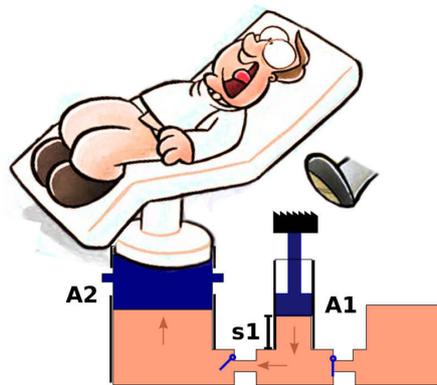


Thema: Druck, Hydrostatik und Hydrodynamik

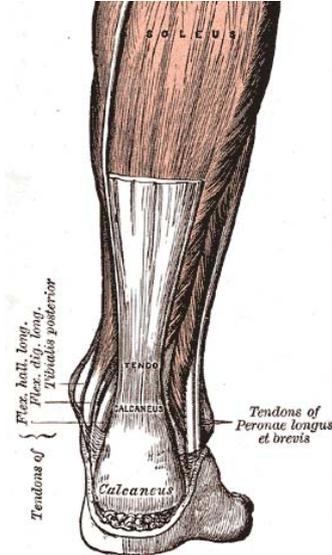
- 1) Das im Bild dargestellte, vereinfachte Modell eines Zahnarztstuhles basiert auf dem Prinzip der Hydraulischen Presse. Mit dem Fuß kann man den Pumpkolben der Fläche $A_1 = 25 \text{ cm}^2$ über die Strecke $s_1 = 16 \text{ cm}$ nach unten drücken. Dadurch wird der auf dem Presskolben $A_2 = 400 \text{ cm}^2$ montierte Stuhl ($m_S = 30 \text{ kg}$) nach oben befördert. Die beiden Ventile erlauben mehrfaches Pumpen, ohne den Stuhl wieder nach unten sacken zu lassen. Welche Kraft ist nötig und wie oft muss gepumpt werden, um einen 70 kg schweren Patienten um 10 cm anzuheben?



Prinzip eines Zahnarztstuhls

- 2) Einem Patienten werden innerhalb von 9 s kontinuierlich 12 mL einer Lösung in die Vene injiziert. Die Kanüle hat eine Länge von 35 mm und eine Innenquerschnittsfläche von $0,45 \text{ mm}^2$.
- Mit welcher mittleren Strömungsgeschwindigkeit tritt die Flüssigkeit aus der Kanüle aus?
 - Wenn eine Krankenschwester auf die Spritze (welche rund ist und einen Durchmesser von 1 cm hat) eine Kraft von 8 N ausübt, um den Inhalt der Kanüle zu injizieren, mit welchem Druck wird die Lösung injiziert?
- 3) a) Wie groß ist etwa die hydrostatische Druckdifferenz Δp zwischen dem Blutdruck im Kopf und in den Füßen eines ca. 1,74 m großen Menschen (mittlere Dichte des Blutes $\rho_B = 1,06 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$)
- b) Bei einer Blutdruckmessung wird die Armmanschette 20 cm unterhalb der Herzhöhe befestigt. Berechnen sie die durch den Höhenunterschied resultierende Druckdifferenz in mmHg!
- 4) In der Meteorologie verwendet man Wetterballone, um Messgeräte in große Höhen zu befördern. Solch ein Ballon (Leergewicht 0,5 kg) habe ein starres Volumen von 10 m^3 , welches mit Helium befüllt wurde ($\rho_H = 0,18 \text{ kg/m}^3$). Wie hoch kann der Ballon durch seine eigene Auftriebskraft mit einer Last von 2 kg steigen?

Verwenden Sie hierfür die barometrische Höhenformel für die Luftdichte $\rho_L(h) = \rho_{L,0} \cdot \exp(-h/H)$, wobei $H = 8 \text{ km}$ und $\rho_{L,0} = 1,27 \text{ kg/m}^3$ sind.



5) Wenn eine Achillessehne ein Elastizitätsmodul von ca. $7 \cdot 10^8 \text{ Pa}$ hat, die Sehne eines erwachsenen Menschen im konkreten Fall $22,5 \text{ cm}$ lang ist und eine durchschnittliche Querschnittsfläche von 80 mm^2 hat, um welche Strecke wird die Sehne gedehnt, wenn der Mensch die Sehne mit seiner Körpermasse von 75 kg belastet? Eine Dehnung um mehr als 4% der Ruhelänge geht mit einer plastischen Verformung der Sehne einher. Kommt es zu einer dauerhaften Schädigung? Bei einer Zugspannung von $\sigma_{Riss} = 6,5 \cdot 10^7 \text{ Pa}$ können Sehnen reißen. Welcher Zugkraft entspricht dies bei der Achillessehne?

- 6) Im Bereich kleiner Belastungen gilt für das Elastizitätsmodul einer Bandscheibe $E = 5 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$. Wenn auf eine einzelne Bandscheibe eine Belastung von 400 N gleichmäßig auf die Querschnittsfläche der Bandscheibe ($d = 5,5 \text{ cm}$) wirkt,
 - a) wie groß ist dann die Dehnung (bzw. Stauchung) ε der Bandscheibe?
 - b) wie groß ist die Höhenänderung Δl der Bandscheibe, wenn diese im unbelasteten Zustand 20 mm hoch ist ?
- 7) In einer Dialysemaschine strömt mit einer Druckdifferenz Δp_1 Flüssigkeit durch einen Schlauch von 45 cm Länge und einer Querschnittsfläche von 10 mm^2 . Dieser wird durch einen Schlauch gleicher Länge mit nur noch halbem Querschnitt ersetzt. Die Maschine ist so eingestellt, dass der Volumenstrom (die Volumenstromdichte) durch den Schlauch wieder genauso groß wie vorher ist. Der Druckabfall über den Schlauch beträgt nun Δp_2 . (Beide Dialyseschläuche können als starre Rohre mit kreisförmigem Querschnitt aufgefasst werden, durch die newtonsche Flüssigkeit laminar strömt.)
 - a) Wie ändert sich die Druckdifferenz $\Delta p_1/\Delta p_2$ durch den Schlauchwechsel?
 - b) In einer Arterie von 4 mm Innendurchmesser und $0,5 \text{ m}$ Länge herrsche eine Druckdifferenz von 18 Torr . Wie viel Blut fließt pro Minute durch die Arterie, wenn die Viskosität von Blut bei 37°C bei $\eta = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ Pa s}$ liegt?
- 8) Ein Blutdruckmessgerät ist mit einer Manschette im Bereich des Handgelenks befestigt. Gemäß Bedienungsanleitung muss sich das Gerät für eine korrekte Messung in Herzhöhe befinden. Versehentlich befindet sich der Messort jedoch 13 cm zu weit unten. Dies führt zu einer Verfälschung, die dem Schweredruck einer Blutsäule von

13 cm entspricht (die Dichte des Blutes ist etwa gleich der Dichte von Wasser). Sonstige Messfehler bzw. Messungenauigkeiten bleiben unberücksichtigt. Die vom Messgerät angezeigten Werte sind unter diesen Annahmen gegenüber den tatsächlichen Blutdruckwerten um etwa

- (A) 20 mmHg zu niedrig (B) 10 mmHg zu niedrig (C) 3 mmHg zu niedrig
 (D) 10 mmHg zu hoch (E) 20 mmHg zu hoch.

- 9) Um die Einwirkung eines Eishockey-Pucks auf ein ungeschütztes Körperteil abzuschätzen, werden folgende Annahmen gemacht: Ein (mit etwas mehr als 120 km/h) fliegender Puck (der Masse 170 g) hat 100 J kinetische Energie. Er wird auf einer Strecke von 2.5 cm gleichförmig bis zum Stillstand abgebremst, wobei er gleichmäßig auf eine (rechtwinklig zur Aufprallrichtung befindliche) Fläche von etwa 40 cm² einwirkt. Etwa wie groß ist somit der vom Puck während des Aufpralls erzeugte Druck?

- (A) 1 kPa (B) 10 kPa (C) 100 kPa (D) 1 MPa (E) 10 MPa

- 10) Zu einem Rohr I wird ein Rohr II mit derselben Länge, aber nur halb so großem Radius parallel zugeschaltet. Es wird angenommen, dass darin eine newton'sche Flüssigkeit laminar strömt und das Hagen-Poiseuille-Gesetz gilt. Der (Strömungs-)Leitwert ist der Kehrwert des (Strömungs-)Widerstands. Etwa um wie viel Prozent ist der gemeinsame Leitwert der Rohre I und II größer als der Leitwert von Rohr I allein?

- (A) 2% (B) 4% (C) 6% (D) 12% (E) 25%

- 11) Ein Patient mit einer Erkrankung des Schultergürtels macht Wassergymnastik (in normalem Wasser). Die Masse eines Arms beträgt etwa 5 kg und die mittlere Dichte etwa 1.1 kg/L. Etwa wie groß ist die relative Auftriebskraft auf einen Arm bezogen auf seine Gewichtskraft, wenn der Arm vollständig untergetaucht ist?

- (A) 0.1 (B) 0.2 (C) 0.9 (D) 1.0 (E) 1.1

- 12) Einem Patienten werden innerhalb von 10 s kontinuierlich 10 mL einer Lösung in eine Vene injiziert. Die Kanüle hat eine Länge von 33 mm und eine Innenquerschnittsfläche von 0.5 mm². Etwa mit welcher (mittleren) Strömungsgeschwindigkeit tritt die Flüssigkeit aus der Kanüle aus?

- (A) 3 cm/s (B) 7 cm/s (C) 0.7 m/s (D) 2 m/s (E) 20 m/s

- 13) Ein 45 cm langer Knochen wird einer zunehmenden Zugbelastung (Zugspannung) ausgesetzt. Bevor er bei etwa 120 MPa Zugbelastung auseinanderbricht, gilt näherungsweise das Hooke'sche Gesetz. Der Elastizitätsmodul des Knochens beträgt 18 GPa. Etwa welche Längenänderung erfährt der Knochen bis zum Auseinanderbrechen?

- (A) 0.03 cm (B) 0.3 cm (C) 0.7 cm (D) 3 cm (E) 7 cm

- 14) Etwa welche Zugkraft hält eine Sehne gerade noch aus, ohne zu reißen, wenn sie Zugspannungen bis etwa 100 N/mm^2 verträgt und dabei senkrecht zur Spannungsrichtung eine kreisförmige Querschnittsfläche mit einem Durchmesser von etwa 8 mm hat?
- (A) 50 N (B) 80 N (C) 800 N (D) 1000 N (E) 5000 N
- 15) Ein 45 cm langer Knochen wird durch eine Zugspannung von 0.12 GPa um 0.30 cm gedehnt. Welchen Elastizitätsmodul hat der Knochen?
- (A) 0.025 GPa (B) 0.4 GPa (C) 4 GPa (D) 5.4 GPa (E) 18 GPa
- 16) An einer Stelle der Aorta ergeben die Sonographie und das Ultraschall-Doppler-Verfahren bei nahezu kreisförmigem Querschnitt einen Innendurchmesser von $d = 20 \text{ mm}$ und eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit von $v = 20 \text{ cm/s}$. Etwa wie groß ist der sich hieraus ergebende Volumenstrom (Volumenstromstärke)?
- (A) $4.0 \text{ cm}^3/\text{s}$ (B) $13 \text{ cm}^3/\text{s}$ (C) $31 \text{ cm}^3/\text{s}$ (D) $40 \text{ cm}^3/\text{s}$ (E) $63 \text{ cm}^3/\text{s}$
- 17) Erreicht die Reynolds-Zahl Re einen bestimmten kritischen Wert, die kritische Reynolds-Zahl Re_{krit} , so schlägt die laminare Strömung in eine turbulente um. Re_{krit} ist für bestimmte Systeme näherungsweise bekannt, so dass die Reynolds-Zahlen wichtige Hinweise für das Vorliegen von Turbulenzen geben können. Die Reynolds-Zahl einer Blutströmung mit einer (über den Querschnitt gemittelten) Geschwindigkeit $\bar{v}_1 = 10 \text{ cm/s}$ durch ein Blutgefäß mit dem Innenradius $r_1 = 0.1 \text{ cm}$ bei kreisförmigem Querschnitt betrage $Re_1 = 25$. Wie groß ist dann (bei gleicher Dichte und Viskosität des Blutes) die Reynolds-Zahl Re_2 einer Blutströmung mit $\bar{v}_2 = 20 \text{ cm/s}$ durch ein Blutgefäß mit $r_2 = 1 \text{ cm}$?
- (A) $Re_2 = 1.5$ (B) $Re_2 = 2.5$ (C) $Re_2 = 50$ (D) $Re_2 = 500$ (E) $Re_2 = 2500$
- 18) Bei einem Probanden fließen 6 Liter Blut pro Minute (laminar) durch einen Aortenabschnitt mit 5 cm^2 Querschnittsfläche. Wie groß ist die mittlere Strömungsgeschwindigkeit des Blutes?
- (A) 1.2 cm/s (B) 3.3 cm/s (C) 12 cm/s (D) 20 cm/s (E) 33 cm/s