

[駒沢女子大学 研究紀要 第20号 p.209 ~ 216 2013]

ダイビング後の航空機搭乗までの時間と減圧症との関係

芝山 正治*

Decompression Sickness During and After Air Travel Following Diving

Masaharu SHIBAYAMA*

要約

潜水後の高所移動に伴う減圧症発症の事例が報告され問題となっている。レクリエーショナルダイバーの11年間の減圧障害件数は2,830件であった。うち減圧障害と確定診断された事例が1,650件(58.3%)、ダイビング後24時間未満に航空機搭乗した件数が253件(15.3%)あった。この中で、ダイビング地が沖縄の件数が最も多く124件(124/223, 55.6%)であるが、搭乗までの時間が最も短い近距離地は八丈島と大島便(10/12, 83.3%)であり、平均は8.6時間である。次に短いのはパラオの15時間(52/90, 57.8%)である。安全潜水のために、ダイビング後24時間は航空機搭乗を控える必要がある。

Abstract

Risk of decompression sickness (DCI) , conceding the ascending in flying fter diving increases in recent years. The decompression sickness number of recreational divers of 11 years was 2830. There is a final diagnosis by the done case and will be 253 numbers of aircraft in which it boards it with the DCI in less than 24 hours after it dives by 1650. A lot of number of cases whose diving ground is Okinawa is 124(55.6%) . The short distance ground where time until boarding is the shortest is Hachijo island, a Oshima mail, and averages are 8.6 hours. Next, the short one is 15 hours of Palau (57.8%) . It is necessary to refrain from the aircraft boarding for 24 hours for the safety dive after it diving.

キーワード：高所移動、動脈ガス塞栓症、海外ダイビング、東京医科歯科大学
Movement in height, Arterial Gas Embolism, Overseas diving,
Tokyo Medical and Dental University

1. はじめに

スクーバダイビング後の航空機搭乗によって減圧症

(DCS:Decompression sickness) 発症の危険性
が高まることは知られており、搭乗までの時間が制

*人間健康学部 健康栄養学科

限されている^{1,2)}。レクリエーションダイバーの教育マニュアルには、無減圧の単一ダイビング後の航空機搭乗までの最低時間は12時間、反復ダイビングや複数日にわたるダイビング後では18～24時間以上と記載されている³⁾。

巡航中の航空機の客室は圧力隔壁により外部と遮断されている。通常ジェット機の場合は機種や気候条件および巡航時間などの条件によって異なるが、巡航高度が約10,000m程度のところを飛行している。10,000m高度の気圧は約0.2気圧程度で、地上の1/5の圧力となり、空気中の酸素量も1/5に低下することから人は、その環境では生きていけない。そのために航空機客室の気圧は外気より高く保つ必要がある。その高度はA.Wipha(2005年)⁴⁾によると一般的な航空機客室高度で1,500～2,400mとされ、気圧に換算すると0.83～0.74気圧に相当する。客室内の気圧は、常に大気圧の1気圧(高度0m)に与圧されていることが好ましいが、前述した理由で条件により一定ではなく、乗客が事前に知る方法はない。楢木ら(2002年)⁵⁾は、遠距離飛行では最大高度2,500mに気圧が低下したと報告している。我々の調査⁶⁾では、近距離飛行(30分程度)の場合は客室内を大気圧の状態に保っているケースが確認されたが、同航路においても機種や飛行条件により客室内の気圧は変動することが確認されている。

本研究は、東京医科歯科大学の減圧障害(DCI: Decompression illness)患者の中で、減圧障害と確定診断され、ダイビング後に航空機に搭乗した事例を患者カルテから分析するとともに、航空機機内の高度調査を行ったので報告する。

2. 方法

東京医科歯科大学で減圧障害(DCSと動脈ガス塞栓症AGE: Arterial gas embolismを含む)と診断されたレクリエーションダイバーの中で、航空機に搭乗した事例を対象とした。期間は2002年

～2012年の11年間である。

高度調査は、航空機内に高度測定器(SUUNTX6)を持ち込み測定し、メモリーされたデータをパソコンにダウンロードし、Excelに書き込み調べた。測定は気圧から高度メートルに換算されている。

3. 結果

11年間のレクリエーションダイバーの減圧障害件数は2,830件(図1、表1)、うち減圧障害と確定診断された件数が1,650件(58.3%)、航空機に搭乗した件数が507件(30.7%)、ダイビング後24時間未満に航空機に搭乗した件数が253件(50.0%)である(表2)。この中で、ダイビング地は、沖縄が124件(平均搭乗までの時間 19.6 ± 3.6 時間)、パラオが52件(同 15.0 ± 2.7)、航行時間が40分以内の近距離地が10件(同 8.6 ± 5.9)、その他の場所(サイパン、グアム、フィリピン、モルディブなど)が67件(同 18.7 ± 3.4)であった。

航空機搭乗直前(前日か当日)のダイビング回数と航空機搭乗までの時間の関係を図2に示す。調査できた件数が159件、ダイビングが1回であった件数が14件、うち12時間以内に航空機に搭乗した件数が5件(35.7%)である。また、同様に複数回の件数が145件、18時間以内に搭乗した件数が51件(35.2%)であった。この中には6回のダイビングで6時間後に航空機搭乗をした事例がある。

航空機機内の高度調査は、14回測定された結果を図3に示す。測定器の誤差が50m程度あった。最も高度が高かった(気圧が低かった)のは沖縄(那覇空港)～羽田空港間で2,400mであった。プロペラ機は航行時間が45分以内であり、最も高度が高かったのは1,330mであった。近距離の航空機を40分未満としたが、八丈島→羽田間(ジェット機)の測定を2回行い、航行時間が20分程度で、機内高度が573mと0mであった。また、プロペラ機を運行している大島→調布間では気象条件により高度1,330mまで高まることもある。

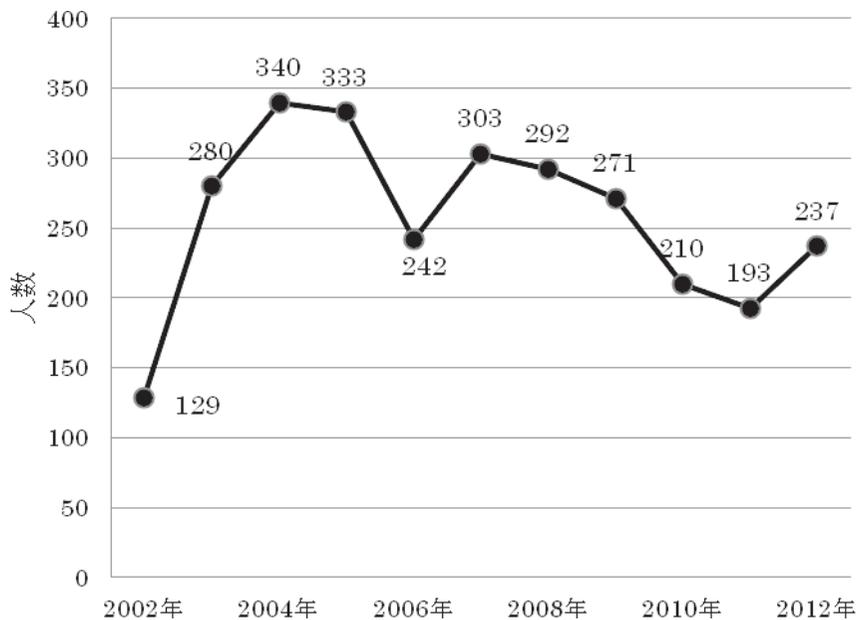


図1 レクリエーショナルダイバーの減圧障害受診人数の年次推移

(東京医科歯科大学 2002～2012年、n2,830)

表1 減圧障害の確定診断と疑い診断の件数

(2002年～2012年)

	DCI				計
	確定		疑い		
	件数	%	件数	%	
2002年	110	85.3	19	14.7	129
2003年	195	69.6	85	30.4	280
2004年	178	52.4	162	47.6	340
2005年	162	48.6	171	51.4	333
2006年	117	48.3	125	51.7	242
2007年	229	75.6	74	24.4	303
2008年	224	76.7	68	23.3	292
2009年	173	63.8	98	36.2	271
2010年	78	37.1	132	62.9	210
2011年	87	45.1	106	54.9	193
2012年	97	40.9	140	59.1	237
合計	1,650	58.3	1,180	41.7	2,830

インストラクターやガイドダイバー 277件、レクリエーショナル 2,553件

表2 ダイビング後の航空機搭乗件数と、その内の24時間未満に搭乗した件数

ダイビング地	航空機搭乗件数	24時間未満の航空機搭乗					現地発症 *1
		件数	%	搭乗までの時間 (hr)			
				平均	± SD	min ~ max	
1. 沖縄	223	124	55.6	19.6	3.6	5 ~ 23.7	6
2. パラオ	90	52	57.8	15.0	2.7	8 ~ 21	0
3. 近距離	12	10	83.3	8.6	5.9	2 ~ 19	0
4. その他	182	67	36.8	18.7	3.4	5 ~ 23	5
合計	507	253	49.9	18.0	4.4		11

*1 航空機搭乗件数に含まれ、現地でDCIと思われる症状を自覚している件数

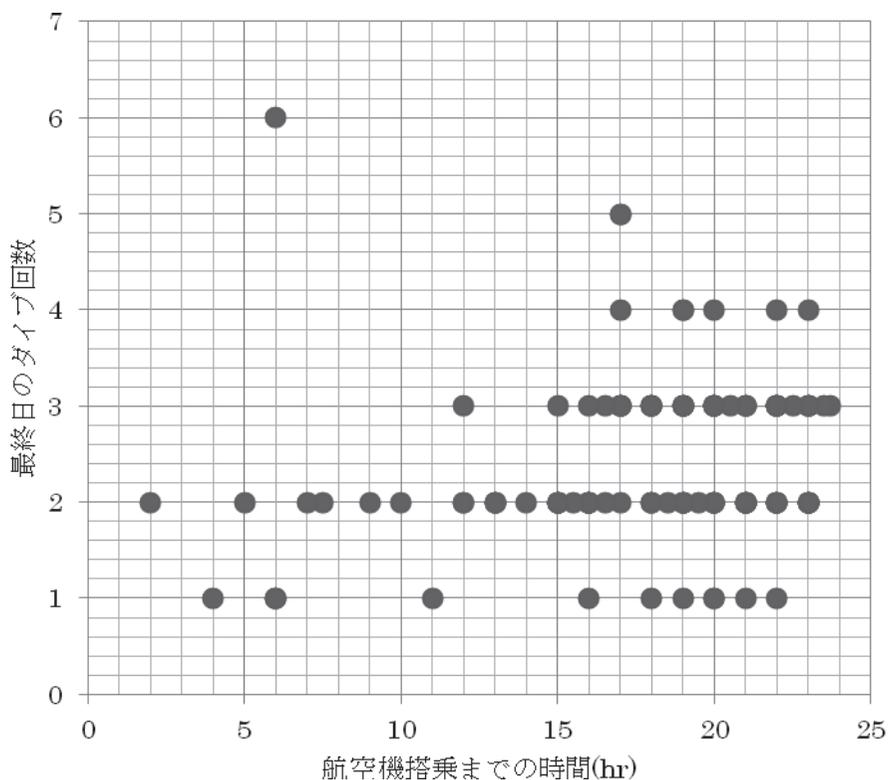


図2 航空機搭乗までの時間と最終ダイビングのダイブ回数との関係

調査できた件数が159件であり、その中で最終ダイビング日の回数が1回であった件数は14件、12時間以内に航空機搭乗した件数が5件である。また、同様に複数回の件数が145件、18時間以内に搭乗した件数が51件である。

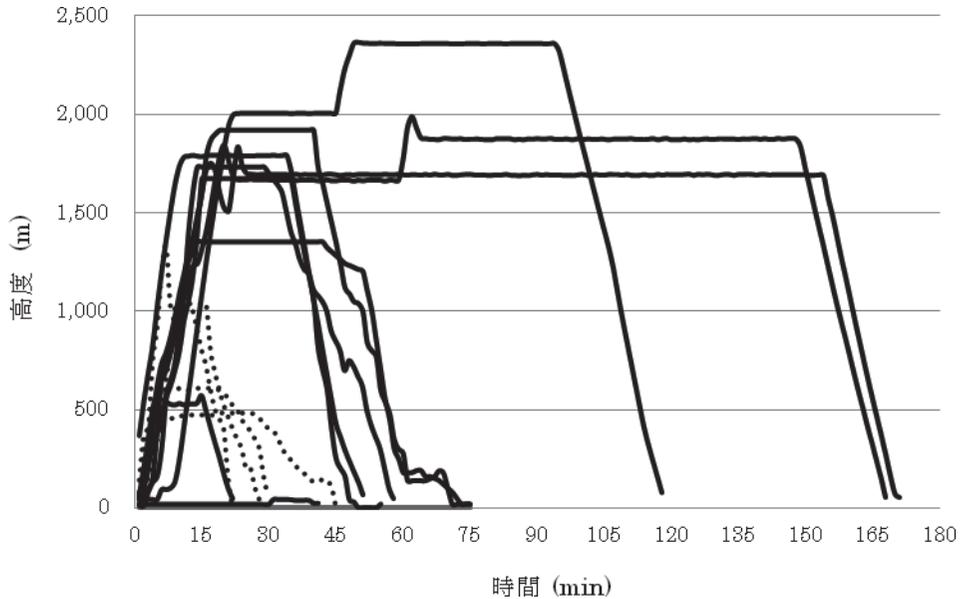


図3 航空機の機内高度 (m) 変化
 実線：ジェット機、点線：プロペラ機

遠距離は 40 分以上で高度 1,400m ~ 2,400m、近距離は 40 分未満で高度 0m ~ 1,330m

4. 考察

地上（海面）から上昇すると気圧は低下する。高度変化に伴う気圧変動は 500m 上昇すると 0.942 気圧（地上は 1 気圧）、1,000m 上昇すると 0.887 気圧に減少する。ダイビング後の山間部高所移動による減圧症発症の危険性は、UHMS のワークショップで Sheffield PJ ら（1989 年）¹⁾の報告を含め検討され、その後の 1990 年にはダイビング後の高所移動による減圧症発症を避けるために、ダイビング後の数時間から 12 時間、さらには複数回のダイビングや減圧を要するダイビングにおいては 24 時間の高度数百メートル以上への移動は禁止されている（Vann RV ら 1996 年）⁷⁾。

我々の調査⁸⁻¹⁰⁾では東京圏のダイバーが伊豆半島の西海岸（北は大瀬から南は松崎）でダイビングをして自動車帰宅するには、必ず標高 400m 以上の高所を通過しなければならないことが確認されている。箱根から東に居住しているダイバーが西

伊豆半島でダイビングをすると必ず高所移動となる。最も高い場所は、箱根地区では箱根ターンパイクの 1,025m、富士山周辺地区では東富士五湖道路の籠坂トンネルの 1,091m および精進湖と霧降高原間の 1,014m である。それでは高所移動を避けて帰宅するにはどうしたらよいのか？その方法は、伊豆半島の西海岸の海岸線をひたすら南下して南伊豆（下田）まで行き、東伊豆の海岸線を北上して小田原に抜けるルートがある。この方法を選択するのは現実的ではない。また、富士山周辺を避けて帰るには、同じく海岸線を南下し、小田原を経て、厚木から東名高速道路で都心を経由するか、厚木 JC から首都圏中央連絡自動車道（圏央道）で相模原愛川 IC より一般道（国道 129 号）で八王子に向かい、中央自動車道路を利用して甲府方面に帰る手段があるが、これも中央自動車道路の笹子トンネルで 697m の高所となってしまふ。従って、首都圏や甲府方面のダイバーが伊豆半島の西海岸でダ

ダイビングをすると、ダイビング当日宿泊して翌日帰宅する方法以外は、全てのルートで高所移動となってしまふ。

高所移動と同様にダイビング後の航空機搭乗は、機内気圧が下がり高所移動と同じ条件となる。本研究により客室内は最高高度で2,400m（図3）であり、Vann R.D.ら（1993）⁷⁾は8,000ft（2,440m）、楢木ら（2002）⁵⁾は2,500mと報告している。旅行業の雑誌¹¹⁾によると、航空機機内気圧は差があるが、高度換算で1,500～2,400mに相当する気圧まで減圧され、ダイビング後24時間以内は搭乗を控えるようにと、注意されている。

高山病を発現させない高度としては、2,000～3,000mとされており（大島1968年）¹²⁾、その中央値の2,500mを客室内高度の上限とすることは理屈にかなっているようである。高度2,500mの気圧は0.74気圧となり、地上よりも25%以上低い状況となる。この変化を高所ダイビングに当てはめると、海でダイビングをした水深が20mだとすると、2,500m高度では24mの水深でダイビングしていることになる。また、U.S.Navy¹³⁾の高所潜水換算表では海面下20mは高度2,400mで27mに相当する水深となる。

航空機搭乗によって生態は低圧環境に暴露され、減圧症の危険性が非常に高まる。よって搭乗までの時間が制限されている（P.J.Sheffieldら¹⁾、J.J.Freibergerら²⁾）。Vann RDら⁷⁾はダイビング後、数時間～12時間、さらに減圧停止を要する場合には、ダイビング後12～24時間まで高度数百メートル以上への高所移動を禁止している。山見ら（1999）¹⁴⁾はダイビング後に航空機搭乗したダイバーをU.S.Navyの減圧表¹³⁾の残留窒素ガス量（反復グループ記号）からA～Eダイバーでは航空機に搭乗しても減圧症の発症はなかったと報告している。潜水指導団体のPADIはレクリエーションダイバーに対してCカードを発行している。そのシェアは日本を含め世界で60%程である。このPADIのマニュアル³⁾にダイビング後の航空機搭乗については、

一般にダイビング後12時間または24時間（または48時間）空けるべきとしている。米海軍は24時間、DAN（Divers Alert Network）は、1回の無減圧潜水では12時間以上、複数回の潜水では18時間以上とガイドラインに記されている。また、減圧症発症と航空機搭乗との関係論文では、Freiberger JJら²⁾はダイビング後の航空機搭乗までの時間と減圧症発症率の関係は、24～28時間は1.02倍、20～24時間は1.84倍、20時間以内は8.5倍であり、複数回のダイビングでは18時間以上でなければ航空機搭乗は好ましくないと報告している。

本研究では、航空機機内の高度（気圧）は最大2,400mであるが、近距離の航空機では0m～1,330mと差があり、20～40分程度の比較的短い時間の飛行では機内気圧を下げずに大気圧環境（0m）のまま飛行することもある。本調査では八丈島→東京（羽田空港）間が機内圧力の変化がない飛行機が確認されたが、高度570mまで減圧された航空機も記録された。外川ら¹⁵⁾が全日空に羽田→八丈島便の飛行機の機内高度について質問したところ、八丈島→羽田便の通常の巡航高度は15,000ft（4,500m）で、機内圧は0.94気圧（600m）と他の路線よりも機内圧は高く設定されているが、天候などの条件により飛行高度は常に変化するため、機内圧も常に通常の飛行よりも高いとは限らないとの回答を得ている。気候条件や航空機の機種により機内気圧は異なることに注意すべきである。

ダイビング後24時間以上に航空機搭乗した割合が50%であるが、24時間未満に航空機搭乗した件数が半数ある。搭乗24時間未満の事例の中で、ダイビング地が沖縄であった件数が最も多く124件（124/223、55.6%）であったが、搭乗までの時間が最も短いのは近距離地の八丈島と大島便（10/12、83.3%）であり、平均は8.6時間である。次に短いのはパラオの15時間（52/90、57.8%）である。

パラオでダイビングした後の航空機搭乗時間との関係は、2010年報告⁶⁾で指摘しているが、その後の状況は変化していないようである。この原因として考えられることは、日本からパラオへのアクセスに根本的な原因がある。航空路線は、コンチネンタル航空、日本航空のチャーター便、デルタ航空がある。コンチネンタル航空利用の場合は、日本→グアム（ロタにも経由することがある）→パラオとなり、グアムでのトランジットを含め約7時間を要する（日本からグアムまで約3時間、グアムからパラオまで約2時間）。日本航空のチャーター便とデルタ航空は、日本とパラオを直行で運行し、所要時間は4.5時間である。帰国時のパラオを出発する時間は、3航空会社とも午前1～4時と深夜の時間帯となる。このパラオ出国時間帯が前日のダイビング実施となり、搭乗までの時間を短縮している大きな要因となっている。パラオダイビングでは帰国前日のダイビングは、減圧症予防の観点から搭乗までの時間を18時間以上確保できなければ禁止すべきである。

航空機搭乗の前日（当日）に行ったダイビング回数と搭乗までの時間の関係は、前日1回のダイビングで12時間以内に搭乗した件数が5件である。1回のダイビングにおいても航空機搭乗までの時間は少なくとも12時間は空けなければならないが、36%のダイバーはルールを無視している。また、複数回のダイビングを行ったダイバーで18時間以内に搭乗した件数が51件である。複数回のダイビングでは、18時間または24時間空けるよう指導されているが、これも35%のダイバーが18時間未満に搭乗してルールを無視している。

現在、ダイバーの必需品の中にダイビングコンピューターがあり、携行率は1998年調査¹⁶⁾で68.8%であったが、その後の追調査（2002年）で78.2%と上昇し、現在は90%に近づいていると予想される。ダイビングコンピューターの機能の中には、ダイビング後に航空機に搭乗可能までの時間が表示される器種が多いが、実際にはその機能をあまり

使われていないのかも知れない。

5. まとめ

東京医科歯科大学で減圧症治療を行ったレクリエーショナルダイバーの中で、ダイビング後に航空機に搭乗した事例を検討して、航空機搭乗までの時間から減圧症の危険性を検討した。

- (1) 減圧障害総件数は2,830件、うち航空機に搭乗した件数が507件、うち24時間未満に搭乗した件数が253件であった。
- (2) 24時間未満の事例の中で、ダイビング地の件数と搭乗までの平均時間は、沖縄地区は124件（搭乗までの平均時間が19.6時間）、パラオは52件（同15時間）、近距離地は10件（8.6時間）、その他の場所は67件（18.7時間）であった。
- (3) 航空機機内高度（気圧）は最大高度で2,400m、近距離（八丈島-羽田）で0m～1,330mであった。
- (4) 危険性の高いダイビング地は、パラオであり、航空機に搭乗するまでにはダイビング後18時間以上空ける余裕がない限り前日のダイビングは禁止すべきである。
- (5) 近距離地の八丈島は、機内気圧が0mと大気圧の環境を保つこともあるが、気象条件や機種などの条件で500m以上の環境になることも考慮して、12時間以上空けることが望ましい。
- (6) 減圧症の予防対策として、航空機搭乗前日のダイビングは、1回のダイビングで12時間以上、複数回で18時間以上空けることが必要である。

参考文献

- 1) Sheffield PJ (1990) Flying after diving guidelines A review, *Aviat. Space Environ. Med.* 61:1130-1138
- 2) Freiburger JJ, Denoble PJ, Vann RD, et al (2002) The relative risk of Decompression

- sickness during and after air travel following diving. Duke University, Aviat Space Environ Med. 73:980-984
- 3) Richardson D, Kinlla J, Shreeves K, et al (2008) ダイビング後の飛行機搭乗. In: Richardson D, ed. The encyclopedia of recreational diving (日本語版). 東京; PADIJapan, pp5-78
 - 4) Wipha A (2005) ジャンボ旅客機 99 の謎、p37-39. 見書房、東京.
 - 5) 橋本暢雄、毛利元彦 (2002) 潜水後の高所移動と減圧症に関して—環境の実測と動物モデル—、日高圧医誌 37 (4) :237-247
 - 6) 芝山正治 (2010) ダイビング後の航空機搭乗と減圧症—パラオダイビングの場合—、駒沢女子大学研究紀要、17:367-374
 - 7) Vann RD, Gerth WA, Denoble PJ, Sitzes CR, Smith LR, (1996) A comparison of recent flying after diving buidelines. Undersea & Hyper-baric Medicine 23:36
 - 8) 芝山正治 (2003) 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およ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 10:209-216
 - 9) 芝山正治、山見信夫、柳下和慶、外川誠一郎、中山晴美、小宮正久、岡崎史紘、塚田敏之、眞野喜洋 (2005) 潜水後の高所移動箇所と減圧症について—伊豆半島を中心として—、日本高気圧環境医学会関東地方会誌 5 (1) :42-46
 - 10) 芝山正治 (2007) ダイビング終了後の高所移動、日本高気圧環境医・潜水学会関東地方会誌、7 (1) :31-34
 - 11) 大越裕文 (2007.9) 機内で注意したい気圧低下による病気、シリーズ添乗員のための旅行医学、日本旅行業協会、32:12-13
 - 12) 大島良雄 (1968) "気象と疾病" 生気象学、日本気象学会編、第2編 pp167-304、紀伊國屋書店、東京
 - 13) Department of the Navy (2008) U.S.Navy Diving manual. p9-48 ~ 9-84. Department of the Navy, Washington
 - 14) 山見信夫、眞野喜洋、芝山正治、高橋正好、中山晴美、水野哲也 (1999) 関東に在住するスポーツダイバーの特異的な潜水活動;特に潜水後の高所移動による減圧症の発症について、日本臨床スポーツ医学会誌 7 (1) :68-75
 - 15) 外川誠一郎、山見信夫、柳下和慶、芝山正治、眞野喜洋 (2008) 比較的低空を飛行する航空機搭乗当日の潜水に関する文献的考察、日本高気圧環境・潜水医学会雑誌、43 (3) :129
 - 16) 芝山正治、山見信夫、中山晴美、高橋正好、水野哲也、眞野喜洋 (1998) レジャーダイバーの現状—現地調査からの分析—、日本高気圧環境医学会雑誌、33 (4) :201-204