

# **FLUGMEDIZIN UND FLUGPHYSIOLOGIE**

## **Basiswissen zum Aeromedical Transport**

---

*Version 1.2, November 2008*

### **Inhalt:**

#### **1 Geschichtlicher Überblick**

#### **2 Flugphysiologische Grundlagen**

- 2.1 *Auswirkungen der Flughöhe auf Druck und Volumen*
- 2.2 *Gasgesetze und deren praktisch-klinischen Auswirkungen*
  - 2.2.1 *Boyle-Mariotte*
  - 2.2.2 *Dalton*
  - 2.2.3 *Henry*
  - 2.2.4 *Graham*
- 2.3 *Auswirkungen der Flughöhe auf die Atmung*
- 2.4 *Auswirkungen der Flughöhe auf Herz-Kreislauf*
- 2.5 *G-Belastungen*
  - 2.5.1 *Positive Belastung, +g*
  - 2.5.2 *Negative Belastung, -g*
  - 2.5.3 *Querbelastung*
- 2.6 *Temperatur und Feuchtigkeit*
- 2.7 *Reisethrombose*

## 1 GESCHICHTLICHER ÜBERBLICK

- 1784 erster Flug im Heißluftballon der Gebrüder Montgolfier; bereits damals begannen die Ärzte zu überlegen, ob diese Art des Transports nicht auch für Patienten geeignet sein könnte
- 1909 Captain George Gosman baute das erste "schwerer als Luft"- Flugzeug speziell für den Patiententransport (Aeromedical Transport, AMT). Bevor es jedoch noch weiterentwickelt und verbessert werden konnte, stürzte es ab und erlitt einen Totalschaden ohne je einen Patienten transportiert zu haben
- 1917 in Frankreich wurde die erste Air-Ambulance gebaut (Dorand AR II), die tatsächlich auch Patienten transportiert hat

Während des 2. Weltkrieges kam es zu einem starken Aufschwung des AMT

1950 Korea-Krieg: erstmals Einsatz von Hubschraubern

späte 60er, frühe 70er Jahre

Vietnam-Krieg: gewaltige Fortschritte des AMT v.a. aufgrund der Erfahrungen aus dem Korea-Krieg. Nicht zuletzt wegen der andauernden Berichterstattung in den Medien wurde der AMT jetzt auch für zivile Zwecke entdeckt

## 2 FLUGPHYSIOLOGISCHE GRUNDLAGEN

Unter Flugbedingungen gelten physikalische Besonderheiten, die es zu beachten gilt. Die Abnahme des atmosphärischen Drucks ist das physikalische Kernproblem des Lufttransports.

### 2.1 Auswirkung der Flughöhe auf Druck und Volumen:

Wer schon einmal auf einem hohen Berg gelaufen ist, hat dabei sicherlich keuchend erfahren, dass die Luft oben dünner ist. Mit zunehmender Höhe nimmt der Luftdruck ab, und es ist nachvollziehbar, dass es eine Höhe gibt, bei der auch heftige Atemarbeit („japsen“ nach Luft) nicht mehr für ausreichende Oxigenierung sorgt. Dennoch fliegen Flugzeuge weit über dieser „Japs“- Grenze. Hierzu haben sie eine Druckkabine.

Würde man die Luft einfach einschließen und starten, wäre eine Lüftung nicht möglich. Zudem wäre der Druckunterschied zwischen Innen und Außen so groß, dass die Flugzeugwände extrem dick sein müssten und daher das Flugzeug zu schwer.

Also wird der Kabinendruck langsam abgesenkt, um die Druckdifferenz zu reduzieren. Der Kabinendruck entspricht damit in den meisten Verkehrsflugzeugen

bei maximaler Reishöhe den Druckverhältnissen, die in ca. 2000-2500m Höhe herrschen (im Ambulanzflugzeug ca. 1800m) und ist abhängig von der Flughöhe.

## **2.2 Gasgesetze und deren praktisch-klinischen Auswirkungen:**

### **2.2.1 Boyle-Mariotte:**

Das Produkt aus Druck und Volumen einer abgeschlossenen Gasmenge ist bei gleichbleibender Temperatur konstant.

*Beispiel:*

*Was passiert mit einer Plastikflasche bei Start und Landung?*

*Beim Start wird der Druck kleiner, das Volumen muss daher grösser werden: die Flasche bläst sich auf*

*Beim Landen wird der Druck grösser, das Volumen muss daher kleiner werden: die Flasche dellt sich ein.*

Dieses Prinzip gilt für alle abgeschlossenen luftgefüllten Räume. Die Volumenänderung ist nicht gering: sie beträgt bei einem Aufstieg auf 8000ft (~2400m) ~20%. Dazu kommt noch als Besonderheit, dass die Luft in den Körperhöhlen nicht trocken sondern wasserdampfgesättigt ist: wasserdampfgesättigte Luft dehnt sich stärker aus als trockene!

### **Medizinische Relevanz:**

Lufteinschlüsse (trapped air) bzw. luftgefüllte Hohlräume im:

- Schädel:  
Lufteinschlüsse vor allem postoperativ und nach SHT (frontobasale Frakturen); Diese Patienten transportiert man am besten bei Bodendruck in der Kabine! Dies ist möglich, indem man eine niedrigere Flughöhe wählt. Das bedeutet aber einen höheren Luftwiderstand mit mehr Treibstoffverbrauch, daher geringerer Reichweite, geringeres Tempo und längere Flugdauer (man muss evtl. zwischenlanden); somit sind solche Transporte teurer!
- Mittelohr:  
Das Mittelohr ist durch die Eustachische Röhre (ER) mit dem Nasen-Rachen-Raum verbunden. Beim Start wird das Volumen grösser und die Luft entweicht durch die ER: das ist anatomisch einfach, daher hat man beim Start meist keine grösseren Ohrenprobleme.  
Bei der Landung jedoch wird das Volumen der Luft im Mittelohr kleiner und das Trommelfell daher eingezogen; im schlimmsten Fall kommt es zu Einblutungen und Platzen des Trommelfells. Daher muss man Luft in das Mittelohr bringen durch „Druckausgleichsmanöver“, z.B. Bewegungen des Unterkiefers (Kauen, Schlucken, Gähnen), diese öffnen die ER wenn das nicht funktioniert: durch Überdruckatmung, also Nase zuhalten, Mund zumachen und ausatmen.  
Babys und Kleinkinder: während der Landung nicht schlafen lassen, sondern für Unterkieferbewegung sorgen und saugen lassen (Flascherl, Schnuller)

- Nasennebenhöhlen:  
Druckanstieg der sich ausdehnenden Luft äußert sich in dumpfem Druck bis stechenden Schmerz; evtl. Einblutungen.  
Was kann man dagegen tun: bei Schnupfen oder bekannten Problemen mit den NNH: abschwellende Nasentropfen: 15min. vor dem Start und 30min. vor der Landung
- Zähne:  
Die Zähne des Oberkiefers stehen in enger Beziehung zu den NNH.  
Druckveränderungen in den NNH wirken sich somit auch auf die Zähne aus.  
Lufteinschlüsse bei schlecht sanierten Zähnen unter Plomben können durch Ausdehnung ebenfalls zu Zahnschmerzen führen!
- Lunge:  
Ein vorhandener Pneumothorax wird grösser! Daher vorher entlasten! Wichtig: bei entsprechender Anamnese gezielt schauen, ob der Patient nicht doch einen Pneumothorax hat, der übersehen wurde!  
Schweres Lungenemphysem, Bullae in der Lunge: können platzen und zum Pneu führen!
- Magen-Darm-Trakt:  
Ileus: durch Setzen einer Magensonde vorher entlasten! Auch ohne Ileus können die Volumenänderungen im Magen-Darm-Trakt unangenehm sein: Blähungsschmerz, Völlegefühl, Druck gegen Zwerchfell mit Einschränkung der Atmung, Druck auf die V. cava inf. mit Beeinträchtigung des Kreislaufs möglich.  
Was kann man dagegen tun? Die Luft entweichen lassen (sowohl nach oben als auch nach unten ( beides ist für Mitreisende nicht sehr angenehm); vor und während des Fluges keine kohlenensäurehaltigen Getränke und blähende Speisen zu sich nehmen  
NB (für Bergsteiger): bei 20000ft. (~6100m) hat sich das Volumen im Magen-Darm-Trakt bereits mehr als verdoppelt!!
- Medizinisch-technisches Zubehör:  
Cuff: öfters Druck kontrollieren!  
Stoma- Sackerl: größeres Sackerl wählen und öfters nachschauen!

### 2.2.2 Dalton

Der Gesamtdruck eines Gasgemisches ist gleich der Summe der Partialdrücke aller anwesenden Gase.

Zusammensetzung der Atmosphäre (trocken):

Stickstoff	78,08
Sauerstoff	20,95
Argon	0,93
Kohlendioxid	0,034
Wasserstoff	0,00005
Andere Edelgase	0,00245

Jetzt kennen wir den prozentuellen Anteil eines jeden Gases. Damit kann man sich die Partialdrücke ausrechnen; z.B. für O<sub>2</sub>:

pO<sub>2</sub> (Meeresniveau):  $0,2095 \times 760\text{mmHg} = 159,2\text{mmHg}$

Der Luftdruck nimmt mit zunehmender Höhe ab: an Hand einer entsprechenden Tabelle kann man sich für jedes Gas und jede Höhe die Partialdrücke ausrechnen.

Beispiel: pO<sub>2</sub> bei Kabinendruck des Ambulanzflugzeuges (6000ft. = 1800m)  
Höhe von entspricht:  
pO<sub>2</sub> (6000ft):  $0,2095 \times 609\text{mmHg} = 127,6\text{mmHg}$

#### Medizinische Relevanz:

Beim spontan atmenden Patienten, welcher O<sub>2</sub> benötigt.

Nehmen wir an, der Patient benötigt auf Meeresniveau eine FiO<sub>2</sub> von 0,45. Jetzt bringen wir unseren Patienten auf 1800m (Kabinendruck). Was passiert? Der pO<sub>2</sub> wird sinken und damit die Sauerstoffsättigung.

Bei 45% O<sub>2</sub> in der Luft beträgt der pO<sub>2</sub> auf Meeresniveau:

pO<sub>2</sub>:  $0,45 \times 760\text{mmHg} = 342\text{mmHg}$

Bei einem Luftdruck von 609mmHg (Reisehöhe des Ambulanzflugzeuges):

pO<sub>2</sub>:  $0,45 \times 609\text{mmHg} = 274\text{mmHg}$

Beispiel: Wenn unser Patient bei einem pO<sub>2</sub> von 342mmHg eine O<sub>2</sub>-Sättigung von angenommen 95% erreicht, wird diese bei einem pO<sub>2</sub> von 274mmHg dementsprechend geringer ausfallen. Daher muss man die FiO<sub>2</sub> erhöhen. Um wieviel muss die FiO<sub>2</sub> erhöht werden um die gleiche Oxigenierung zu erreichen?

45% von 760mmHg = 342mmHg  
x % von 609mmHg = 342mmHg  
Formel:  $(\text{FiO}_2 \times \text{Ausgangsdruck}) / \text{aktuellen Druck} = \text{benötigte FiO}_2$   
 $(0,45 \times 760\text{mmHg}) / 609\text{mmHg} = 0,56$   
Die FiO<sub>2</sub> muss also auf 0,56 erhöht werden.

CAVE: dies gilt nur für den spontan atmenden Patienten! Bei intubierten Patienten am Respirator bleibt die FiO<sub>2</sub> gleich!

### **Was macht man bei einem plötzlichen Druckabfall in der Kabine?**

Zuallererst sollten Sauerstoffmasken herunterfallen: diese bitte selbst aufsetzen, bevor man noch irgendetwas anderes macht!

Time of useful consciousness (TUC): abhängig vom Ausmaß des Druckverlustes kommt es zu mehr oder weniger rasch zu einem hypoxischen Zustand. Die Piloten müssen so schnell als möglich auf eine niedrigere Höhe gehen.

bei einer Flughöhe von 20000ft (6100m) hat man in Ruhe immerhin 30 min. TUC  
bei einer Flughöhe von 35000ft (10670m) nur 45sec. TUC!

Wie oben schon erwähnt gilt dies nur für einen plötzlichen Druckabfall; bei langsamen Druckveränderungen gibt es einen Gewöhnungseffekt!

### **2.2.2 Henry**

Die Menge eines Gases in Lösung ist proportional dem Druck des Gases über der Lösung.

Beispiele: Dekompressionskrankheit beim Tauchen: gelöster Stickstoff im Blut perlt bei zu schnellem Auftauchen aus. Wichtig: der letzte Tauchgang darf nicht kurz vor dem Abflug sein!

### **2.2.3 Graham (Diffusionsgesetz)**

Die Diffusionsrate eines Gases in eine Flüssigkeit ist direkt proportional der Löslichkeit des Gases und umgekehrt proportional der Quadratwurzel seiner Dichte oder seines Molekulargewichtes.

## **2.3 Auswirkung der Flughöhe auf die Atmung**

Für einen gesunden Menschen ist die Abnahme des Kabinendruckes kaum merkbar, zumal auch keine körperliche Belastung gefordert wird. Bei bereits bestehenden Lungenproblemen oder einer schweren Anämie kann es sich sehr wohl auswirken:

Nehmen wir an, der Patient ist bereits auf Meeresebene grenzwertig oxigeniert.

Wenn mit abfallendem Kabinendruck der Sauerstoffpartialdruck sinkt, sinkt auch der Sauerstoffpartialdruck im Blut (Henry!) und der Patient wird hypoxisch.

Wie reagiert der Körper auf die Hypoxie? Das Atemminutenvolumen nimmt zu (entweder durch Zunahme des Atemzugvolumens und/oder der Atemfrequenz). Beim Gesunden nimmt das Atemminutenvolumen auf einer Höhe von 2250m um ca. 10% zu. Dies führt zu Hyperventilation.

Aus der Hyperventilation und dem damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Abfall resultiert eine respiratorische Alkalose. Bei längerem Bestehen der respiratorischen Alkalose versucht der Körper dies zu kompensieren: es kommt zur Bikarbonat-Diurese.

Weiters kommt es durch die Hyperventilation zum Auskühlen: dies führt einerseits zur Vasokonstriktion und damit ebenfalls zu einer verstärkten Diurese, andererseits kommt es durch das Kältezittern zu einem vermehrten O<sub>2</sub>-Bedarf.

## **2.4 Auswirkung der Flughöhe auf Herz und Kreislauf**

Mit zunehmender Hypoxie steigt die Herzfrequenz in Ruhe an.

Das Herzzeitvolumen (HZV) bleibt in Höhen bis 2250m allerdings unverändert (d.h. eine Erhöhung der Herzfrequenz geht mit einer Erniedrigung des Schlagvolumens einher).

Ab einer Höhe von 2250m kommt es in Ruhe durch den erniedrigten pO<sub>2</sub> zur arteriellen Vasokonstriktion in der Lunge und damit zur Erhöhung des Lungengefäßwiderstandes (Euler- Liljestrand- Mechanismus).

Weiters kommt es ab 2250m aufgrund der zunehmenden Hypoxie zur Zunahme des HZV's. Damit steigt der O<sub>2</sub>-Verbrauch an, obwohl ursächlich eine O<sub>2</sub>-Knappheit im Blut verantwortlich ist.

Dieser Teufelskreis ist durch einfache O<sub>2</sub>-Gabe zu durchbrechen.

Wichtig ist, es gar nicht erst so weit kommen zu lassen und Patienten mit bekannter pulmonaler Hypertension und/oder KHK-Anamnese bereits prophylaktisch mit Sauerstoff zu versorgen.

## **2.5 G-Belastungen**

Ein „G“ ist die Beschleunigung, die ein im luftleeren Raum frei fallender Körper im Schwerfeld der Erde erfährt. Die durch die Beschleunigung auf den Körper einwirkende Kraft wird in „g-Einheiten“ ausgedrückt (1g = 9,81 Meter/sek<sup>2</sup>).

### **2.5.1 positive Belastung, +g**

„positive acceleration stress“

zeigt bei der Bewegungsrichtung vom Kopf zum Fuß.

Tritt beim Starten des Flugzeugs auf (Aufwärtsbewegung im Sitzen oder Stehen):

Das Blut strömt verstärkt in Arme und Beine, sodass das Gehirn weniger Sauerstoff bekommt.

Das ist bereits bei +2g spürbar; bei +3g ist es fast unmöglich aus sitzender Position aufzustehen; ab +5g kann man das Bewusstsein verlieren und bei +8g kann man kaum noch den Arm heben.

Das durchschnittliche Flugzeug (also auch ein Ambulanzflugzeug) erreicht bei Start und Landung ca. 0,5g!

Wie wirkt sich die positive Belastung jetzt auf das kardiovaskuläre System aus?

Im Blutkreislauf herrscht ein größerer Druckgradient, d.h. um das Blut gegen die Beschleunigungsrichtung vom Herzen nach oben zu fördern, ist ein höherer Druck (mehr Kraft) erforderlich, zumal es unterhalb des hydrostatischen Indifferenzpunkts (jener Ort im Gefäßsystem, dessen Druck sich beim Positionswechsel vom Liegen zum Stehen nicht ändert) zur Erweiterung der Blutgefäße kommt und damit zusätzlich Blutvolumen verloren geht, und der arterielle Blutdruck weiter vermindert wird.

Was macht der Körper nun um das HZV aufrecht zu erhalten? Zuerst werden die Reserven mobilisiert: d.h. es kommt zu einem vermehrten Blutrückstrom aus den pulmonalen Reservoirgefäßen und damit zu einer vermehrten Füllung des Herzens; die Kontraktionskraft des jetzt stärker vorgedehnten Herzens steigt an.

Das geht ca. 15sec. lang gut, dann fällt der Blutdruck ab.

Mit zunehmender g-Belastung steigen sowohl Herzfrequenz als auch Blutdruck an und bewirken eine effektive Steigerung der g-Toleranz.

Der Knackpunkt der +g's ist die Aufrechterhaltung der Durchblutung im Kopfbereich:

- die Sauerstoffunterversorgung bewirkt eine Erweiterung der Arteriolen im Gehirn. Damit kommt es zur Verringerung des Gefäßwiderstandes, welcher die Gehirndurchblutung erleichtert.
- Das abströmende Blut in den oberen Halsvenen unterstützt die Gehirndurchblutung durch eine Art Siphon-Effekt.
- Das Gehirn schwimmt im Liquor und der Liquordruck steigt und fällt mit dem Blutdruck. Daher bleibt die Druckdifferenz an den Gefäßwänden minimal und ein Kollabieren der Blutgefäße wird vermieden.

Nicht nur das Gehirn, sondern auch die Augen wollen mit Sauerstoff versorgt sein. Da das Auge auch noch einen Innendruck von ca. 20mmHg aufweist, wird es schon bei um etwa 1g geringeren Lastvielfachen nicht mehr durchblutet und stellt schrittweise seinen Betrieb ein. Die Retina wird in erster Linie durch eine Zentralarterie versorgt, die sich dann zur Peripherie hin immer weiter aufteilt; in den feinen Verästelungen ist dann auch naturgemäß der Blutdruck reduziert. Es werden daher als erstes die Peripheriekapillaren nicht mehr durchblutet; die Farbzapfen verweigern zuerst den Dienst und verursachen einen „**Greyout**“. Dann folgen die Schwarz- Weiß- Rezeptoren, was zu einem Verlust des peripheren Sehens führt: dem sogenannten Tunnelblick: nach vorne sieht man noch scharf, aber von den Seiten wandert ein Nebelschleier wie eine Art Scheuklappen in das Gesichtsfeld, bis man quasi wie durch eine Röhre sieht.

Steigt „g“ weiter, klappt auch die Versorgung des Zentralbereichs nicht mehr. Die Folge ist der temporäre Verlust der Sehfähigkeit, bezeichnet als „**Blackout**“.

Erhöht sich die g-Last weiter oder hält sie für längere Zeit auf hohem Niveau an, bekommt auch das Gehirn nicht mehr seinen erforderlichen Anteil: Bewusstlosigkeit oder G-LOC (gravity-induced loss of consciousness) resultieren daraus.

Bei Reduktion der g-Belastung ist alles sofort wieder reversibel!

### **2.5.2 negative Belastung, -g**

negative acceleration stress, -g

zeigt bei der Bewegung vom Fuß zum Kopf.

Tritt beim Landen des Flugzeugs auf ( Abwärtsbewegung im Sitzen oder Stehen): es strömt das Blut verstärkt in den Kopf.

Schon kleine Überschreitungen der -1g-Marke werden von Ungeübten als sehr unangenehm und unter Umständen sogar als schmerzhaft empfunden. Bei -3g bis -4,5g, also den Verhältnissen beim Bungeejumping, stellt sich ein Gefühl ein als ob die Augen aus den Augenhöhlen drängen. Ab -5g kann man auch hier bewusstlos werden.

Wie wirkt sich die negative Belastung auf das kardiovaskuläre System aus?

Zuerst kommt es durch den vermehrten Rückstrom zum Herzen zu einer Erhöhung des HZV's mit einer Erhöhung des intracerebralen Druckes. Danach kommt es zu einer reflektorischen Bradykardie, die bis zum kurzzeitigen Herzstillstand führen kann (um den arteriellen Druck zu senken). Gleichzeitig kommt es zu einer Verlagerung von Blutvolumen in den Lungenkreislauf.

Der venöse Blutdruck braucht ca. 3sec. um den vollen Wert zu erreichen; ist dann aber höher als der arterielle Blutdruck (der hydrostatische Indifferenzpunkt liegt im venösen System ca. 5-10cm unterhalb des Zwerchfells, im arteriellen System auf Herzhöhe).

Durch den hohen Druck im Kopfbereich kann es zu Petechien im Gesicht kommen und zum Platzen von Blutgefäßen in den Augen (Karnickelaugen). Darunter leidet die Sehfähigkeit übrigens nicht. Bei höheren negativen Lastenvielfachen kann die Sehfähigkeit auch kurzzeitig verloren gehen und man sieht nur noch rote Farbe:

„Redout“.

So eindeutige Symptome wie Greyout/Blackout bei positiven Lastenvielfachen gibt es nicht; dafür tut es, wenn man seine Grenze erreicht, schlicht und einfach weh (Druck im Kopf und Stechen in den Augen).

Für das Gehirn gilt das gleiche wie vorher: es „dümpelt“ im Liquor, sodass sich keine Druckdifferenz aufbauen kann und daher zerebrale Blutungen ausgeschlossen sind.

### **2.5.3 Querbelastrung**

transverse acceleration stress

zeigt bei der Bewegung senkrecht auf die Körperachse.

Die Querbelastrung ist für den Organismus weitaus besser zu verkraften.

Bis etwa 6g spürt man nur einen erhöhten Druck auf die abstützenden Körperteile.

Bis 12g wird nur das Atmen erschwert und der Sauerstoffgehalt im Blut sinkt. Dem kann man mit einem erhöhten Sauerstoffgehalt in der Atemluft begegnen, sodass Belastungen von 15 bis 20g ohne Gefahren für den Körper möglich scheinen.

Generell gilt: die Haupteinflussgröße für die Auswirkungen der Lastenvielfachen ist die Geschwindigkeit, mit der die hohe Belastung aufgebaut wird, die „g-onset-rate“.

Auch individuelle Faktoren spielen eine Rolle:

in der Regel sind kleinere untersetzte Personen aufgrund von ein paar cm weniger Flüssigkeitssäule belastbarer. Sportarten, bei denen kurze, heftige Kraftanstrengungen nötig sind wie Gewichtheben oder Geräteturnen, helfen entscheidend, die g-Toleranz zu verbessern; Ausdauersportarten sind eher kontraproduktiv.

### **Wie transportiert man daher einen liegenden Patienten?**

Der Kopf muss immer vorne sein, d.h. der Patient schaut gegen die Flugrichtung.

Im Liegen wird die Aufwärtsbewegung zur Querbelastrung und die

Vorwärtsbewegung zur positiven Belastung; damit gilt in etwa das gleiche wie für sitzende Personen, nur etwas abgeschwächt:

Beim Start wird das Blut aus dem Kopf in die Arme und Beine gedrückt: der ZVD sinkt; bei Cava-Katheter Gefahr der Luftembolie!!! Bei einem peripheren VK am Arm wird das Blut in die Infusion gedrückt. Bei der Landung verhält es sich umgekehrt: über den ZVK rinnt Blut zurück, dafür saugt der periphere VK Luft an.

## **Medizinisch relevant ist die Wirkung von Lastenvielfachen bei:**

- SHT:  
Hirndrucksteigerung beim Landen, Minderdurchblutung beim Starten
- Augenerkrankungen:  
Netzhautdurchblutung (Einblutungen bzw. Minderdurchblutung bei vorbestehenden Erkrankungen wie Diabetes, art. Hypertonie,...)
- Kardialen Erkrankungen:  
die kardiale Belastung ist bei 0,5g nicht relevant
- Auswirkung auf medizinische Geräte:  
WICHTIG: Perfusoren immer 90° zur Flugrichtung anbringen, sonst können ungewollte Bolusgaben entstehen!

## **2.6 Temperatur und Luftfeuchtigkeit**

Die Feuchtigkeit der Luft in den oberen Luftschichten ist minimal. Diese Luft wird im Prinzip aus den Turbinen komprimiert und durch Filter, unter anderem vom Ozon gereinigt, in das Flugzeuginnere geblasen. Bei der Erwärmung der in das Flugzeug einströmenden Außenluft mit einer Temperatur von ca.  $-50^{\circ}\text{C}$  auf eine vorübergehende Temperatur von  $270\text{-}370^{\circ}\text{C}$  und der anschließenden Abkühlung auf  $\sim 20^{\circ}\text{C}$  sinkt die relative Luftfeuchtigkeit in der Kabine auf Werte unter 10%! Es herrscht also extreme Lufttrockenheit im Flugzeug.

Die Passagiere, die diese trockene Luft einatmen und wasserdampfgesättigt wieder abatmen, tragen wesentlich zur Erhöhung der Luftfeuchte im Flugzeug bei. So werden z.B. in einem Passagierflugzeug in der Economy Class 16% erreicht, in der spärlich bestuhlten First Class jedoch nur etwa 5%. Im Ambulanzflugzeug beträgt die Luftfeuchtigkeit ca. 30%.

Die trockene Luft kann u.a. folgende Auswirkungen haben:

- trockene Haut und Lippen: Feuchtigkeitscreme, Lippensalbe (vor allem bei an sich trockener Haut, Ekzeme,...) empfohlen!
- trockene Schleimhäute mit Atem- und Schluckbeschwerden
- trockene, schmerzhaft Augen (Kontaktlinsen): Augentropfen, künstl. Tränenflüssigkeit
- vermehrter Flüssigkeitsverlust v.a. über die Atmung

### **Dehydratation**

Dehydratationszeichen: Erschöpfung, Kopfschmerzen, Müdigkeit, Verwirrtheit, Krämpfe

Durstgefühl: meist wird erst ab ca. 1,5 L Defizit oder einem Verlust von 2% des Gesamtkörpergewichtes Durstgefühl auftreten. D.h. das Durstgefühl kommt zu spät und ist zu leicht auszuschalten (es verschwindet bereits bei zu kleinen Trinkmengen). Daher sollte die Trinkmenge gegenüber dem Normalbedarf etwa verdoppelt werden bzw. ausreichend infundiert werden.

Besonders wichtig ist eine optimale Flüssigkeitsbilanz bei:

- Glaukom:  
durch Flüssigkeitsverschiebungen kann ein akuter Anfall ausgelöst werden
- Nierenerkrankungen:  
erhöhtes Myoglobin (Crush-Niere)
- Säuglinge und Kleinkinder:  
dehydrieren sehr leicht!!
- alten Menschen:  
herabgesetztes Durstgefühl
- zur Thromboseprophylaxe

## **2.7 Reisetrombose**

Definition: Es handelt sich um eine tiefe Beinvenenthrombose, die im Anschluss einer mindestens 5 Stunden dauernden und nicht länger als 2 Wochen zurückliegenden Reise diagnostiziert wird

Höhe des Risikos eines thromboembolischen Ereignisses in Verbindung mit Flugreisen:

für alle Altersgruppen auf 0,0014%,

bei > 40-jährigen auf 0,004% geschätzt

Ausgehend von einer hohen Dunkelziffer nimmt man jedoch eine Inzidenz klinisch latenter tiefer Venenthrombosen von 0,01% an.

Begünstigend für eine Reisetrombose (kommt auch in PKW oder Bahn vor) sind:

- enge Sitzreihen und mangelnde Bewegung der unteren Extremitäten (Kompression der V.poplitea durch die Sitzkante).
- Lang anhaltende Flexion im Knie- und Hüftgelenk mit reduziertem venösen Fluss und mechanische Belastung der Gefäßwand.
- Flüssigkeitsverschiebungen und zu geringe Trinkmengen mit Erhöhung der Blutviskosität

### **Prophylaxe der Reisetrombose:**

Da Pat. in der Flugmedizin krank oder verletzt sind, d.h. meist schon seit Tagen im Bett liegen, ist das Thromboserisiko hier höher einzustufen. Daher sollte man sicherheitshalber jedem Patienten vor dem Flug (unabhängig von der Reisedauer) ein niedermolekulares Heparin verabreichen.

**Verfasser:**

*Gabriele Lerche, FÄ f. Anästhesie und Intensivmedizin, Notärztin*  
*[gabriele.lerche@johanniter.at](mailto:gabriele.lerche@johanniter.at)*

*Rainer Schmid, FA f. Anästhesie und Intensivmedizin, Notarzt*  
*[rainer.schmid@tmo.at](mailto:rainer.schmid@tmo.at)*