

9. Übung zur Medizinphysik I

SS 2015

Ausgabe: 01.06.2015

Abgabe: 08.06.2015, 10:00 Uhr

Prof. Dr. D. Suter

Aufgabe 1: Erythrozyten: Sauerstofftransport im Körper (3 Punkte)

- Wieviele Sauerstoffmoleküle werden pro Minute im Blut transportiert, wenn das Atemminutenvolumen eines Menschen $10 \frac{l}{min}$ beträgt? Die Sauerstoffkonzentrationen der ein- und ausgeatmeten Luft sei $c_{O_2}^{ein}=21 \text{ Vol\%}$ bzw. $c_{O_2}^{aus}=16,5 \text{ Vol\%}$ bei Körpertemperatur und einem Druck von 101 kPa .
- Im gesättigten Zustand transportiert ein Hämoglobinmolekül 4 Sauerstoffatome. Wieviele Hämoglobinmoleküle befinden sich in einem Erythrozyten bei einer Blutmenge von 6 l , einer mittleren Blutumlaufrzeit von 50 s und $5 \cdot 10^6 \frac{1}{\mu l}$ Erythrozyten im Blut?
- Wie groß ist die mittlere Lebensdauer der Erythrozyten wenn diese mit der Rate $R=3 \cdot 10^6 \frac{1}{s}$ im Körper neu gebildet werden?

Aufgabe 2: Atemvolumen (3 Punkte)

Die Atmung kann durch verschiedene Volumina beschrieben werden. Unter dem Atemvolumen V_A wird das Luftvolumen verstanden, das bei einem normalen Atemzug ein- bzw. ausgeatmet wird. Typische Werte für V_A sind $0,5 \text{ l}$ bei einer Frequenz von $0,25 \text{ Hz}$. Die Vitalkapazität V_m entspricht dem maximalen Atemvolumen unter bewusster Anstrengung von Zwergefell und Muskulatur. Die Vitalkapazität ist vom Alter und der Größe der Person abhängig, sowie vom Geschlecht. Sie kann berechnet werden aus

$$V_m = (X - Y \cdot A) \cdot h \quad (1)$$

Dabei entspricht A dem Alter in Jahren und h der Größe der Person in cm . Es gilt zudem für einen Mann $X=27,63 \text{ cm}^2$ und $Y=0,112 \frac{\text{cm}^2}{\text{Jahre}}$. Für eine Frau gilt $X=21,78 \text{ cm}^2$ und $Y=0,10 \frac{\text{cm}^2}{\text{Jahre}}$. Ein weiteres Volumen ist das Residualvolumen V_r . Dies ist das Volumen, das nach maximaler Ausatmung in den Atemwegen verbleibt. Es kann durch die folgende Gleichung angenähert werden.

$$V_r = 1,3l + 0,0125 \frac{1}{[\text{Jahre}]} \cdot A \quad (2)$$

Schließlich ist die Totalkapazität die Summe aus der Vitalkapazität und dem Residualvolumen.

- Welches Luftvolumen wird jede Minute für die Atmung benötigt?
- Wie viel Gramm Sauerstoff wird damit pro Minute in den Körper aufgenommen? Bestimmen Sie die Menge an Kohlendioxid die unter den selben Bedingungen abgegeben wird. Nehmen Sie an, dass die Kohlenstoffdioxidmenge in der ausgeatmeten Luft 4% beträgt und Normalbedingungen vorliegen.
- Bestimmen Sie die Vitalkapazität V_m einer 60 Jahre alten und $1,6\text{m}$ großen Frau, sowie die Kapazität eines 20 Jahre alten und $1,8\text{m}$ großen Mannes.
- Bestimmen Sie die Totalkapazität der 60 Jahre alten Frau.

Aufgabe 3: Kosmonauten (3 Punkte)

Sie sind sowjetische(r) Wissenschaftler(in) zur Blütezeit der bemannten Raumfahrt. Diverse Tests haben gezeigt, dass mit dem zur Verfügung stehenden Baumaterial keine leichtgewichtigen Raumkapseln konstruiert werden konnten, welche im Stande sind den Atmosphärendruck $p_{Atm}=101$ kPa im Vakuum zu erhalten.

Da der Kreml um jeden Preis vor Amerika einen Menschen ins All schicken und möglichst heil wieder zurück bringen will, sind Sie gezwungen ungewöhnliche Ansätze zu verfolgen. Ihr Team entscheidet sich den Innendruck der Raumkapsel so weit wie nur möglich zu reduzieren. Um den Kosmonauten weiterhin die Atmung zu ermöglichen soll der Luft-Sauerstoffanteil in der Kapsel erhöht werden.

Die verwendete Luft-Aufbereitungsanlage kann eine O_2 -Konzentration von bis zu 95 Vol% sicherstellen.

- a) Wie weit kann der Druck, bei maximaler O_2 -Konzentration, reduziert werden ohne die Sauerstoffaufnahme (im Vergleich zu normalen Bedingungen) zu reduzieren?

Die Kosmonauten haben sich im Berg-Trainingslager wacker geschlagen und gezeigt, dass sie ihre Arbeit auch in 3000 m Höhe bewältigen können. Wie weit können Sie nun den Druck in der Kapsel reduzieren ohne die Sauerstoffaufnahme (im Vergleich zu den Bedingungen im Berg) zu beeinträchtigen?

- b) Bestimmen Sie die für die Atmung aufgebrauchte Leistung in normaler Umgebung und für die Kosmonauten bei maximaler Druckreduktion. Wird Ihren Genossen somit das Atmen erschwert oder erleichtert?

Informieren Sie sich dazu über die Eigenschaften der Gasgemische unter den jeweiligen Bedingungen. Vergessen Sie zudem nicht, dass die Atemluft sowohl bei Ein- als auch beim Ausatmen auf durchschnittlich $5 \frac{m}{s}$ beschleunigt werden muss.

Bei normaler Atmung werden etwa $10 \frac{l}{min}$ ein- und ausgeatmet. Der Atemwegswiderstand (auch Resistance) der menschlichen Lunge betrage $0,3 \frac{kPa}{l s}$.

- c) Welche Risiken entstehen durch die von Ihnen gewählten Bedingungen in der Raumkapsel? Bedenken Sie sowohl gesundheitliche als auch technische Aspekte.