>、この障害が2006年に専門医学会の国際ワークショップで議論されると<sup>4)</sup>、現在では素潜りによる減圧障害として認識されるようになった<sup>5, 6)</sup>。その臨床症状の特徴は、スクーバ潜水や潜函作業などに代表される圧縮空気での減圧障害の症状とは異なり、主な障害が脳卒中様の症状を示すことである。また、その発生機序をめぐってさまざまな議論が繰り返されてきたが<sup>7, 8)</sup>、著者らは素

潜り漁業者の減圧障害の病像と神経画像から新たな仮説を提唱している<sup>9)</sup>。本稿では素潜り漁業者の作業内容と健康障害、さらに障害の予防について、著者らの報告結果をもとに紹介する。

### 2. 素潜り漁業者（アマ）

紀元前から日本や朝鮮半島で行われてきた素潜り（息こらえ潜水）の漁業者は、わが国の研究者による最初の報告で国際的にも“Ama”と呼ばれている。これまでに行政による素潜り漁業者の人口動態調査は行われていないが（農林水産省：2018/03/28）、1980年代に全国の漁業協同組合を対象としたアンケート調査が報告されている<sup>10)</sup>。その報告結果によれば、当時の素潜り漁業者の人口は約11,000人であり、そのなかで男性は8割

とされている。行政による実態調査が行われていない理由の1つは、大多数の素潜り漁は他の就労との兼業で行われており、作業の内容や比重の確認が困難なだけでなく就業の期間も地域によって多様であり、職業として素潜り漁を定義することが難しいことが推測される。

素潜り漁業者の潜水のパターンで2つに分けられ、海底に潜る際に「フンドウ」と呼ばれるおもり錘を用いる「フナド (funado)」と、これを用いない「カチド (cachido)」である<sup>11)</sup>。後者では漁獲物を入れることと潜った後に息を整えるために桶や浮

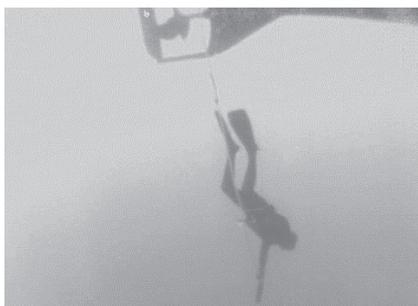
輪などが用いられており、自ら海岸から泳いで移動できる場所を選んで、水深は3～10 mで行われる。これに対して前者のフナドでは錘を操作する漁船が必要になり、通常は船上のパートナーが船の操作と錘、さらに素潜り漁業者の引き上げを行う (図1)。フナドの潜水のパターンは地域あるいは個人でも大きく異なるが、カチドに比べて水深が20 mを超えることも稀ではなく、1回の息こらえ時間は1分程度で、1時間に20～30回の素潜りを繰り返している (図2)。

漁の時間や期間は各地域の漁業組合の規則に



漁船はフンドウと呼ばれるおもり錘を引き上げる装置を備えており、その操作は船上のパートナーによって行われることが多い。

図1 フナドによる素潜り作業風景



(A)



(B)



(C)

15～25kgの錘（フンドウ）を利用して海面から15～30 mの深さまで一気に潜り (A)、海底では40～50秒間にアビやサザエなどの収穫作業が行われる (B)。素潜り漁業者は海底での作業後に自力で浮上することも (C)、船上の引き上げ機を使用する地域もある。  
(提供：Dr. Frédéric Lemaître, University of Rouen, France)

図2 アマ（フナド）による水中の素潜り作業

沿って行われており、著者らが調査を行ってきた地域での作業時間と期間は9～15時までの週4日と10カ月間であった<sup>12)</sup>。ウエットスーツの着用を禁止している地域もあり、近年の就業を制限する傾向は漁業者の安全管理というよりも主に漁業資源の保護からである。調査地域での素潜り漁に従事する人口は1993年に最も多くなっているが、その後は徐々に減少傾向を示しており、特に40才代の就業者の減少が顕著である(図3)。この就業者数の変動は主に漁獲物の価格に影響されると聞いている。さらに、同地域での素潜り漁業者では男性の比率が9割を超えており、40～70才代と幅広い年代で就労に従事している。また、フナドは全てに男性であり、1998年と2018年では52名から23名へと少なくなっていた。

### 3. 臨床症状

圧縮空気を用いた潜水や潜函作業などによる減圧障害の症状は特徴的なものであり、そのなかで高率にみられるのは四肢や臀部の痛みで、次いで下肢のジンジン感や感覚低下などの異常感覚、さらに眩暈や吐き気などである<sup>13)</sup>。この種の潜水

における減圧障害では片側性の運動麻痺や感覚障害、けいれん発作などの脳卒中様の症状は多くはない。一方で素潜りによる減圧障害では脳卒中様の症状が主なものであり、四肢の疼痛や異常感覚、さらに脊髄障害の症状は稀である<sup>12,14)</sup>。以上のように減圧障害の症状は潜水の種類で大きく異なる。

著者らが行った173名の素潜り漁業者(すべてが男性)からの聞き取り調査によれば、そのうち12名(中央値:58才、45～71才)には作業に伴う神経障害の既往がみられた(カチド:1名/144名、フナド:11名/29名)<sup>12)</sup>。これら水深15～25mで1分間に30回程度の素潜りを3～4時間ほど継続すると、その最中や終了後に神経障害を自覚していた。具体的には片側性の感覚障害(8名)や運動麻痺(6名)が多いが、構語障害(3名)、同名半盲(1名)や顔面の感覚異常(1名)も経験されていた。他の調査では重症例で痙攣発作や意識障害も生じていた<sup>14)</sup>。

素潜り漁業者にみられる脳卒中様の症状は数時間ないし数週間うちに改善しやすいが、なかには後遺症として神経症状が持続することがあ

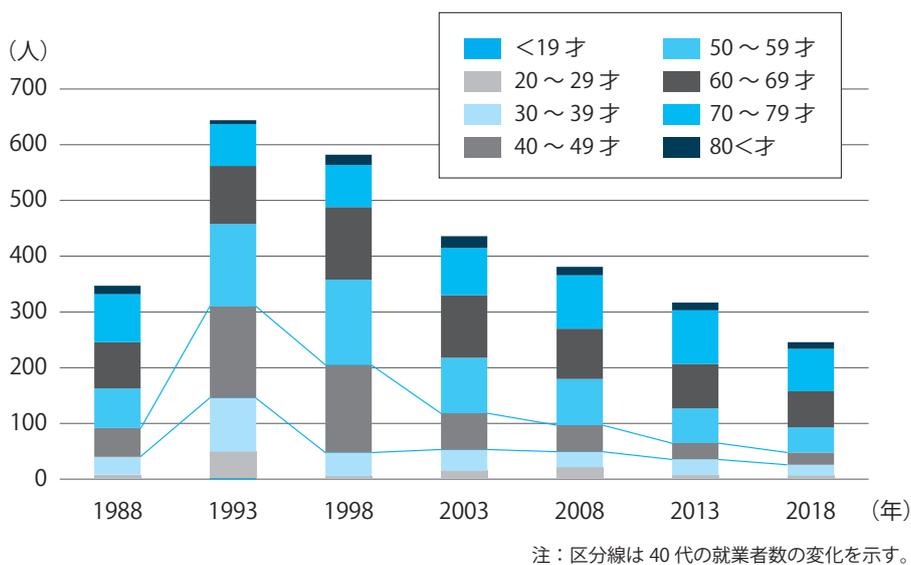


図3 某地区の30年間における素潜り漁業者(アマ)の年齢別の人口構成<sup>12)</sup>

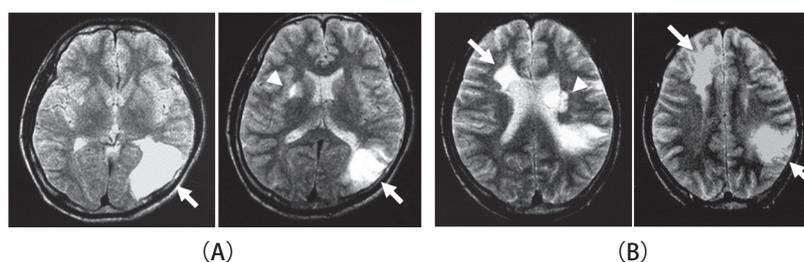
る<sup>3,15)</sup>。“taravana”の報告では235名の素潜り漁業者を3週間にわたる調査が行われており、47名に減圧障害の症状や障害がみられている。その大半はめまいや気分不良などであるが、運動麻痺（6名）、意識障害（3名）、精神異常（2名）と死亡（2名）とされている<sup>1)</sup>。この調査地域での“taravana”を発症した漁業者の年齢や性別は示されていないが、参考事例として他の地域での43名（平均：38.6才、19～62才）の漁業者における同様の障害は13名（1名のみ女性）とある。このような“taravana”でみられた症状は、わが国の素潜り漁業者の減圧障害と一致ないし類似したものである。

#### 4. 画像診断

スクーバ潜水に代表される圧縮空気における減圧障害の脳病変は1980年代から報告されているが、素潜りでは1998年のアマの頭部MRI画像が最初の報告であり、現在までに複数の事例がみられる<sup>2, 3, 15-17)</sup>。しかし、潜水の方法による脳病変の画像所見に差異はなく、圧縮空気による潜水でも大脳、基底核・視床、脳幹部と小脳に虚血性病変が確認される<sup>18, 19)</sup>。さらに脳病変は特徴的な動脈の支配領域に位置しており、大脳と小脳では脳血管の境界領域であり、その他の病変は脳血管

の穿通枝領域である（図4）<sup>20)</sup>。さらに、大脳の境界領域の梗塞は脳表と脳深部とに分けられるが、前者では塞栓が原因となりやすいものであり、後者は主に脳血流の灌流障害によるものである<sup>21, 22)</sup>。また、穿通枝領域の脳梗塞はラクナ梗塞として大半は動脈硬化に起因するとされているが、全体の1/3ほどは心臓由来の塞栓が原因とされている<sup>23)</sup>。素潜りの減圧障害は高齢者よりも若年者にも生ずるものであり、頭部MRI画像から脳病変は脳塞栓症と考えられる。

一方で予防医学の観点から重要なことは、素潜り漁を行うことで何らかの脳病変が発生するかどうかである。そこで神経症状がみられない12名の素潜り漁業者を対象として頭部MRI検査を行ったところ11名に画像上の変化がみられた<sup>24)</sup>。そのなかの4名は一過性の脳卒中様の症状を経験していた。脳の変化は微細な脳梗塞と考えられるが、これによる明らかな脳神経症状は認められなかった。対象とした素潜り漁業者の平均年齢は約55才であり、それまでに症状のない無症候性脳梗塞が大半を占めるとすれば、この種の病変の発生頻度は50才代の健常人で10%前後とされていることから<sup>25)</sup>、脳病変の多くは素潜りが誘因である可能性が示唆される。



素潜り作業中に視野障害を自覚した33才男性の頭部MRI-T2画像（A）、さらに運動麻痺と感覚障害をきたした39才の男性アマの同画像である（B）。脳動脈の境界領域（矢印）と穿通枝領域（矢頭）の共通した部位に虚血性病変がみられるが（A、B）、MRアンギオグラフィでは異常は確認できなかった。（taken from Kohshi K, et al, 2000 with permission）

図4 減圧障害がみられた素潜り漁業者の頭部MRI画像<sup>20)</sup>

## 5. 発生機序

素潜りを繰り返すことで脳を中心に障害が生ずるが、その発生機序は明らかではなく複数の仮説が唱えられている<sup>7,8)</sup>。繰り返して素潜りを行うと血液と組織内に窒素が蓄積するが、長期間の素潜りを行っている最中か終了後に窒素の気泡が血管ないし組織内に形成され、その気泡が減圧障害の原因と推測されてきた。気泡が形成され確認されるのは静脈側であるが、頭部 MRI 画像では脳病変は脳動脈塞栓症の病像を呈していることから、静脈性の気泡が左心系へ移動する必要がある。素潜りでは脳障害を起こしやすいが、圧縮空気での潜水に比べて血管内の気泡は少量であることが多い<sup>26,27)</sup>。著者らは当初は検出が困難な微細な気泡による脳障害と予測したが<sup>20)</sup>、広範な虚血性病変を示す頭部の画像所見は大量の塞栓の存在をうかがわせる。次いで、形成された静脈性気泡が肺細小動脈に留まり、素潜り漁業者が海底に潜る際に気泡が圧縮され肺毛細血管を通過して、静脈性の気泡が左心系に移行するとした仮説である(“trapped bubble” 説)<sup>12)</sup>。しかし、気泡の通過に低酸素血症も関係するが、わずかな量の気泡で広範な脳の病巣を説明することに無理がある。

近年、素潜りの減圧障害で新たな興味ある2つの仮説が出されている。1つは血管内皮に影響する微小物質(microparticles)による血管障害や血栓形成とするものである<sup>28)</sup>。他の1つは全身で微小気泡(nanobubbles)が形成され拡大して通常の気泡に成長するとしたもので、脳障害は脳動脈内で生じた気泡によるものとした仮説である<sup>29)</sup>。しかし、これらの仮説では素潜りによる広範な脳病変を説明することは困難である。著者らは素潜り漁業者の減圧障害での症状と神経画像から新たな仮説を提唱している<sup>9)</sup>。すなわち、繰り返す素潜りで気泡が形成され、この気泡が“trapped bubble”から左心系へ移行して小さな脳動脈が塞栓症を起こして、この部位で周囲脳や血液から窒素が移動し気泡が拡大するものた

る。しかし、素潜りによる脳を中心とした減圧障害の発生機序は明らかではない。

## 6. 治療

減圧障害には早急な対応が必要とされるが、なかでも中枢神経系の病状は重篤になりやすいことから緊急性を要する。特に素潜り漁業者の減圧障害は虚血性脳血管障害の病状を示すことから注意が必要である。

全ての減圧障害の治療は高圧酸素治療の1つの再圧治療が国際的にも標準とされてきた<sup>13)</sup>。この治療は決められた治療圧と時間で酸素吸入を繰り返して行うものであり、専門施設で特殊な専用の治療装置を必要とする。減圧障害の症状のなかで脳の障害に酸素再圧治療が推奨されているが、急性期の治療報告を検討すると実施されていないことが多かった<sup>30)</sup>。したがって、減圧障害のなかで脳障害に対する高圧酸素治療は確立されたものではないと考えられる。

以上の現状のなかで、圧縮空気での潜水による減圧障害で重症例を含めて早急な酸素吸入により病状の改善ないし安定が得られたとする2つの報告がある<sup>31,32)</sup>。その1つは米国の専門機関が1998年から2003年までに減圧障害で登録された2,231例を、初期に酸素吸入が行われた1,045例と対照の1,186例とで比較したものであり、前者の処置群では95%に病状の改善ないし安定化が得られている<sup>32)</sup>。これは治療効果を示してはいないが、病初期の酸素吸入の重要性を示唆したものであり、国際的な専門医学会は早急な酸素吸入を推奨している<sup>33)</sup>。

著者らが対象としている離島を含めた地域では、かかりつけ医が災害医療で重要な役割を担っており、漁業者に減圧障害が疑われると酸素吸入が行われる。さらに、他の複数の医師との連絡ネットワークを介して、傷病者の専門医療施設への緊急受け入れ態勢も整えられている<sup>34)</sup>。

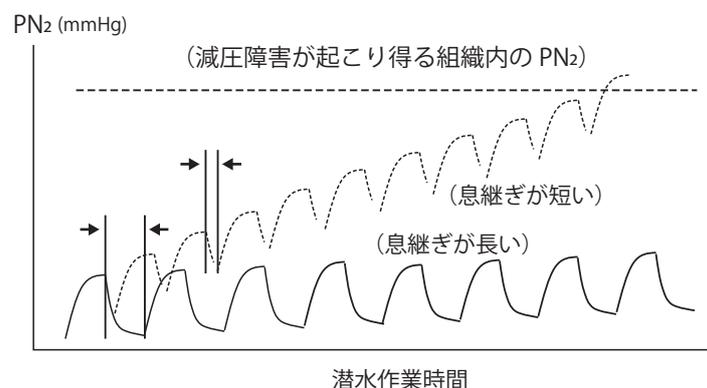
## 7. 予防

素潜り漁業者の減圧障害では神経症状が進行することがあり、さらに神経画像から脳損傷が短時間で不可逆性に变化することを示している。したがって、脳虚血としての治療可能な期間は限られたものであり、その予防がより重要になる。さらに予防法は素潜り漁業者で継続的に実施が可能なものであると同時に、漁業として生業に大きな影響を与えない必要がある。

素潜りの減圧障害に関係する因子として、潜水の深度、1回の潜水時間と息継ぎの時間、さらに連続した作業時間が可能性として挙げられ、これらは組織への窒素の蓄積に関係している<sup>35-37)</sup>。素潜りの深度が深く、さらに作業を数時間と連続して行うことで減圧障害が発症しやすくなることを示している。しかし、この両者ともに魚貝類の収穫に関係しており、特に潜水深度を浅くすることは困難である。一方で、それ以外の因子のなかで、繰り返す素潜りの間の息継ぎ時間を長くすれば、潜る深さと息を止める時間が同じでも“taravana”がみられないことも紹介されている<sup>1)</sup>。具体的には、毎回の呼吸の時間は3～10分の地域では減圧障害がみられるが、この時間が12～15分と長い地域では障害がみられないとしている。

素潜りでは水圧によって肺内の空気が圧縮されることで、窒素ガス分圧は肺胞さらに血液内で上昇する。素潜りの後に呼吸を繰り返すと、血液内で高まった窒素ガスは静脈血を介して肺から排出され、血中の窒素ガス分圧は素潜り前の値に徐々に戻る。しかし、窒素ガス分圧が十分に下がっていない状態で、次の素潜りを行うと窒素ガス分圧はさらに高くなり、これを繰り返すことで窒素が血液や組織内で徐々に蓄積する(図5)<sup>35-37)</sup>。素潜りによる窒素ガスの体内への蓄積は息継ぎの時間に加えて水深にも影響され、その継続によって減圧障害が生ずる程度まで高まると予測される。著者らが行った素潜り漁業者の調査によれば、減圧障害を経験していた群では息継ぎの時間が短いことが示されている(26.0 +/- 13.7 vs. 42.5 +/- 54.4 sec, p=0.034)<sup>12)</sup>。

以上の調査結果から素潜り漁業者には減圧障害の予防として息継ぎ時間に注意すること、具体的には“呼吸を整える回数を通常よりも1回ないし2回を追加する”ことを勧めてきた。さらに2時間の連続した作業になれば10～20分間の休息を取ることを指導してきたが、窒素の体内への蓄積を抑制する必要があるからである。圧縮空気では潜水前の水分補給で気泡の発生が抑制される



息継ぎの時間によって窒素分圧の上昇は変わり、ある一定程度に短くなれば減圧障害を起こす程度に血液や組織内に窒素の蓄積を生じる。矢印の間は息継ぎの時間を示す。(報告からの推測により著者作成。文献：35-37)

図5 素潜りに伴う推測される組織内の窒素ガスの変化<sup>35-37)</sup>

が<sup>38)</sup>、このことは素潜りでも同様と考えられ休息の際の水分補給も勧めている。また、これまでの限られた調査において、減圧障害の危険因子に高血圧、糖尿病と心疾患は含まれなかったが<sup>12)</sup>、喫煙は一部の地域で関連する傾向がみられた<sup>14)</sup>。したがって、素潜り漁業者の健康管理には、潜水医学の専門的な事項に禁煙指導も含めて行う必要があると考えられる。

漁業者は第一次産業に従事する労働者であり、雇用関係の状況から労働者の健康管理を目的とする産業保健の対象とはされておらず、国民健康保険の中で、労働者自らの責任で健康管理を行う状況にあった。このような状況のなかで、共同研究者の地域では、以上の取組みを10数年前から関係者間で検討され、現在も続けられている(図6)<sup>34)</sup>。前述したように、かかりつけ医は漁業者に対する減圧障害の初期対応を行うだけではなく、住民や漁業者の集会に普段から参加して減圧障害の予防法を伝えてきている。これは漁業者と医療者が一体となった地域の取組みであるが、近年では減圧障害の発生は少なくなっていると漁業関係者から連絡を受けている。しかし、作業が長時間にわたり連続すれば減圧障害を発症した素潜り漁業者も時に経験されることから<sup>17)</sup>、作業に対する継続的な地域医療機関との連携が重要と考えられる。さ

らに、このような取組みの予防効果の裏付け調査が必要と思われる。

## 8. おわりに

息こらえ潜水の素潜りは紀元前から行われており、その漁業者は国際的にも“Ama”として知られている。素潜りによる減圧障害の特徴は脳卒中様の症状がみられやすく、神経画像では虚血性病変として確認される。素潜りによる減圧障害の発生機序は明らかではなく治療法も確立されていない。しかし重要なことは素潜り漁業者での減圧障害の予防であり、その生業に影響を与えずに過度な作業を避けるような指導が必要である。

### 謝辞

20年間にわたり潜水医学の指導を頂いた Robert M Wong 博士 (Royal Perth Hospital, Fremantle, Western Australia)、この分野で助言を頂いている Petar J Denoble 博士 (Divers Alert Network, USA) に感謝いたします。

### 【参考文献】

- 1) Cross ER. Taravana diving syndrome in the Tuamotu diver. In: Rahn E, Yokoyama T, eds. Physiology of breath-hold diving and the Ama of Japan. Washington, DC: National Academy of Sciences, National Research Council, pp205-219,



某地区で離島を含めて素潜り漁業者と関係者を対象とした講習会が非定期的に開催されている。

図6 素潜り漁業者を対象とした地域の講習会

- 1965
- 2) Kohshi K, et al. Multiple cerebral infarction in Japanese breath-hold divers: two case reports. *Mt Sinai J Med* 65: 280-283, 1998
  - 3) Kohshi K, et al. Neurological accidents caused by repetitive breath-hold dives: two case reports. *J Neurol Sci* 178: 66-69, 2000
  - 4) [https://www.sobrasa.org/new\\_sobrasa/arquivos/artigos/UHMS\\_DAN%202006%20Breath-hold%20Workshop%20Proceedings.pdf](https://www.sobrasa.org/new_sobrasa/arquivos/artigos/UHMS_DAN%202006%20Breath-hold%20Workshop%20Proceedings.pdf) (2021/5/22)
  - 5) Lemaître F, et al. Decompression sickness in breath-hold divers: a review. *J. Sports Sci.* 27, 1519-1534, 2009
  - 6) Moon RE, Gray LL. Breath-hold diving and cerebral decompression illness. *Undersea Hyperb Med* 37: 1-5, 2010
  - 7) Schipke JD, Tetzlaff K. Why predominantly neurological decompression sickness in breath-hold divers? *J Appl Physiol* 120: 1474-1477, 2016
  - 8) Foster GE, et al. Commentaries on Viewpoint: Why predominantly neurological DCS in breath-hold divers? *J Appl Physiol* 120: 1478-1482, 2016
  - 9) Kohshi K, et al. Decompression illness in repetitive breath-hold diving: why ischemic lesions involve the brain? *Front Physiol* 12: 711850, 2021
  - 10) 竹内久美, 毛利元彦. 全国の潜水漁業者の実態調査—分布、年齢層および潜水方法など—. *日高気圧環境医学会誌* 22: 227-234, 1987
  - 11) Hong SK, Rahn H. The diving women of Korea and Japan. *Sci Am* 216: 34-43, 1967
  - 12) Tamaki H, et al. A survey of neurological decompression illness in commercial breath-hold divers (Ama) of Japan. *Undersea Hyperb Med* 37: 209-217, 2010
  - 13) Vann RD, et al. Decompression illness. *Lancet* 377: 153-164, 2011
  - 14) Kohshi K, et al. Neurological diving accidents in Japanese breath-hold divers: a preliminary report. *J Occup Health* 43: 56-60, 2001
  - 15) Tamaki H, et al. Repetitive breath-hold diving causes serious brain injury. *Undersea Hyperb Med* 37: 7-11, 2010
  - 16) 松尾龍, 他. 素潜り漁中に発症した脳型減圧症の1例. *臨床神経* 52: 757-761, 2012
  - 17) Kohshi K, et al. Hyperacute brain magnetic resonance imaging of decompression illness in a commercial breath-hold diver. *Clin Case Rep* 8: 1195-1198, 2020
  - 18) Reul J, et al. Central nervous system lesions and cervical disc herniations in amateur divers. *Lancet* 345: 1403-1405, 1995
  - 19) Warren LP Jr, et al. Neuroimaging of scuba diving injuries to the CNS. *Am J Roentgenol* 151: 1003-1008, 1988
  - 20) Kohshi K, et al. Neurological manifestations in Japanese Ama divers. *Undersea Hyperb Med* 32: 11-20, 2005
  - 21) Mangla R, et al. Border zone infarcts: pathophysiologic and imaging characteristics. *Radiographics* 31: 1201-1214, 2011
  - 22) Momjian-Mayor I, Baron JC. The pathophysiology of watershed infarction in internal carotid artery disease: review of cerebral perfusion studies. *Stroke* 36: 567-577, 2005
  - 23) Horowitz DR, et al. Mechanisms in lacunar infarction. *Stroke* 23, 325-327, 1992
  - 24) Kohshi K, et al. Brain damage in commercial breath-hold divers. *PLoS One* 9: e105006, 2014
  - 25) Vermeer SE, et al. Silent brain infarcts: a systematic review. *Lancet Neurol* 6: 611-619, 2007
  - 26) Boussuges A, et al. Circulating bubbles and breath-hold underwater fishing divers: a two-dimensional echocardiography and continuous wave Doppler study. *Undersea Hyperb Med* 24: 309-314, 1997
  - 27) Lemaître F, et al. Doppler detection in Ama divers of Japan. *Wilderness Environ Med* 25: 258-262, 2014
  - 28) Thom SR, et al. Association of microparticles and neutrophil activation with decompression sickness. *J Appl Physiol* 119, 427-434, 2015
  - 29) Arieli R. In vitro evidence of decompression bubble dynamics and gas exchange on the luminal aspect of blood vessels: Implications for size distribution of venous bubbles. *Physiol Rep* 7, e14317, 2019
  - 30) 合志清隆, 他. 減圧障害の最善の対処法は何か? —初期対応の酸素吸入と高圧酸素治療について—. *産業医大誌* 43: 243-254, 2021
  - 31) Lippmann J. SPUMS annual scientific meeting 2002 First aid oxygen administration for divers. *SPUMS J* 33: 192-198, 2003
  - 32) Longphre JM, et al. First aid normobaric oxygen for the treatment of recreational diving injuries.

- Undersea Hyperb Med 34: 43-49, 2007
- 33) Mitchell SJ, et al. Consensus guideline: Pre-hospital management of decompression illness: expert review of key principles and controversies. Undersea Hyperb Med 45: 273-286, 2018
- 34) 玉木英樹, 他. 息こらえ漁業ダイバーにおける減圧障害の予防活動. 日高気圧環境・潜水医学会誌 43: 207-210, 2008
- 35) Olszowka AJ, Rahn H. Gas store changes during repetitive breath-hold diving. In: Shiraki K, Yousef MK, eds. Man in stressful environments –diving, hyper- and hypobaric physiology. Illinois: Charles Thomas, pp41-56, 1987
- 36) Paulev P. Decompression sickness following repeated breath-hold dives. J Appl Physiol 20: 1028-1031, 1965
- 37) Lanphier EH. Application of decompression tables to repeated breath-hold dives. In: Rahn E, Yokoyama T, eds. Physiology of breath-hold diving and the Ama of Japan. Washington, DC: National Academy of Sciences, National Research Council, pp227-236, 1965
- 38) Gempp E, et al. Preventive effect of pre-dive hydration on bubble formation in divers. Br J Sports Med 43: 224-228, 2009

---

## Clinical characteristics, mechanisms, and prevention of decompression illness in commercial breath-hold divers (Ama): a short review

Kiyotaka Kohshi <sup>1,2)</sup>, Hideki Tamaki <sup>2,3)</sup>, Masanori Harada <sup>4)</sup>, Yutaka Nakashima <sup>4)</sup>, Kei Miyano <sup>4)</sup>, Kei Yokota <sup>4)</sup>, Hiroyuki Katayama <sup>4)</sup>, Sota Katsube <sup>5)</sup>, Tatsuya Murai <sup>6)</sup>, Katsuko Kohshi <sup>7)</sup>, Yoshitaka Morimatsu <sup>2)</sup>, Tatsuya Ishitake <sup>2)</sup>

1) Division of Neurosurgery, Nishinohon Hospital

2) Department of Environmental Medicine, Kurume University School of Medicine

3) Division of Surgery and General Medicine, Tamaki Hospital

4) Support Center for Rural Medicine, Yamaguchi Prefectural Grand Medical Center

5) Hagi City National Health Insurance Mishima Clinic

6) Hagi City National Health Insurance Ohshima Clinic

7) Formerly University of the Ryukyus Hospital

### Abstract

Decompression illness (DCI) is theoretically possible following repetitive breath-hold dives because nitrogen is accumulated in the blood and tissues. Although the occurrence of diving accidents has been widely debated for several decades, reported cases and field studies of Japanese commercial breath-hold divers (Ama), support DCI as a clinical entity. The clinical characteristics of DCI in Ama divers are mainly neurological involvements, especially stroke-like brain attacks. Neuroradiological studies of Ama divers showed ischemic lesions situated in watershed or terminal zones of cerebral arteries. The mechanisms of brain damage in breath-hold diving remain to be elucidated; one of the plausible mechanisms is arterialized venous nitrogen bubbles passing through the lungs during repetitive dives, which are mixed with thrombi and occlude cerebral arteries. The treatments for DCI in breath-hold divers have not been established. The prevention of DCI includes reducing their extreme diving schedules; prolonging the surface intervals and avoiding long-lasting repetitive dives for more than several hours. This short review article introduces clinical manifestations of DCI in Ama divers, controversial mechanisms and importance of the prevention.

**Key words;** Ama-diver, MRI, bubbles, nitrogen

---