

2006 No.1(28)

乗員の健康管理 サーキュラー

～ パイロットと低酸素症 ～



財団法人 航空医学研究センター

はじめに

人間の体は、平地での生活を基本に、せいぜい海拔 1 万 ft までの適応を想定して設計されています。空気中の酸素濃度自体は 18,000ft でも海面レベルと同等ですが、重力の影響により 例えは海拔 18,000 ftにおける酸素分圧は約 1/2 に減少します (表 1)。したがって、人間が高度 1 万 ft 以上の環境に晒されると 酸素不足の現象が起こってきます。この時、呼吸数を増やしたり 深呼吸をしても全く効果は期待できません。逆に、呼吸のバランスを崩すことにより 二酸化炭素濃度が低くなりすぎることによる弊害すら出てくる可能性もあります (過呼吸症候群)。

この解決法はいたって簡単であり パイロットの方々にはお馴染みの補助酸素 (機内与圧を含む)を利用することですが、低酸素症のメカニズムや症状を知っておくことも大切です。そこで今回は低酸素症についての解説させていただきます。

<表 1 . 高度による酸素分圧の変化 (mmHg) >

	大気のPaO ₂	肺胞のPaO ₂	動脈血中のPaO ₂
0ft (海面レベル)	148	103	95
8,000 (0.75気圧)	108	64	56
15,000	80	44.7	37
18,000	69	39.5	32
20,000	63	36.5	29
22,000	57	33.2	
25,000	49	30	

低酸素症の分類

低酸素症には種々の分類法がありますが、メカニズムから見ると 下記の4つに分類されます。

a. 低酸素性低酸素症

吸気中の酸素濃度の低下が原因で、飛行中の低酸素症の代表的なものです。また、窒息や呼吸停止の場合の低酸素症も低酸素性低酸素症に分類されます。

b. うっ血性低酸素症

全身の細胞に血液を送る循環機能が阻害された場合の低酸素症で、心停止、ショック、低血圧、気温の急激な低下、急激な姿勢変化の際に見られます。急旋回や急上昇・急降下の際に、この種の低酸素症が引き起こされる可能性があります。

c. 貧血性低酸素症

貧血、出血などにより血液中で酸素の運搬を担当している赤血球やヘモグロビンが欠乏することにより起こります。

d. 組織中毒性低酸素症

アルコールや薬物の影響により細胞における酸素利用能力が阻害されることにより起こります。

低酸素症の所見と症状

「所見」とは他人から見てわかる反応を指し、「症状」とは自分自身が認識するものを指します(表2)。

残念なことに、我々の体は低酸素状態の初期症状の確かな兆候というものを感知してくれません。したがって、低酸素の症状を詳しく知るためには、特別な訓練(低圧チャンバーを使用した訓練)を受けなくてはなりません。特に、脳は一番初めに低酸素による影響を受ける部位で、通常、判断力の低下として現れます(つまり自分が低酸素状態に陥っているという判断も鈍ってしまいます)。

低圧チャンバーを使用した訓練によると、一部の人は低酸素状態になると、多幸感(とても気持ちが良く、幸福な気分)が出現するといわれます。自分の名前をうまく書けなくなったり、トランプをうまくシャッフルできなくなっても、「気分はとてもよい」と感じているようです。これが、低酸素症を早期に自覚することを困難にしている大きな要因なのです。つまり、大切な初期症状を隠し、「何かおかしい、非常に危険だ!」という感覚を麻痺させてしまうのです。

低酸素に対する症状は個人によって異なります。したがって、低圧チャンバーを利用し、実体験をしておくことが、最も効果的とされています。この経験によって、微妙な体調の変化を、低酸素症の手がかりとできるようになるといわれています。低酸素症の症状が発現する順序も個人によって異なります。呼吸数の増加、頭痛、めまい、チクチクする感じ、熱感、発汗、統合失調、判断力の低下、視野狭窄、多幸感などが出現します。

低酸素症の症状を知っておくことも大切ですが、低酸素症の所見を熟知しておくことにより、隣席のパイロットが低酸素症に罹り始めているかどうかを早期に発見できるようになります。

< 表 2 . 低酸素症の症状 >

自覚症状	他覚的症状
熱感 発汗 皮膚の刺激感 疲労感 不安感 疲労感 頭重感 頭痛 めまい 視覚障害 (色の認識力と夜間視力の低下) 判断力 計算能力の低下 言語能力低下 多幸感	呼吸 心拍数の増加 チアノーゼ (口唇・爪が紫色になる) 知能活動の低下 反応時間の遅延 手指等の協調運動の障害 けいれん 意識混濁 意識喪失

低酸素症の対処法

上記症状や所見などから低酸素症が疑われた場合には直ちに以下の処置を行う必要があります。

酸素装置の点検と酸素吸入

装置の故障か否かをチェックし、速やかに酸素吸入を行いましょう。

(民間旅客機の場合、機内高度が 12,000 fを超えると酸素マスクが自動的に出てきます。)

直ちに安全高度に降下 (10,000ft 以下)。

着陸。

安全高度で十分な時間 (15 分以上) 飛行し、低酸素の症状が回復してから着陸をしまししょう。

低酸素症が発現してから、意識を喪失するまでの時間を、「有効意識時間：Time of Useful Consciousness, TUC」といいます。最近では「有効機能時間：Effective Performance Time; EPT」とも呼ばれますが、同じものを指しています。表 3でも明らかのように、高度が増すごとに EPT は短くなります。しかし、この表の数値は健常者を対象に安静時に測定された数値といわれていますので、実際の飛行時や特に急減圧時には、さらに短縮すると考えるべきでしょう。したがって、高々度における酸素装置や与圧装置の故障は、きわめて短時間で致命的となることを覚えておきましょう。

米国 FAR (連邦航空規則)によれば、機内高度が 12,500 fを超え 14,000 fまでの飛行においては、当該高度の飛行が 30 分を超える場合には、その時間について、必要最小乗組員に十分な量の補充酸素を準備し、実際に使用しなければならない。また、機内高度が 14,000 fを超える飛行においては、当該高度の全飛行時間にわたって必要最小乗組員に十分な量の酸素を準備し、実際に使用しなければならない。」と規定されています。安全策をとるならば、10,000ft 以上を飛行する場合は、補助酸素を使用するべきでしょう。特に視覚は低酸素に敏感なため、夜間飛行で 5,000ft 以上を飛行する際には補助酸素を使用することが推奨されて

います。補助酸素は、必要な酸素を供給するだけでなく、体内の二酸化炭素の濃度を適性に維持することにも寄与します。

<表 3. 有効意識時間 (Time of Useful Consciousness;TUC) 及び有効作業時間 (Effective Performance Time;EPT)>

高度	TUC and EPT
10,000 ~ 15,000 ft	1時間以内
18,000	30分
20,000	5 ~ 10分
25,000	2 ~ 3分
30,000	90秒
35,000	45秒
40,000	30秒
50,000	10秒

低酸素症による航空機事故の実例

1999年10月26日、プロゴルファーとして世界的に有名なペイン・シュワート(42歳)の自家用ジェット機が、サウスダコタ州北東部で墜落し、シュワートを含む乗客3人、乗員2人の5人全員が死亡しました。米連邦航空局(FAA)などによると、彼の乗ったジェット機はフロリダ州オーランド国際空港を出発。目的地のテキサス州ダラスに向かう途中、同機から「ゲインズビルを通過している」との連絡があったのを最後に地上との交信を絶ち、北西に大きく進路を変え、サウスダコタ州北部のミナ町の草原に墜落したそうです。緊急出動したF16戦闘機のパイロットは「ジェット機は高度1万3000メートルで飛行。窓には霜が付き、無線の呼びかけに一切応答がなかった」と証言したそうです。このため、何らかの原因で気圧維持装置が故障し、操縦士を含む全員が意識を失い、同機は自動操縦装置で約4時間飛び続けたあと、燃料切れで墜落したとみられています。

喫煙と低酸素

喫煙と飛行の組み合わせの危険性についての逸話があります。軽量単発機で13,500ftを安定飛行中に喫煙をしたところ、次に気がついた瞬間には、機体がきりぎりみ状に降下していたというのです。幸い機体を立て直すのに十分な高度があったため、一命を取り留めたという話です。実話かどうかは定かではありませんが、これは、喫煙により血液中の酸素が、一酸化炭素に置き換わってしまったために低酸素状態に陥り、失神してしまったものと説明できます。

嫌煙運動は主にタバコの発がん性、つまりタールの成分について論じられていますが、航空分野では他の成分、つまり一酸化炭素を重視しなくてはなりません。血液の赤血球の中には、ヘモグロビンが含まれており、これが酸素と結合することにより、体の隅々まで酸素を運搬しています。しかし、一酸化炭素は、酸素の210倍もヘモグロビンとの結合親和性が高いため、喫煙をすることにより、ヘモグロビ

ンと結合していた酸素は一酸化炭素に置き換わってしまい、相対的な低酸素状態になってしまうのです。実験によると、5,000ft の高度が、喫煙者にとっては10,000 ftに相当するとも言われています。したがって、操縦中の喫煙は、低酸素症を起こし、急減圧などの緊急時の判断力等パフォーマンスの低下につながる可能性があります。

(財)航空医学研究センターの実施した低酸素症体験訓練の概要

(財)航空医学研究センターでは、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において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、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、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、筆者が航空医学研究センター在職中、航空医学実験隊の協力を得て、立川基地内の低圧チャンバーを借用し、低圧・低酸素状態の体験訓練を実施しましたので、その模様を概説いたします。

【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、過去に低圧チャンバーを体験したことのない人を対象としました。航空医学研究センターのホームページ、JAPA 発行のPilot 誌を通じて、希望者を募集し、2回に分けて、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隊員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。

【実際の経過】

マスクの適合終了後、低圧訓練装置の説明を受けます。

航空自衛隊では、所属の操縦者及び同乗者に対して、低圧訓練装置（低圧チャンバー）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とのことでした。

講義の受講

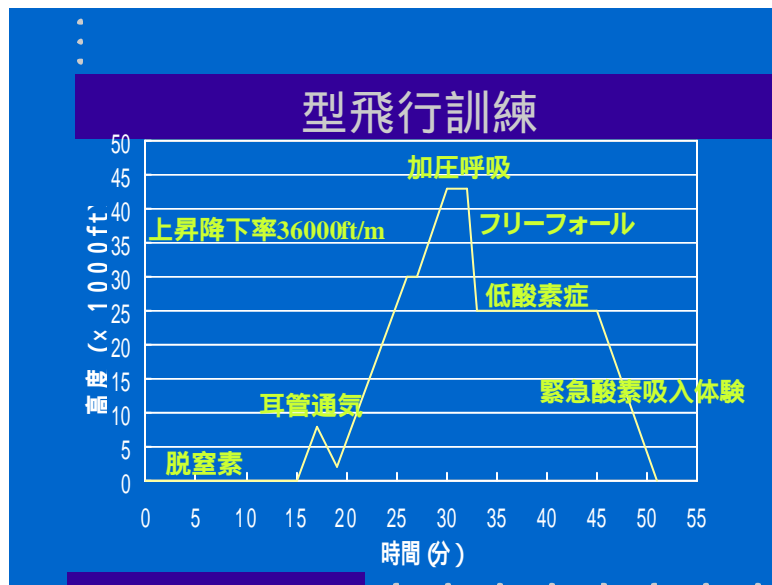
航空生理学について、以下の講義が行われました。

1. 航空環境とその影響
2. 大気の物理的性質
3. 減圧症
4. 低酸素症

救命装置、酸素装置、脱出装置についての講義

型飛行訓練（低酸素訓練）

今回実施した 型飛行訓練の概要を表に示します。





チャンバーの中には、高度が上昇したことを視覚的に理解させるための風船が設置されている。
1気圧の状態ではこの様に萎んだ状態となっている。



チャンバー入室後
15分かけて脱窒素を
行い、8,000feetで耳
管通気を行います。



次に43,000feetにおけ
る加圧呼吸訓練はレギ
ュレーターを使用します。



43,000feet (加圧呼吸訓練時)
における風船の膨らみ。



25,000feet における低酸素訓練の様子。
酸素マスクを外し、簡単な計算を実施します。

低酸素体験用紙

試験番号 2

1000	999	998	997	996	995	994	993	992
991	990	989	988	987	986	985	984	983
982	981	980	979	978	977	976	975	
974	973	972	971	970	969	968	967	
966	965	964	963	962	961	960	959	
958	957	956	955	954	953	952		
951	950	949	948	947	946	945		

1	SPO ₂ /脈拍	開始前 (98/87)	
		1分 (183/101)	2分 (178/101)
		3分 (173/110)	4分 (/)
2	マスクを外していた時間	(3分 ⁴⁴)	
3	自覚症状	視覚の変化 <input checked="" type="checkbox"/>	熱感 <input checked="" type="checkbox"/>
		疲労感 <input checked="" type="checkbox"/>	思考力の低下 <input checked="" type="checkbox"/>
	自分で対処できたか?	<input checked="" type="checkbox"/>	

訓練者全員に血中酸素飽和度測定装置が付けられ、開始前、1分後、3分後等、定期的に測定値を記入させますが、このように、時間経過とともに、字は汚くなり記入ミスも起きてきます。

おわりに

以上、低酸素症について概説してみました。わかりにくい部分もあったかと思いますが、ご自身の安全のみならず、旅客の安全、ひいては空の安全を確保する上で必要欠くことのできない部分です。ご質問等に関しましては航空医学研究センター、主任研究員 (support@aeromedical.or.jp) にお問い合わせいただけますようお願い申し上げます。

参考文献

HYPOXIA; The higher you fly...the less air in the sky. Medical Facts for Pilots; AM-400-91/1, Aeromedical Education Division, FAA Civil Aeromedical Institute

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

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

航空医学と安全： 東謙一・土屋正興 共著， 鳳文書林出版販売

航空生理訓練（一般訓練）：航空医学実験隊 航空生理訓練科

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

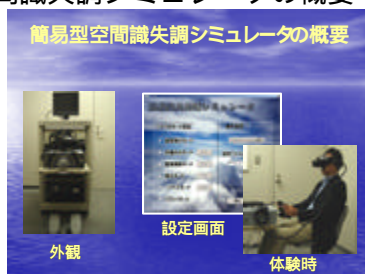
パイロットのための航空医学 低酸素症：日本航空機操縦士協会発行
『PILOT』誌 2002 No.5

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

～ 簡易型空間識失調シミュレータ体験のお知らせ ～

当センターでは、平成14年から簡易型空間識失調シミュレータを製作し、平成17年にシナリオを含め完成しました。本シミュレータでは、視覚錯覚による空間識失調を容易に体験できます。又、コリジョンコースの体験も可能となっております。ご希望の方は、下記の事項をご理解の上、事前に電話若しくはE:mailでご連絡ください。
<簡易型空間識失調シミュレータの概要>



【概要】



【木漏日による視覚錯覚】



【雲海による視覚錯覚】



【漁火による視覚錯覚】



【コリジョンコース】

<連絡先>

(財)航空医学研究センター
研究指導部 主任研究員

電話 03-5756-9070

FAX 03-5756-9071

E:mail webmaster@aeromedical.or.jp

<http://www.aeromedical.or.jp/>

- *体験をご希望される方は、航空機従事者の技能証明を有している方に限ります。
- *本体験につきまして、謝金、交通費等一切お支払い致しません。
- *体験終了後に簡単なアンケートにお答えいただきます。
- *体験可能な日時は原則として、月曜日～金曜日の間の午後となっております。

平成18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

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。