

乗員の健康管理 サーキュラー

減圧症 ~ decompression sickness, DCS ~



財団法人 航空医学研究センター

減圧症(decompression sickness, DCS)

医療法人財団 慈生会 野村病院 三浦靖彦

減圧症とは、体内に溶け込んでいた気体（主に窒素）が、低圧に暴露されることにより、液体から遊離して体内に泡粒（気泡）を形成し、種々の病状を引き起こすものです。減圧症には高高度に曝されることにより起こるもの（高度減圧症）と、深部からの浮上により起こるもの（ダイビングや採掘現場）があります。減圧症が初めてケイソン病（潜函病）として報告されたのは1841年で、橋脚建設のためハドソン川に沈められ、加圧されたケイソン（潜水筒）の中で長時間働いた作業員達が地上に戻った際に筋肉の痙攣や激しい痛みに襲われました。彼らの症状を通して、これは急激な気圧の変化で、血液中に溶解していた不活性ガス（主に窒素）が気泡化することによって引き起こされることが判明しました。この減圧症の初期段階をケイソン病（潜函病）と呼んでいます。また、潜水服を着用しているにもかかわらず、潜水作業中に潜函病を起こした例も1869年に報告されています。

一方、高度と関係した減圧症は、気球の発達とともに出現して来ました。1783年 Charles が初めて気球で有人飛行をしました。高度2750mまで上昇し、高々度での寒冷、降下時の耳痛を訴えたと記録されています。1804年には、Andreoli, Brasette, Zambecarri が、高度6000mまで上昇し、寒冷による凍傷、嘔気、意識喪失を体験しています。そして、1862年になると、Glaisher と Coxwell が、高度9450m(31,000 ft)まで気球で上昇し、身体の変化を記録したことが、潜函病の原因究明・治療法の発展に寄与したといわれています。

高度によって引き起こされる減圧症（高度減圧症）

高度減圧症は、高高度に上昇可能な気球や航空機が一般化してきた1930年代ごろから注目されるようになりました。1939年には、高々度を飛行するために与圧機能を持った旅客機が開発されました（ボーイング307・ストラトライナー：写真1）。航空機の進歩により、人間は、より高く、より早く飛行することが可能な時代になりました。今日の旅客機の多くは高度25,000から35,000フィート近辺を飛行していますが、機内は6,500から8,000フィートの気圧に保たれています。現代の航空機は安全性・信頼性も格段に向上していますが、それでも高度に暴露されることは乗員・乗客にとってストレスであり、高度に関連した色々な問題が起っています。減圧症が報告されて150年が経過し、その存在は広く認知され、関連情報も集積されましたが、決して解決には至っていません。高度減圧症は未だに航空機利用者にとって危険なものなのです。



（写真1： ボーイング307・ストラトライナー）

減圧症の原理

ヘンリーの法則によれば、液体にかかる圧力が低下すると、液体に溶け込むことのできる気体の量も減少します。清涼飲料水の栓を開けた時に、ガスのはじける音が聞こえ、泡立つのを見ることがありますが、これは、栓を抜くことにより飲料水にかかっていた圧力が低下し、溶け込んでいた二酸化炭素が遊離してくる現象を見ているの

です。人体を構成している液体成分（血液や体液の中）には、大量の窒素が溶け込んでいます。与圧装置をもたない航空機での高高度飛行や、与圧されていた機内に急激な減圧（機体の破損、与圧装置の故障など）が起こり、人体が低圧に暴露されると、体内に溶け込んでいた窒素が遊離してしまいます。窒素の遊離速度が速いと体内で泡粒が形成され、これに伴う種々の症状が出現します。

減圧症の症状

窒素の泡粒化は体のどの部分で起こっても不思議ではありませんが、肩、肘、膝、足首などの関節部分によく起こります。表1に、代表的な部分と症状を示します。ベンズとは、高度減圧症の60-70%で出現し、肩関節で最も頻繁に見られます。ベンズは航空環境で発生する減圧症ではもっとも一般的なものです。その痛みは関節を動かす時、局所的に発生しますが、軽い痛みから、時には激痛を伴うこともあります。一度ベンズを発症すれば、引き続き同一環境で同じ部位に再発しやすいといわれています。低高度に降下するか地上に戻ってもベンズが治まらない時は放置すると危険ですので、必ず専門医を受診しましょう。神経系統の症状は頭痛や視力障害として発症し、減圧症の10-15%に出現します。皮膚の症状は10-15%の出現率と考えられています。また、チョークの出現率は2%以下といわれているため、遭遇する機会は少ないようです。

表1 減圧症の部位および症状

名称	部位	主な症状
ベンズ (Bends)	肘・膝・肩・手首・足首などの大きな関節部分	窒素の気泡化による組織や血管の圧迫が原因と考えられている限局した深部の痛み 鈍い痛みが多い
神経系の症状 (staggers)	脳 脊髄 末梢神経	頭痛・運動障害・意識障害・視野狭窄等の視覚障害 めまい・はきけ・全身のけいれん 異常感覚（焼ける・刺す・チクチクした感覚） 筋力低下・筋肉のけいれん
チョーク (Chokes)	肺（肺の血管内で気泡が発生）	胸痛（呼吸動作で増悪） 息切れ 咳
皮膚のベンズ (Skin Bends and Creeps)		皮膚に発生した気泡により痒み・痛みが出現 耳・顔面・首・腕・体幹の痒み 小さな虫が這うような異常感覚 網目様・大理石様の皮膚症状は肩・上体に痒みとともに出現 むくみ

治療

関節や皮膚に起こった中等度のベンズの場合(網目様・大理石様の皮膚症状を除き)、高度を下げていく間に消失することがほとんどですが、それでも医学的な評価は必要です。低空まで高度を下げて症状が残る場合や、地上に降りたあとで再発する場合には直ちに高圧酸素療法を受ける必要があります(高圧の部屋で純酸素;100%の酸素を与える)。神経症状やチョーク、網目様・大理石様の皮膚症状が出現した場合には必ず高圧酸素療法を行う必要があります。適切な治療を行わないと、致命的になりかねません。高圧酸素療法に精通した医療施設に関する情報は、ダイバー緊急医療援助システム(DAN JAPAN(会員制))にお問い合わせください。
(<http://www.danjapan.gr.jp/>)

予防方法：脱窒素・純酸素(100%酸素)の吸入

高度減圧症の予防対策として最も有効と考えられているのは、高高度に暴露される前に純酸素を吸入しておくことです。酸素吸入を行うことにより体内の窒素を除去します(脱窒素)。高度を上昇させる前に30分間純酸素を吸入することにより、10-30分間の短時間であれば40,000フィートの高度でも減圧症の発生を予防することができます。さらに、高度減圧症を完璧に予防したいのであれば、飛行中常に純酸素を吸入する必要があります。一方、脱窒素を行わずに、飛行中だけ純酸素を吸入しても、減圧症の危険性を減らすことはできないことを記憶しておいてください。純酸素の飛行前吸入は、確かに高度減圧症の予防に非常に有効ですが、大掛かりな装置が必要で、コストのかかるものです。したがって、現在この予防法は戦闘機パイロットが宇宙飛行士の場合にしか採用されていません。

減圧症を起こしやすい状態とは？

1. 高度

この高度以下であれば減圧症を起こさないという安全な高度というものはありません。スキューバダイビングをしていない健康人であれば、18,000フィート以下ではほとんど起こさず、25,000フィート以下であれば、ほぼ安全と考えられています。しかし、米国空軍の調査によると、25,000フィート以下で起こったもの全体の13%を占めると報告されていますので、慢心してはいけません。暴露される高度が高いほど、減圧症発生の危険も大きくなります。18,000フィート以上になると、高度が増す分だけ減圧症の発生の危険性も高くなりますが、減圧症の症状の重篤さとの直線的な関連はないということも知っておかななくてはなりません。

減圧症を起こすよりはるかに低い高度から低酸素症の発生の可能性がありますので、注意が必要です。低酸素症についてはサーキュラー28号(2006年発行)を参考にしてください。

2. 繰り返しの暴露

18,000フィート以上の高度に、短時間の間に(数時間程度)繰り返し暴露されることも高度減圧症の発生の危険性を増す因子となります。

3. 上昇率

上昇率が大きければ大きいほど(早ければ早いほど)高度減圧症の発生の危険性も高くなります。18,000フィート以上の高度に急減圧されることは、同等の高度までゆっくりと到達することよりもはるかに危険です。

4. 滞在時間

18,000 フィート以上の高度に暴露される時間が長いほど、高度減圧症の発生の危険性も高くなります。

5. 年齢

加齢と共に高度減圧症にかかる危険性が高くなるという報告があります。

6. 最近の怪我

関節や四肢に怪我をした直後はベンズを起こしやすいことが知られています。

7. 気温

寒冷に暴露されると高度減圧症を起こしやすいことが知られています。

8. 体型

体脂肪の多い人は高度減圧症の発生の危険性が高いといわれています。血液の供給の悪い脂肪組織内には、より多くの窒素が貯蔵されるためです。通常体脂肪率は 15% 程度ですが、この中に体全体に溶けている窒素（約 1 リットル）の半分以上が貯蔵されています。したがって、体脂肪が増えるほど、体内に貯蔵される窒素の量も増えます。

9. 運動

高度 18,000 フィート以上における運動量・活動量が多いほど高度減圧症の発生の危険性も高くなります。

10. 飲酒

飲酒（二日酔いの影響も含む）により高度減圧症の発生の危険性は高くなります。

11. 飛行前のスキューバダイビング

スキューバダイビングでは高圧環境下で呼吸をすることになります。この状態では、体内に溶け込む窒素の量も増加します。深く潜るほど体内に溶け込む窒素量も増えます。山上の湖など高地でスキューバダイビングをすると、海で同深度に潜水するよりも窒素溶解量は増加します。スキューバダイビング後に、体内に溶け込んだ過剰な窒素を排出するために十分な時間をおかない場合、5,000 フィート以下でも高度減圧症を起こすことがあります。アメリカの航空医学研究所ではスキューバ・ダイビングと飛行の間に 24 時間空けるよう勧めています。

高度減圧症にかかったら・・・

- a. 直ちに酸素マスクを着用し、純酸素を吸入する。
- b. 可能な限り早急に緊急降下し、着陸する。降下中に症状が消失したとしても、酸素吸入を続け、着陸して医師の診察を受けなくてはなりません。
- c. 関節の症状が出現した場合、痛みを和らげようとしてその関節を揉んだり、動かすという動作は逆効果ですから、絶対にはいけません。
- d. 着陸後は、航空医学または高圧酸素療法に詳しい医師の診察を受けなくてはなりません。減圧症の病態は一般の医師には馴染みの薄い病態です。
- e. 最終的な治療法は、高度に訓練されたスタッフのいる施設で高圧酸素療法を受けることです。

f. 高度減圧症は、飛行中に発症せず、地上に降りてから発症することもありますので注意が必要です。

(財)航空医学研究センターが実施した低圧 低酸素症訓練の概要

(財)航空医学研究センターでは過去、航空大学校、航空保安大学校、日本操縦士協会(JAPA)主催の安全講習会等において航空医学に関する講義を行うとともに、JAPAが発行するPilot誌への寄稿やFAAビデオ日本語版の作成等を通じて減圧症 低酸素症の重要性について教育を行ってきました。

しかし、減圧症 低酸素症に関しては、「体験に勝るものは無い」と言われているように、安全を担保した上で、実際に体験してみることが教育効果を得るために最良の方法であると考えられています。

残念ながら、我が国においては、低圧 低酸素状態を安全に体験できる設備が乏しいため、「体験が重要とわかっていても、体験できる機会がない」というパイロットも多数存在するものと考えられました。そこで、筆者が航空医学センター在職中、航空医学実験隊の協力を得て、立川基地内の低圧訓練装置を借用し、低圧 低酸素状態における訓練体験を実施しましたので、その際の模様を概説します。

【対象者】

技能証明を所持し、実際に飛行しているパイロットで、過去に低圧訓練を体験したことのない者を対象としました。対象者の選定に当たっては、ホームページ、JAPA発行のPilot誌を通じて、希望者を募集しました。2回にわたって実施し、合計28名の方に参加していただきました。

【方法】

低圧 低酸素訓練プロトコルに関しては、航空医学実験隊が航空自衛隊パイロット候補生に実施しているものと同じのものとしました。訓練適正の判断のための身体検査も、航空医学実験隊が使用しているものと同じの身体検査を実施しました。

【訓練当日の概要】

マスクの適合終了後、航空医学実験隊第4部の概要及び低圧訓練装置の説明を受けます。第4部は、航空生理訓練の実施及び訓練方式に関する調査研究並びに救命装備品の実用試験等を実施しています。航空生理訓練では、航空自衛隊所属の操縦者及び同乗者に対して、低圧訓練装置を使用して、高々度の飛行が人体に及ぼす影響とその対策並びに酸素マスク、酸素レギュレーター等の取扱方法につき、毎年約1,000名の訓練を実施しているそうです。

急減圧飛行訓練

低酸素症訓練と同様の装備で実施されました。

チャンバー入室後、5分後に8000feetへ。そこから約1秒後に22000feetへ急減圧を行います(図2、写真2A,B参照)。

急減圧



図 2 急減圧訓練のチャート



写真 2A: 減圧前 (高度 8,000 フィー相当)



写真 2B: 急減圧の瞬間 (高度 22,000 フィー相当)

大気中の空気が急減圧により白い霧となる様子。室内が急減圧されることにより、飽和水蒸気量に達し、霧が発生する。

減圧は、その経過時間により3つのタイプに分類されます。

1. 緩速減圧

10秒以上時間をかけて機内の気圧が徐々に下がる場合。

これは潜在的に最も危険なタイプです。機内高度が上がっていることに気付かない可能性が大きいからです。

2. 急速減圧

1秒から10秒の間に急速に機内全体の与圧が低下する場合。

3. 爆発的減圧

1秒以内に機内与圧が失われる場合。この急激な気圧変化は生体の減圧適応能力を超えているため、いわゆる圧外傷を引き起こす可能性があります。

これら3つのタイプを分ける要素は、減圧にかかった時間だということに注意してください。その時間を決定する要因として、破損部分のサイズが大きな因子となります。つまり、破損部分が大きいほど、減圧の速度も速まります。

【減圧時の騒音・視界】

減圧によって発生する騒音は、シューツという音から、大きな爆発音まで様々です。我々が体験した減圧訓練は、急速減圧と爆発的減圧の境界領域ですので、大きな爆発音がしました。

爆発音により相互のコミュニケーションがとりにくくなります。また、減圧に伴う温度と気圧の低下により霧が発生するため、視界が妨げられます。霧を煙と間違ふこともあるかもしれません。機体の破損部分に向かって飛んでいく浮遊物により乗客が傷つくこともあります。シートベルトを締めていないパイロットや乗客は機外に吸い出される危険性があります。細かいゴミや埃も視界を妨げます。気圧だけでなく、気温も下がるため、凍傷や低体温症にかかる恐れがあります。

繰り返しになりますが、キャビンが減圧状態になった場合には次の手順に従ってください。

1. 酸素マスクの装着

マスクは5秒以内に装着しましょう。酸素が100%マスクに流れているかチェックします。

2. 機体のコントロールを維持する

3. 低高度への降下、出来れば1万フィート以下へ速やかに下降します。

4. できるだけ速やかに着陸し、必要に応じて、航空生理学に通じた医師の診察および治療を受けましょう。

参考

Altitude Decompression Sickness; Medical Facts for Pilots.

Publication AM-400-95/2 J. R. Brown and Melchor J. Antunano
FAA Civil Aerospace medical Institute, Aeromedical Education Division
U. S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration

Aviation Medicine. Third ed. J. Ernsting et al. edit.
BUTTERWORTH HEINEMANN 社

航空生理訓練（一般訓練）：航空医学実験隊 航空生理訓練科

臨床航空医学：上田泰 監修，（財）航空医学研究センター発行 鳳鳴堂書店

FAA 製作 航空医学教育ビデオ日本語版 （財）航空医学研究センター

著者紹介

- 三浦 靖彦 医学博士
- 昭和57年3月 東京慈恵会医科大学卒業
- 昭和61年9月 岡崎国立共同研究機構 生理学研究所
特別協力研究員
- 昭和63年6月 国立佐倉病院内科勤務（内科医長）
- 平成6年10月 東京慈恵会医科大学 講師
- 平成10年4月 （財）航空医学研究センター 研究指導部 部長
- 平成17年10月 医療法人財団 慈生会 野村病院 副院長

平成19年5月

発行 財団法人 航空医学研究センター
〒144-0041
東京都大田区羽田空港3-5-10
ユーティリティセンタービル4F
ホームページ <http://www.aeromedical.or.jp>
電話 03-5756-9070 FAX 03-5756-9071

印刷 アイワ印刷株式会社
東京都港区高輪3-22-4 アイワビル
電話 03-3447-6511

無断転載を禁ず

バックナンバーをご覧になりたい方は、上記ホームページにアクセスしてください。