

Fischer, Rainald

Höhenaufenthalt bei Lungenkrankheiten

High altitude and pulmonary diseases

Pneumologie, Medizinische Klinik - Innenstadt, LMU München

Zusammenfassung

Für den Höhenaufenthalt von Patienten mit Lungenerkrankungen stellt die Veränderung des Sauerstoffpartialdruckes in der Außenluft den entscheidenden limitierenden Parameter dar. In einer Höhe von 5500m beträgt der Sauerstoffpartialdruck noch die Hälfte des Wertes in Meereshöhe. Während körperlicher Belastung führt mit zunehmender Höhe eine Reduktion der Diffusionskapazität zu einer zusätzlichen Verstärkung der Hypoxämie. Bei Flugreisen muss mit einer simulierten Höhenbelastung von max. 2400 m gerechnet werden. Dies kann bei pulmonal eingeschränkten Patienten zur Notwendigkeit der Sauerstoffgabe während des Fluges führen. Um die zu erwartende Hypoxämie besser abschätzen zu können, sollten vor Abflug Lungenfunktionsuntersuchungen erfolgen. Bei grenzwertigen Patienten kann durch einen Hypoxie-Test (den Hypoxia-Inhalation-Test) die Höhenexposition simuliert werden. Ab einem zu erwartenden PaO_2 von 50 mmHg und kleiner wird die kontinuierliche Gabe von Sauerstoff empfohlen, jedoch kann bei jungen, adaptierten Patienten (z. B. mit Mukoviszidose) unter Umständen darauf verzichtet werden. Zur Vermeidung eines Pneumothorax durch die rasche Dekompression beim Fliegen sollte gerade bei Patienten mit Emphysem oder Mukoviszidose auf das Vorhandensein von trapped-air geachtet werden. Vor Antreten einer Reise sollten sich die Patienten in einer klinisch stabilen Phase befinden, über mögliche Notfallmaßnahmen informiert sein und ggf. ein Selbst-Monitoring mittels Peak-Flow-Meter durchführen.

Schlüsselwörter: Höhenexposition, Lungenerkrankungen, Lungenfunktionstests, Sauerstoffgabe, Flugmedizin

Einleitung

Die Beratung von Patienten mit pulmonalen Erkrankungen vor einer Flug- oder Trekkingreise ist nicht immer einfach, da es kaum Richtlinien gibt, die dem behandelnden Arzt die Einschätzung des Risikos für den einzelnen Patienten ermöglichen (1). So entsprechen z. B. die Umgebungsbedingungen, die in einem Passagierflugzeug auf Reiseflughöhe herrschen, dem Aufenthalt in einer Höhe von etwa 1800 m - 2400 m. Dabei wird, genauso wie beim Aufstieg in große und größte Höhen während einer Trekkingreise oder einer Expedition, das pulmonale System stark beansprucht. Welche Belastungen das sind, wie die zu erwartenden Veränderungen bei lungenkranken Patienten abgeschätzt werden können und worauf bei verschiedenen Krankheiten zu achten ist, soll in den nächsten Abschnitten dargestellt werden.

Summary

The capability of patients with pulmonary disease to travel at high altitudes is mainly determined by the oxygen partial pressure in the inhaled air. At an altitude of 5500m, oxygen pressure is approximately halved compared to sea level values. During exercise at high altitude, reduction of diffusion capacity increasingly limits arterial oxygenation. During air travel patients may be exposed to an altitude not exceeding 2400m. Some patients with pulmonary disease may require oxygen supplementation. To determine the degree of hypoxaemia which can be expected in an individual, lung function testing should be carried out (blood gas analysis with and without exercise, flow-volume loop, body plethysmography, diffusing capacity). Exposure to high altitude may be simulated by the high altitude simulation test (inhalation of air with reduced oxygen concentration) in patients with severe impairment of lung function. Continuous oxygen supplementation is recommended for PaO_2 values below 50 mmHg. In some young, well-adapted patients (e.g. patients with cystic fibrosis) this may not be necessary. Another problem may be trapped air in patients with emphysema or cystic fibrosis, which may lead to decompression pneumothorax. Patients with pulmonary disease should be in a stable clinical condition, they should be informed about possible complications and emergency treatment and self-monitoring (e.g. via peak flow) may be useful.

Key words: high altitude, pulmonary diseases, lung function testing, oxygen supplementation

Veränderungen des Sauerstoffpartialdrucks mit zunehmender Höhe

Bis in Höhen von ca. 100 km ist die Gaszusammensetzung der Atmosphäre (78% Stickstoff, 21% Sauerstoff, 0,9% Argon, ca. 0,1% Edelgase) gleich. Mit zunehmender Höhe halbiert sich der Barometerdruck etwa alle 5500 m. Da sich die Gase in der Höhe umgekehrt proportional zum Druck ausdehnen (Boyle-Mariotte'sches Gesetz), gilt dieser Druckverlust in gleichem Maße für Sauerstoff.

In Tabelle 1 sind Richtwerte angegeben, die über die Änderung des Sauerstoffpartialdruckes von der Außenluft bis in das arterialisierete Blut in unterschiedlichen Höhen bekannt sind. Leider existieren in Höhen über 5000 m nur wenige Messungen, die eine zuverlässige Abschätzung erlauben. Der arterielle Sauerstoffpartialdruck wird zwar maßgeblich

Tabelle 1: Sauerstoffpartialdrücke in Außenluft, Alveole und Blut in Abhängigkeit von der Höhe

Höhe	0 m	2000 m	4000 m	6000 m	8848 m
Luftdruck (mmHg)	760	596	462	354	251
PiO ₂ (Außenluft, 0% Wasserdampfsättigung, entsprechend 20,9% des aktuellen Luftdruckes)	160	125	97	74	53
Verlust durch Wasserdampfdruck (0,209 x 47 mmHg)	- 10	- 10	- 10	- 10	- 10
Verlust durch alveolären CO ₂ -Partialdruck (abhängig vom Ausmaß der Ventilation, mmHg)	- 40	- 39	-30	- 19	- 10
Effektiver alveolärer PAO ₂ (mmHg)	110	75	57	45	33
Verlust durch Diffusion / Shunt (AaDO ₂ , mmHg)	-15	- 11	- 7	- 5	- 3
Arterieller PaO ₂ (mmHg)	95	63	50	40	30
Gesamtverlust von PIO ₂ zur PaO ₂ (mmHg)	- 65	- 60	- 47	- 34	- 23

Werte gemittelt aus (18,24,25,27,30)

durch den Sauerstoffpartialdruck der Umgebungsluft bestimmt. Die Abnahme des Sauerstoffpartialdruckes bis hin zum arteriellen Sauerstoffpartialdruck (sog. Sauerstoffkaskade) wird jedoch noch von anderen Faktoren bestimmt, die bei abnehmendem PO₂ immer bedeutsamer werden. Diese sind je nach Situation (in Ruhe oder unter Belastung) unterschiedlich wichtig. In Ruhe sind es folgende Faktoren, die die Sauerstoffaufnahme zusätzlich beeinflussen:

• **Sättigung der Luft mit Wasserdampf**

Auf dem Weg in die Lunge wird die Außenluft auf 37° C angewärmt und zu 100% mit Wasserdampf gesättigt. Dadurch verringert sich der inspiratorische PO₂ um knapp 10 mmHg: Wasserdampfdruck (47 mmHg) · 0,21 = 9,87 mmHg. In Seehöhe (760 mmHg) entspricht dies einer Verminderung des alveolären Partialdrucks um etwa 6%, auf Höhe des Mount Everest (251 mmHg) um etwa 19%.

• **Alveolärer Kohlendioxidpartialdruck**

Wenn die Ventilation unendlich groß wäre und über die Alveolen kein Sauerstoff aufgenommen und kein Kohlendioxid abgegeben würde, wäre der inspiratorische PiO₂ gleich dem alveolären PAO₂. Die Abnahme um etwa 50 mmHg (PiO₂ zu PAO₂) auf Seehöhe entsteht zum einen durch den Sauerstoffverbrauch (in Ruhe 0,3 l/min), und zum anderen durch die CO₂-Abgabe (0,25 l/min). Bei Normoventilation entspricht dies einem PACO₂ von etwa 40 mmHg. Durch Hyperventilation gelingt es dem Organismus, trotz erniedrigtem Gesamtatmosphärendruck den alveolären Sauerstoffpartialdruck so weit wie möglich anzuheben. Der Grad der Hyperventilation ist abhängig vom Ausmaß der Akklimatisation (s. *Mairbäurl* S. 390-395). Die in Tabelle 1 angegebenen Werte des PACO₂ beziehen sich auf Probanden mit einem mittleren Akklimatisationsgrad (14). Je länger die Akklimatisation dauert, desto besser sind die Probanden in der Lage, auch in Höhen über 8000 m eine ausreichend starke Hyperventilation aufrechtzuerhalten.

Ohne Hyperventilation wäre die Besteigung des Mt. Everest nicht möglich, wie die folgende Beispielrechnung zeigt: Auf der Höhe des Mt. Everest herrscht ein Gesamtatmosphärendruck von 251 mmHg, der PiO₂ beträgt ca. 53 mmHg

(21%). Abzüglich des Wasserdampfdrucks von 47 mmHg und eines alveolären PACO₂ von 40 mmHg (ohne Akklimatisation) würde daher der alveoläre pAO₂ nur noch 3,5 mmHg betragen [(253 - 47) · 0,21 - 40 = 3,5]. Durch massive Hyperventilation (PACO₂ von 10 mmHg) gelingt es dem akklimatisierten Bergsteiger, einen gerade noch ausreichenden alveolären Sauerstoffpartialdruck von ca. 33 mmHg herzustellen (18, 26). [(253-47) · 0,21 - 10 = 33]

• **Alveolo-arterielle Sauerstoffdifferenz (AaDO₂)**

Der Partialdruckverlust an der alveolo-kapillären Membran beträgt theoretisch weniger als 1 mmHg, aufgrund von Ventilations / Perfusions - Ungleichgewichten (V/Q -Ratio = Shunts) beträgt er auf Seehöhe etwa 10 -15 mmHg. In zunehmender Höhe vermindert der pulmonale Hochdruck die schwerkraftbedingte unterschiedliche Blutverteilung in verschiedenen Lungenabschnitten und verbessert damit das V/Q-Verhältnis. Auch die zunehmende Hyperventilation reduziert das Shuntvolumen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass mit zunehmender Höhe Hyperventilation und Optimierung des Ventilations-Perfusionsverhältnisses (gleich Abnahme des alveolo-arteriellen Diffusionsgradienten für Sauerstoff, AaDO₂) zur Aufrechterhaltung eines möglichst hohen PAO₂ wichtiger werden (siehe Tab. 1). Unter Belastung trägt zusätzlich zu den oben genannten Faktoren die Diffusionslimitation zur Einschränkung der Sauerstoffaufnahme bei.

Bereits auf Seehöhe kommt es bei Hochtrainierten an der Belastungsgrenze (VO₂max) zu einer signifikanten Einschränkung der Diffusionskapazität durch das extrem erhöhte Herz-Zeit-Volumen (20). Wegen des reduzierten PAO wird diese Diffusionslimitation mit zunehmender Höhe bereits bei geringerer Belastung relevant. Durch das erhöhte Herzminutenvolumen und den niedrigen PAO₂ ist eine vollständige Beladung der Erythrozyten mit Sauerstoff nicht mehr möglich. In dieser Situation stellt die Diffusionskapazität der Lunge den limitierenden Faktor der maximal möglichen Sauerstoffaufnahme dar. Eine Verbesserung der Diffusionskapazität lässt sich durch Akklimatisation nicht erreichen (28). Ferner vergrößert sich mit zunehmender Höhe unter Belastung der AaDO₂-Gradient wieder (vermindertes Angebot - gleichbleibender Verbrauch im Vergleich zu Seehöhe) (29).

Die beschriebenen Faktoren gelten für Patienten mit Lungenerkrankungen genauso, hinzu kommt jedoch bei vielen die Atemarbeit, die mit vermehrter Hyperventilation ein Problem darstellen kann.

Die Veränderungen im pulmonalen Systems und deren Konsequenzen für Patienten mit Lungenkrankheiten in der Höhe sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Reaktion von pulmonal erkrankten Probanden auf die hypobare Hypoxie

Parameter	Hypoxämischer Patient
Atemfrequenz, Tidalvolumen Atemzugvolumen	Hyper- oder Hypoventilation je nach Empfindlichkeit der Chemo-rezeptoren
Atemarbeit	Hyperventilation mit erhöhter Atemarbeit und Verschiebung der Atemmittellage nach oben
Pulmonal-arterieller Druck	zusätzlich erhöhter pulmonal-arterieller Druck
Nächtliche Sättigung	Zunahme der nächtlichen Hypoxämien
V/Q-Shunts	Zunahme der Verteilungsstörung

Abschätzung der Risiken für pulmonal erkrankte Patienten bei Hypoxie-Exposition

Hypoxie bei Flugreisen

Verkehrsflugzeuge fliegen, um Treibstoff zu sparen, in einer Höhe von etwa 9 bis 11 km, oberhalb des Wettergeschehens. Obwohl Kompressoren während des Fluges Außenluft ansaugen und in die Kabine drücken, ist der resultierende Kabinendruck während des Fluges stets niedriger als in Meereshöhe und entspricht beispielsweise in etwa 10 km Höhe einer Meereshöhe von etwa 1800 m bis 2300 m. Laut IATA-Richtlinien muss der Kabinendruck unter einer simulierten Höhe von 2438 m (entsprechend 8000 ft) liegen. *Cottrell et al.* konnten zeigen, dass zwar der mittlere Druck bei insgesamt 204 untersuchten Flügen 1894 m (= PiO_2 von 127 mmHg) entsprach, aber der höchste gemessene Wert mit 2717 m (= PiO_2 von 113 mmHg) doch 300 m über der erlaubten Grenze lag (8).

Bei gesunden Patienten hat das keine klinische Bedeutung, da bei einem Abfall des arteriellen Sauerstoffpartialdrucks von etwa 90 mmHg auf 60 – 70 mmHg die Sauerstoffsättigung nur um etwa 5 % sinkt. Besteht jedoch bereits vor Reiseantritt eine respiratorische Insuffizienz, können der Sauerstoffpartialdruck und die Sauerstoffsättigung gefährlich absinken, da auch eine Steigerung der Ventilation durch eingeschränktes Ansprechen der Sauerstoffrezeptoren und durch eine pathologische Atemmechanik bei diesen Patienten vielfach nicht möglich ist. Um bei Patienten mit hypoxischen Lungen- und Atemwegserkrankungen oder kardialen Erkrankungen den Abfall des Sauerstoffpartialdrucks unter Flugbedingungen vorherzusagen und den gegebenenfalls zusätzlichen Sauerstoffbedarf zu ermitteln, sollte zuvor im Lungenfunktionslabor eine Blutgasanalyse unter normobaren Hypoxiebedingungen erfolgen (s. u.).

Für die Flugtauglichkeit gibt es bisher nur Richtlinien für schwere pulmonale Erkrankungen (manifestes Cor pulmonale, ausgeprägte Restriktion, manifeste Zyanose) (1). Diese Richtlinien schlagen jedoch relativ undifferenziert die Mitnahme und Gabe von Sauerstoff bei allen pulmonalen Erkrankungen wie Mukoviszidose, COPD, Emphysem vor. Jede Flugesellschaft für sich wiederum hat eigene Richtlinien.

Die Forderungen der Lufthansa sind in Tabelle 3 aufgeführt. Entspricht der Patient diesen Kriterien nicht, muss während des Fluges Sauerstoff gegeben werden (22). Obwohl diese engen Grenzen von vielen Patienten nicht erreicht werden, konnte kürzlich gezeigt werden, dass bei Patienten mit ausgeprägter Obstruktion (FEV1 im Mittel von 0,98 l) aber noch guter Oxygenierung (im Mittel über 70 mmHg) über 53 % der untersuchten Probanden auf einer Höhe von 2438 m bereits einen PaO_2 von unter 55 mmHg aufwiesen (6). Die Richtlinien der American Thoracic Society schlagen die Sauerstoffgabe bei den Patienten vor, bei denen nach Durchführung einer der unten genannten Untersuchungen (Hypoxia Inhalation Test, PO_2 -Regressionsformel) ein PaO_2 in einer Höhe von 2438 m von unter 55 mmHg erwartet werden kann. Zugleich wird aber auch festgestellt, dass es fraglich erscheint, ob für manche Patienten während der meist kurzen Flugzeit wirklich eine Sauerstoffgabe notwendig ist oder ob dies nicht nur eine Absicherung für die Fluggesellschaften darstellt (2). Diese Einschätzung wird auch von der Studie von *Christensen et al.* bestätigt, in der die untersuchten Probanden trotz eines PaO_2 von unter 40 mmHg beschwerdefrei blieben (6).

Tabelle 3: Mindestanforderungen an die Flugtauglichkeit bei Patienten mit pulmonalen Erkrankungen

	Mindestanforderungen
Vitalkapazität	3 l
FEV1	> 70 % vom Soll
SaO ₂	> 85 %
PaO ₂	> 70 mmHg
Flugreisetauglichkeit besteht nicht,	<ul style="list-style-type: none"> - wenn während des Fluges O₂-Gabe von mehr als 4l/min notwendig ist - bei Hypercapnie unter O₂-Gabe - Infektexacerbation einer COPD - Z. n. Pneumothorax innerhalb von 6 Wochen nach Ereignis - Asthma bronchiale innerhalb 48 h nach letztem Anfall

Kriterien der Lufthansa (nach (22)) für Messungen im Tiefland

Hypoxie bei Fern- und Urlaubsreisen

Viele Urlaubsgebiete liegen in einer Höhe über Meer, die bereits ein relevantes Hypoxierisiko bieten. So sind die Skigebiete in den Alpen oder in den USA z. T. bereits mit ihrem Talort in Höhen über 2000 m. Auch Fernreiseziele wie La Paz, Lhasa, aber auch Leadville in Colorado liegen in Höhen über 3000 m. Dass diese Höhenexposition bei chronisch hypoxämischen Patienten zu einer erhöhten Mortalität führt, konnte anhand der US-amerikanischen Mortalitätsstatistik belegt werden (7). Es ist anzunehmen, dass auch nur Tage dauernde Aufenthalte ein erhöhtes Risiko bergen. Daher muss der beratende Arzt auch Kenntnis der in den Frage kommenden Reisegebiete haben (auch über mögliche medizinische Versorgung).

Zur Beurteilung der Höhentauglichkeit müssen vor der Evaluation des einzelnen Patienten folgende Fragen geklärt werden:

- Welches Urlaubs- / Fernreiseziel / welcher Ort in der Höhe soll angestrebt werden ?
- Welche maximale Höhe wird erreicht ?
- Welche maximale Belastung ist zu erwarten ?
- Welche Möglichkeiten für Therapie oder für einen Notabstieg bestehen vor Ort ?

Untersuchungsverfahren zur Evaluation der Höhentauglichkeit

Neben der Anamnese und klinischen Untersuchung sollten die üblichen Lungenfunktionsprüfungen durchgeführt werden. Bei den Blutgasuntersuchungen in Ruhe sollte stets der Standardsauerstoffpartialdruck mitberechnet werden. Blutgasanalysen unter deutlich submaximaler Belastung (40 - 80 Watt, je nach Alter, Dauer 5 min) erlauben bei einem deutlichem Abfall des PaO_2 (> 7 mmHg) eine erste Aussage über eine eindeutige cardiopulmonale Einschränkung.

Um einen Anhalt zu haben, welchen PaO_2 Patienten mit COPD in der Höhe voraussichtlich haben werden, wurde versucht, mittels Regressionsanalysen über die Parameter PaO_2 in Seehöhe und FEV1 den PaO_2 in einer gegebenen Höhe vorauszusagen:

$$\text{PaO}_2 (\text{Höhe}) = 0,19 \cdot \text{FEV}_1 \cdot \text{PaO}_2 (\text{Seehöhe}) - 11,15 \cdot \text{Ln Höhen- differenz (m)} + 123,17.$$

Etwas vereinfacht kann man auch folgende Berechnung verwenden:

$$\text{PaO}_2 (\text{Höhe}) = 22,8 - 0,009 \cdot \text{Höhe (m)} + 0,68 \text{ PaO}_2 (\text{Seehöhe})$$

Eine Messung der Diffusionskapazität sollte immer durchgeführt werden, da wie oben beschrieben eine Diffusionslimitation rasch zu einer deutlichen Hypoxämie führen kann. Wahrscheinlich muss bei Patienten mit deutlichen Diffusionsseinschränkungen generell von Hypoxieexposition ohne zusätzliche Sauerstoffzufuhr abgesehen werden.

Folgenden Spezialuntersuchungen bei bestimmten Fragestellungen (z. B. junge Mukoviszidose - Patienten) erscheinen sinnvoll:

- **High Altitude Simulation Test (13):** Hier wird ein Gasgemisch mit erniedrigter Sauerstoffkonzentration (z. B. 15% entspricht ca. 2500 m) zugeführt, um nach Erreichen eines steady state (nach ca. 15 Minuten) sowohl die arteriellen Blutgase als auch die Ruheventilation zu messen. Zum weiteren Informationsgewinn kann dies unter erhöhtem apparativen Aufwand auch mit einer Belastungsuntersuchung kombiniert werden. Bei Patienten mit Mukoviszidose konnte mit diesem Verfahren die Hypoxie während einer Flugreise gut simuliert werden. Dies erleichtert auch die Frage, ob das Mitführen von Sauerstoff notwendig ist.
- **Nächtliche Pulsoxymetrie / Capnographie / Polysomnographie:** Sinnvoll bei Patienten mit COPD und Globalinsuffizienz zur Erkennung von nächtlichen Enttächtigungen, Hypoventilation oder zunehmender bronchialer Obstruktion. Bei Patienten mit Herzinsuffizienz deutet das Vorliegen

einer Cheyne-Stokes-Atmung trotz unauffälliger Echokardiographie auf eine verlängerte Kreislaufzeit hin.

Durch die oben genannten Untersuchungen lässt sich für jeden einzelnen Patienten abschätzen, welchem Ausmaß der hypobaren Hypoxie er ausgesetzt werden kann. Ein nach den o. g. Untersuchungen zu erwartender PaO_2 von 50 - 55 mm-Hg stellt eine in der Regel sinnvolle Grenze dar, auch wenn sie in einzelnen Fällen (z. B. herzgesunde Patienten mit Mukoviszidose, Flugdauer unter 10 h) möglicherweise auch unterschritten werden kann. Für Patienten mit zusätzlichen Problemen, z. B. einer koronaren Herzerkrankung sollte ggf. eine höhere Grenze gewählt werden (2,21).

Wenn entschieden wurde, ob ein Patient für die von ihm ausgewählte Unternehmung / Flugreise in Frage kommt, d. h. diese Fahrt ohne wahrscheinlichen Schaden für seine Gesundheit durchführen kann, sollten nach Ausschluss weiterer Erkrankungen folgende Punkte sichergestellt werden:

- In allen Fällen sollte versucht werden, dass sich der Patient vor Abreise in einem stabilen Zustand befindet und eine Optimierung der medikamentösen Therapie erfolgt ist
- Aufklärung des Patienten über die Notwendigkeit der richtigen Akklimatisation, die Symptome der akuten Höhenkrankheit und deren Komplikationen, deren Therapie und Verordnung der entsprechenden Medikamente
- Besprechen von möglichen Notfallmaßnahmen (Abstieg, Helikopterrettung, Medikamente)
- Mitführen von Sauerstoff je nach Ergebnis der Voruntersuchungen (Sauerstoffmitnahme bei verschiedenen Fluggesellschaften z. T. sehr unterschiedlich geregelt) (23)

Bemerkungen zu einzelnen Krankheitsbildern

Chronische Bronchitis ohne Obstruktion

Hier besteht für Flugreisen oder für Höhenaufenthalte trotz der sehr trockenen Luft in den Flugzeugen in aller Regel a priori keine Einschränkung. Über eine spezifische Therapie liegen keine Untersuchungen vor, bei einzelnen Patienten sollte geprüft werden, ob sie von Mukolytika profitieren.

Asthma bronchiale

Flugreisen stellen für Patienten mit Asthma bronchiale im stabilen Zustand keine wesentlich erhöhte Gefährdung dar, aufgrund der sehr trockenen Luft im Flugzeug sollte ausreichend Flüssigkeit eingenommen werden. Die Anwendung eines langwirksamen β_2 -Mimetikums dürfte sinnvoll sein.

Bei Höhenaufhalten bessert sich das allergische Asthma aufgrund der Verminderung der Allergenexposition sowie der adrenergen Stimulation in der Regel, jedoch kann es initial zu einer Verstärkung der bronchialen Hyperreagibilität durch die Hypoxie und ggf. Kälte kommen (3,5) Bei milden Asthmatikern (normales FEV1, keine Dauermedikation) konnte gezeigt werden, dass sich die bronchiale Hyperreagibilität im Verlauf der Akklimatisation vermindert und keine

vermehrten Asthmaanfalle auftraten (4). Bemerkenswerterweise liegt das höchstgelegene Asthmasanatorium der Welt in Tadschikistan in immerhin 3500 m (15).

Sinnvoll ist das regelmäßige Monitoring der bronchialen Obstruktion mittels Peak-Flow-Meter, um ggf. frühzeitig eine medikamentöse Therapie von Asthmanfällen zu gewährleisten. Es muss aber auf die Erhöhung des PEF-Wertes durch die verminderte Luftdichte in der Höhe hingewiesen werden. Es sollte darauf geachtet werden, nur Peak-Flow-Meter auf turbinometrischer Basis zu verwenden, da die anderen Geräte nicht linear auf die verminderte Luftdichte reagieren (19). Der Asthmatiker muss im Umgang mit Notfallmedikamenten (Steroiden, β 2-Mimetika) geschult werden.

Chronisch obstruktive Atemwegserkrankung ohne / mit Emphysem

Wie bei der chronischen Bronchitis und dem Asthma ist eine optimale medikamentöse Therapie entscheidend, ein stabiler Zustand vor Abreise sollte bestehen. Der Patient muss im Umgang mit Notfallmedikamenten geschult werden. Eine frühzeitige antibiotische Therapie bei bronchialen Infekten sollte angeraten werden.

Diese Patienten werden in aller Regel keine Fern- oder Trekkingreise planen, aber bereits die Hypoxie im Flugzeug kann, wie oben dargestellt, ein Problem werden.

Für schwere Exacerbationen bzw. bei schwerer stärker eingeschränkten Patienten mit COPD kann daher die Mitnahme von Sauerstoff lebensrettend sein und sollte mit dem Patienten besprochen werden. Hierzu muss bei der Fluggesellschaft in der Regel mind. 48 h vor Abflug die Notwendigkeit einer Sauerstoffgabe angemeldet werden. Da viele Fluggesellschaft die Gabe von Sauerstoff sehr unterschiedlich handhaben, sollte dies im Detail vorher abgeklärt werden.

Bei längeren, geplanten Höhengaufenthalten stellt die Mitnahme eigener Sauerstoffflaschen ein Problem dar, da sie nicht den IATA-Richtlinien entsprechen und daher nicht im Flugzeug mitgeführt werden dürfen. Eine Ausnahme besteht für das Wenoll-System (Fa. EMS, Erlangen), das preislich mit ca. 1200 DM eine 2l Sauerstoffflasche und ein geschlossenes Kreislaufsystem für die Gabe von 100% Sauerstoff bei einem Sauerstoffverbrauch von 1 0,8 l/min bietet. Dieses System ist insbesondere dann interessant, wenn im Zielland keine Sauerstoffflaschen (Asien, Südamerika) problemlos verfügbar sind. Ansonsten ist es in den westlichen Ländern meist ohne weiteres möglich, über den Fachhandel eine Sauerstoffflasche leihweise für die Dauer des Aufenthaltes zu beziehen. Dies wird in der Regel auch von den Krankenkassen bezahlt. Bei Patienten mit Emphysem sollte unbedingt auf das Vorhandensein von „trapped air“ geachtet werden, da es in seltenen Fällen durch die Ausdehnung der Luft bei rascher Dekompression (Start des Flugzeugs, Ausdehnung der Luft um das 1,2 fache in 2000 m, um das 1,5 fache bei 3000 m) zu Pneumothoraces kommen kann (11). Dies gilt auch für Patienten mit angeborenen Lungenzysten, aber auch für Patienten mit Mukoviszidose.

Interstitielle Lungenerkrankungen

Für Patienten mit Sarkoidose und anderen interstitiellen Lungenerkrankungen besteht bei fehlender Diffusionseinschränkung und normalem PaO_2 keine wesentliche Limitierung, bei Bestehen von Diffusionseinschränkungen kann ein Aufstieg in Höhen über ca. 2500 m nicht empfohlen werden, da trotz optimaler Ventilation eine Verbesserung der arteriellen Oxygenierung nicht erreicht werden kann. Bei starker Diffusionseinschränkung kann auch eine Flugreise problematisch und ggf. nur durch Mitführen von Sauerstoff möglich werden.

Mukoviszidose

Für Patienten mit Mukoviszidose wurde der Hypoxia Inhalation Test vorgeschlagen, um eine Vorhersage der Entsättigung zu ermöglichen. Bei den untersuchten Patienten kam es im Rahmen von Interkontinentalflügen zu SaO_2 -Werten von 91%, in einer Höhe von 1800 m betrug der SaO_2 89%. In dieser Arbeit wurde empfohlen, ab einer möglichen Sättigung von 83% Sauerstoff mitzuführen (17). Diese Daten lassen sich aber nicht auf das Bergsteigen übertragen, da hier körperliche Aktivität hinzukommt. Den Mukoviszidose-Patienten ist auch mit milden Verlaufsformen von Bergtouren über 3000 m aufgrund des rasch ansteigenden pulmonalen Hochdrucks wahrscheinlich abzuraten, unabhängig von den zu erwartenden Entsättigungen. In einer anderen Studie wurde versucht, die Hypoxie während des Fluges durch eine mehrstündige Exposition in der Unterdruckkammer vorherzusagen. Aufgrund der dort gewonnenen Werte und dem subjektiven Befinden der Patienten konnte trotz niedriger PaO_2 -Werte auf eine Sauerstoffgabe während des Fluges verzichtet werden. In dieser Arbeit wurde gefolgert, dass bei chronisch hypoxischen Patienten, die an niedrige Sauerstoffwerte gewöhnt sind, auch ein Abfall des PaO_2 auf 40 mmHg über Stunden ohne Sauerstoffgabe toleriert werden kann (10). Jedoch muss deutlich gemacht werden, dass kontrollierte, prospektive Studien zu dieser Thematik fehlen.

Primäre / sekundäre pulmonale Hypertonie

Allgemein wird hier vom Aufsuchen auch von mittleren Höhen aufgrund der überschießenden pulmonalen Hypertonie und der Gefahr der akuten Rechtsherzdekompensation abgeraten, für Flugreisen erscheint die Gabe von Sauerstoff während des Fluges sinnvoll.

Obstruktive Schlafapnoe (OSAS)

Patienten mit dem Verdacht auf eine OSAS sollten unbedingt vor dem Höhengaufenthalt entsprechend abgeklärt werden, da eine deutliche Verschlechterung der nächtlichen basalen Sauerstoffsättigung in der Höhe zu erwarten ist. Therapeutisch sollte am günstigsten natürlich das eigene nCPAP-Gerät mitgeführt werden, jedoch ist dies je nach Reiseland / Trekkingtour ggf. aufgrund fehlenden Stromanschlusses nicht möglich. Alternativ ist die Gabe von Theophyllin in einer relativ hohen Dosierung (ca. 10 mg/ kg KG) in gut retardierter Form abends möglich, die Wirkung dieser Medikation lässt jedoch nach ca. vier Wochen nach und wird mit ei-

ner zumindest initial verschlechterten Schlafqualität erkauff (12,16). Flugreisen stellen für diese Patienten keine Probleme dar.

Literatur

- (1) Medical aspects of transportation aboard commercial aircraft. AMA commission on emergency medical services. *Jama* 247(1982) 1007-1011.
- (2) Standards for the diagnosis and care of patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med* 152 (1995) S77-S120.
- (3) *Ahmed T, Marchette B*: Hypoxia enhances nonspecific bronchial reactivity. *Am Rev Respir Dis* 132(1985) 839-844.
- (4) *Allegra L, Cogo A, Legnani D, Diano PL, Fasano V, Negretto GG*: High altitude exposure reduces bronchial responsiveness to hypo-osmolar aerosol in lowland asthmatics. *Eur Respir J* 8 (1995) 1842-1846.
- (5) *Barry PW, Mason NP, Riordan M, C OC*: Cough frequency and cough-receptor sensitivity are increased in man at altitude. *Clin Sci Colch* 93 (1997) 181-186.
- (6) *Christensen CC, Ryg M, Refvem OK, Sklonsberg OH*: Development of severe hypoxaemia in chronic obstructive pulmonary disease patients at 2,438 (8,000 ft) altitude. *Eur Respir J* 15 (2000) 635-639.
- (7) *Cote TR, Stroup DF, Dwyer DM, Horan JM, Peterson DE*: Chronic obstructive pulmonary disease mortality. A role for altitude. *Chest* 103 (1993) 1194-1197.
- (8) *Cotrell JJ*: Altitude exposures during aircraft flight. Flying higher. *Chest* 93 (1988) 81-84.
- (9) *Dillard TA, Moores LK, Bilello KL, Phillips YY*: The preflight evaluation - a comparison of the hypoxia inhalation test with hypobaric exposure. *Chest* 107 (1995) 352-357.
- (10) *Fleck B, Kamin WES, Thews O, Rose MS*: Hypoxämie während Flugreisen von Patienten mit Mukoviszidose. *Flug- und Reisemedizin, Abstract-Heft* 6 (1999) 3-3
- (11) *Flux M, Dille JR*: Inflight spontaneous pneumothorax: a case report. *Aerosp Med* 40 (1969) 660-662.
- (12) *Hein H, Kirsten D, Jugert C, Magnussen H*: [Theophylline in therapy of obstructive sleep apnea?]. *Pneumologie* 47 (1993) Suppl 4, 750-753.
- (13) *Krieger BP, de la Hoz RE*: Altitude-related pulmonary disorders. *Crit Care Clin* 15 (1999) 265-80.
- (14) *Malconian MK, Rock PB, Reeves JT, Cymerman A, Houston CS*: Operation Everest II: gas tensions in expired air and arterial blood at extreme altitude. *Aviat Space Environ Med* 64 (1993) 37-42.
- (15) *Mirrahimov M, Brimkulov N, Cieslicki J, Tobiasz M, Kudaiberdiev Z, Mol-dotashev I et al.*: Effects of acetazolamide on overnight oxygenation and acute mountain sickness in patients with asthma. *Eur Respir J* 6 (1993) 536-540.
- (16) *Mulloy E, McNicholas WT*: Theophylline in obstructive sleep apnea. A double-blind evaluation. *Chest* 101 (1992) 753-757.
- (17) *Oades PJ, Buchdahl RM, Bush A*: Prediction of hypoxaemia at high altitude in children with cystic fibrosis [see comments]. *Brmj* 308 (1994):15-18.
- (18) *Peacock AJ, Jones PL*: Gas exchange at extreme altitude: results from the British 40th Anniversary Everest Expedition [see comments]. *Eur Respir J* 10 (1997) 1439-1444.
- (19) *Pedersen OF, Miller MR, Sigsgaard T, Tidley M, Harding RM*: Portable peak flow meters: physical characteristics, influence of temperature, altitude, and humidity. *Eur Respir J* 7 (1994) 991-997.
- (20) *Powers SK, Martin D, Dodd S*: Exercise-induced hypoxaemia in elite endurance athletes. Incidence, causes and impact on VO_2 max. *Sports Med* 16 (1993) 14-22.
- (21) *Siafakas NM, Vermeire P, Pride NB*: Optimal assessment and management of chronic obstructive pulmonary disease (COPD). *Eur Respir J* 8 (1995) 1398-1420.
- (22) *Siedenburg J*: Flugreisetauglichkeit. *Flug- und Reisemedizin* 6 (1999) 4-6.
- (23) *Stoller JK, Hoisington E, Auger G*: A comparative analysis of arranging in-flight oxygen aboard commercial air carriers. *Chest* 115 (1999) 991-995.
- (24) *Sutton JR, Reeves JT, Wagner PD, Groves BM, Cymerman A, Malconian MK et al*: Operation Everest II: oxygen transport during exercise at extreme simulated altitude. *J Appl Physiol* 64 (1988) 1309-1321.
- (25) *Wagner PD, Sutton JR, Reeves JT, Cymerman A, Groves BM, Malconian MK*: Operation Everest II: pulmonary gas exchange during a simulated ascent of Mt. Everest. *J Appl Physiol* 63 (1987) 2348-2359.
- (26) *West JB*: *Respiration physiology - the essentials*. 2 ed. Baltimore: Williams and Williams, 1979.
- (27) *West JB*: Climbing Mt. Everest without oxygen: an analysis of maximal exercise during extreme hypoxia. *Respir Physiol* 52 (1983) 265-279.
- (28) *West JB*: Limiting factors for exercise at extreme altitudes. *Clin Physiol* 10 (1990) 265-272.
- (29) *West JB, Hackett PH, Maret KH, Milledge JS, Peters RM, Jr., Pizzo CJ et al*: Pulmonary gas exchange on the summit of Mount Everest. *J Appl Physiol* 55 (1983) 678-687.
- (30) *West JB, Wagner PD*: Predicted gas exchange on the summit of Mt. Everest. *Respir Physiol* 42 (1980) 1-16.

Anschrift:

Dr. med. R. Fischer

Pneumologie

Medizinische Klinik – Standort Innenstadt

Klinikum der Universität München

Ziemssenstrasse 1

80336 München

Fax: 089 5160 4905

email: rfischer@medinn.med.uni-muenchen.de