

Ausgabe: 14.06.2013

Abgabe: bis 24.06.2013, 10:15 Uhr

Prof. Dr. D. Suter

Aufgabe 1: Verzweigungen der Lunge

3 Punkte

Bestimmen Sie den Strömungswiderstand der Luftröhre, der terminalen Bronchien bei denen noch kein Gasaustausch mit dem Blut stattfindet, der respiratorischen Bronchien, sowie der endständigen Alveolen. Wie groß ist dieser im Vergleich zum gesamten Strömungswiderstand der Lunge ($800 \text{ kPa}\cdot\text{s}/\text{m}^3$)? Nehmen Sie dafür an, dass sich pro Generation die Luftwege in 2 kleinere Luftwege aufteilen und die Atemwege zwischen den Verzweigungen, als gerade Rohre betrachtet werden können. In wie weit ist diese Generationenbetrachtung passend?

Nützliche Informationen:

- Luftröhre: Generation 0, mittlere Länge 12 cm und mittlerer Durchmesser 1,8 cm.
- terminale Bronchien: Generation 10, mittlere Länge 0,5 cm und mittlerer Durchmesser 0,18 cm.
- respiratorische Bronchien: Generation 18, mittlere Länge 0,1 cm und mittlerer Durchmesser 0,06 cm.
- endständige Alveolen: Generation 24, mittlere Länge 0,05 cm und mittlerer Durchmesser 0,04 cm.

$$[\eta_{\text{Atemluft}} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}]$$

Aufgabe 2: Bergsteigen

3 Punkte

Beim Bergsteigen stößt der menschliche Organismus irgendwann an seine Grenzen, die hauptsächlich durch eine Sauerstoffunterversorgung gegeben sind. Diese entsteht, wenn der Konzentrationsgradient von Sauerstoff zwischen den Alveolen und dem Blut um einen Faktor 0,6 kleiner wird, als unter Normalbedingungen. Nehmen Sie den Partialdruck des Sauerstoffes im Blut unter Normalbedingungen als 100 mmHg an. Die Sauerstoffkonzentration von 20,9 % der Atemluft sei konstant. Für folgende Betrachtungen soll die Temperatur von 37 C° und der Normaldruck $p_0 = 103,3 \text{ kPa}$ angenommen werden.

- Bestimmen Sie den kritischen Sauerstoffpartialdruck innerhalb der Alveolen sowie des Blutes und die daraus resultierende Höhengrenze des Menschen. [Molmasse der Luft: $M = 28,96 \text{ g/mol}$]
- Welcher Sauerstoffmenge würde dies bei einem mittleren Atemstrom von $V^* = 10 \text{ l/min}$ durch die oben angegebene Luftröhre entsprechen?
- Ist diese Grenze realistisch? Können Menschen auch in größerer Höhe leben und warum hängt dies mit dem Atemstrom zusammen? Wodurch wird die "ultimative" Höhengrenze gesetzt?

Aufgabe 3: Kohlenmonoxidvergiftung

3 Punkte

Kohlenmonoxid ist ein farb-, geruch- und geschmackloses Gas, welches eine hohe Atemtoxizität aufweist, da es sich anstelle von Sauerstoff am Hämoglobin festsetzt. Geringe Konzentrationen im Blut führen zu Kopfschmerzen und Schwindelgefühlen, während stärkere Konzentrationen zum Tod führen können. Die letale Dosis bei der 50% der exponierten Menschen sterben (LD_{50}), kann als Funktion der Zeit und der CO Konzentration in der Luft anhand folgender Gleichung beschrieben werden.

$$LD_{50}(t) = \left(69000e^{-\left(\frac{t}{3,2}\right)} + 300 \right) \text{ ppm} \quad (1)$$

Hierbei ist t die Expositionszeit in Minuten und die Konzentration ist in ppm als Anteil der Atemluft gegeben.

- a.) Bestimmen Sie die Anzahl der Atemzüge die der Mensch in einem verrauchten und brennendem Haus (1 % CO Anteil in der Atemluft) tätigen kann, bis er die LD_{50} Dosis erreicht hat.
- b.) Bestimmen Sie anschließend die Massenkonzentration von CO im Blut die zu diesem Zeitpunkt besteht. Nehmen Sie zur Vereinfachung an, dass der Teilchenstrom von den Alveolen über die Membran ins Blut konstant und durch die anfängliche Konzentrationsdifferenz gegeben ist.
[$c_{CO \text{ in Blut}, t=0} = 0$]
- c.) Skizzieren Sie den zeitlichen Verlauf der Massenkonzentration im Blut und die Kurve der tödlichen Dosis.
- d.) In wie weit ist die Näherung des konstanten Teilchenstroms sinnvoll?
[Atemfrequenz = 10 Züge pro Minute, $D_{CO, \text{ Gewebe}} = 2 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 / \text{s}$, Membrandicke $d = 1 \text{ }\mu\text{m}$, Henry-Konstante $H_{CO} = 20 \text{ mol} / (1 \cdot \text{bar})$, $\rho_{\text{Blut}} = 1,05 \text{ kg/l}$, $V_{\text{Blut}} = 6 \text{ l}$]