

第5回 人間-熱環境系シンポジウム報告集(昭和56年12月)

講演 2

旅客機内の環境と生理

日本航空(株)健康管理室 ○野田 一雄
航空医学実験隊 関口 千春

ENVIRONMENT & PHYSIOLOGY IN CIVIL AIRCRAFT FLIGHTS

Kazuo Noda, M.D.
Medical & Safety Service Office, Japan Air Lines

Chiharu Sekiguchi, M.D.
Aeromedical Laboratory, JASDF

Study on the relationship between the hypoxic, hypobaric environment in civil aircraft and physiological changes, flying at normal cruising altitudes. Temperature, moisture, CO_2 , CO , and O_2 in the cabin were also measured. Those physiological changes which occurred were not regarded to be of a degree harmful to the human organism at normal flight altitudes. However, for the higher altitude flights expected in the future, suitable counter-measures are seen as being necessary.

我国においては戦後の昭和26年に民間航空が再開され、さらに昭和39年には日本人の渡航自由化がされ、観光目的の日本人旅行者が急増している。

最近の日本人の海外旅行者は、昭和50年より250万人、昨年は400万人といわれている。そのうちごく一部が船舶を利用するのみで、殆ど大勢の旅客が航空機を利用している。勿論、国外のみならず国内の旅行も旅客機は、必須の交通機関となっている。したがって、これらの旅客を輸送する航空機もプロペラ機からジェット機となりさらに、一機あたりの乗客も20~30人の時代から現在では、国内線のジャンボ機は550人の乗客を一機で運ぶまでになっている。また、その巡航高度も昭和26年当時の4~5,000メートルから現在では10,000メートルとなり、コンコルド旅客機は16,000メートルに達している。それに伴いその機内環境も戦前の与圧のない客室から、現在の与圧装置を持った客室にまで進歩をみせている。

しかし、その機内環境は現在でも地上の環境とは異なり、地上では考えられない低気圧、低酸素圧の問題、低湿度の問題、オゾンの問題、さらには直接機内とは関係はないが、時差の問題も話題となっている。現在のジェット旅客機は、約10,000メートルの巡航高度で飛行しているが、その全部が外気を圧縮し機内へ送り込んでいる。したがって、その外気の組成、その圧縮、加熱の状態により機内環境は変化している。しかしながら、10,000メートル付近の外気の組成については、酸素・窒素・炭酸ガス等殆ど地上の組成と変化がない為、その外気の圧縮によって地上と同じ状態を保つことが可能である。また、湿度については外気をとり入れる為、当然低湿度が予想される。また、季節・緯度によって10,000メートル付近のオゾンが増加することが知られており、先に述べた理由で客室内のオゾンについても同時に上昇が考えられる。

今回は最近の旅客機内の環境変化と生体内変化について調査をする機会を得たので、客室内の乗務員及び乗客の動脈血中の酸素飽和度についての知見を中心に機内の温度、湿度

CO₂ さらにオゾンについても言及する。

従来より低酸素分圧環境における人間の動脈血中酸素飽和度の研究は、特に高山の登山者、空軍のパイロット、宇宙飛行士の医学的調査にいろいろ種々なされている。

ここの最初の報告は、人工の低圧装置を利用した動脈血中の酸素飽和度の変化、心電図の変化、その他の検査成績について述べる。この研究においては、まず、2名の被験者が心電計、非観血的オキシメーターを装着し、Hypobaric Chamberに入り約8分の経過後高度約7,600メートル(25,000フィート)の低圧状態とし、約12分の経過後に地上圧に加圧し、その間6分25秒ないし8分45秒の酸素マスク無しの状態を作り、生体の変化について記録した。結果は、動脈血中酸素飽和度においては、約7,600メートル(25,000フィート)の高度と時間の経過とともに飽和度は低下し、約4分ないし6分後には約70%にまで低下を示している。また、酸素吸入と同時にその飽和度は上昇し、殆ど低酸素状態前に回復を示している。また、心拍数も同様に酸素マスクをはずした低酸素状態では上昇を示し、心電図上でも低酸素状態の結果の虚血を示すT波の平低化を認めている。さらに、自覚症状をみるとI・K例では2分後に顔がふくらむ感じ、3分過ぎに手足に熱感、腕部熱感、頭部熱感、大きな呼吸、身体中の熱感の続き、8分近くには虚脱状態、さらには眠くなり言語不明瞭といった症状の続き、酸素マスクをした後1分以内に全く正常な状態となっている。C・S例でもほぼ同様に頭部熱感、顔面のほてり、全身倦怠感、目の前が暗くなる、耳鳴り、手足の冷感、手のふるえに続いて6分後には応答がなくなっている。酸素マスクをしたのち1分後に視力が回復し、自覚症状のなくなったのは約4分後である。

しかしながら、実際に乗客が利用する旅客機においては、このような条件での客室環境は起こりえない。現在使用されているボーイング747ジャンボ機の巡航高度は、約9,200メートル(30,000フィート)から約11,300メートル(37,000フィート)であり、この高度での客室内高度は、日本航空のオペレーションマニュアルによれば旅客機の高さが約11,300メートル(37,000フィート)の場合、6 pounds Squat Inch (PSI)の与圧がなされ、その結果、約1,800メートル(約6,000フィート)に調節されている。この時の客室内の酸素分圧は地上の79.5%であり、約20%の低下となっている。このような巡航高度の環境での動脈血中の酸素飽和度を非観血的オキシメーターを使用し測定した。被験者は、客室乗務員1名、乗客2名、飛行路線は東京-ホノルル間の定期便を利用した。測定は乗務前に地上で1回、機内では1時間毎に1回、到着後1回測定した。1回の測定は5秒間隔で6回測定し、その平均値を求めた。飛行高度、客室内高度等の測定は、操縦室内の計器により測定した。その結果、離陸後、高度の上昇に伴って客室内高度も上昇し、それと同時に動脈血中酸素飽和度は低下した。

この傾向は、巡航高度約11,300メートル(37,000フィート)で飛行中持続した。すなわち、東京-ホノルル間は、地上で96.6%から97.5%の値が巡航高度では、93.3%から94.7%と低下している。さらに、到着前の高度低下とともに飽和度は客室内高度の低下とともに上昇傾向を示し、ホノルル到着後のホテルにいくほぼ出発前の

値に回復した。また、ホノルルから東京においてもほぼ同様の傾向を示し、巡航高度の差はあるが92.8%から93.9%となっている。これらの動脈血中酸素飽和度の変化について地上の飽和度と比較した低下率をみると、東京-ホノルル間では被験者3名の最大が2.9%, 3.4%, 4.1%の低下であった。また、ホノルル-東京間では最大3.2%, 3.4%, 3.9%の低下率であった。

このように客室内気圧の低下とともに、人体の動脈血中酸素飽和度の低下を示すことは今回のデータでも明らかであるが、その低下率が客室内酸素分圧の低下(20%)に比較して少ないことも明らかである。これは、客室内の酸素分圧の低下によっても生体側の肺胞内でのガス交換が十分に代償されていることを示している。

一方、酸素飽和度の低下が人体に与える影響は、その飽和度が90%以下の場合が多く、90%以下であっても60%までは可逆的である事の報告例が多い。先に述べた低圧室の実験のごとく、一時的であれば70%前後でも自覚症状の回復もすみやかであることが認められる。また、約2,100メートル(7,000フィート)までの高度では、換気量の増加を必要としない高度であることが報告されているが、この客室内の調査でも心拍数の変化は、客室内の高度上昇によっても認められなかった。したがって、約1,800メートル(6,000フィート)付近の客室内高度における酸素分圧の低下については、人体に与える悪影響はないと考えられる。

最後に、その他の機内環境について述べると、ピストン機時代はエンジンで駆動される空気圧縮機によって高温、高圧の空気を作り、機外からとり入れた空気を加えて室内へ供給していたが、現在のジェット機では、エンジンの為の空気圧縮機から大量の高温、高圧が得られるので、それを利用している。

したがって、前にも述べたが、巡航高度約11,300メートル(37,000フィート)で客室内高度は約1,800メートル(6,000フィート)となる様約8.6PSIの与圧がなされている。また、温度については客室内の測定場所により多少の差が認められ、また調理室内での調理時には、やや高温が認められるが、ほぼ20℃から27℃に分布しており、操縦室内での変更も可能であり、特別の問題はない。

湿度に関しては、先ほど述べた外気を取り入れるといった旅客機の宿命から低湿度であり、殆どの路線で40%以下であり、実測値での最低は9%の場合があり、客室内での乾燥感、口渇感等もこれによると考えられる。気温・湿気・気流を合わせた感覚温度は18℃から21℃の範囲に分布し、Comfort Zone 以内にある。

さらにCO₂については、路線や乗客数によって差が認められるが、400～500ppmが普通である。しかし、1,000ppm以上になる場合もあり、特に調理室内ではしばしば1,000ppmを超える。この理由は、調理室内の食品冷却用のドライアイス使用に関係があると考えられ、高濃度でもCO₂のみで環境判定をするのは危険であろう。ガス検知管を使用したCOは検出されなかった。

さらに、オゾン(O₃)については、1976年頃に巡航高度が約13,700メートル(45,000フィート)で飛行するB-747SP機によってオゾンの影響と推定される症状

第5回 人間-熱環境系シンポジウム報告集(昭和56年12月)

が報告された。

したがって、その後アメリカのFAA(米国航空局)も独自に調査を行い、これらの存在を一部確認し、対策を発表している。これらの症状は、初期の空咳が特徴で、濃度が高くなるとはしゃしい咳、息切れ、胸痛等が現われる。一般的に症状が出易いのは、若年者、非喫煙者、飲酒時、体を動かすことにより、これらの症状は増強される。したがって、最初に症状が出るのは、座席に座っている乗客よりむしろ動いている客室乗務員と通路を遊んでいる子供の乗客に症状が顕著である。そのオゾンの濃度は、B-747SP機を使用しているパンアメリカンの例で 0.3ppm を超える場合があり、約11,300メートル(37,000フィート)を巡航高度とする日本航空のB-747機も季節・路線等によっても差があるが、一般に 0.03ppm から 0.3ppm の間を気象条件の変化にあわせて変動する状況である。

FAAの調査では、83名のボランティアを約1,800メートル(6,000フィート)の人工環境室に入れ、オゾンの身体に及ぼす影響を視力、肺機能、血液等を調べている。その結果、 0.3ppm 以上の影響が出ることがわかり、オゾン濃度 0.25ppm を基準値として定めた。

したがって、日本航空においても場合によっては 0.3ppm を超えるケースもある為、エア-コンベクションシステムのダクトにオゾンを分解するCatalytic Converterを装着している。これによりオゾンは酸素に分解され約90%のオゾンが排除される。

以上、旅客機内における環境と人体への影響について低圧時の酸素飽和度を中心に述べたが、いずれも人体に悪影響を及ぼすものではない。しかしながら、今後さらに高高度の旅客機の開発、さらには宇宙船等への一般乗客の利用の実現する時には、さらに広い範囲での対策が必要となるであろう。