

原 著 スキューバ潜水後の飛行機搭乗に よって発症するスポーツダイバーの減圧症

Decompression sickness of sport divers induced by flying after diving

山見信夫^{*1}, 芝山正治^{*2}, 高橋正好^{*3}, 眞野喜洋^{*1}

キー・ワード: diving, decompression sickness, flying
潜水, 減圧症, 飛行

【要旨】 減圧症108名について、潜水後、飛行機搭乗(フライト)しなかった症例77名と、フライトした症例31名について検討した。潜水後、フライトした症例は、しなかった症例より、潜水後から減圧症発症までの時間(潜伏時間)が長く($p < 0.0001$)、関節、筋肉痛以外の症状を示す症例が多かった($p < 0.05$)。潜水後のフライトは、減圧症の潜伏時間と症状に影響を与える可能性があると考えられる。

はじめに

減圧症は、潜水によって発症するが、空軍の飛行では、フライトのみによっても起こることが知られている¹⁾。また、最近では、潜水後の水面休息時間、すなわち、海面レベルでの待機時間の少ないフライトも、減圧症の発症を増加させることが指摘されている²⁾。Vann ほか³⁾は、米国のスポーツダイバーを対象として、潜水後のフライトについて報告しているが、わが国のスポーツダイバーについての研究はこれまでない。そこで、我々は、緊急電話相談で対処した減圧症症例について、潜水後のフライトと減圧症との関係を検討した。

方 法

1. 対象と調査内容

対象は、1992年4月から1999年3月までの7年間に、Divers Alert Network (DAN) Japan の24

時間緊急電話ホットラインで対応した減圧症108名とした。

症例は、スキューバダイビングを行ったスポーツダイバー、およびそれらのダイバーを引率したインストラクターまたはガイドダイバーとした。

調査内容は、年齢、性別、潜水地、潜水地から自宅までの交通手段、潜水開始時間、潜水時間、水面休息時間、最大深度、浮上速度が18m/分以上か否か、潜水終了時間、前日の潜水終了から当日(調査対象とした潜水)の1回目の潜水までが12時間以上経過していたか、発症時間、高気圧酸素療法を受ける前の前処置、潜水終了から高気圧酸素療法を受けるまでに出現したすべての症状、臨床所見、病型とした。フライトしたダイバーについては、出発地、到着地、飛行機の離陸時間、飛行時間を調べた。複数回の潜水を行ったダイバーについてはそれぞれの潜水について、潜水時間、各潜水間の水面休息時間、最大深度を調べた。潜水時間は、通常潜降開始から浮上(減圧)開始までの時間であるが、マルチレベル(潜水中、浮上や潜降を繰り返すこと)の潜水では、浮上開始時点

*1 東京医科歯科大学医学部保健衛生学科

*2 駒沢女子大学

*3 資源環境技術総合研究所安全工学部

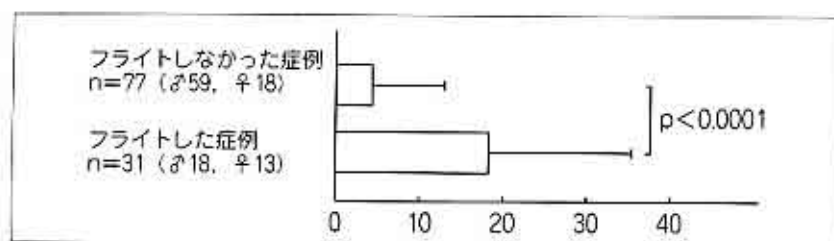


図1 減圧症の潜伏時間

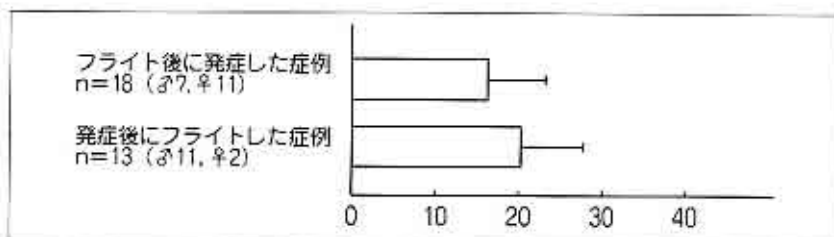


図2 潜水終了からフライト(離陸)までの時間

を知ることが不可能であるため、潜水開始から海面に浮上するまでの時間とした。圧力(気圧)については気象による影響を考慮しなかった。発症時間は、ダイバーが最初の症状を自覚した時間とした。減圧症の病型は、Ⅰ型(関節痛または筋肉痛のみの減圧症)とⅡ型(関節痛または筋肉痛以外の症状をともなう減圧症)に分けられた。ただし、掻痒や発疹などの皮膚症状が出現した減圧症はⅠ型に分類した⁴⁾。調査はダイバーが携帯しているダイビングコンピュータ、電話または医療施設受診時の問診、診療時の診療録、および受診先の医師からの情報提供のいずれか、またはそれらすべてによって行われた。

以下にあげた症例については対象者としなかった。調査内容のいずれかが得られなかった症例、陸上の高所移動をした症例、高所移動をしたか否かが不明な症例、高所で潜水した症例、潜水してから次の潜水を行うまでの間にフライトまたは高所を移動をした症例、前日の潜水から12時間以上経過しないで潜水した症例、漁業者、ダイビングインストラクターまたはガイドダイバー以外の職業ダイバー、潜水前より何らかの症状があった症例、潜水間の水面休憩時間中の発症例、動脈ガス塞栓症、またはそれとの鑑別ができなかった症例、高気圧酸素療法を受ける前に酸素吸入などの前処置を受けた症例、空気ボンベ以外のガスを使用して潜水した症例である。

潜水終了後、フライトしなかったが、減圧症が

発症した症例は77名で、年齢は 28.5 ± 7.1 (平均 $\pm$ 標準偏差)歳、性別は、男性が59名、女性が18名、潜水回数は 2.0 ± 0.7 回、潜水深度は 25.1 ± 10.1 m、潜水時間は 40.0 ± 14.9 分であった。フライト後に減圧症が発症した症例は18名で、年齢は 28.7 ± 5.4 歳、性別は、男性が7名、女性が11名、潜水回数は 2.2 ± 0.7 回、潜水深度は 20.3 ± 7.9 m、潜水時間は 39.9 ± 11.6 分であった。発症した後にフライトした症例は13名で、年齢は 27.8 ± 4.0 歳、性別は、男性が11名、女性が2名、潜水回数は 2.0 ± 0.4 回、潜水深度は 22.1 ± 8.5 m、潜水時間は 40.9 ± 10.6 分であった。

2. フライトしなかった症例とフライトした症例の検討

全症例について潜水終了から発症までの時間(潜伏時間)を算出し、フライトしなかった症例とフライトした症例について、Mann-Whitney's U検定を行った。フライトした症例については、潜水終了から離陸までの時間を算出し、フライト後に発症した症例と発症後にフライトした症例について Mann-Whitney's U 検定を行った。潜水終了後、2回以上フライトしたダイバーについては、最初のフライトの離陸時間とした。また、フライト後、減圧症が発症した症例については、着陸前に発症したか、または着陸後に発症したかを調べた。減圧症の病型については、フライトしなかった症例と、フライト後に発症した症例、および発症後にフライトした症例について、 χ^2 独立性の

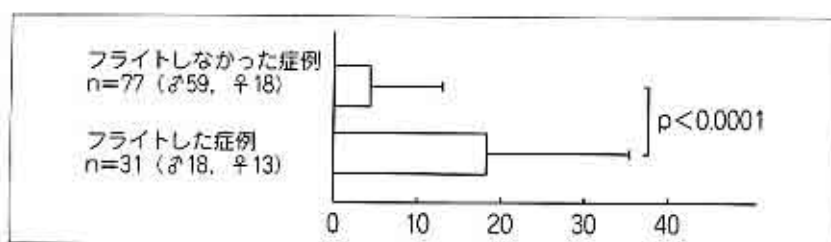


図1 減圧症の潜伏時間

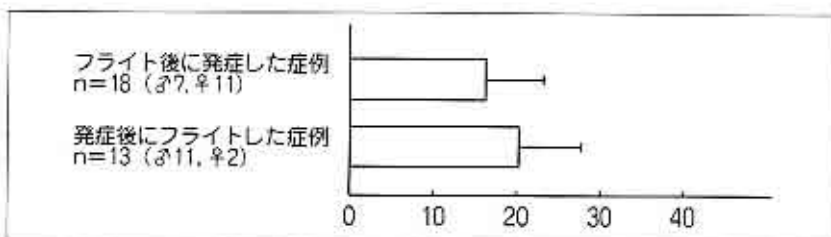


図2 潜水終了からフライト(離陸)までの時間

を知ることは不可能であるため、潜水開始から海面に浮上するまでの時間とした。圧力(気圧)については気象による影響を考慮しなかった。発症時間は、ダイバーが最初の症状を自覚した時間とした。減圧症の病型は、Ⅰ型(関節痛または筋肉痛のみの減圧症)とⅡ型(関節痛または筋肉痛以外の症状をとともう減圧症)に分けられた。ただし、掻痒や発疹などの皮膚症状が出現した減圧症はⅠ型に分類した⁴⁾。調査はダイバーが携帯しているダイビングコンピュータ、電話または医療施設受診時の問診、診療時の診療録、および受診先の医師からの情報提供のいずれか、またはそれらすべてによって行われた。

以下にあげた症例については対象者としなかった。調査内容のいずれかが得られなかった症例、陸上の高所移動をした症例、高所移動をしたか否かが不明な症例、高所で潜水した症例、潜水してから次の潜水を行うまでの間にフライトまたは高所を移動をした症例、前日の潜水から12時間以上経過しないで潜水した症例、漁業者、ダイビングインストラクターまたはガイドダイバー以外の職業ダイバー、潜水前より何らかの症状があった症例、潜水間の水面休息時間中の発症例、動脈ガス塞栓症、またはそれとの鑑別ができなかった症例、高気圧酸素療法を受ける前に酸素吸入などの前処置を受けた症例、空気ボンベ以外のガスを使用して潜水した症例である。

潜水終了後、フライトしなかったが、減圧症が

発症した症例は77名で、年齢は 28.5 ± 7.1 (平均±標準偏差)歳、性別は、男性が59名、女性が18名、潜水回数は 2.0 ± 0.7 回、潜水深度は 25.1 ± 10.1 m、潜水時間は 40.0 ± 14.9 分であった。フライト後に減圧症が発症した症例は18名で、年齢は 28.7 ± 5.4 歳、性別は、男性が7名、女性が11名、潜水回数は 2.2 ± 0.7 回、潜水深度は 20.3 ± 7.9 m、潜水時間は 39.9 ± 11.6 分であった。発症した後にフライトした症例は13名で、年齢は 27.8 ± 4.0 歳、性別は、男性が11名、女性が2名、潜水回数は 2.0 ± 0.4 回、潜水深度は 22.1 ± 8.5 m、潜水時間は 40.9 ± 10.6 分であった。

2. フライトしなかった症例とフライトした症例の検討

全症例について潜水終了から発症までの時間(潜伏時間)を算出し、フライトしなかった症例とフライトした症例について、Mann-Whitney's U検定を行った。フライトした症例については、潜水終了から離陸までの時間を算出し、フライト後に発症した症例と発症後にフライトした症例について Mann-Whitney's U 検定を行った。潜水終了後、2回以上フライトしたダイバーについては、最初のフライトの離陸時間とした。また、フライト後、減圧症が発症した症例については、着陸前に発症したか、または着陸後に発症したかを調べた。減圧症の病型については、フライトしなかった症例と、フライト後に発症した症例、および発症後にフライトした症例について、 χ^2 独立性の

ダイビング後の航空機搭乗

ある。4例中2例は、残留窒素が残存しているにもかかわらず(反復グループ記号がA)、フライトしていた。

■ 考 察

レクリエショナルダイバーのフライトによる減圧症の発症時期について、Vann ほか³⁾は65例中19例(29.2%)が離陸後に発症し、それ以外の多くの症例が着陸後に発症したと報告している。一方、Weien ほか⁶⁾は、U. S. Air Force の訓練飛行による発症者について、740,505名中、528例に減圧症が発症し、そのうちの23%が飛行中に、34%が飛行終了後2時間以内に、43%が2時間以降に発症し、12時間以降に発症した例も存在したことを報告している。さらにBason ほか⁷⁾はU. S. Navy の減圧チャンバーを用いた実験例140名の減圧症について、半数以上の被験者が減圧状態から常圧に復帰した後に発症したと報告している。我々の調査でも、フライトした症例は、しなかった症例より、潜伏時間が長いことから、潜水後のフライトが減圧症の発症誘因にかかわっていることが示唆される。フライト後の発症例においては、潜伏時間が著しく長く、着陸後の発症が半数以上を占めた。

潜水後にフライトするダイバーは、水中での減圧とその後のフライトによる減圧(2段階減圧)、さらに、その後の加圧(着陸)を経験する。これらの要因が気泡の形成過程に影響しているのかもしれない。しかし、潜伏時間は、個々の症例によって幅があり、これまで報告された低圧曝露による減圧症の潜伏時間とは差がある。これらの相違は、潜水およびフライトにおける曝露圧や曝露時間の相違、またはダイバーが受ける圧力以外の環境やストレスの違いによるものかもしれない。

フライトしないで発症した症例の中には、減圧症が発症したためにフライトをひかえた症例が含まれている可能性がある。また、減圧症が発症したためにフライト時間を遅らせた症例が存在することも考えられる。しかし、図2に示した通り、フライト後に発症した症例と発症後にフライトした症例との間に、潜水終了から離陸までの時間に有意差はない。

減圧症の多くは、潜水終了後数時間以内に発症する。しかし、レクリエショナルダイバーにおいて、必ずしもそのような傾向はなく、Vann ほか³⁾の報告では、潜水後12時間までに約90%が発症し、約80時間まで100%が発症する。

減圧症の病型については、これまでⅡ型よりⅠ型の発症率が高いという報告が多い^{13,14)}。U. S. Navy のダイバー、経験豊富なダイバー、圧気土木作業員などを対象とした報告では、減圧症の80%以上がⅠ型減圧症である。一方、レクリエショナルダイバーにおいては、Ⅰ型よりⅡ型が多いという報告もある^{8,9)}。Lehner ほか¹⁰⁾は、長時間の浅い潜水よりも、短時間で深い潜水の方が、Ⅱ型減圧症の出現率が高く、Ⅱ型減圧症の出現のし方には、潜水深度、潜水時間、浮上速度などの潜水プロフィールの違いが関与していると述べている。今回の調査では、フライトした症例では、関節または筋肉以外の症状をとまなっているケースが多い。症状が多様化する原因としては、長時間フライトした後の医療施設への受診の遅れが関係している可能性もあるため、症状と飛行との関係について今後の調査が必要と考える。また、本論文では、フライト高度を考慮した検討は行っていない。今後これらの要因についても検討されるべきであると考えられる。

U. S. Navy のダイビングマニュアルでは、潜水時間は、潜水開始から減圧開始までとしている⁵⁾。しかし、現在使用されている多くのダイビングコンピュータには、減圧開始時間を表示する機種は少ない。潜水時間として表示される時間は、潜水開始から海面に浮上するまでの時間である。通常、スポーツダイバーが行うマルチレベルの潜水において、減圧開始時点を決めることは理論的に不可能であり、今回は潜水時間を潜水開始から海面に浮上してくるまでの時間とした。またダイビングコンピュータは水深1 m前後の水圧で、潜水開始と潜水終了を記録する機種が多いため、潜水時間の認知には水深1 m前後の範囲内で、誤差が生じている可能性がある。

U. S. Navy の標準減圧表は、最大深度まで潜降し、潜水中は一定の深度を維持して、その後水面に浮上するという、いわゆる箱形潜水を対象に考案されている。そのため、スポーツダイバーが行うマルチレベルの潜水プロフィールを標準減圧表で引くと、体内の残留窒素量が過大に評価され、減圧時間を余分にとらなければいけないことになる。しかしその分、減圧症の発症率は低下するといえる。したがってダイビングコンピュータの指

ダイビング後の航空機搭乗

ある。4例中2例は、残留窒素が残存しているにもかかわらず(反復グループ記号がA)、フライトしていた。

■ 考 察

レクリエーションダイバーのフライトによる減圧症の発症時期について、Vann ほか³⁾は65例中19例(29.2%)が離陸後に発症し、それ以外の多くの症例が着陸後に発症したと報告している。一方、Weien ほか⁶⁾は、U. S. Air Force の訓練飛行による発症者について、740,505名中、528例に減圧症が発症し、そのうちの23%が飛行中に、34%が飛行終了後2時間以内に、43%が2時間以降に発症し、12時間以降に発症した例も存在したことを報告している。さらに Bason ほか⁷⁾は U. S. Navy の減圧チャンバーを用いた実験例140名の減圧症について、半数以上の被験者が減圧状態から常圧に復帰した後に発症したと報告している。我々の調査でも、フライトした症例は、なかった症例より、潜伏時間が長いことから、潜水後のフライトが減圧症の発症誘因にかかわっていることが示唆される。フライト後の発症例においては、潜伏時間が著しく長く、着陸後の発症が半数以上を占めた。

潜水後にフライトするダイバーは、水中での減圧とその後のフライトによる減圧(2段階減圧)、さらに、その後の加圧(着陸)を経験する。これらの要因が気泡の形成過程に影響しているのかもしれない。しかし、潜伏時間は、個々の症例によって幅があり、これまで報告された低圧曝露による減圧症の潜伏時間とは差がある。これらの相違は、潜水およびフライトにおける曝露圧や曝露時間の相違、またはダイバーが受ける圧力以外の環境やストレスの違いによるものかもしれない。

フライトしないで発症した症例の中には、減圧症が発症したためにフライトをひかえた症例が含まれている可能性がある。また、減圧症が発症したためにフライト時間を遅らせた症例が存在することも考えられる。しかし、図2に示した通り、フライト後に発症した症例と発症後にフライトした症例との間に、潜水終了から離陸までの時間に有意差はない。

減圧症の多くは、潜水終了後数時間以内に発症する。しかし、レクリエーションダイバーにおいて、必ずしもそのような傾向はなく、Vann ほか³⁾の報告では、潜水後12時間までに約90%が発症し、約80時間まで100%が発症する。

減圧症の病型については、これまでⅡ型よりⅠ型の発症率が高いという報告が多い^{13,14)}。U. S. Navy のダイバー、経験豊富なダイバー、圧気土木作業員などを対象とした報告では、減圧症の80%以上がⅠ型減圧症である。一方、レクリエーションダイバーにおいては、Ⅰ型よりⅡ型が多いという報告もある^{8,9)}。Lehner ほか¹⁰⁾は、長時間の浅い潜水よりも、短時間で深い潜水の方が、Ⅱ型減圧症の出現率が高く、Ⅱ型減圧症の出現のし方には、潜水深度、潜水時間、浮上速度などの潜水プロフィールの違いが関与していると述べている。今回の調査では、フライトした症例では、関節または筋肉以外の症状をともなっているケースが多い。症状が多様化する原因としては、長時間フライトした後の医療施設への受診の遅れが関係している可能性もあるため、症状と飛行との関係について今後の調査が必要と考える。また、本論文では、フライト高度を考慮した検討は行っていない。今後これらの要因についても検討されるべきであると考えられる。

U. S. Navy のダイビングマニュアルでは、潜水時間は、潜水開始から減圧開始までとしている⁵⁾。しかし、現在使用されている多くのダイビングコンピュータには、減圧開始時間を表示する機種は少ない。潜水時間として表示される時間は、潜水開始から海面に浮上するまでの時間である。通常、スポーツダイバーが行うマルチレベルの潜水において、減圧開始時点を決めることは理論的に不可能であり、今回は潜水時間を潜水開始から海面に浮上してくるまでの時間とした。またダイビングコンピュータは水深1m前後の水圧で、潜水開始と潜水終了を記録する機種が多いため、潜水時間の認知には水深1m前後の範囲内で、誤差が生じている可能性がある。

U. S. Navy の標準減圧表は、最大深度まで潜降し、潜水中は一定の深度を維持して、その後水面に浮上するという、いわゆる箱形潜水を対象に考案されている。そのため、スポーツダイバーが行うマルチレベルの潜水プロフィールを標準減圧表で引くと、体内の残留窒素量が過大に評価され、減圧時間を余分にとらなければいけないことになる。しかしその分、減圧症の発症率は低下するといえる。したがってダイビングコンピュータの指

- 6) Weien, R. W. Baumgartner, N. : Altitude decompression sickness : hyperbaric therapy results in 528 cases, *Aviat. Space Environ. Med.* 61 : 833-836, 1990.
- 7) Bason, R. Yacavone, D. : Decompression sickness : U. S. Navy altitude chamber experience 1 October 1981 to 30 September 1988, *Aviat. Space Environ. Med.* 62 : 1180-1184, 1991.
- 8) 山見信夫ほか：ダイバーのための緊急電話相談に寄せられた減圧症の特徴. *臨床スポーツ医学* 13 : 691-693, 1996.
- 9) Symptoms of DCS. In : Report on Diving Accidents & Fatalities, Divers Alert Network, Divers Alert Network, Durham, NC, 45-52, 1997.
- 10) Lehner, C. E. Lanphier, E. H. : Influence of pressure profile on DCS symptoms. In : The physiological basis of decompression. Proc. of the 38th UHMS Workshop. Vann, R. D. ed. Undersea and Hyperbaric Medical Society, Pub. 75 (Phys) 6/1/89. Bethesda, MD, 299-326, 1989.
- 11) Bassett, B. E. : Decompression procedure for flying after diving and diving at altitudes above sea level, USAF School of Aerospace Medicine, USAFSAM TR Brooks AFB, TX, 82-87, 1982.
- 12) Berghage, T. E. Durman, D. : U. S. Navy air decompression schedule risk analysis, Naval Medical Research Institute, Bethesda, MD, NMRI report no. 80-81, 1980.
- 13) Sheffield, P. J. ed. : Flying after diving guidelines for recreational divers. In : Flying after diving, Proc. of thirty-ninth UHMS workshop, Undersea and Hyperbaric Medical Society, Bethesda, MD, 164, 1989.
- 14) Emmerman, M. N. : Commercial aircraft cabin differential pressure settings and actual cabin altitudes during flights. In : Flying after diving, 39th UHMS Workshop, Sheffield, P. J. ed. Undersea and Hyperbaric Medical Society, Bethesda, MD, Publication Number 77 (FLYDIV) 12/1/89, Appendix B, 169-178, 1989.
- 15) Flying after diving at sea level. In : The NOAA diving manual-diving for science and technology, Miller, J. W. ed. Manned Undersea Science and Technology Office, U. S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington, D. C. 6-16, 1979.

(受付：1999年9月28日，受理：2000年1月28日)