

低圧性低酸素環境での間質性肺炎患者に対する酸素療法の検討

薊 隆 文¹⁾²⁾

要 約

低肺機能者が高地へ旅行することは制限されている。そのため低肺機能者の高地での酸素化能についての報告は少なく、とくに間質性肺炎患者についてはほとんどない。間質性肺炎の高地旅行に酸素療法のため同行した。低圧環境での必要な酸素の投与量と低酸素症の程度、動脈血酸素飽和度 (SpO₂) の変動について報告する。

対象と方法：

67歳男性、右肺下葉切除後、間質性肺炎、平地（1気圧）～高地（約0.65気圧）の環境で必要時に経鼻またはマスクで酸素を投与しSpO₂の測定を行った。

結 果：

安静時には、0.8気圧まではほぼ85%以上、0.8～0.7気圧では経鼻1～3ℓ/分でSpO₂>85%、0.7気圧～0.65気圧では経鼻で酸素1～5ℓ/分でSpO₂>85%であった。0.65気圧の時、経鼻3ℓ/分投与で、一時的に48%まで低下したがマスクで酸素10ℓ/分でSpO₂>85%に復した。

考察と結語：

3ℓ/分程度で呼吸器もなくSpO₂>85%を維持できた。低肺機能患者の高地への旅行では、酸素を事前に準備することと、高流量が必要なときに備えてできる限り酸素を温存する必要がある。

キーワード：間質性肺炎、高地、酸素療法

I. はじめに

高地では気圧の低下に伴い酸素が薄くなる。薄くなるといっても濃度ではない。圧力の低下によって単位体積当たりの酸素の分子の数が少なくなるが、窒素の分子も同様に少なくなるので濃度は平地と同じ21%である。しかし、1回換気量が同じであれば高地では肺に入ってくる酸素の分子の数が少なくなる。つまり、単位体積当たりの酸素の絶対量が少なくなる。この影響を低圧性低酸素という。健常人であっても2500m以上の高地ではこの影響によって高山病になる恐れがある。低肺機能の患者はその影響がより強く出ることが予想されるため、医師は患者が希望しても高地へ旅行することは制限することが一般的である。航空機では高高度の巡航では外気の圧力が低下するため、機内の気圧も低下させる必要があるが、低圧性低酸素による影響を考慮して約0.8気圧に保つようにされている。これは標高約2500mに相当する。航空会社各社は航空機への搭乗の際に注意が必要であることを謳っている¹⁾。これらの理由から、低肺機能者が

高地へ赴くこと自体が少なく、結果的に高地での酸素化能についての報告、とくに間質性肺炎患者についてはほとんど見当たらない。

今回、間質性肺炎で安定した状態にある成人が高地旅行を計画したが、やはり主治医は旅行には反対であった。しかし、本人の決意は強く自己責任の下の旅行として敢行されることになり、その際の酸素療法のため医師として同行した。間質性肺炎患者において、標高3000m以上の低圧環境下で必要な酸素投与量や経皮的動脈血酸素飽和度 (SpO₂) の変動について調べた報告はほとんどなく、今回の調査は意義があると考えられる。

II. 対 象

67歳男性、右肺下葉切除後、間質性肺炎、肺活量<60%、平地でのSpO₂は安静時96%、歩行時90%、30分程度の歩行は可能だが、携帯型酸素濃縮器の携行が必要である。

1) 名古屋市立大学看護学部病態学（麻酔学）

2) 名古屋市立大学大学院医学研究科麻酔科学・集中治療医学分野

Ⅲ. 方 法

1. 低圧性低酸素の環境

低圧性低酸素の環境は、航空機内と南米ボリビアのウユニである。前述したように通常の航空機内は高度1万m（約0.2気圧）の高高度でも機内の気圧は0.8気圧以上になるように設計されている。しかし、高地の空港へ着陸する場合は話が別で、例えば、高度約4000mの空港では気圧は0.65気圧であり、機内の通常の圧力0.8気圧よりも低い。そうすると機内から機外へ出たとたん到低圧性低酸素により意識を失う乗客もいる。そこでこのような状況では、機内の気圧も0.65気圧まで下げる必要がある。南米ボリビアのウユニは標高約3800m、気圧は約0.65気圧である。そこで1気圧から0.65気圧まで徐々に低下した機内と0.65気圧のウユニにおいて調査を行った。

2. 酸素療法の方法

通常の航空機内の0.8気圧程度では酸素を使用しなくても安静時にはSpO₂はほぼ90%台で、目標の85%を保つことができることはこれまでに医師として同行した旅行ですでに確認済みである。そこでSpO₂の測定を行いながら、SpO₂>85%を維持できるように、必要時に、携帯型酸素濃縮器（POC）から経鼻カニューラを通じて吸気同調で、酸素ポンベからサンソセーバー[®]を用いて吸気同調で、あるいは酸素ポンベからマスクで連続流で、酸素流量を調節しながら投与した。吸気同調とは、吸気時の陰圧を経鼻カニューラを通して検知し吸気時のみ酸素を流す様式で、例えば3ℓ/分に合わせると1分間当たりの流量は約1/3になるが効果は連続流と同等になるものである。

気圧	SpO ₂ (%)	O ₂ 流量 (ℓ/分)	酸素投与方法	備考
0.99	97			
0.96	95			
0.96	95			
0.95	95			
0.84	85			
0.8	80			
0.8	93	3	POC	
0.79	85	1	POC	
0.76	72			
0.76	80	3	POC	
0.75	87			
0.74	85	2	POC	
0.73	88	1	POC	
0.71	81			
0.67	82			
0.67	88			
0.67	88	2	POC	

気圧	SpO ₂ (%)	O ₂ 流量 (ℓ/分)	酸素投与方法	備考
0.66	86	3	POC	
0.65	88	2	POC	
0.65	71	3	POC	
0.65	85	3	マスク	
0.65	94	2.5	サンソセーバー [®]	
0.65	88	3	POC	
0.65	71	3	POC	降機時
0.65	69	5-10	マスク	
0.65	95	7	サンソセーバー [®]	
0.64	85	3	POC	
0.64	75	3	POC	降機時
0.64	94	4	マスク	
0.64	95	10	マスク	
0.64	92	5	サンソセーバー [®]	
0.64	90	2.5	サンソセーバー [®]	
0.64	48	3	POC	歩行後
0.64	95	10	POC+マスク	

表1 大気圧とSpO₂・O₂流量

POC：携帯型酸素濃縮器（吸気同調）、連続流と同等の流量
 サンソセーバー[®]：吸気同調式レギュレータ、連続流と同等の流量
 マスク：連続流

3. 測定項目

気圧は、携帯型気圧測定装置（Casio ProTrek[®]）で測定した。気圧の変動に合わせて、随時SpO₂を測定し同時に酸素投与方法（デバイス）と酸素流量を記録した。

Ⅳ. 結果

気圧とSpO₂および酸素投与量を表1に示す。0.8気圧までは安静時にはほぼ85%を維持可能であった。0.8気圧以下に低下した時にSpO₂<85%となり、酸素投与を開始した。0.8～0.7気圧では経鼻3ℓ/分で開始し、1ℓ/分でも安静時にはSpO₂>85%であったが、会話や体動で数分間ではあるが80%程度まで低下することはあった。0.7気圧～0.65気圧では経鼻で酸素1～5ℓ/分の投与で安静時にはSpO₂はほぼ85～90%を維持できた。0.65気圧のウユニでは降機時ゆっくりとトラップを降りるような軽度の運動でもSpO₂は容易に70%程度まで低下した。0.65気圧のウユニでの移動には車いすを使用したことで安静座位では経鼻1～5ℓ/分でSpO₂は85%を保つことができた。一方機内で0.65気圧の時、トイレへの移動時に、経鼻3ℓ/分投与しながらでも、一時的に48%まで低下することがあった。マスクで酸素を7ℓ/分追加し、計10ℓ/分として、数分でSpO₂>85%に復した。この時に呼吸苦は認めなかった。気圧・SpO₂・酸素投与量の関係が視覚的に理解できるようにグラフも行った。

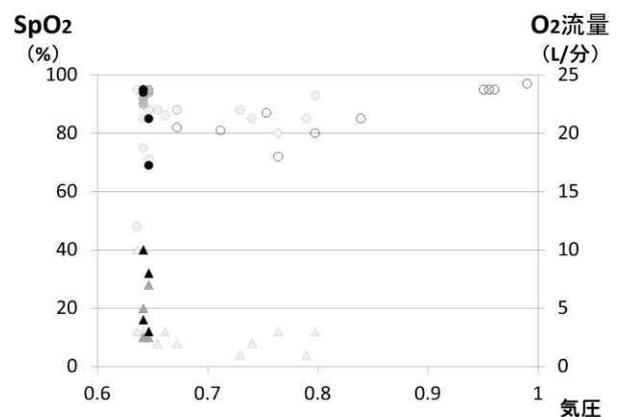


図1 大気圧とSpO₂・O₂流量

○ SpO₂: 酸素投与なし
 ● SpO₂: POC
 ● SpO₂: サンソセーバー[®]
 ● SpO₂: 連続流、マスク・経鼻
 △ O₂流量: POC
 △ O₂流量: サンソセーバー[®]
 ▲ O₂流量: 連続流、マスク・経鼻

SpO₂>85%を維持するために、
 約0.8気圧までは酸素投与の必要なし。
 約0.8～0.7気圧では、POCで3ℓ/分程度が必要。
 約0.7気圧以下では、流量が5ℓ/分を超える時サンソセーバー[®]を使用。
 一時的に低下した時にはマスクで10ℓ/分が必要なこともあった。
 SpO₂: 経皮的酸素飽和度、POC: 携帯型酸素濃縮器

V. 考察

間質性肺炎の低酸素血症の機序は間質の肥厚による拡散の障害である。肺胞から肺毛細血管中の血液への酸素の拡散は通常0.25秒で平衡に達するが、拡散障害では時間がかかる。そのため、労作時など肺血流の流速が増大する場合には拡散が不十分となり血液は十分に酸素化されることなく肺胞を離れることになる。その結果が労作時の呼吸困難という症状を生じる。そこで、ウユニは高原で上下の移動は必要なかったが肺血流の流速を増大させないため歩行せずに介助者が付き添い全て車いすを使用した。

間質性肺炎患者の高地での酸素化能に関しては、2つの報告が散見されるが、いずれも標高2438mを酸素濃度15%で疑似的に作り出した低圧性低酸素環境でのものである。一つは、平地で安静時にPaO₂が84mmHgであったとき、この条件で51mmHgに低下した。そして50m歩行で41mmHgに低下した²⁾。もう一つは、安静時に78mmHgから49mmHgに低下した。そして20Wの運動で38mmHgに低下した³⁾。実際に高地で測定された報告は見当たらない。

日本登山医学会・登山者検診ネットワーク活動報告は慢性疾患を持つ登山者に対して登山の可否を助言する活動である。2006年からの登山者検診ネットワークの約1年間の活動報告で、健診を受けた登山者は309人であった。このうち2人の間質性肺炎・肺線維症患者が中止を勧告され中止となっていた⁴⁾。

気圧が0.8気圧に低下する機内酸素の必要度の判定法としてHypoxia-altitude simulation test (HAST)⁵⁾がある。以下の①～③のいずれかを満たせば、通常の航空機内では酸素の投与の必要性はないとされている。①50メートルを呼吸困難なしで歩けること、あるいは階段を息切れせずに登れること、②ルームエアーでのPaO₂が70mmHg以上で安定していること、③酸素濃度15%でPaO₂>55mmHgであること。今回の患者は①、②を満たしていたが、標高がさらに高い今回のような場合には酸素の準備は必須であると考えられる。

SpO₂>85%を維持すること、そして酸素を温存すること、の2点を目標に準備を進めた。PaO₂ 50mmHgはSpO₂ 85%に相当する。標高2438mの疑似環境でPaO₂が50mmHgに低下しても呼吸困難を認めた者がほとんどいなかったことからSpO₂>85%を目標とした²⁾³⁾。90%としなかったのは、心機能は比較的良好であったこと、Hbが12g/dl程度であったことで、SpO₂が軽度低下しても酸素の運搬は十分だと判断したため、また酸素を温存する必要があったためである。

高地では気圧の低下のため同じ酸素流量でも平地と同じ効果は得られない。経鼻酸素投与で、0.6気圧の環境

で平地と同じ21%の酸素環境を作るには、 $0.21/0.6=35\%$ の吸気酸素濃度が必要である。1分間の呼吸が500ml×10回、吸気時間：呼気時間=1：2、しかも吸気の後半1/2はほぼ流速=0、と簡略化して仮定すると、1回の吸気時間は2秒間であるが初めの1秒間に500ml吸気することになる。したがって5ℓ分(83ml/秒)の酸素流量では、100%酸素を83ml、21%酸素を417ml吸気するので、 $(1.0 \times 83 + 0.21 \times 417)/500=34\%$ となり、0.6気圧では5ℓ/分の酸素投与でほぼ平地の環境と同じになる。平地より多くの酸素流量が必要となるため、吸気同調式のデバイスを使用し酸素の温存に努めた。また、酸素消費量を抑えるため車いすを使用した

通常は主治医の反対によって中止となる危険の伴う旅行であったが、患者が強く希望したため自己責任のもとに行われた。今回の調査は、以上の経緯から偶然可能になったものである。行われることが決定したのち、長年集中治療の臨床と高地の呼吸生理の研究に携わってきた経緯から、「間質性肺炎患者が0.65気圧で呼吸する」という前提で、酸素化能維持の可能性、そのための必要な機材、悪化させないための方策、そして、悪化した場合の緊急受け入れ先の調査・準備を行った。

VI. 結 語

間質性肺炎患者の高地への旅行に際して、SpO₂を計測しながら酸素投与を行った。3ℓ/分程度で呼吸苦もなくSpO₂>85%を維持できた。低肺機能患者の高地への旅行では、酸素を事前に準備することと、高流量が必要ときに備えてできる限り酸素を温存する必要がある。

文献・資料

- 1) 診断書の記入に際して JAL
https://www.jal.co.jp/jalpri/illness/pdf/pdf-medif_jal.pdf, 2017.9.15
- 2) Seccombe LM, Kelly PT, Wong CK, et al. : Effect of simulated commercial flight on oxygenation in patients with interstitial lung disease and chronic obstructive pulmonary disease, *Thorax*, 59(11), 966-970, 2004.
- 3) Christensen CC, Ryg MS, Refvem OK, Skjonsberg OH. : Effect of hypobaric hypoxia on blood gases in patients with restrictive lung disease, *Eur Respir J.*, 20(2), 300-305, 2002.
- 4) 日本登山医学会・登山者検診ネットワーク活動報告
<http://www.jsmed.org/pg56.html>, 2017.9.15

- 5) Dine CJ, Kreider ME.: Hypoxia altitude simulation test, Chest , 133(4), 1002-5, 2008.

Oxygen Therapy for a Patient with Interstitial Pneumonia in Hypobaric Hypoxic Environment

Takafumi Azami^{1) 2)}

1) Laboratory of Pathophysiology (Anesthesiology), Nagoya City University School of Nursing

2) Department of Anesthesiology and Intensive Care Medicine, Nagoya City University Graduate School of Medical Sciences²⁾

Abstract

Patients with low pulmonary function are restricted from traveling to high altitude. There are few reports on the oxygenation of patients with low pulmonary function at high altitude, and almost no cases of interstitial pneumonia. We report on degree of hypoxia and required dose of oxygen for a patient with interstitial pneumonia at high altitude

Patient and method:

For a 67-year-old man with interstitial pneumonia, SpO₂ was measured and oxygen administered between sea level and high altitude (about 0.65 atm).

Result:

At rest, SpO₂ was almost 85% up to 0.8 atm, SpO₂ > 85% with 1 to 3 L / min of nasal oxygen at 0.8 to 0.7 atm, SpO₂ > 85% with 1 to 5 L / min at 0.7 to 0.65 atm. However, at 0.65 atm after walking for a while, even with 3 L / min, SpO₂ temporarily decreased to 48%. Immediately after increasing to 10 L / min, SpO₂ returned to 85%.

Discussion and conclusions:

SpO₂ > 85% could be maintained with 3 L / min of oxygen without dyspnea. In traveling to high altitude of the patients with low pulmonary function, it is necessary to prepare oxygen in advance and to preserve it as much as possible when high flow rate is required

Key Words: interstitial pneumonia, high altitude, oxygen therapy