

1. Allgemeiner Teil

1.1 Physikalische Parameter

- Kälte: Haut gefriert bei $< -30^{\circ}\text{C}$ in 2 min und bei $< -45^{\circ}\text{C}$ in 30 s (Windchilleffekt!)
- Atmosphärendruck:
 - 5500 m – $\frac{1}{2}$ Druck
 - 8800 m – $\frac{1}{3}$ Druck
 - 10000 m – $\frac{1}{4}$ Druck
- Siedepunkt von Wasser:
 - 3000 m = 90°C
 - 6300 m = 81°C
- Strahlung:
 - $\frac{2}{3}$ der Sonnenstrahlung konzentriert sich über 4 Stunden in der Mittagszeit
 - Reflexion durch Schnee \rightarrow Zunahme um bis zu 90%
 - Streuung durch Nebel: +40%
- Abnahme pro 100 Hm:
 - Leistungsfähigkeit: 1%
 - Temperatur: $0,6^{\circ}\text{C}$
 - Luftfeuchte: 2,5%

1.2 Ernährung

- Flüssigkeitsbedarf in der Höhe: 4-6 l pro Tag
- 50-65% der Nahrung sollten Kohlenhydrate sein
- Ernährung und Höhe: www.theuiaa.org/medical_advise.html

1.3 Training

Extensiv – 65% Intensität (Intensiv = 85 %)

- 4-5 Läufe pro Woche, überwiegend aerob, sowie einzelne anaerobe Einheiten (65-80% bzw. 95% der maximalen Herzfrequenz)
- Touren am Wochenende: 8-10h, 20 kg Rucksack, 300-500 Hm/h bzw. 700 Hm/h
- Beinpresse: Ansteigende Gewichte von 50-100 kg pro Bein → 30-50 Wiederholungen/ Bein, mehrere Sätze

1.4 Höhentaktik

1.2.1 Höhentaktische Regeln

Nicht zu schnell zu hoch steigen

Keine anaeroben Anstrengungen

Möglichst tiefe Schlafhöhe

⇒ Gehtempo:

- 1:2 Atemrhythmus (1 Schritt ein-, 2 Schritte ausatmen)
- Puls: Maximal 140 Schläge/ min

⇒ Schlafhöhendistanz:

- Nach Erreichen der Schwellenhöhe (> 2500 m) mehrere Nächte dort verbringen (3 Tage wenn > 2800m)
- Bei sofortigem Anstieg tägliche Schlafhöhenunterschiede von max. 300-400 Hm
- Falls Schlafhöhendistanz > 600 Hm 2 Nächte dort verbringen

1.2.2 Angewandte Höhentaktik

- Solide Akklimation im Basislager (mehrere Ruhetage ohne Belastung)

- Dann etappenweiser Aufstieg → tagsüber Vorstöße bis max. 1000 Hm über Schlafhöhe mit sofortigem Abstieg, anfangs bis BC
- Erst beim 3. Vorstoß Übernachtung im ersten Hochlager
- Spätestens nach 2 solchen Aufenthalten Abstieg zum BC + 3 Ruhetage
- Schlechtwetterphasen nicht in Hochlagern abwarten
- Auch bei banalen Erkrankungen sofort absteigen
- Vor dem Gipfelgang 3 Ruhetage im BC
- Gipfelgang in einem Zug vom BC, letzte Schlafhöhe bis max. 1500 Hm unter dem Gipfel ansetzen
- Beim Gipfelgang: Realistisches Zeitlimit setzen → Umkehren wenn $t_{1/2}$ überschritten ist
- Vom Gipfel möglichst weit absteigen
- ACHTUNG: Höhenödeme treten häufig erst im Abstieg auf
- Schlafhöhensteigerung von Reinhold Messner: Auf 5000m in einer Woche, dann 1000 Hm/ Woche

2. Physiologischer Teil

2.1 Physiologie der Höhe

- Sauerstoffsensor im Körper:
 - Erhöhter Atemantrieb in der Höhe durch Änderung des arteriellen Sauerstoffpartialdruckes (paO_2)
 - Registrierung: Chemorezeptoren auf O_2 -empfindlichen Zellen
 - Lokalisation: Aufteilungsstelle der beidseitigen Halsschlagader (Glomus caroticum) und im Bereich des Aortenbogens
 - Glomus caroticum misst auch $paCO_2$, Glukose und pH ($paCO_2 \uparrow$, $pH \downarrow$ → Steigerung der Atmung)
- Hyperventilation unter Hypoxie → respiratorische Alkalose ($paCO_2 \downarrow$, $pH \uparrow$) → Hemmung des Atemzentrums in der Medulla Oblongata
- Auspendeln von Atemtiefe und -frequenz auf ein der Höhe angepasstes Niveau
- In großer Höhe Abnahme der Herzfrequenz (Maximalpuls Mt. Everest: 120/ min) → längere Kontaktzeiten mit O_2 in der Lunge

2.2 Physiologische Veränderungen in der Höhe – Akklimation

- Erhöhung des Hämatokrits durch Wasserausscheidung (Eindicken des Blutes) → 0,5-1l auf 3000-4000m
 - Signifikante Erhöhung der Erythrozytenzahl erst ab 3 Wochen
- Erhöhung von 2,3-Diphosphoglycerat (2,3-DPG) in den Erythrozyten
 - Vermindert Affinität von Hämoglobin zu O₂ → verbesserte O₂-Abgabe ins Gewebe
 - In Höhen > 5000m jedoch wieder stärkere Bindung des Hämoglobins an O₂ durch respiratorische Alkalose (s. unten) → verbesserte O₂-Aufnahme trotz abnehmendem Sauerstoffpartialdruck
- pH-Verschiebung (↑) im Blut durch verstärkte CO₂-Abatmung → respiratorische Alkalose
 - Affinität von Hämoglobin zu O₂ wird durch 2,3-DPG ausbalanciert
 - Respiratorische Alkalose bildet sich mit zunehmender Akklimation zurück (renale Bikarbonatausscheidung + tubuläre H⁺ Rückresorption ↑)

2.3 Zeichen erfolgter Akklimation

- Puls entspricht wieder Normalwert
- Vertiefte Atmung in Ruhe und unter Belastung
- Vermehrtes, vor allem nächtliches Urinieren („Höhendiurese“; guter Wert: > 1l Urin/ 24h)
- Trainingsgemäße, Hypoxie-reduzierte Ausdauerleistung

⇒ Zeichen für unvollständige Akklimation: Morgendlicher Ruhepuls > als 20% des Ruhepulses in Tallage

⇒ Pulsoxymetrie:

- SaO₂ = 70-85% uncharakteristisch, nur im Zusammenhang mit Beschwerden zu beurteilen
- SaO₂ < 70% ist bei Höhensymptomen als kritisch zu werten

- $\text{SaO}_2 < 60\%$ bei HACE oder HAPE (HAPE zusätzliche Puls $> 100/\text{min}$)

3. Pathophysiologischer Teil

Die 5 goldenen Regeln der Himalayan Rescue Association

1. Jeder kann Höhenkrank werden aber keiner muss daran sterben
2. Jede Gesundheitsstörung in der Höhe muss so lange als Höhenkrankheit gelten bis das Gegenteil bewiesen ist
3. Bei AMS-Symptomen kein weiterer Aufstieg
4. Wenn es dir schlechter geht, steige sofort ab
5. Personen mit AMS dürfen nie alleine gelassen werden

3.1 Laborwerte, die vor der Abreise sichergestellt werden sollten

- Hämatokrit $> 40\%$
- Hämoglobinkonzentration $> 14 \text{ g/dl}$ (♂) bzw. $> 12 \text{ g/dl}$ (♀)
- Ferritin $> 30 \text{ ng/ml}$

Risikofaktoren für die Genese von Höhenkrankheit: Die 4 H's

Hypoxie – Hypothermie – Hypoglykämie – Hypohydrierung

3.2 Höhenkrankheit - Allgemeine Richtlinien

- Die effektivste Therapie ist immer Sauerstoff (Flaschensauerstoff/ Überdrucksack) und Abtransport ins Tal
- Falls Abtransport nicht direkt erfolgen kann:
 - Flaschensauerstoff = wichtigstes Medikament
 - Initial höchstmögliche Flussrate (6-10l/ min) bis $\text{SaO}_2 > 90\%$
 - Dann konstant oder intervallartig Flussrate von 2-4l/ min
 - Überdrucksack ist Flaschensauerstoff in jedem Fall unterlegen

- Bereits bei milder AMS kein weiterer Aufstieg sondern Ruhetag (bewusste Hyperventilation hilft)
- Bei medikamentenbedingtem Erbrechen bei der Gabe von Ibuprofen gegen Höhenkopfschmerz empfiehlt sich die vorherige Gabe von Metoclopramid oder Domperidon
- Bei schwerer AMS ohne Ataxie sofortiger Abstieg → wenn möglich Patient tragen denn körperliche Aktivität kann Krankheitsbild bedrohlich verstärken (Kälteschutz!)
- HACE/ HAPE: Sofortiger Abtransport in sitzender Position + Kälteschutz
- Insbesondere bei HAPE immer aufrechter Oberkörper (> 30°)
- Abstieg immer bis in die Höhe, wo die letzte beschwerdefreie Nacht verbracht wurde → falls unklar mindestens bis auf die Höhe absteigen, auf der 2 Tage vorher geschlafen wurde
- Erneuter Aufstieg erst wenn die Symptome vollständig wieder abgeklungen sind (inkl. kurze Erholung)

3.3 Acute mountain sickness (AMS)

Leitsymptom: Kopfschmerz

+ mindestens eines der folgenden Symptome:

- Müdigkeit
- Schwäche
- Appetitlosigkeit
- Übelkeit
- Schlaflosigkeit
- Häufige nächtliche Apnoe
- Periphere Ödeme
- Ruheherzfrequenzerhöhung > 20%
- Atemnot bei Anstrengung
- Verringerte 24h Urinmenge (< 500 ml)

Therapie:

- Wichtigste Maßnahme: Ruhetag

- Schmerztherapie: Ibuprofen (max. 1800 mg/ Tag)
- Bei schwersten Kopfschmerzen und starker Übelkeit:
 - Dexamethason (4-8 mg alle 6h)
 - Rascher Abstieg bis zum letzten beschwerdefreien Schlafplatz

3.4 High Altitude Pulmonary Edema (HAPE)

Allgemeines:

- 2/3 aller Fälle in 3000-4500 m Höhe
- Beginnt charakteristischerweise in der 2. Nacht nach Erreichen einer neuen Höhe bzw. in der 4. Nacht nach Überschreiten der Schwellenhöhe (2500 m)
- Nach > 4 Tagen im gleichen Höhenbereich praktisch kein Risiko mehr

Risikofaktoren: Anaerobe Belastung (Pressatmung) & große Kälte

Pathogenese:

- Hypoxie → Vasokonstriktion in den Lungengefäßen
- Ist ein normaler Vorgang, der eine gleichmäßigere Blutverteilung bewirkt und zu einer besseren O₂-Aufnahme führt
- Überschießender pulmonaler Hochdruck → Überlastungen in bestimmten Arealen → Flüssigkeitsaustritt in die angrenzenden Alveolen → Ödem

Symptome:

Leitsymptom: Plötzlicher Leistungsabfall (+ Herzrasen + Abfall SaO₂)

- Anfangs Atemnot bei Anstrengung und verzögerte Erholungszeit
- Später Atemnot in Ruhe
- Pulsanstieg auf deutlich >100/ min
- Blaufärbung der Haut und der Lippen
- Später: Trockener Husten
- Husten mit blutig-schaumigem Auswurf
- Feinblasige Rasselgeräusche (später) → v.a. rechte Lungenhälfte
- Distanzrasseln (frei hörbar)

- Brennender Druck hinter dem Brustbein
- Erbrechen
- Fieber
- Flachlagerung unmöglich
- 24h Urinmenge < 500 ml

- ⇒ Rasseln fehlt bei 30% aller HAPE Patienten
- ⇒ ist dagegen auch bei 30% aller AMS-Fälle bemerkbar
- ⇒ Ohr direkt am Rücken des Patienten anlegen um Rasseln zu hören

Anamnese: Leistungsknick + Atemnot + Puls > 100 + SaO₂ < 60%

Therapie:

- Sofortiger Abtransport, keine Belastung!
- Nifedipin: Sofort und dann nach Bedarf alle 6h eine 20 mg Filmtablette (retard! → ansonsten schwere Kreislaufzwischenfälle möglich)
 - Senkt Lungengefäßdruck → ermöglicht Stabilisierung SaO₂
- Auch Kombitherapie Nifedipin/ Dexamethason/ O₂ möglich (vor allem wenn HACE und HAPE gleichzeitig vorliegen)
- Dexamethason hilft zwar auch, ist aber nicht optimal da Wirkung erst nach 1-2 Tagen eintritt

Prophylaxe:

- Langsamer Anstieg!!!
- Vermeiden von Pressatmung
- Keine anaeroben Belastungen in der Akklimatisationsphase, nicht zu viel schleppen
- Mit erhöhtem Oberkörper schlafen (-45°)
- Wind und Kälte erhöhen HAPE Risiko
- Nifedipin als Prophylaxe möglich (20 mg retard) falls rascher Aufstieg nötig (z.B. Rettungsmaßnahme)

3.5 High Altitude Cerebral Edema (HACE)

Allgemeines

- Tritt nie aus heiterem Himmel auf – stets bestehen bereits seit 12-24h AMS-Symptome → HACE – Entwicklung ist vermeidbar!
- In der Regel nur über 4500m

Symptome

Leitsymptom: Ataxie

- Schwerste, medikamentenresistente Kopfschmerzen
- Übelkeit, Erbrechen
- Schwindelzustände
- Halluzinationen
- Lichtscheue
- Sehstörungen
- Vernunftwidriges Handeln
- Papillenödem
- Neurologische Veränderungen:
 - Nystagmus
 - Pyramidenzeichen
 - Hemiparese
 - Nackensteifigkeit
 - Augenmuskellähmungen
- Fieber
- Bewusstseinsstörungen
- Koma
- 24h-Urinmenge < 500 ml

Therapie:

- Sofortiger Abtransport!
- Dexamethason: Initial 8 mg oder mehr, dann alle 6h 4-8 mg in Tablettenform
- Bewusstlose oder Schwerstkranke: 40 mg i.v./ i.m.
 - Stabilisiert vermutlich die Blut-Hirn-Schranke
- Auch Kombitherapie Nifedipin/ Dexamethason/ O₂ möglich (vor allem wenn HACE und HAPE gleichzeitig vorliegen)

- Nicht: Aspirin oder Diamox!

3.6 Diamox

- Zur Prophylaxe der Höhenkrankheit: 2 x 250 mg (auch möglich: 2 x 125 mg → weniger Nebenwirkungen) 24h vor Erreichen der Höhe für 2-3 Tage
- Zur Schlafverbesserung: 2h vor dem Schlafengehen 125-250 mg

3.7 Weitere höhenbedingte Gesundheitsprobleme

- Periphere Unterhautödeme
 - Zwar nicht gefährlich aber Warnzeichen (AMS-Patienten sind 4x so häufig betroffen)
 - Bei extremer Schwellung mit Sichtbehinderung: 2 x 250 mg Diamox
- Retinablutungen
- Höhenreizhusten
 - Am besten Prophylaxe: Kräuterbonbons und Nasenatmung
 - Behandlung:
 - Noscapin (Capval®) 1-1-1-2 (200-300 mg/ Tag)
 - Clobutinol → vom Markt genommen wegen seltenen Herznebenwirkungen
 - Kein Codein!
 - Differentialdiagnose: Asthma Bronchiale (kälteinduziert), beginnendes HAPE, bakterielle Infektion der unteren Atemwege oder beginnendes HACE (selten)
- Kälteschäden (s. unter 3.8)
- Thrombosen und Lungenembolie
 - Prophylaxe: Massive Flüssigkeitszufuhr (4-6l in der Höhe), regelmäßiges Bewegen, vermeiden von Kauerstellung
 - Hinweise auf Beinvenenthrombose:
 - Einseitige Beinschwellung
 - Ödem
 - (Druck-) Schmerz im Venenverlauf
 - Hinweise auf Lungenembolie:
 - Plötzlicher, atemsynchroner Brustschmerz

- Blutdruckabfall bis Kreislaufkollaps
 - Hoher Puls
 - Zyanose
 - Halsvenenstauung
 - Kaltschweißigkeit
 - Unruhe
 - Verdacht auf bzw. gesicherte Beinvenenthrombose
- Notfalltherapie:
 - Immobilisation
 - Abtransport
 - Massive Flüssigkeitszufuhr
 - Sauerstoff
 - Starke Schmerzmittel (Ketamin)
 - Niedermolekulares Heparin (1-2 mg/ 24h/ kg in 2 Dosen → schon beim ersten Verdacht auf Beinvenenthrombose)
- Strahlenschäden (UV-Zunahme ca. 4% pro 300 Hm)
 - ⇒ UV-Strahlung beeinträchtigt Immunsystem → erhöhte Infektanfälligkeit
- Sonnenbrand
 - ⇒ Therapie: Feuchte Kühllumschläge, viel Trinken, reichlich Kortisonsalben, Ibuprofen
- Schneeblindheit
 - Starkes Schmerzmittel (Morphin) ist anästhesierenden Augentropfen vorzuziehen → Patient reibt sonst in den Augen
 - Zusätzlich antibiotische Augentropfen, später mehrmals Vitaminaugentropfen (z.B. Oleovit®)
 - In schweren Fällen müssen die Augen verbunden werden (+ körperliche Ruhe)
 - Tritt oft mit mehreren Stunden Verspätung ein (nachts) und ist dann schwer der Strahlung zuzuordnen
- Reisediarrhoe
 - Pro Stuhlgang ¼ l ORS trinken
 - ORS (orale Hydratationslösung):
 - 1 TL Salz
 - ½ TL Backpulver
 - 8 TL Zucker

- Auf 1 l Wasser
- Dazu eine Trockenfrucht essen
- Therapie:
 - Mäßig: Initial 4 mg Loperamid, dann 2 mg pro Stuhlentleerung (max. 12 mg/ Tag bzw. max. 48h)
 - Stark: Zusätzlich Antibiotikum (Ofloxacin 400 mg/ Tag oder Ciprofloxacin 500 mg/ Tag)
- Falls Symptome > 5 Tage, eitriger oder blutiger Stuhl, krampfartig-schmerzhafter Stuhlgang oder Fieber $\geq 40^{\circ}\text{C}$ → Arzt konsultieren
- Synkope: Plötzliche, kurzzeitige Bewusstlosigkeit durch niedrigen Blutdruck in Verbindung mit Luftanhalten (z.B. Anziehen der Steigleisen) → nicht gefährlich, Beine hochlagern

3.8 Erfrierungen

Extrem geringe Spanne zwischen ungefährlich und gefährlich (Hauttemperatur = $-4,5^{\circ}\text{C}$ → fast noch kein Erfrierungsrisiko, bei $-7,8^{\circ}\text{C}$ nahezu 100%!)

- Unterkühlte Hautstellen zunächst versuchen unter Wärmezufuhr (z.B. Hand unter Achsel o.ä.) aufzutauen → wenn innerhalb von 10 min vollständige Erholung auftritt ist kein weiterer Schaden zu befürchten
- Ansonsten „Rapid Warming“:
 - Eintauchen in $35-40^{\circ}\text{C}$ warmes Wasser („Ellenbogentest“)
 - Temperatur durch Zugabe von warmem Wasser konstant halten
 - Schmerztherapie (Morphin)
 - Erwärmung bis zur vollständigen Erholung oder mindestens 30 min
 - Danach Hochlagerung (Ödemprophylaxe)
 - Blasen nicht öffnen (bei Spannung durch steriles Anstechen entlasten)
- Bei extremer Kälte Bergstöcke niedriger einstellen (kein 90° Winkel am Ellenbogen → Hände sollten bei senkrecht eingestecktem Stock auf Hüfthöhe sein)

- „Vapour Barrier“ (feuchte Socken = großer Risikofaktor für Erfrierungen)
 - Hand: Seidenhandschuh – dünner Plastikhandschuh – Windstopperhandschuh – Daunenüberhandschuh
 - Fuß: Polypropylen- oder Seidensocke – Gefrierbeutel (20-25l) – Merinosocke
 - Auch im Schlafsack möglich (im Biwacksack in den Schlafsack) → Schlafsack erhält optimale Wärmeleistung

4. Die Expeditionsapotheke

4.1 Inhalt der Erste-Hilfe Tasche

- 2 Dreiecktücher
- 1 elastische Binde
- Wundpflaster
- Verbandmull
- Elastische Haftklebebinde
- Salbengaze
- Leukoplastrolle
- Einmalhandschuhe
- Pulsoxymeter
- Kälteschutzfolie

4.2 Die Expeditionsapotheke

	Indikation	Freiname	Handelsname Beispiel
Notfallapotheke	AMS	Ibuprofen	
	AMS/ HACE	Dexamethason Tbl. 8mg, 10 St.	Fortecortin
	HAPE	Nifedipin retard 20 mg, 10 St.	Adalat
	(Platz-) Wunden	Steristrips, 3-4 St.	Nexcare
	Sehr starker Schmerz	Tramadol Kps. 50 mg, 10 St. oder Tilidin 50/4 mg 10 St.	
	Schneeblindheit	Antibakt. Augentropfen	Polyspektran

Apotheke für das Basislager	Erschöpfung	Kortikosteroide, Glukose	Fortecortin
	Schlafstörungen	Acetazolamid	Diamox
	Schmerzen	Ibuprofen (leicht), Novaminsulfon (mäßig), Morphin (stark)	
	Durchfall	10 Kps. Loperamid, Tanninalbuminat	Loperamid AL
	Verstopfung	Bisacodyl oder Natriumpicosulfat	Dulcolax oder Laxoberal
	Bauchschmerzen	Butylscopolaminbromid	Buscopan
	Übelkeit/ Erbrechen	Metoclopramid Tbl.	MCP Stada
	Husten	Noscopin	Capval
	Schnupfen	Xylometazolin	Olynth
	Halsschmerzen	Benzocain	Dolo-Dobendan
	Bakterielle Infekte		
	○ Atem-/ Harnwege	Cefuroxim	
	○ Magen/ Darm	Ciprofloxacin	
	Allergien/ Anaphylaxie	Kortikosteroide und H ₁ - Antagonisten	Fortecortin, Cetirizin
	Thrombosen	Niedermolekulare Heparine z.B. Enoxaparin	Clexane
	Sonnenbrand	Bamiplinlactat oder Flumetason	Soventol Gel oder Locacorten Lotio
	Insektenstiche	Dimetinden	Fenistil
	Lokale Infektionen	Zugsalbe, Jodsalbe	Ichtholan, Freka-Cid
	Kleinere Wunden	Dexpanthenol	Bepanthen
	Blasen	Tape, spez. Polstermaterialien	Compeed

5. Literaturverzeichnis

Berghold F, Schaffert, W. Handbuch der Trekking- und Höhenmedizin, 7. Auflage, 2009

Küpper T, Ebel K, Gieseler U. Moderne Berg- und Höhenmedizin, 1. Auflage, Stuttgart: Gentner Verlag, 2010