

【第43回学術総会シンポジウム2:ダイビングの安全基準】

レクリエーショナルダイバーの減圧症発症と窒素ガス溶解量との関係

小宮 正久¹⁾ 芝山 正治²⁾ 山見 信夫^{1,3)} 柳下 和慶³⁾ 外川 誠一郎³⁾
岡崎 史紘³⁾ 眞野 喜洋^{1,3)}

東京医科歯科大学大学院健康教育学¹⁾

駒沢女子大学人間健康学部²⁾

東京医科歯科大学医学部附属病院高気圧治療部³⁾

キーワード ガイドダイバー, 減圧障害, 高所移動

【Symposium】

Relation between nitrogen gas solution volume and incidence of decompression sickness in recreational divers

Masahisa Komiya¹⁾, Masaharu Shibayama²⁾, Nobuo Yamam^{1,3)}, Kzuyoshi Yagishita³⁾, Seiichiro Togawa³⁾, Fumihiko Okazaki³⁾, Yoshihiro Mano^{1,3)}

1) Occupational Health Education, Tokyo Medical and Dental University

2) Faculty of Human Health, Komazawa Women's University

3) Hyperbaric Medical Center, Tokyo Medical and Dental University

keywords Guide divers, Decompression Illness, height transfer

目的

我々がいままで実施してきた調査研究からレジャーダイバーの減圧症発症率は2%^{1,2)}であり、年間の発症件数は1,000件^{3,4)}に達し、その約半数のダイバーは病院を受診して治療を受けている⁵⁾と予測されていた。また、多くのダイバーは1日2回の潜水で減圧症に罹患していた^{3,5)}。

本研究は、2007年度に東京医科歯科大学で減圧症治療を受けたレジャーダイバーの中で、1日2回の潜水によって発症したダイバーを対象として、潜水後の飛行機搭乗の有無、自動車で高所を移動の有無などの調査を行い減圧症罹患との関係を調べた。また、実際にレジャーダイバーをガイドしているガイドダイバーに対して水深と時間が記録できる時計^{1,6)}を携帯してもらい潜水プロフィールを調査し、その時の体内窒素ガス溶解量を求め^{1,6)}、ワークマンのM値⁷⁾と比較して減圧

症発症の危険性を検討したので報告する。

対象と方法

2007年度（'07年4月～'08年3月）に東京医科歯科大学で減圧症の治療を受けた患者さんを対象とした。問診により潜水地、減圧症発症時の潜水深度、潜水時間、潜水後の移動方法（飛行機や高所）、居住地などを調べた。

ガイドダイバーを対象とした調査は、西伊豆半島でガイドダイビングを行っている現地ショップのダイバー^{5,8,9)}に協力を依頼し、一般に市販されている潜水記録用時計（CITIZEN社製、Air Divers 200m）を用いて、記録された全データをパソコンに保存、後日その保存データを我々が回収して、潜水プロフィールの解析分析をした^{1,6)}。減圧症の危険性を判断するために用いられた体内窒素ガス溶解量のプログラムは、水深と潜水

時間から求めるもので、海面に浮上する直前の体内窒素ガス溶解量とワークマンのM値を比較して評価した。

結果

(1) 減圧症罹患者の調査結果

2007年度に東京医科歯科大学で減圧症治療を受けたレジャーダイバーは284人である。内訳は、男性154人(54.2%)、女性130人(45.8%)である。潜水経験年数は平均7年、経験タンク本数は同400本である。そのうち、潜水経験1年未満および潜水本数10本未満はそれぞれ24人(8.5%)である。

罹患した時のダイビング地は静岡県80人(28.2%)と沖縄県61人(21.5%)で半数を占めていた。海外ダイビング地では、パラオ20人(7.0%)、グアム12人(4.2%)、モルディブ9人(3.2%)である。

潜水後の移動方法は、飛行機が151人(53.2%)、

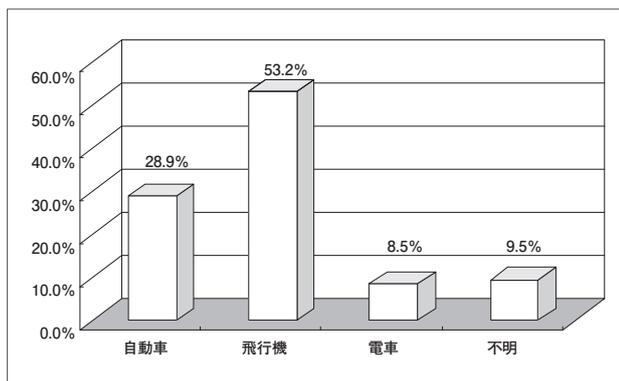


図1 潜水後の移動方法 (n.284)

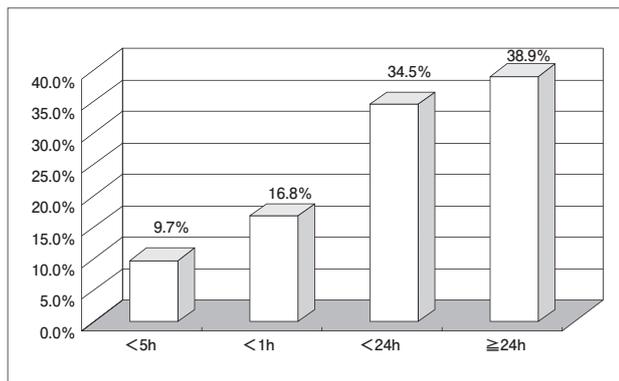


図2 潜水後の飛行機搭乗までの時間分布 (n.113)

自動車が82人(28.9%)、電車が24人(8.5%)であり、罹患者の半数が飛行機を利用していた(図1)。潜水後の飛行機搭乗までの時間は、151人中113人で確認ができ、57人(50.4%)が24時間未満であり、そのうちの11人(10%)が5時間未満である(図2)。潜水後の自動車での高所移動は82人中4人(4.9%)である。

繰り返し潜水回数は、1回が14%、2回が50%、3回が25%、4回以上が11%であり、平均の潜水時間が46±10.9分、最大水深が22.2±7.6m、平均水深が12±3.7m、水面休憩時間が113±63.7分である(表1)。

罹患者の居住地は東京、神奈川、埼玉、千葉の東京圏が75%を占め、続いて関西圏の大阪が5.3%、兵庫が2.5%である(図3)。

(2) ガイドダイバーの潜水プロフィール調査

調査期間は2004年12月～2005年8月、ガイドダイバーは7人、延べ人数は178人/日、延べ潜水回数は378回である。そのうち一般的な潜水回数である1日2回の日数は50日であった。この50日の平均潜水時間が47±8.6分、最大水深が21.7±7.2m、平均水深が12.4±3.8m、休憩時間が122±41分であった(表2)。

1日に2回の潜水プロフィールの一例を図4に示す。このプロフィールでは、1回目に最大水深29.3mまで潜水している。潜降から浮上終了までの潜水時間は30分、潜水時間中の平均潜水深度が15.8m、安全停止(減圧)を4m前後で行い浮上している。2回目の潜水では、最大水深17.3m、平均水深12m、潜水時間43分、安全停止(減圧)は1回目と同様4m前後で行っている。このプロフィールに対する各半飽和時間の体内窒素ガス溶解量をワークマンのM値と比較したものが表3である。浮上直前(水深5m)の体内窒素ガス溶解量とワークマンのM値との比較では、半飽和時間40分の組織で1回目71.9%、2回目72.5%であった。また、50日の潜水において全て80%未満であり、その中で最高値を示した半飽和時間は20分の72.3%と40分の78.3%であった。

表1 2007年に減圧症治療を行った罹患者の潜水時間と平均水深値 (n.100)

	潜水時間(分)	最大水深(m)	平均水深(m)	休憩時間(分)
mean ± SD	46 ± 10.9	22.2 ± 7.6	12.0 ± 3.7	113 ± 63.7
min ~ max	5 ~ 101	3.9 ~ 58.4	0.0 ~ 25.5	5 ~ 419

考察

ファンダイバーをガイドするガイドダイバーのプロフィールから体内窒素ガス溶解量を調べ、ワークマンのM値と比較すると、どのコンパートメントにおいても80%未満と一般には減圧症発症の危険性は少ない潜水といえた。しかし、減圧症罹患者のプロフィールはガイドダイバーのプロフィールとほぼ同一のプロフィールであるにも関わらず減圧症に罹患していた。このことは、一般的なダイビングプロフィールであっても減圧症発症の危険性があることを意味する。

その理由を調べると、減圧症罹患者は、潜水後の移動方法において約半数(53.2%)が飛行機を利用していただけにある。一般的に潜水後の飛行機搭乗にはルールがあり、搭乗までの時間が決められている^{10, 11)}。その時間の目安が無減圧潜水で12~24時間と言われている。減圧症罹患者の飛行機搭乗までの時間は24時間以上が38.9%であるが、残りが24時間未満であり、5時間未満が9.7%であった。このことが要因となり、一般的な潜水であっても減圧症に罹患した可能性がある¹²⁾。

もう一つの理由は、減圧症は筋肉痛、手足のしびれ感だけでなく、ありとあらゆる症状がある^{10, 11)}。気

泡化した窒素がしやすい部位は確かに存在する。本来どこに気泡ができてもおかしくないが、スクーバを利用するレクリエーションダイバーでは手足のしびれなど脊髄型(中枢神経)が圧倒的に多い。この中枢神経の半飽和時間は10分から20分に該当する⁷⁾。ガイドダイバーの全プロフィールからワークマンのM値に対する体内窒素ガス溶解率は半飽和時間20分で72.3%と低い割合ではあるが、このレベルの値でも発症の危険があることになる。今回の結果でははっきり言えないが、浮上スピードが速いか、ダイブコンピュータでの無減圧ぎりぎりの潜水が要因か、自動車利用による高所移動¹³⁾などの理由が考えられる。

また、ダイビングコンピュータの利用に伴う減圧症発症の危険も指摘される。我々の調査ではダイビングコンピュータの携行率は80%であり、ビギナーダイバーを除けば90%以上の携行率である。ダイビングコンピュータの機能^{14, 15)}の中には、体内から窒素がほぼ完全に排出される予測時間が表示されている。これは一般的に、残留窒素排出時間¹⁶⁾または飛行機搭乗禁止時間と呼ばれている。レジャーダイバーは指導団体が発行している減圧表^{16, 17)}を利用しているが、実際には減圧表の代わりにダイビングコンピュータを優先して利用

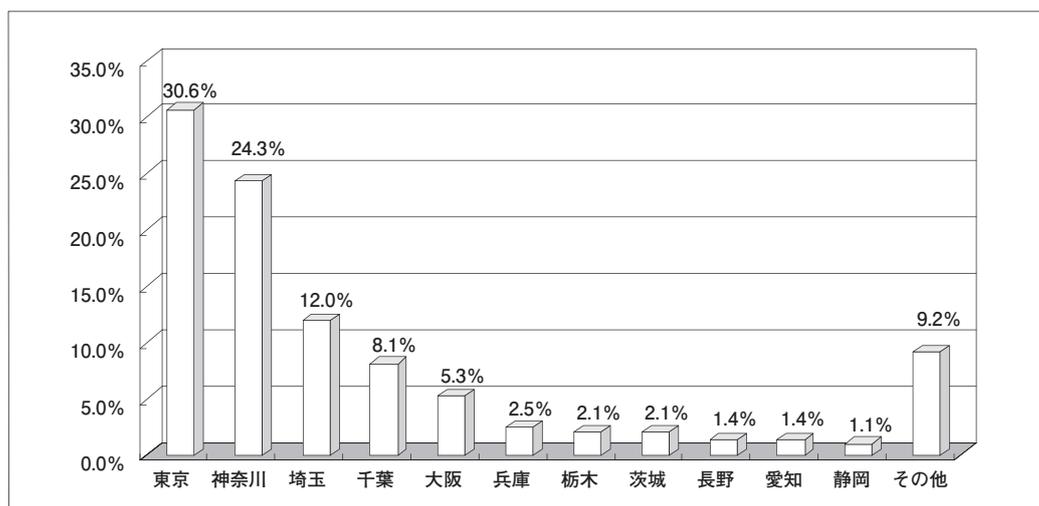


図3 罹患者の住所地の分布 (n.284)

表2 ガイドダイバーの潜水時間と平均水深の平均水深値 (n.100)

	潜水時間 (分)	最大水深 (m)	平均水深 (m)	休憩時間 (分)
mean ± SD	47 ± 8.6	21.7 ± 7.2	12.4 ± 3.8	122 ± 41.0
min ~ max	22 ~ 69	2.4 ~ 43.4	1.7 ~ 18.9	44 ~ 192

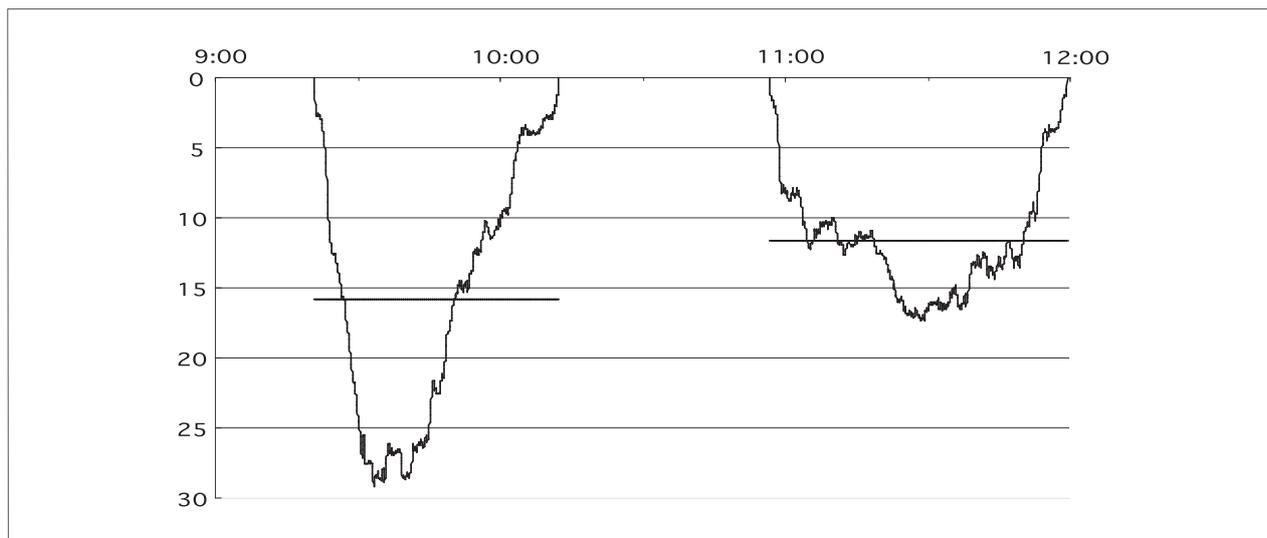


図4 ガイドダイバーがガイドダイビングを行った1日2回のプロフィールの一例

表3 図4のワークマンのM値に対する浮上直前の窒素ガス含有率 (%)

半飽和時間	5分	10分	20分	40分	80分	120分	200分	240分
1本目 - 5m	44.5	57.9	67.2	71.9	60.0	55.9	51.1	50.5
2本目 - 5m	43.5	53.1	62.1	72.5	66.1	62.9	57.3	56.3

し、減圧表の利用はほとんどされていない。飛行機搭乗はダイビングコンピュータの表示で判断できるが、残留窒素排出時間が24時間以上かかることもある。飛行機搭乗までの時間が24時間以上であれば安全であるとは限らず、ましてや5時間未満の飛行機搭乗は減圧症発症を承知した上の行為ともいえる。潜水本数を稼ぐだけの無謀な潜水は慎むべきである。

より安全な減圧症予防手段として、減圧を要するぎりぎりのダイビングをしたダイバーや潜水後に飛行機搭乗を行うダイバーは、あらかじめナイトロックスガスを使用したダイビングとか、潜水後に酸素吸入を行うなどの必要な減圧症予防手段^{3,13)}を考慮しなければならない。

まとめ

1. ガイドダイバーの潜水プロフィールと減圧症に罹患したダイバーのプロフィールは、ほぼ一致していた。
2. ガイドダイバーのプロフィールは、ワークマンのM値の体内窒素ガス溶解量と比較して80%未満であり、どのコンパートメントにおいても一般的には減

圧症発症の危険性がないプロフィールであった。

3. 潜水後に飛行機搭乗を行っている減圧症罹患者の割合が53%であり、その半数が24時間未満に搭乗していた。安全潜水からは潜水後24時間以上、場合によっては48時間以上あけて減圧症予防を心掛ける必要がある。
4. 減圧症予防のためには、ナイトロックスガスを使用したダイビングや潜水後に酸素吸入を行う対応も考える必要がある。

文 献

- 1) 芝山正治, 眞野喜洋, 山見信夫: レジャーダイバーの潜水障害発生頻度に関する研究—レジャーダイバーの年間減圧症罹患件数—, 平成16~18年度厚生労働省科学研究費補助金分担総合研究報告書, 2007; pp37-39.
- 2) 中山晴美, 芝山正治, 山見信夫, 外川誠一郎, 川島真人, 眞野喜洋: スポーツダイバーの減圧症(潜水障害)の発生頻度について, 日本高気圧環境医学会雑誌 2004; 39:164.
- 3) 芝山正治: レジャーダイバーの減圧障害(DCI)発生件数を推移, 駒沢女子大学研究紀要, 2007; 14:103-

- 109.
- 4) 芝山正治, 小宮正久, 山見信夫, 外川誠一郎, 柳下和慶, 中山晴美, 岡崎史紘, 眞野喜洋: レジャーダイバー調査(10年間)からみたダイバー人口動態の推移, 日本高気圧環境・潜水医学会 2007;42:17-21.
 - 5) 芝山正治: スクーバダイビングの安全対策に関する潜水障害の発生頻度及び予防に関する調査研究—8年間の調査結果から—, 駒沢女子大学研究紀要, 2004;11:91-97.
 - 6) 芝山正治, 小宮正久, 山見信夫, 外川誠一郎, 柳下和慶, 中山晴美, 岡崎史紘, 眞野喜洋: ガイドダイバーの潜水プロフィールと窒素ガス溶解量から減圧症予防対策を考察, 日本高気圧環境・潜水医学会関東地方会誌, 2007;6:28-30.
 - 7) Tikuisis P, Gerth WA: Decompression theory. In: Brubakk AO, Neuman TS, eds. The Physiology and Medicine of Diving, 5th Ed. Edinburgh: Saunders, 2003. pp.419-454.
 - 8) 中山晴美, 芝山正治, 小宮正久, 内山めぐみ, 山見信夫, 外川誠一郎, 高橋正好, 眞野喜洋: レジャーダイバーの減圧症罹患頻度について, 日本高気圧環境医学会雑誌 1998;33:73-80.
 - 9) 小宮正久, 芝山正治, 山見信夫, 内山めぐみ, 中山晴美, 高橋正好, 眞野喜洋: ビギナーダイバーの安全意識について—潜水深度の実態—, 日本高気圧環境医学会雑誌 2002;37:75-79.
 - 10) 眞野喜洋, 関邦博, 野村武男, 山崎昌廣 翻訳 NOAA (アメリカ海洋大気局): NOAA Diving manual, 空気潜水と減圧症, 社会スポーツセンター, 1996. pp141-11~4-31
 - 11) 大岩弘典: 新しい潜水医学, 減圧症の予防知識, 東京, 水中造形センター, 2003. pp68-73.
 - 12) 外川誠一郎, 山見信夫, 柳下和慶, 金剛寺純子, 岡崎史紘, 田之畑諒, 芝山正治ほか: 東京医科歯科大学に集中する潜水に関する諸問題, 日本高気圧環境・潜水医学会 2008;43:203-206.
 - 13) 芝山正治: スクーバダイビングの安全対策に関する潜水障害の発生頻度及び予防に関する調査研究—潜水後の高所移動の危険性—, 駒沢女子大学「研究紀要」, 2003;10: 209-216.
 - 14) 池田知純, 野澤徹: ダイビングコンピュータの特性について, 日本高気圧環境医学会雑誌 2003;38:185.
 - 15) 野澤徹: ダイビングコンピュータは本当に安全なのか, 日本高気圧環境・潜水医学会関東地方会誌, 2005;4:19-22.
 - 16) フランス・クロンジェカ: 減圧アルゴリズム, 第10回安全潜水を考える会発表集, 2007;10-5.
 - 17) Richardson D: マルチレベル&コンピューター・ダイビング. In: PADI アドベンチャー・イン・ダイビングマニュアル. 東京;PADIジャパン.2000; pp165-184.