

Bärtsch, Peter\*, Grünig, Ekkehard\*\*, Hohenhaus, Elke\*, Dehnert, Christoph\*

## Beurteilung der Höhentauglichkeit beim Gesunden

### *Assessment of high altitude tolerance in healthy individuals*

Abteilung VII (Sportmedizin)\* und Abteilung III (Kardiologie)\*\*, Medizinische Klinik und Poliklinik, Universitätsklinikum Heidelberg

#### Zusammenfassung

Die zuverlässigste Voraussage über Höhentoleranz kann aus einer vergleichbaren früheren Höhenexposition abgeleitet werden. Leider gibt es keine einfachen und zuverlässigen Tests zur Erfassung der Höhentauglichkeit für den häufigen Fall, dass anamnestische Angaben fehlen. Erhöhte Anfälligkeit für akute Bergkrankheit (ABK) geht oft mit einer geringen Atemsteigerung unter Hypoxie (hypoxic ventilatory response, HVR) einher. Wegen großer Überlappung der individuellen Werte ist aber mittels HVR oder Messungen der Sauerstoffsättigung unter Hypoxie keine zuverlässige Beurteilung bezüglich Anfälligkeit für ABK möglich. Ein niedriger HVR und ein überschießender pulmonal-arterieller Druckanstieg unter Hypoxie sowie unter Fahrradbelastung in Normoxie sind Marker der Anfälligkeit für das Höhenlungenödem (HLÖ). Wegen der geringen Prävalenz der HLÖ-Anfälligkeit können aber HVR-Messungen und Doppler-Echokardiographie unter Belastung zur Beurteilung der Höhentauglichkeit nicht empfohlen werden. Ferner sind Spezifität und Sensitivität dieser Untersuchungen nicht genügend untersucht. Personen mit Anfälligkeit für HLÖ bleiben in Höhen bis 7000 m beschwerdefrei, wenn die Aufstiegs geschwindigkeit ab 2000 m im Mittel unter 350 m/Tag liegt. Bei Beratungen für Höhenexpositionen sollten Höhenprofil, körperliche Anforderungen, Leistungsfähigkeit, Höhenanamnese, sowie die lokale medizinische Infrastruktur berücksichtigt werden. Das praktische Vorgehen wird an einigen Fallbeispielen erörtert.

**Schlüsselwörter:** Akute Bergkrankheit, Höhenlungenödem, Vorhersage Höhentoleranz-/anfälligkeit

In diesem Beitrag sollen die Möglichkeiten zur Beurteilung der Höhentauglichkeit und zur Beratung im Hinblick auf Höhenaufenthalte diskutiert werden.

#### Bedeutung der Anamnese

Die Anfälligkeit für akute Bergkrankheit (ABK) zeigt eine große interindividuelle Variabilität. Für das Höhenlungenödem (HLÖ) ist dieses sehr gut belegt. In vielen Studien beobachteten wir regelmäßig, dass die Inzidenz des HLÖ nach schnellem Aufstieg

#### Summary

The most reliable prediction of high altitude tolerance can be derived from histories of previous comparable exposures. Such information is often missing. Unfortunately, there are no reliable tests for this situation. Although susceptibility to AMS is usually associated with a low hypoxic ventilatory response (HVR), there is too much overlap with the range of normal values. This precludes measuring HVR or O<sub>2</sub> saturation during brief hypoxia for reliable identification of susceptibility to AMS. A low HVR and an exaggerated pulmonary artery pressure rise with (prolonged) hypoxia, or exercise in normoxia, are markers of susceptibility to high altitude pulmonary edema (HAPE). These tests can not be recommended for determining high altitude tolerance because the prevalence of susceptibility to HAPE is low and because specificity and sensitivity of these tests are not sufficiently established. HAPE-susceptible individuals usually remain free of disease without nifedipine for prevention up to altitudes of 7000 m when they ascend above 2000 m with an average rate below 350 m per day. When giving advice regarding high altitude exposures one must consider the altitude profile, the type of ascent, the performance capacity, the history of previous exposures and the medical infrastructure of the area as illustrated in this article by several case histories.

**Key words:** Acute mountain sickness, high altitude pulmonary edema, susceptibility, prediction high altitude tolerance

mit Seilbahn bis 3200 m und zu Fuß bis 4600 m (durchschnittlich 1700 m pro Tag) ca. 60 % beträgt, wenn in der Anamnese ein HLÖ bekannt ist, während sie bei unauffälliger Anamnese und vergleichbarer Aufstiegs geschwindigkeit ca. 5 % beträgt (2). Wichtig ist, dass diese anfälligen Bergsteiger in der Regel Höhen von 6000 – 7000 m beschwerdefrei erreichen ohne medikamentöse Prophylaxe, wenn sie durchschnittlich nur 300 – 350 m pro Tag aufsteigen (Tab. 1). Auch Individuen, die bei einer definierten Höhenexposition eine akute Bergkrankheit erleiden, werden mit großer Wahrscheinlichkeit bei vergleichba-

Tabelle 1: 7 Beispiele von Aufstiegen in Höhen über 5000 m bei 4 Bergsteigern mit 2 – 4 dokumentierten HLÖ in den Alpen bei raschem Aufstieg. Ohne medikamentöse Prophylaxe trat in keinem dieser Fälle während dieser Trekkings, bzw. Expeditionen, ein Höhenlungenödem auf. (Daten aus Referenz 3).

	Aufstiegsgeschwindigkeit, bzw. Akklimation	Maximale Höhe
Fall A (4x HLÖ)	• 330 m/Tag • 2 Wochen Akklimation in Höhen von 3000-4800 m	6990 m 6400 m
Fall B (3x HLÖ)	• 350 m/Tag	5170 m
Fall C (2x HLÖ)	• 350 m/Tag • 365 m/Tag • 365 m/Tag	5170 m 5800 m 5800 m
Fall D (2x HLÖ)	• 2 Wochen Akklimation in Höhen von 2700-6000 m	6990 m

rem Aufstieg wieder bergkrank (9,25). Wir können also davon ausgehen, dass das Verhalten während früherer, vergleichbarer Expositionen ein guter Prediktor bezüglich Risiko für ABK und HLÖ ist. Es ist aber wichtig zu wissen, dass bei bekannter Anfälligkeit für ABK oder HLÖ das Auftreten dieser Krankheiten durch einen langsamen Aufstieg verhindert werden kann.

## Erfassung der Anfälligkeit für akute Bergkrankheit

Die Atemantwort auf Hypoxie (Hypoxic Ventilatory Response, HVR) weist eine große interindividuelle Variabilität auf (Abb. 1). Da Bergkranke in der Regel eine geringere Ventilation aufweisen als gesunde Kontrollpersonen, wurde von vielen Gruppen untersucht, ob ein niedrigerer HVR ein Marker der Anfälligkeit für akute Bergkrankheit ist. Nachdem zwei Studien in Unterdruckkammern (18,23) mit geringer Probandenzahl diesen Zusammenhang zu bestätigen schienen, haben fünf Feldstudien mit bis zu 32 Probanden pro Untersuchung keinen signifikanten Zusammenhang zwischen HVR-Bestimmungen im Tiefland und dem Auftreten von akuter Bergkrankheit bei mehrtägiger Höhenexposition

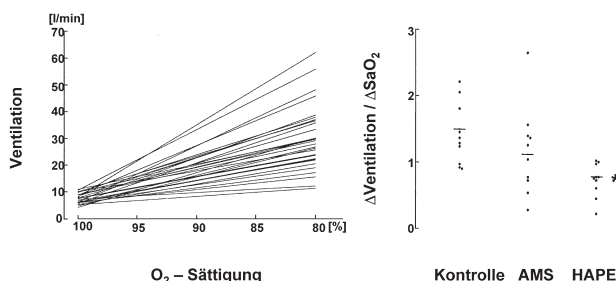


Abbildung 1: Isokapnische hypoxische Atemantwort. links: Variabilität der Ventilationssteigerung in einem Kollektiv von 30 Bergsteigern. Durch Zumischung von N<sub>2</sub> zur Inspirationsluft wird die SaO<sub>2</sub> innerhalb von 5–10 Minuten von 95 auf 80% gesenkt. Durch Zumischung von CO<sub>2</sub> wird ein durch Hyperventilation bedingter Abfall des CO<sub>2</sub> vermieden (= isokapnischer hypoxic ventilatory response, HVR). rechts: Die Steilheit des HVR (= Steigung der Geraden in der linken Abbildung) ist dargestellt in Relation zur Höhentoleranz. Die HLÖ-Gruppe zeigt signifikant niedrigere Werte als die Kontrollgruppe (\*). (Daten aus Referenz 15).

in Feldversuchen gefunden (14,15,21,22,28). Von der Arbeitsgruppe um *Richalet* (24) ist ein Test zur Erfassung der Anfälligkeit für akute Bergkrankheit vorgeschlagen worden, der die Änderung der Ventilation, die Änderung der Sättigung und die Änderung der Herzfrequenz misst zwischen einer fünfminütigen Belastung in Normoxie und Hypoxie (0.115 FIO<sub>2</sub>, Belastung 50 % VO<sub>2</sub>max.). In einem Kollektiv von 128 Probanden zeigte dieser Test signifikante Unterschiede der Mittelwerte der obengenannten Parameter zwischen Bergsteigern, die auf Trekkings und Expeditionen bergkrank bzw. nicht bergkrank wurden. Aber die Überlapung zwischen den Gruppen ist so groß, dass mit diesen Tests keine zuverlässige Identifizierung von anfälligen Individuen möglich ist (Abb. 2).

Es wurde auch vorgeschlagen, dass ein geringerer endexpiratorischer PO<sub>2</sub> in Normoxie (26) sowie eine kürzere

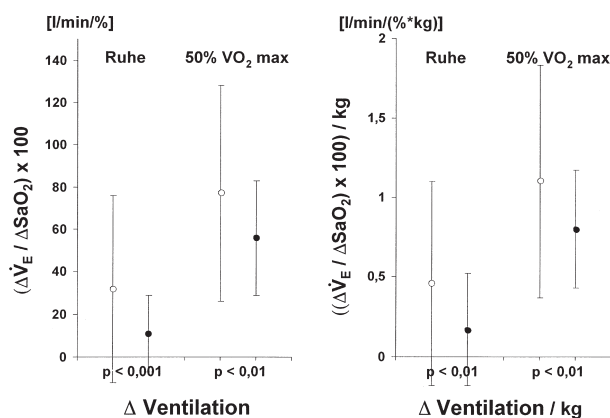


Abbildung 2: Mittelwerte ± Standardabweichung der Ventilationssteigerung unter Hypoxie (FIO<sub>2</sub>=0.115) in Ruhe und bei einer Belastung von 50% VO<sub>2</sub>max bei 64 Personen, die auf einer Expedition, bzw. einem Trekking nicht bergkrank wurden (o) und 38 Personen, die bergkrank wurden (\*). Ein Wert von z. B. 50 in diesen Abbildungen bedeutet, dass pro Abfall der O<sub>2</sub>-Sättigung um 1% die Ventilation um 50/100 l = 0.5l zunimmt. PCO<sub>2</sub> wurde bei diesen Versuchen nicht konstant gehalten (poikilokapnische Bedingungen), so dass die Atemsteigerung insgesamt geringer ausfällt als unter isokapnischen Bedingungen (siehe Abb. 1). (Daten aus Referenz 24).

Apnoezeit und erhöhte pharyngeale Stimulierbarkeit (1) und eine besondere Messung der Atemregulation in Hypoxie (13) ABK-anfällige Individuen erkennen lassen. Alle diese Studien sind bisher nicht in größeren Kollektiven wiederholt worden, so dass die Bestätigung der Befunde aussteht und Sensitivität bzw. Spezifität nicht evaluiert sind.

## Erfassung der Anfälligkeit für Höhenlungenödem

**Nichtinvasive pulmonalarterielle Druckmessungen**  
Wie in einem anderen Artikel dieser Ausgabe über die Höhenkrankheit (S. 396-400) ausgeführt wird, kommt dem erhöhten pulmonalarteriellen Druck eine zentrale Bedeutung in der Pathophysiologie des HLÖ zu. Mittels Rechtsherzkatheteruntersuchungen wurde gezeigt, dass HLÖ-anfällige Individuen auch im Tiefland einen abnorm hohen pulmo-

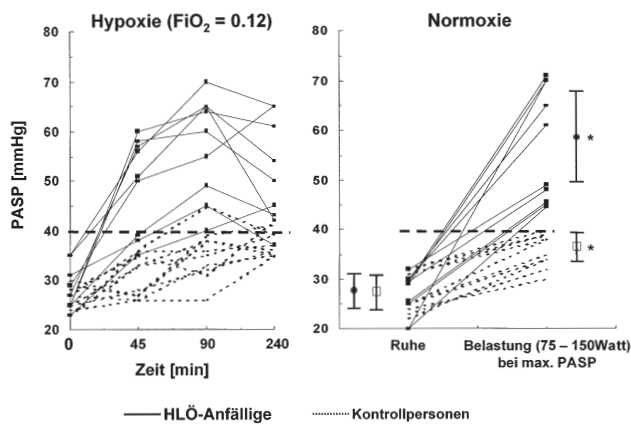


Abbildung 3: Mittels Dopplerechokardiographie gemessener systolischer pulmonalarterieller Druck bei 10 Bergsteigern ohne HLÖ-Anfälligkeit (.....) und bei 10 HLÖ-anfälligen Individuen (—), nach 2-4stündiger Exposition bei normobarer Hypoxie ( $FiO_2 = 0.12$ ) (links) und während eines Stufentestes auf dem Liegefahrradergometer unter Normoxie bei 125 Watt (rechts). (Daten aus Referenz 11).

nalarteriellen Druckanstieg in Hypoxie (8,16) sowie unter Belastung in Normoxie (8,17) aufweisen. Mit dopplerechokardiographischen Messungen des pulmonalarteriellen Druckes unter wenige Minuten dauernder Hypoxie ( $FiO_2 = 12\%$ ) war es aber nicht möglich, HLÖ-Anfällige zuverlässig zu erkennen (15,29). Kürzlich konnten wir aufzeigen, dass eine gute Diskriminierung mittels pulmonalarterieller Druckmessung durch Dopplerechokardiographie nach zwei- bis vierstündiger Hypoxie ( $FiO_2 = 12\%$ ) sowie auch unter körperlicher Belastung in Normoxie möglich ist (11) (Abb. 3). Unsere Befunde bedürfen aber der Bestätigung in einem größeren Kollektiv, um auszuschließen, dass die gute Diskriminierung nicht durch eine zufällige günstige Zusammensetzung des Kollektives bedingt war.

### Hypoxic Ventilatory Response

Ein weiteres Merkmal der HLÖ-anfälligen Personen ist ein niedriger HVR (Abb. 1). Dieser Befund ist durch viele Untersuchungen belegt (12,15,19,20). Ein niedriger HVR führt zu einem tieferen alveolären  $PO_2$  in Hypoxie und trägt auf diese Weise zu einem überschießenden pulmonalarteriellen Druckanstieg der HLÖ-anfälligen Personen bei.

### Weitere besondere Befunde

In verschiedenen Studien wurden, meist in kleineren Gruppen von HLÖ-anfälligen Personen weitere Charakteristika dieser Gruppe beschrieben. So findet sich eine gegenüber Kontrollpersonen geringere Vitalkapazität (8,27,30) und ein höheres funktionelles Residualvolumen (27), sowie eine Reduktion des exhaliierten NO (5,6) und eine verstärkte Aktivierung des sympathischen Nervensystems unter Hypoxie (7). Alle diese Befunde weisen wahrscheinlich auf Mechanismen hin, welche zum überschießenden Druckanstieg in der Lungenzirkulation in Hypoxie beitragen können: geringere Lungenvolumina mit reduziertem Gefäßquerschnitt, reduzierte NO-Synthese sowie vermehrte Sympathicus-Aktivität

unter Hypoxie. Mit Ausnahme der Spirometrie, bzw. Bodyplethismographie sind diese Untersuchungen zur Zeit noch zu aufwendig, um im Routinebetrieb eingesetzt werden zu können.

### Zusammenfassung

Ein überschießender pulmonalarterieller Druckanstieg unter Hypoxie oder normoxischer Belastung – insbesondere in Kombination mit einem niedrigen HVR – spricht mit großer Wahrscheinlichkeit für eine erhöhte Anfälligkeit zum HLÖ. Die unkritische Anwendung dieser Messungen zur Beurteilung der Höhentauglichkeit kann aber aus Kostengründen nicht generell empfohlen werden, da einerseits die Anfälligkeit zum Höhenlungenödem relativ selten ist und andererseits Sensitivität und Spezifität dieser Methoden bei Anwendung in einem größeren Kollektiv bisher nicht evaluiert wurden.

## Bedeutung der Leistungsfähigkeit

Man sollte sich bei der Beratung vergewissern, dass die aerobe Leistungsfähigkeit genügt für das geplante Vorhaben. Dazu ist kein Leistungstest erforderlich, wenn die Belastungsfähigkeit aufgrund der Sportanamnese eingeschätzt werden kann. Selbstverständlich muss man sich, insbesondere bei älteren Individuen, vergewissern, dass keine kardialen und pulmonalen Krankheiten vorliegen. Andernfalls müssen die entsprechenden Empfehlungen und Vorsichtsmaßnahmen eingehalten werden, die an anderer Stelle dieser Ausgabe besprochen werden (siehe Artikel von R. Fischer S. 412 und J. Steinacker et al. S. 407).

Es ist äußerst wichtig, dem zu Beratenden klar zu machen, dass ein guter Trainingszustand, d.h. eine hohe Leistungsfähigkeit, in keiner Weise vor ABK oder HLÖ schützt, und dass sich durch Training die individuelle Anfälligkeit nicht verändern wird. Ferner soll ebenfalls darauf hingewiesen werden, dass körperliche Schonung in den ersten Tagen eines Höhengaufenthaltes eine wichtige prophylaktische Maßnahme zur Vermeidung von Bergkrankheit ist.

## Zusammenfassende Empfehlungen

Es gibt keine Tests, deren Sensitivität und Spezifität genügen, um zur Beratung von Bergsteigern eingesetzt werden zu können. Folgende Punkte sollten bei der Beratung angesprochen bzw. geklärt werden:

- **Genaue Analyse des Höhenprofils** der geplanten Unternehmung. Dazu sollen folgende Fragen beantwortet werden:
  - Wie groß ist die durchschnittliche Aufstiegs geschwindigkeit?
  - Gibt es große Höhenstufen? Falls ja, werden sie von einem Ruhetag gefolgt?
  - Sind rasche Abstiege über 1000 – 2000 m Höhe möglich oder wird dies verhindert durch große Horizontalstrecken oder Pässe?

- **Höhenanamnese:** Gibt es vergleichbare Höhenexpositionen in der Anamnese?

Bei vergleichbaren Expositionen kann mit ähnlichem Verhalten gerechnet werden. Wenn diese Informationen fehlen, sollte die durchschnittliche Aufstiegs geschwindigkeit nicht über 500 m am Tag betragen. Besonders anfällige Personen brauchen noch langsamere Aufstiege (ca. 300 m pro Tag). Es gibt aber auch Individuen, die tägliche Höhengewinne von deutlich über 500 m pro Tag ohne Probleme bis in Höhen von 5000 m bewältigen. Je größer die Aufenthaltshöhe und je länger der geplante Aufenthalt, desto vorsichtiger sollte die mittlere Anstiegsgeschwindigkeit festgesetzt werden.

- **Medizinische Infrastruktur vor Ort:**

- Wird Sauerstoff oder ein portabler Überdrucksack mitgeführt?
- Sind Erste-Hilfe-Stationen oder gar Spitäler und Ambulanzen am Weg oder in der Nähe?

- **Organisation der Reise:**

- Kann auf individuelle Bedürfnisse Rücksicht genommen werden?

Bei unbekannter Höhentoleranz soll so langsam aufgestiegen werden, dass keine wesentlichen Symptome auftreten. Wichtig ist, dass die Regeln zur Vermeidung schwerer, potentiell letaler Höhenkrankheiten eingehalten werden (Tab. 2). Ein wichtiger Teil der Beratung ist deshalb die Erläuterung der in Tabelle 2 dargestellten Grundsätze.

Tabelle 2: Regeln zur Vermeidung des Todes durch Höhenödem

1. Symptome der akuten Höhenkrankheiten kennen
2. Nicht zu einer größeren Schlafhöhe aufsteigen mit Symptomen
3. Absteigen, wenn Symptome trotz Höhenstop schlimmer werden
4. Eine kranke Person nie alleine lassen

Die Entscheidung, ob zu einer medikamentösen Prophylaxe geraten werden soll, hängt von der Antwort auf die oben gestellten Fragen ab. Hält man die Indikation zur medikamentösen Prophylaxe für indiziert, soll bei unbekannter Höhentoleranz oder bei bekannter Anfälligkeit für ABK Diamox (2 x 250 mg) empfohlen werden. Nifedipin retard (60 mg/Tag) soll nur bei bekannter Anfälligkeit für HLÖ eingesetzt werden. Es empfiehlt sich, vor der Höhenexposition einen Verträglichkeitstest mit 3x20mg Nifedipin retard durchzuführen. Als Alternative zur medikamentösen Prophylaxe können vor größeren Unternehmungen auch Touren zur Vorakklimation mit ansteigender Aufenthaltshöhe ins Auge gefasst werden, wenn dies aus organisatorischen Gründen in Frage kommt.

## Fallbeispiele aus der Praxis

### Fall 1:

Ein 49-jähriger gesunder Architekt will zusammen mit 4 bergunerfahrenen Kollegen den 50. Geburtstag auf dem Kilimandscharo feiern. Seine Anamnese ist unauffällig, er hat keine kardiovaskulären Risikofaktoren. Die klinische Untersuchung ergibt keine abnormen Befunde. Er treibt seit Jahren Sport, z. Zt. 3 Stunden pro Woche (vor allem Volleyball und Sprinttraining). Die Leistungsfähigkeit beträgt 3 Watt pro kg Körpergewicht bei wahrscheinlich submaximaler Herzfrequenz von 167/min. Er hat keine Bergerfahrung, die höchste bisher erreichte Höhe beträgt 3200 m, die maximale Schlafhöhe 2000 m. Die vorgesehene Besteigung des Kilimandscharo hat folgendes Aufstiegsprofil: 1. Tag: 1800 m, 2. Tag: 3125 m, 3. Tag: 3725 m, 4. Tag: 4700 m, 5. Tag: 5895 m. Die durchschnittliche Aufstiegs geschwindigkeit ab 2000m beträgt 950 m pro Tag. Die Chance, dass diese Besteigung wegen Bergkrankheit abgebrochen werden muss, ist groß (10). Da ein langsamerer Aufstieg oder eine Vorakklimation nicht in Frage kommen, kann zu einer Prophylaxe mit Diamox geraten werden, wenn die Chance für die Gipfelbesteigung möglichst groß sein soll. Allerdings muss dem Bergsteiger klar sein, dass es auch mit Diamox keinen 100%-igen Schutz vor ABK gibt und dass die Verhaltensregeln, wie sie in Tabelle 2 aufgeführt sind, durch eine Prophylaxe mit Diamox nicht außer Kraft gesetzt werden. Ein Besteigungsversuch ohne Diamox-Prophylaxe ist ebenfalls vertretbar und bei adäquatem Verhalten ungefährlich, da an diesem Berg sehr rasch abgestiegen werden kann. Die Entscheidung, ob eine medikamentöse Prophylaxe durchgeführt werden soll, hängt letztlich von der Einstellung des Ratsuchenden ab. Unser Architekt sagt aus Sorge um seine Gesundheit die Reise kurzfristig ab, seine 4 Kollegen gehen ohne Diamox-Prophylaxe. Der jüngste (40-jährig) und leistungsfähigste muss wegen schwerer Bergkrankheit in 4000 m Höhe umkehren, die drei anderen erreichen den Gipfel nach einer schlechten letzten Nacht mit Kopfschmerzen und unter Mobilisierung der letzten Kraftreserven. Sie erlebten diese Besteigung als Durchhalteübung.

### Fall 2:

Ein 52-jähriger Mann, gesund und gut ausdauertrainiert möchte ein Trekking zum Basislager des Kanchengnunga machen. Bei schnellem Aufstieg in den Alpen ist bisher 4mal ein Höhenlungenödem aufgetreten, jeweils am 3. Tag des Höhenaufenthaltes. 3 Episoden ereigneten sich in relativ geringen Höhen zwischen 3000-4000m. Zwischen dem Tag 6 (1640m) des geplanten Trekkings und Tag 14 findet ein kontinuierlicher Aufstieg bis 5140m statt. Der durchschnittliche Höhengewinn beträgt ab 2000m 400m pro Tag. Der größte Höhengewinn von 800m an einem Tag wird von einem Ruhetag gefolgt.

Angesichts der klaren Anamnese mit Anfälligkeit für Höhenlungenödem sowie angesichts des relativ schnellen, kontinuierlichen Anstieges bis in eine beträchtliche Höhe von 5140 m muss zu einer Prophylaxe mit Nifedipin gera-



ten werden. Dabei ist es wichtig zu betonen, dass trotz dieser Prophylaxe ein Höhenlungenödem auftreten könnte. Da dem Patienten die Symptome bekannt sind, kann er frühzeitig reagieren und schnell absteigen, was auch von der Topographie des Aufstiegs her gut möglich ist. Von medizinischer Seite bestehen gegen dieses Trekking, vernünftiges Verhalten des Bergsteigers vorausgesetzt, keine Bedenken.

Kurzfristig wird aber das Trekkingprogramm aus Gründen, die nichts mit unserem Bergsteiger zu tun haben, geändert. Das Basislager am Fuße der Anapurna, das auf 4200 m liegt, ist das neue Ziel. Es soll in 8 Tagen ab einer Höhe von 1200 m erreicht werden. Die durchschnittliche Aufstiegs geschwindigkeit ab 2000 m beträgt lediglich 275 m pro Tag, die größte Tagesstufe liegt bei 600 m. Angesichts des sehr langsamen Aufstieges und der relativ geringen Endhöhe kann von einer Empfehlung zur Nifedipinprophylaxe abgesehen. Wir haben über mehrere höhenlungenödemanfällige Bergsteiger berichtet, die unter durchschnittlichen Aufstiegs geschwindigkeiten von 300–350 m pro Tag bis in Höhen auf 5000 m ohne medikamentöse Prophylaxe beschwerdefrei blieben (s. Tab. 1). Der hier geschilderte, sehr anfällige Bergsteiger, konnte das Trekking ohne Medikamente beschwerdefrei genießen.

### Fall 3:

Es handelt sich um einen gut trainierten, 45-jährigen, erfahrenen Bergsteiger, der bisher nach schnellen Aufstiegen 2 Episoden von HLÖ erlitt, jeweils am dritten Tag in 4000 m Höhe. Im Rahmen einer diplomatischen Mission muss er Bolivien besuchen, mit folgendem Plan: Am ersten Tag Flug nach Cochabamba (2500 m), anschließend sind 5 Tage Besichtigung von Projekten in Höhen bis 3500 m geplant. Nachher wird während 8 Tagen die Umgebung von Potosi und La Paz (3500–4200 m) besucht.

Trotz bekannter Anfälligkeit zum Höhenlungenödem halte ich eine Prophylaxe in dieser Situation nicht für angebracht, weil die Höhenexposition relativ langsam erfolgt, und insbesondere weil damit keine große körperliche Belastung verbunden ist. Sollten unerwarteterweise trotzdem beginnende Symptome eines Höhenlungenödems auftreten, kann eine Therapie mit Nifedipin eingeleitet werden. Ferner besteht eine gute medizinische Infrastruktur mit Möglichkeiten der Sauerstofftherapie.

Auf meinen Rat wurde die Reise ohne medikamentöse Prophylaxe aber mit Adalat 20 mg retard Tabletten in Reserve angetreten. Außer leichten Symptomen von akuter Bergkrankheit am 1. und 2. Tag in Potosi (4200 m), derentwegen insgesamt 2 Tabletten Adalat eingenommen wurden, traten bis zum 10. Höhentage keine Beschwerden mehr auf. In La Paz (3700 m) suchte dieser Bergsteiger wegen unspezifischer Symptome einen Arzt auf, der ihm erneut Adalat verordnete. Ich glaube, dass in beiden Fällen keine sicheren Zeichen eines HLÖ bestanden haben und dass keine klare Indikation für eine solche Therapie bestanden hatte. Insgesamt zeigt dieser Fall aber, dass der ängstliche, HLÖ-anfällige Bergsteiger, sich mit einer konsequenten prophylaktischen Verabreichung von Adalat wahrscheinlich sicherer gefühlt hätte.

### Fall 4:

Eine 59-jährige Ärztin mit leichter, gut eingestellter Hypertonie, möchte sich einen lange gehegten Traum erfüllen und den Kilimandscharo besteigen. Sie verfügt über große Höhenerfahrung seit 1970, mit Besteigung vieler Viertausender in den Alpen, immer in Begleitung von Bergführern. Dabei sind nie höhenmedizinische Probleme aufgetreten. Die klinische, insbesondere kardiopulmonale Untersuchung ist unauffällig, ebenso das Belastungs-EKG. Auf dem Fahrradergometer erreicht die Kollegin allerdings in einem Stufentest nur 1,6 Watt pro kg Körpergewicht (Sollwert: 2 Watt/kg). Die  $VO_2$ -Peak liegt im unteren Normbereich ( $25 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ). Maximale Werte für Laktat von 6,2 mmol/l und eine Herzfrequenz von 148/min sprechen dafür, dass auf dem Fahrradergometer keine Ausbelastung erreicht wurde.

Die Kollegin hat sich ihren Traum erfüllen können und stand 8 Monate nach dieser Untersuchung glücklich und beschwerdefrei auf dem Gilman's Point (5685 m) im Gipfelbereich des Kilimandscharos. Mit einem Ausdauertraining auf dem Fahrradergometer (wegen Gonarthrose beidseits kein Lauftraining) von 3–6mal pro Woche war es ihr zuletzt möglich, 15 Minuten 130 Watt (2 Watt pro kg) bei einer Herzfrequenz von 140–150 pro Minute zu leisten. Unmittelbar vor der Abreise verbrachte sie eine Woche zur Akklimatisation im Monte-Rosa-Massiv mit ansteigender Übernachtungshöhe, zuletzt in 4559 m Höhe in der Margherita-Hütte. Unmittelbar vor Besteigung des Kilimandscharo wurde eine Akklimatisationstour auf dem Nachbarberg, dem Mount Meru (4556 m) in 4 Tagen unternommen.

Dieses Beispiel zeigt, dass die Leistungsfähigkeit auch bei älteren Personen nicht überdurchschnittlich hoch sein muss auf Trekkings oder einfachen Bergtouren, wenn auf eine gute Höhenakklimatisation geachtet wird. Die mittlere körperliche Belastung auf Trekkings und Hochtouren ist relativ gering und liegt bei mäßig trainierten Personen etwa im Bereich von 50–60%  $VO_{2\text{max}}$  (4). Weiter ist in diesem Fall zu beachten, dass langjährige Erfahrung zu einem ökonomischen Umgang mit der vorhandenen Leistungsreserve geführt hat. Dies lässt sich nicht auf dem Fahrradergometer erfassen, sondern nur mittels Anamnese. Wer in der Lage ist, am Ende einer Hochtourenwoche ohne Probleme in 4556 m zu übernachten, hat beste Chancen, in den darauffolgenden Wochen auch die Gipfelregionen des Kilimandscharo zu erreichen.

## Literatur

1. Austin D, Sleight J: Prediction of acute mountain sickness. *Br Med J* 311 (1995) 989–990.
2. Bärtsch P: High altitude pulmonary edema. *Respiration* 64 (1997) 435–443.
3. Bärtsch P: High altitude pulmonary edema. *Med Sci Sports Exerc* 31 (1999) S23–S27.
4. Bircher HP, Eichenberger U, Maggiorini M, Oelz O, Bärtsch P: Relationship of mountain sickness to physical fitness and exercise intensity during ascent. *J Wildern Med* 5 (1994) 302–311.
5. Busch T, Bärtsch P, Pappert D, Grünig E, Elser H, Falke KJ, Swenson ER: Hypoxia decreases exhaled nitric oxide in mountaineers susceptible to high altitude pulmonary edema. *Am J Respir Crit Care Med* (im Druck).

6. Duplain H, Sartori C, Lepori M, Egli M, Allemann Y, Nicod P, Scherrer U: Exhaled nitric oxide in high-altitude pulmonary edema: role in the regulation of pulmonary vascular tone and evidence for a role against inflammation. *Am J Resp Crit Care Med* 162 (2000) 221-224.
7. Duplain H, Vollenweider L, Delabays A, Nicod P, Bärtsch P, Scherrer U: Augmented sympathetic activation during short-term hypoxia and high-altitude exposure in subjects susceptible to high-altitude pulmonary edema. *Circulation* 99 (1999) 1713-1718.
8. Eldridge MW, Podolsky A, Richardson R.S., Johnson DH, Knight DR, Johnson EC, Hopkins SR, Michimata H, Grassi B, Feiner J, et al: Pulmonary hemodynamic response to exercise in subjects with prior high-altitude pulmonary edema. *J Appl Physiol* 81 (1996) 911-921.
9. Forster P: Reproducibility of individual response to exposure to high altitude. *Br Med J [Clin Res]* 289 (1984) 1269.
10. Greene MK, Kerr AM, McIntosh IB, Prescott RJ: Acetazolamide in prevention of acute mountain sickness: a double-blind controlled cross-over study. *Br Med J* 283 (1981) 811-813.
11. Grünig E, Mereles D, Hildebrandt W, Swenson ER, Kübler W, Kuecherer H, Bärtsch P: Stress doppler echocardiography for identification of susceptibility to high altitude pulmonary edema. *J Am Coll Cardiol* 35 (2000) 980-987.
12. Hackett PH, Roach RC, Schoene RB, Harrison GL, Mills WJ: Abnormal control of ventilation in high-altitude pulmonary edema. *J Appl Physiol* 64 (1988) 1268-1272.
13. Hofer M, Juhász J, Bauer D, et al: Hypoxic ventilatory response and associated heart rate change predict the severity of acute mountain sickness (abstract). In: Roach RC, Wagner PD, Hackett PH, eds. *Hypoxia, Into the Next Millenium*. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 1999, 391. *Advances in experimental medicine and biology* 474.
14. Hohenhaus E, Paul A, Bärtsch P: Hypoxic ventilatory response and gas exchange in acute mountain sickness. *Eur Respir J* 7 (1994) 200s.
15. Hohenhaus E, Paul A, McCullough RE, Kuecherer H, Bärtsch P: Ventilatory and pulmonary vascular response to hypoxia and susceptibility to high altitude pulmonary oedema. *Eur Respir J* 8 (1995) 1825-1833.
16. Hultgren HN, Grover RF, Hartley LH: Abnormal circulatory responses to high altitude in subjects with a previous history of high-altitude pulmonary edema. *Circulation* 44 (1971) 759-770.
17. Kawashima A, Kubo K, Kobayashi T, Sekiguchi M: Hemodynamic responses to acute hypoxia, hypobaria, and exercise in subjects susceptible to high-altitude pulmonary edema. *J Appl Physiol* 67 (1989) 1982-1989.
18. King AB, Robinson SM: Ventilation response to hypoxia and acute mountain sickness. *Aerospace Med* 43 (1972) 419-421.
19. Mathew L, Gopinathan PM, Purkayashtha SS, Sen Gupta J, Nayar HS: Chemoreceptor sensitivity and maladaptation to high altitude in man. *Eur J Appl Physiol* 51 (1983) 137-144.
20. Matsuzawa Y, Fujimoto K, Kobayashi T, Namushi NR, Harada K, Kohno H, Fukushima M, Kusama S: Blunted hypoxic ventilatory drive in subjects susceptible to high-altitude pulmonary edema. *J Appl Physiol* 66 (1989) 1152-1157.
21. Milledge JS, Beeley JM, Broome J, Luff N, Pelling M, Smith D: Acute mountain sickness susceptibility, fitness and hypoxic ventilatory response. *Eur Respir J* 4 (1991) 1000-1003.
22. Milledge JS, Thomas PS, Beeley JM, English JSC: Hypoxic ventilatory response and acute mountain sickness. *Eur Respir J* 1 (1988) 948-951.
23. Moore LG, Harrison GL, McCullough RE, McCullough RG, Micco AJ, Tucker A, Weil JV, Reeves JT: Low acute hypoxic ventilatory response and hypoxic depression in acute altitude sickness. *J Appl Physiol* 60 (1986) 1407-1412.
24. Richalet J-P, Keromes A, Dersch B, Corizzi F, Mehdioui H, Pophillat B, Chardonnet H, Tassery F, Herry J-P, Rathat C, et al: Caractéristiques physiologiques des alpinistes de haute altitude. *Sci Sports* 3 (1988) 89-108.
25. Robinson SM, King AB, Aoki V: Acute mountain sickness: Reproducibility of its severity and duration in an individual. *Aerospace Med* 42 (1971) 706-708.
26. Savourey G, Moirant C, Etteradossi J, Bittel J: Acute mountain sickness relates to sea-level partial pressure of oxygen. *Eur J Appl Physiol* 70 (1995) 469-476.
27. Steinacker JM, Tobias E, Menold E, Reißnecker S, Hohenhaus E, Liu Y, Lehmann M, Bärtsch P, Swenson ER: Lung diffusing capacity and exercise in subjects with previous high altitude pulmonary edema. *Eur Respir J* 11 (1998) 643-650.
28. Sutton JR, Bryan AC, Gray GW, Horton ES, Rebeck AS, Woodley W, Rennie ID, Houston CS: Pulmonary gas exchange in acute mountain sickness. *Aviat Space Environ Med* 47 (1976) 1032-1037.
29. Vachiéry JL, McDonagh T, Moraine J.J., Berré J, Naeije R, Dargie H, Peacock AJ: Doppler assessment of hypoxic pulmonary vasoconstriction and susceptibility to high altitude pulmonary oedema. *Thorax* 50 (1995) 22-27.
30. Viswanathan R, Jain SK, Subramanian S, Subramanian TAV, Dua GL, Giri J: Pulmonary edema of high altitude II. Clinical, aerohemodynamic, and biochemical studies in a group with history of pulmonary edema of high altitude. *Am Rev Respir Dis* 100 (1969) 334-341.

**Korrespondenzadresse:**

**Prof. Dr. med. Peter Bärtsch**  
**Abteilung VII (Sportmedizin)**

**Medizinische Klinik und Poliklinik,**  
**Universitätsklinikum Heidelberg**  
**Hospitalstr. 3, 69115 Heidelberg**

**Fax: 06221-565972**

**e-mail: peter\_bartsch@med.uni-heidelberg.de**