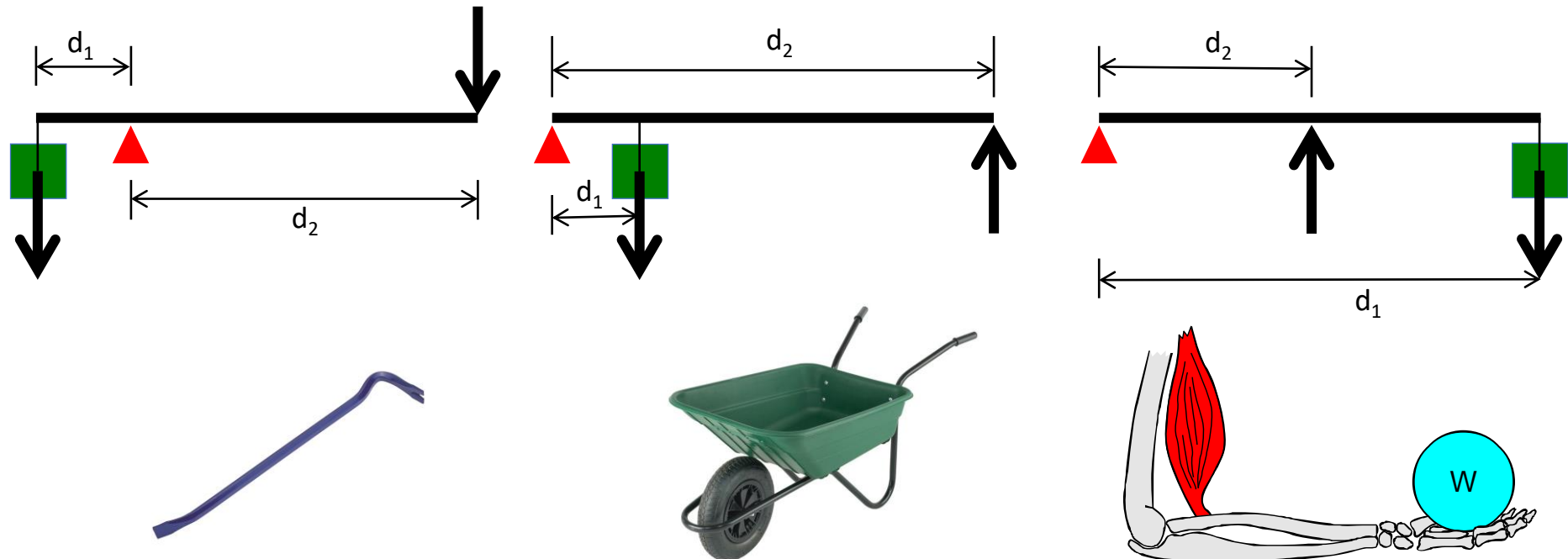


# 1. Warunki równowagi mechanicznej

Ruch poszczególnych części ciała niekiedy da się opisać przy użyciu prostych modeli fizycznych. Jednym z nich jest dźwignia, czyli **urządzenie do przenoszenia siły w taki sposób, by uzyskać działanie większej siły przez zastosowanie siły mniejszej**. Modelowa dźwignia jest sztywnym prętem, obracającym wokół punktu podparcia na skutek działających nań sił.

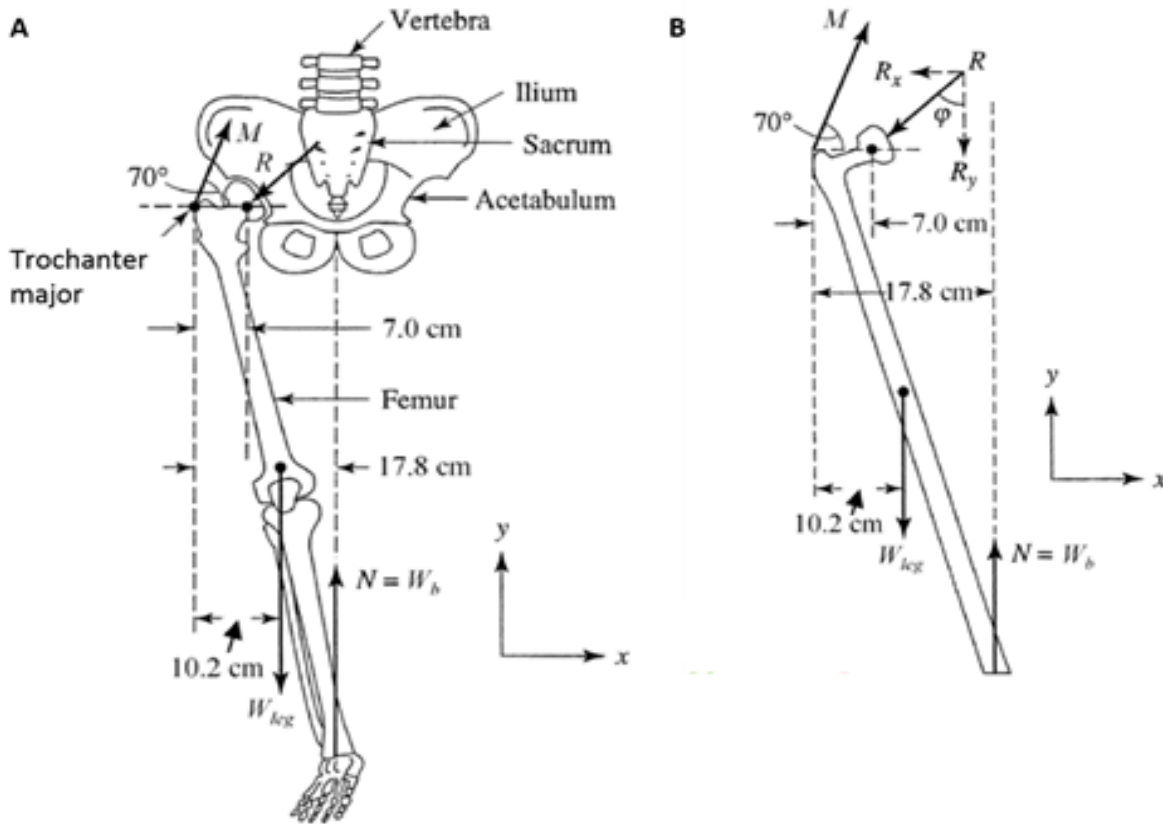
Trzy fundamentalne elementy układu, w którym rozpatrujemy dźwignię, to:

- punkt podparcia**, wyznaczający oś obrotu – w ciele jest to zwykle staw;
- ramię siły,  $d_2$** , będące odległością między punktem podparcia i punktem przyłożenia mniejszej siły, pokonującej stawiany dźwigni opór – w ciele jest to zwykle odległość między stawem a przyczepem mięśnia, poruszającego dźwignię;
- ramię oporu,  $d_1$** , będące odległością między punktem podparcia i punktem przyłożenia większej siły oporu, który dźwignia ma przewyciężyć.



## 1. Warunki równowagi mechanicznej

Poniższy diagram podaje siły działające na staw biodrowy i kończynę dolną. Standaryzowane wymiary, podane na schematach, odpowiadają średnim otrzymanym z pomiarów wykonanych dla dorosłych ludzi. Proszę zapisać warunek równowagi sił działających w tym układzie.



Siły:

- $N$  to siła sprężystości podłoża, równa co do wartości ciężarowi ciała  $W_b$ , ale skierowana przeciwnie.
- $W_{leg}$  to ciężar kończyny dolnej. Przyjmujemy, iż jego wartość równa jest  $0.16W_b$  ( $W_{leg} = W_b/7$ ). Siła ta przyczepiona jest w środku masy kończyny.
- $R$  to siła, z jaką staw biodrowy działa na głowę kości udowej, prostopadła do panewki. Ponieważ skierowana jest pod kątem względem pozostałych sił, rozważamy jej dwie składowe:  $R_x$  i  $R_y$ .
- $M$  to siła wywołana działaniem trzech mięśni odwodźcili. W poniższych obliczeniach potraktujemy te trzy mięśnie jako jeden układ. Zaznaczony na obrazku kąt  $\alpha = 70^\circ$ , to kąt między kierunkiem siły  $M$  a osią  $x$  układu współrzędnych.

## 1. Warunki równowagi mechanicznej

Warunek równowagi sił z rozbiem na składowe ma postać:

$$\text{Oś X} - 0 = M \cos \alpha - R_x$$

$$\text{Oś Y} - 0 = M \sin \alpha - R_y - W_{leg} + W_b$$

Zakładamy, że oś obrotu jest w środku głowy kości udowej. Dla obliczenia momentów sił musimy określić ramiona poszczególnych sił (odległość między punktem przyłożenia siły i osią obrotu).

$$\text{Dla siły } W_b - r_b = 17.8 \text{ cm} - 7 \text{ cm} = 10.8 \text{ cm.}$$

$$\text{Dla siły } W_{leg} - r_b = 10.2 \text{ cm} - 7 \text{ cm} = 3.2 \text{ cm.}$$

$$\text{Dla siły } M - r_b = 7.0 \text{ cm.}$$

$$\text{Dla siły } R - r_b = 0.$$

Dla obliczenia sił M i R wystarczy zapisać warunek równowagi momentów sił dla składowych sił w kierunku osi Y:

$$0 = 10.8W_b - (3.2 \cdot 0.16)W_b - 7M \sin \alpha$$

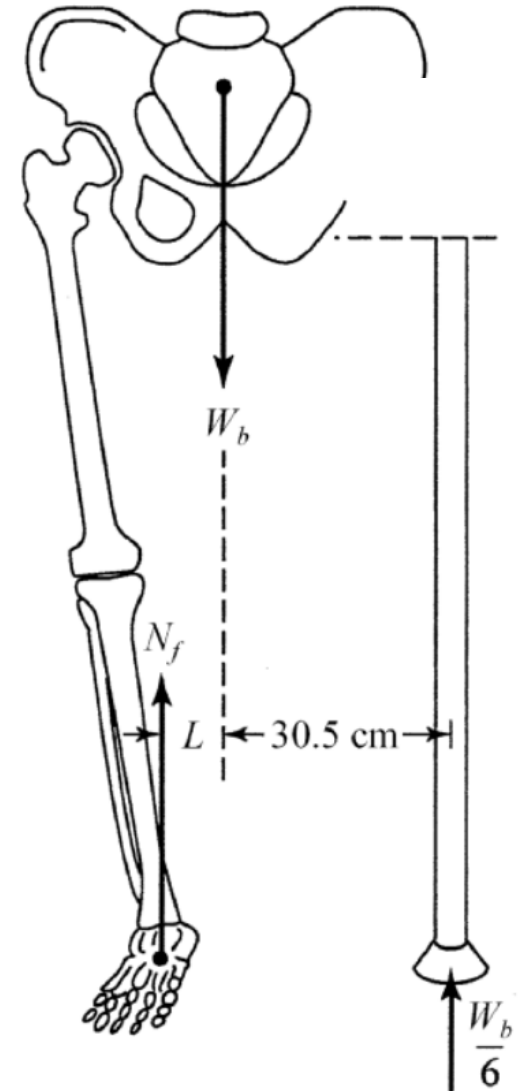
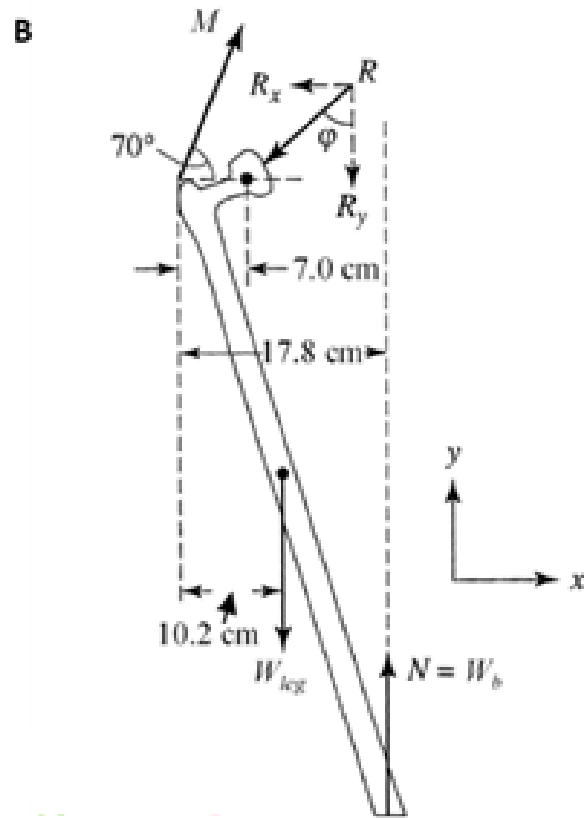
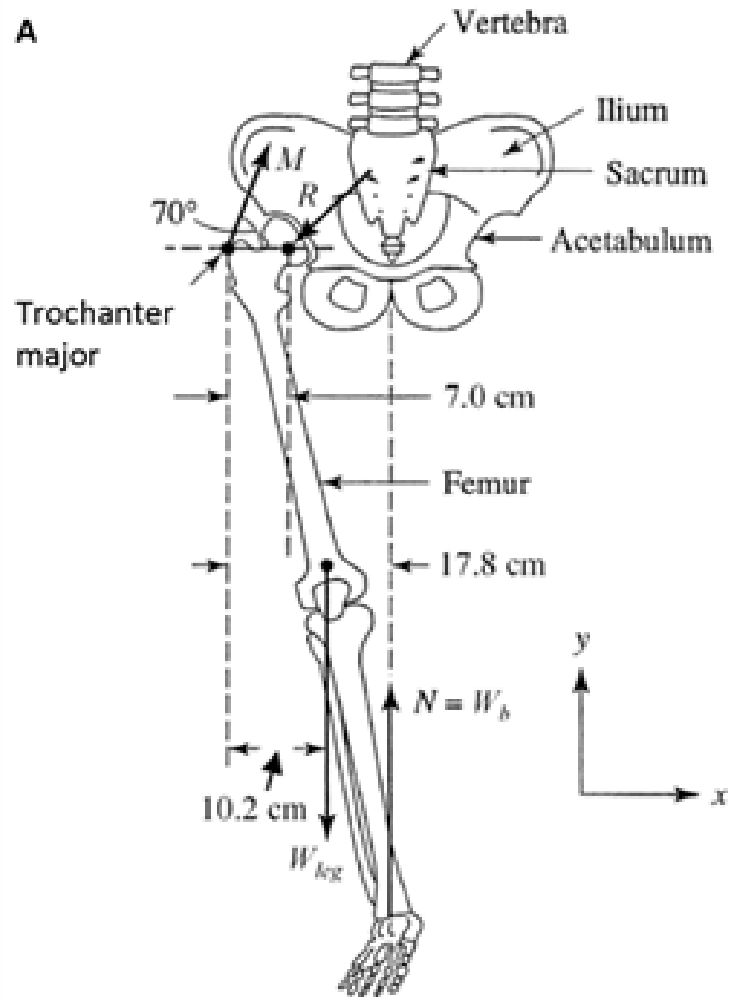
co dla wartości kąta  $\alpha = 70^\circ$  daje  $M = 1.57W_b$ . Wykorzystując warunek równowagi sił wyznaczamy wartości składowych siły R,  $R_x = 0.54W_b$ ,  $R_y = 2.31W_b$ , a stąd:

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = 2.37W_b.$$

Dla człowieka o masie 90 kg siły te wynoszą około  $M = 1400 \text{ N}$  i  $R = 2100 \text{ N}$ .

# 1. Warunki równowagi mechanicznej

Dlaczego osoby z problemami poruszania używają lasek?



## 1. Warunki równowagi mechanicznej

Konsekwencje użycia laski:

- prawa stopa już nie znajduje się w osi środkowej ciała, ale jest przesunięta o odległość  $L$  w prawo
- Zmienia się prostopadła do podłoża siła zaczepiona w prawej stopie,  $N_f$ , która u osoby podpartej laską nie jest równa ciężarowi ciała

Równowaga siła:

$$N_f + N_c - W_b = N_f + W_b/6 - W_b = 0 \rightarrow N_f = 5W_b/6$$

Równowaga momentów sił:

$$(30.5 \text{ cm})N_c - L(N_f) = (30.5 \text{ cm})(W_b /6) - L(5W_b /6) = 0 \rightarrow L = (N_c/N_f)30.5 \text{ cm} = (1/5)30.5 \text{ cm} = 6.1 \text{ cm}$$

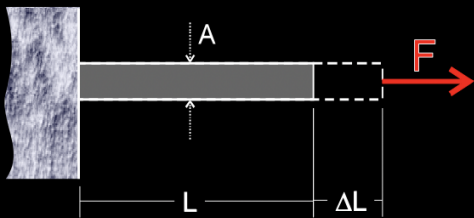
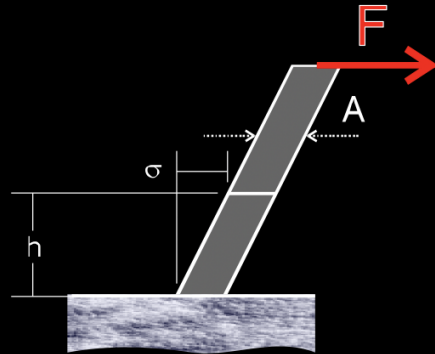
$$\sum F_x: M \cos 70^\circ - R_x$$

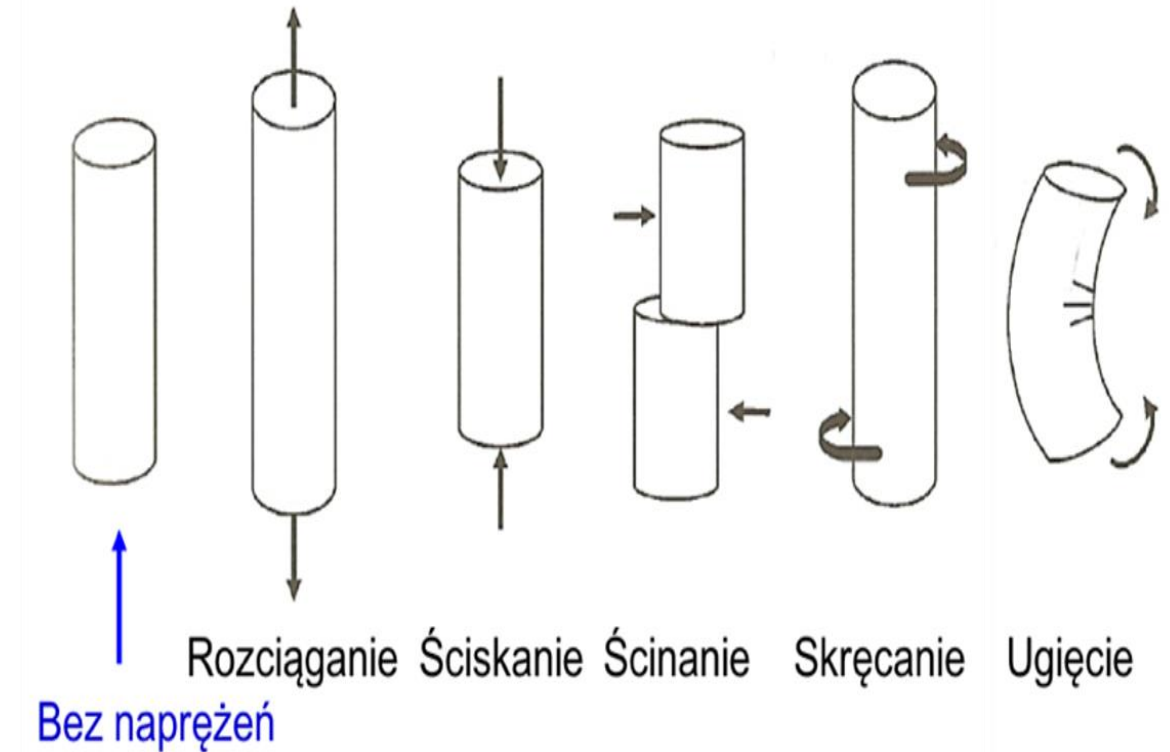
$$\sum F_y: M \sin 70^\circ - R_y - 0,16W_b + \frac{5}{6}W_b = 0$$

$$\sum \text{Momentów sił: } (4,7 \text{ cm}) \left(\frac{5}{6}\right)W_b + (0,33 \text{ cm})(0,16W_b) + 0 - (6,98 \text{ cm})M \sin 70^\circ = 0$$

Dla człowieka o masie 90 kg siły te wynoszą około  $M = 540 \text{ N}$  (zamiast  $M = 1400 \text{ N}$ ) i  $R = 1100$  (zamiast  $R = 2100 \text{ N}$ ).

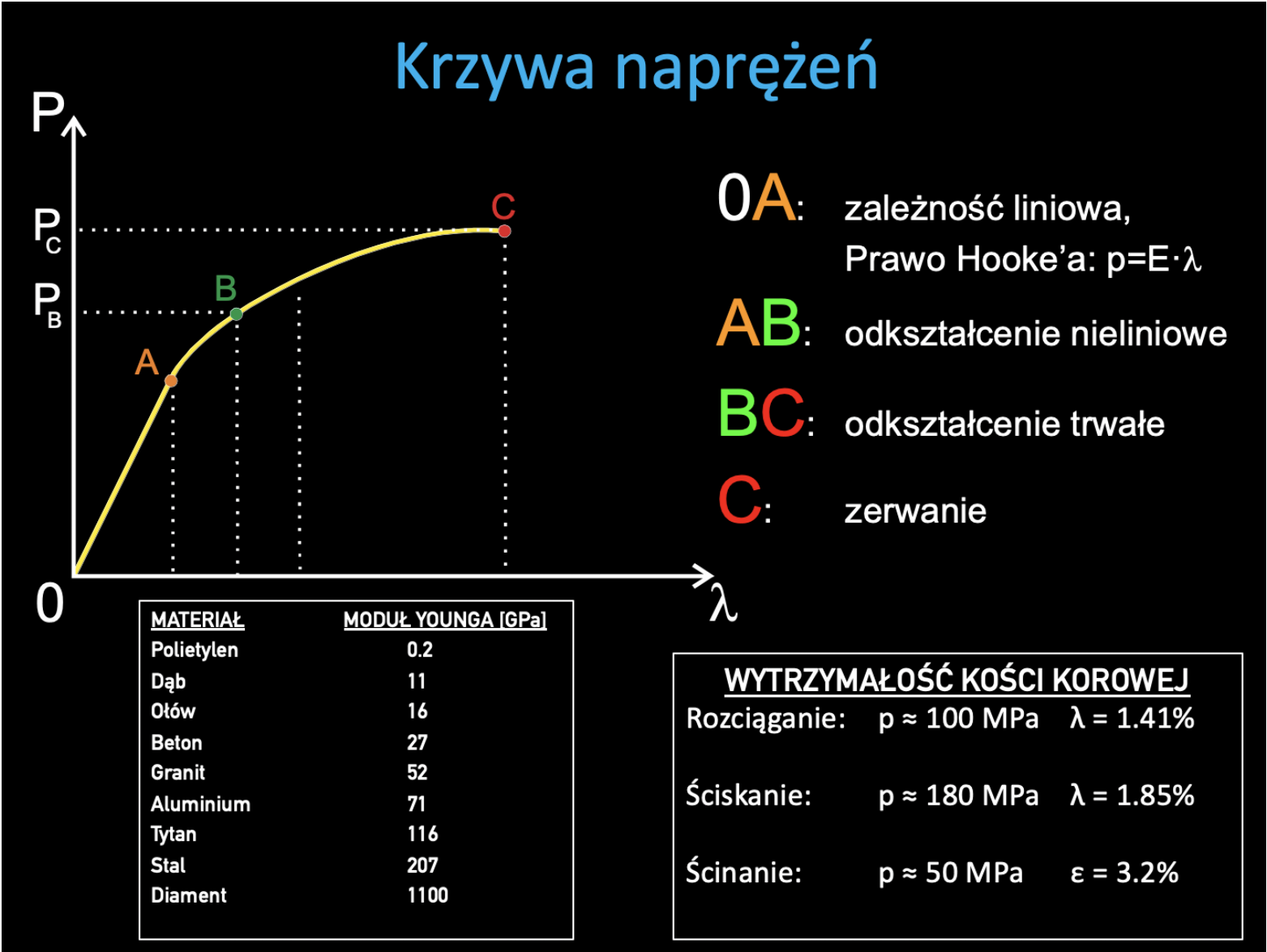
## 2. Odkształcenia

Rozciąganie		Ścinanie	
			
Napężenie	Moduł Younga	Napężenie	Moduł Kirchoffa
$p = \frac{F}{A}$	$E = \frac{p}{\lambda} = \frac{FL}{A\Delta L}$	$p = \frac{F}{A}$	$G = \frac{p}{\varepsilon} = \frac{Fh}{A\sigma}$
Odkształcenie względne		Odkształcenie względne	
$\lambda = \frac{\Delta L}{L}$		$\varepsilon = \frac{\sigma}{h}$	



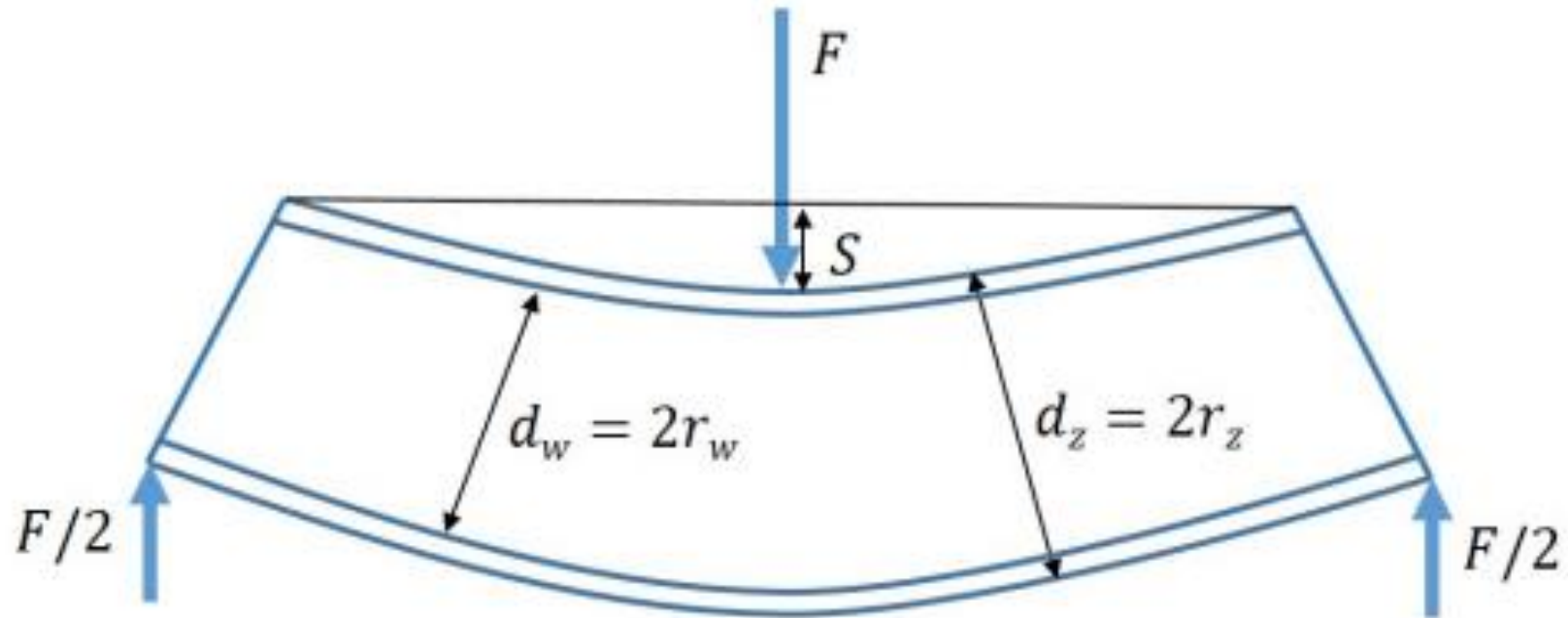
## 2. Odształcenia

Dlaczego kość długą łatwiej jest złamać przez skręcanie niż przez uginanie?



## 2. Odształcenia

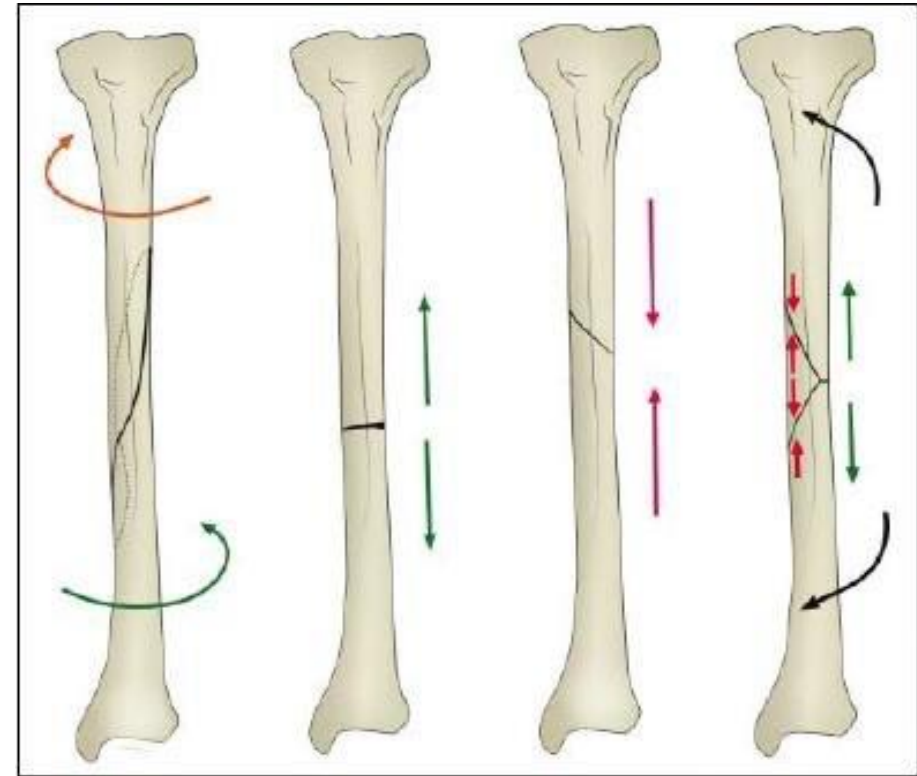
Proszę wyjaśnić, w którym miejscu rozpocznie się złamanie kości.





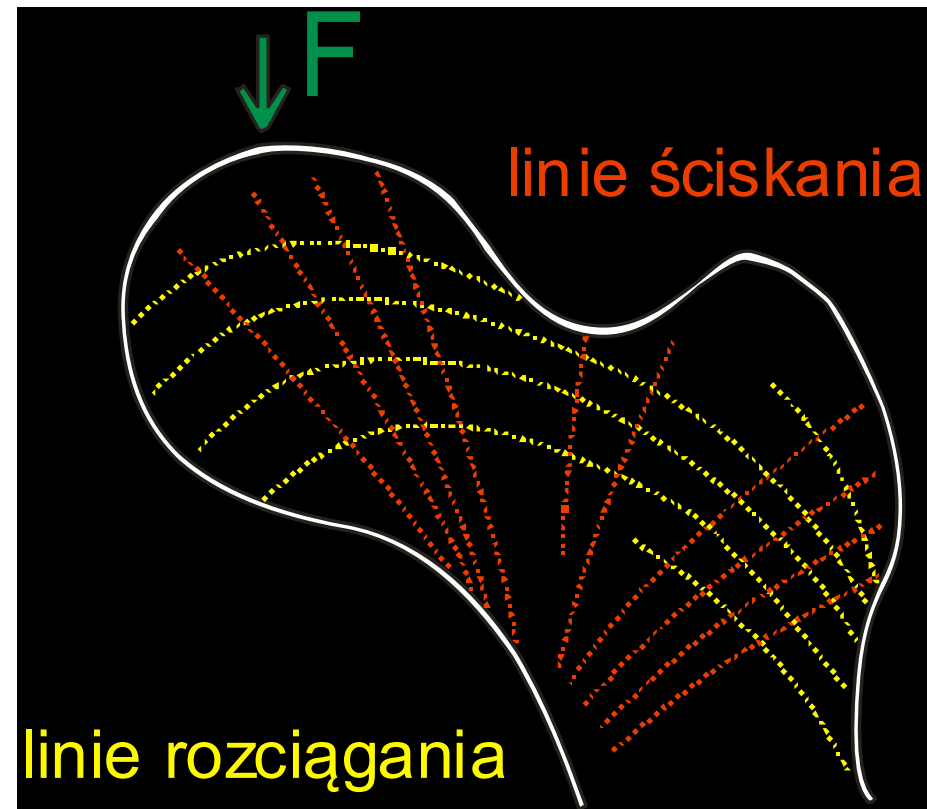
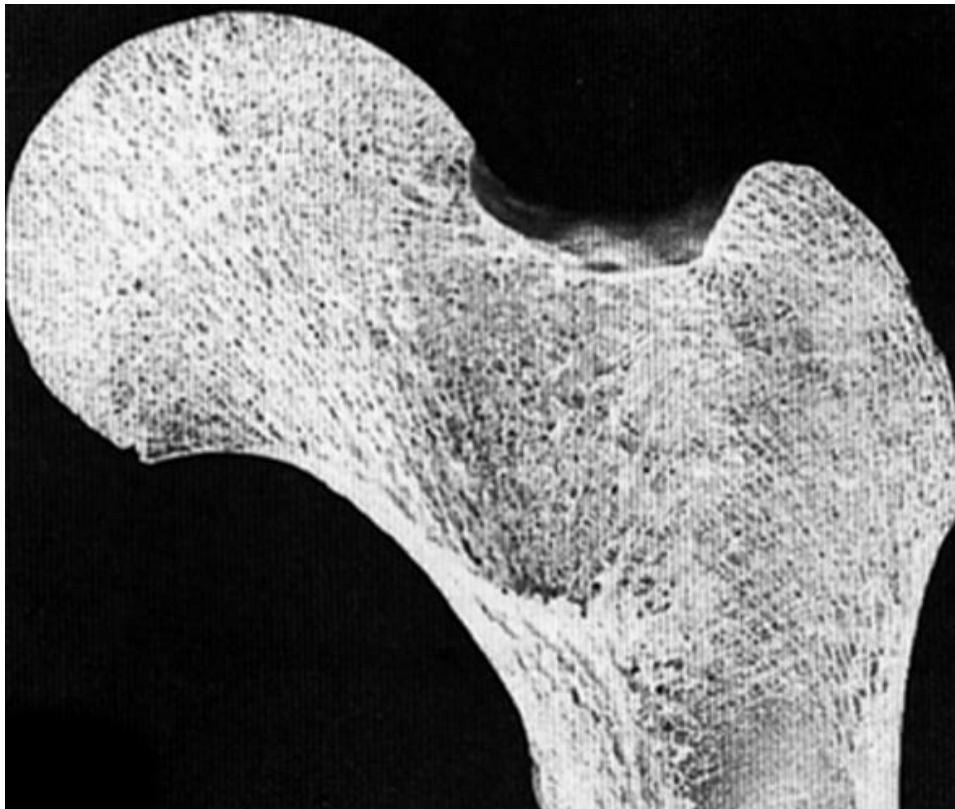
## 2. Odształcenia

Proszę wyjaśnić mechanizm powstawania przedstawionego na zdjęciu złamania



Strat Traum Limb Recon (2007) 2:13–20  
DOI 10.1007/s11751-007-0011-y

## 2. Odkształcenia



## 2. Odształcenia

Nacisk na kość udową przy podnoszeniu ciężarów może wynieść ok. 1500 N. Pole powierzchni przekroju kości uda wynosi ok. 20 cm<sup>2</sup>, a jej długość ok. 50 cm. Proszę obliczyć naprężenie ściskające kość uda oraz jej odkształcenie przy założeniu spełnienia prawa Hooke'a. Moduł Younga kości zbitiej wynosi 18,0 GPa.

Czy odkształcenie mieści się w zakresie fizjologicznym?



## 2. Odkształcenia

Nacisk na kość udową przy podnoszeniu ciężarów może wynieść ok. 1500 N. Pole powierzchni przekroju kości uda wynosi ok. 20 cm<sup>2</sup>, a jej długość ok. 50 cm. Proszę obliczyć naprężenie ściskające kość uda oraz jej odkształcenie przy założeniu spełnienia prawa Hooke'a. Moduł Younga kości zbitiej wynosi 18,0 GPa.

Czy odkształcenie mieści się w zakresie fizjologicznym?

$$p = \frac{F}{A} = \frac{1500\text{N}}{20 \cdot 10^{-4}\text{m}^2} = 75 \cdot 10^4\text{Pa} = 750\text{ kPa}$$

$$p = E \cdot \lambda = E \frac{\Delta l}{l} \rightarrow \Delta l = p \cdot \frac{l}{E} = 20,8 \mu\text{m}$$

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{20,8 \cdot 10^{-6}\text{m}}{0,5\text{m}} \cdot 100\% = 0,005\%$$

Odkształcenie mieści się w zakresie fizjologicznym (jest  $\ll 1,85\%$ )



### 3. Ruch – zderzenia i przeciążenie



Jakiego przeciążenia dozna kierowca pojazdu, który uderzy w nieruchomą, nieodkształcającą się przeszkodę, jeżeli szybkość przed zderzeniem wynosiła 50 km/h, a zatrzymanie nastąpiło na drodze 50 cm?



### 3. Ruch – zderzenia i przeciążenie



Jakiego przeciążenia dozna kierowca pojazdu, który uderzy w nieruchomą, nieodkształcającą się przeszkodę, jeżeli szybkość przed zderzeniem wynosiła 50 km/h, a zatrzymanie nastąpiło na drodze 50 cm?

$$E_k = W$$

$$\frac{mv^2}{2} = F \cdot s$$

$$E_k = W$$

$$a = \frac{F}{m} = \frac{v^2}{2s} = 193 \frac{m}{s^2} \sim 20g$$

# DEMONSTRACJA – DYNAMOMETR DŁONIOWY



#### 4. Zjawiska transportu w organizmie - dyfuzja

*Przepływ = stała · siła napędowa*

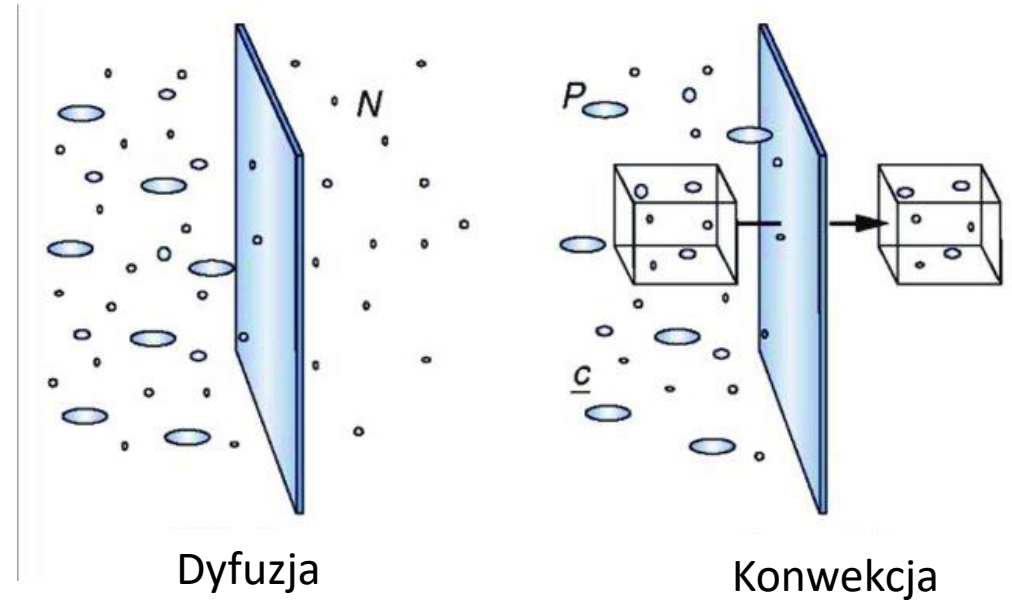
Transport masy w układach biologicznych:

a) w gradiencie stężeń – dyfuzja

$$\Phi = -D \frac{dc}{dx} \quad \Phi - \text{strumień}, D - \text{współczynnik dyfuzji}$$

b) w gradiencie ciśnień – konwekcja

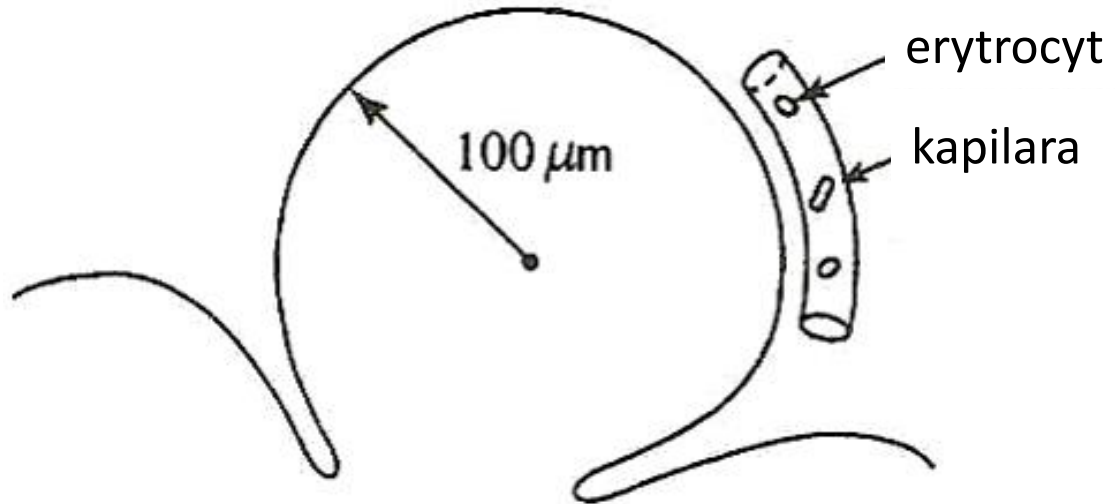
$$\Phi = -\kappa \frac{dp}{dx} \quad \Phi - \text{strumień}, \kappa - \text{przewodność hydrauliczna}$$





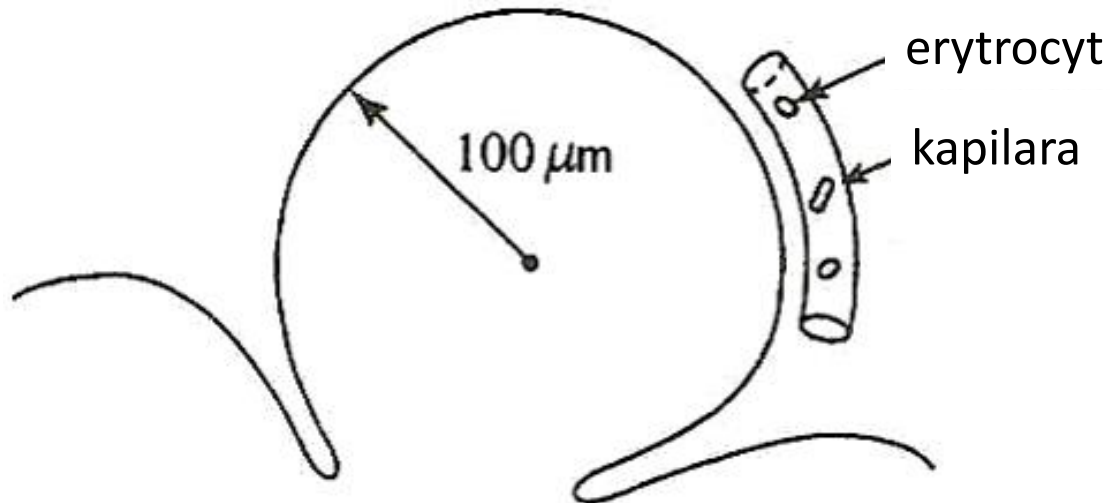
#### 4. Zjawiska transportu w organizmie - dyfuzja

W jakim czasie cząsteczka tlenu ( $D = 0,178 \text{ cm}^2/\text{s}$ ) przedyfunduje ze środka pęcherzyka płucnego do jego ściany, skąd będzie mogła przedostać się do kapilary? Załóż, że dyfuzja zachodzi w trzech wymiarach, a promień pęcherzyka płucnego wynosi  $100 \mu\text{m}$ .



#### 4. Zjawiska transportu w organizmie - dyfuzja

W jakim czasie cząsteczka tlenu ( $D = 0,178 \text{ cm}^2/\text{s}$ ) przedyfunduje ze środka pęcherzyka płucnego do jego ściany, skąd będzie mogła przedostać się do kapilary? Załóż, że dyfuzja zachodzi w trzech wymiarach, a promień pęcherzyka płucnego wynosi  $100 \mu\text{m}$ .

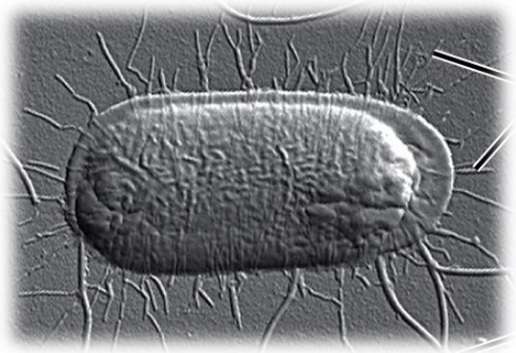


$$x = \sqrt{6Dt} \rightarrow t = \frac{x^2}{6D} = 10^{-4} \text{ s}$$

*To dużo krócej, niż 0,5 s potrzebne cząsteczce tlenu na sforsowanie ściany kapilary*

#### 4. Zjawiska transportu w organizmie - dyfuzja

W jakim czasie białko o promieniu 3 nm przedyfunduje z jednego końca bakterii na drugi? A z jednego końca metrowego naczynia krwionośnego na drugi? Przyjmij, że współczynnik dyfuzji  $D = 100 \mu\text{m}^2/\text{s}$ . Załóż, że dyfuzja zachodzi tylko w jednym wymiarze.



$$D = \frac{k_B T}{6\pi\eta R}$$

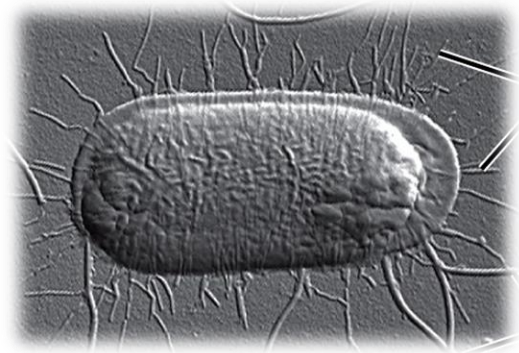
$$x = \sqrt{2nDt} \rightarrow t = \frac{x^2}{2D}, \text{ bo } n = 1$$

$$v = \frac{x}{t}$$



#### 4. Zjawiska transportu w organizmie - dyfuzja

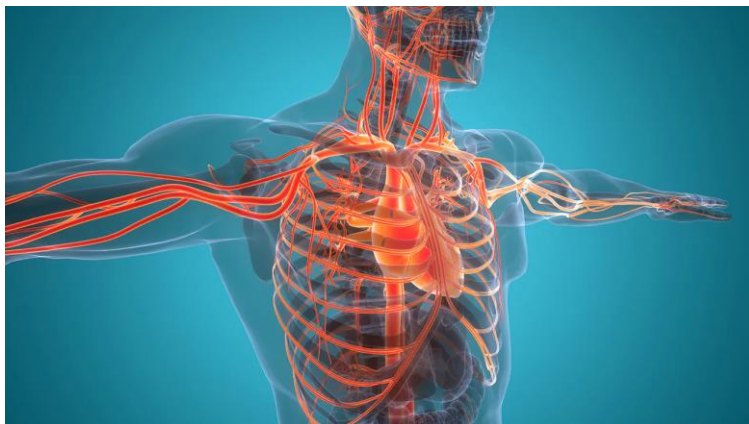
W jakim czasie białko o promieniu 3 nm przedyfunduje z jednego końca bakterii na drugi? A z jednego końca metrowego naczynia krwionośnego na drugi? Przyjmij, że współczynnik dyfuzji  $D = 100 \mu\text{m}^2/\text{s}$ . Załóż, że dyfuzja zachodzi tylko w jednym wymiarze.



$$D = \frac{k_B T}{6\pi\eta R}$$

$$x = \sqrt{2nDt} \rightarrow t = \frac{x^2}{2D}, \text{ bo } n = 1$$

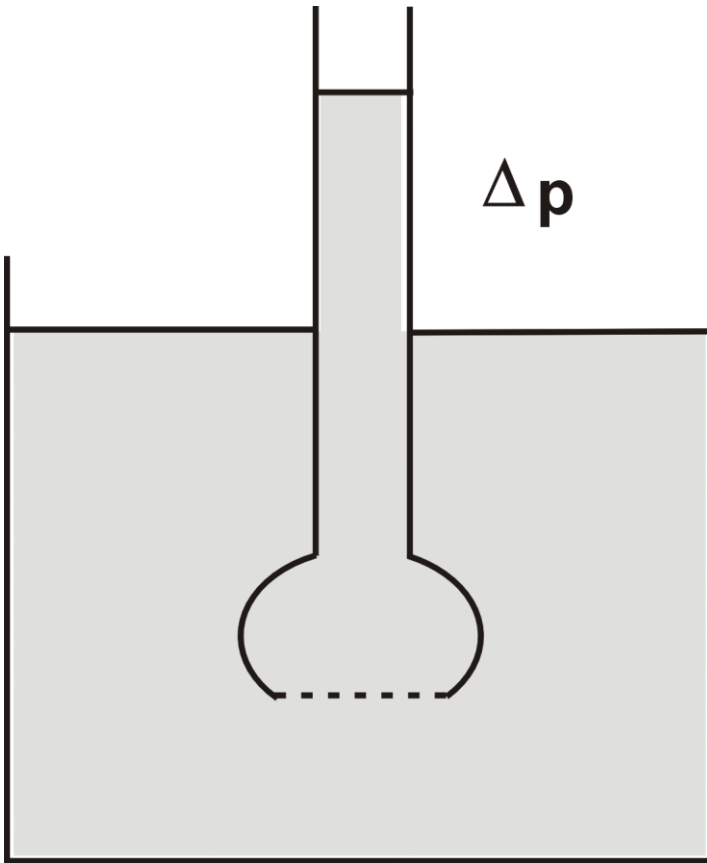
$$v = \frac{x}{t}$$



Dystans	1 $\mu\text{m}$
Czas	5 ms

Dystans	1 m
Czas	150 lat

## 5. Ciśnienie osmotyczne



Rurkę, której dolna część stanowi błonę półprzepuszczalną, wypełnioną roztworem zanurzono w naczyniu z czystym rozpuszczalnikiem. Rozpuszczalnik wniknął do rurki, zmieniając ciśnienie hydrostatyczne w jej wnętrzu, aż osiągnęło ono wartość równowagową równą  $\Delta p$ .

Jakiej wielkości fizycznej będzie, w podanych warunkach, równe ciśnienie  $\Delta p$ ?

Odp.: Ciśnieniu osmotycznemu

## 5. Ciśnienie osmotyczne

Oblicz ciśnienie osmotyczne wytwarzane przez 0,9 % roztwór NaCl, CaCl<sub>2</sub>.

Dane:

$$T_1 = 273 \text{ K} + 20^\circ\text{C} = 293 \text{ K}$$

$$c_p = 0,9 \%$$

$$R = 8,31 \text{ J/molK}$$

$$\rho = 1,005 \text{ g/cm}^3 \text{ dla roztworów 1\%-wych}$$

$$M_{\text{NaCl}} = 58 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{CaCl}_2} = 110 \text{ g/mol}$$

Szukane:  $\Pi = ?$

## 5. Ciśnienie osmotyczne

Oblicz ciśnienie osmotyczne wytwarzane przez 0,9 % roztwór NaCl, CaCl<sub>2</sub>.

Dane:

$$T_1 = 273 \text{ K} + 20^\circ\text{C} = 293 \text{ K}$$

$$c_p = 0,9 \%$$

$$R = 8,31 \text{ J/molK}$$

$$\rho = 1,005 \text{ g/cm}^3 \text{ dla roztworów 1\%-wych}$$

$$M_{\text{NaCl}} = 58 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{CaCl}_2} = 110 \text{ g/mol}$$

Szukane:  $\Pi = ?$

$$\Pi = c_m RT,$$

gdzie  $c_m = \frac{n}{V}$ ,  $n$  – ilość moli substancji rozpuszczonej,  $V$  - obj. roztworu

$$n = \frac{m_s}{M}, \quad m_s \text{ – masa substancji rozpuszczonej}$$

$$m_{\text{roztw}} = \rho \cdot V$$

$$c_p = \frac{m_s}{m_{\text{roztw}}} 100 \% \rightarrow m_s = \frac{c_p m_{\text{roztw}}}{100 \%}$$

## 5. Ciśnienie osmotyczne

Oblicz ciśnienie osmotyczne wytwarzane przez 0,9 % roztwór NaCl, CaCl<sub>2</sub>.

NaCl

$$\Pi = 2 \frac{n}{V} RT = 2 \frac{m_s RT}{MV} = 2 \frac{c_p m_{\text{roztw}} RT}{100 \% MV} = 2 \frac{c_p \rho VRT}{100 \% MV} = 2 \frac{c_p \rho RT}{100 \% M}$$

$$\Pi = 2 \frac{0,9 \% \cdot 1,005 \text{ g/cm}^3 \cdot 8,31 \text{ J/molK} \cdot 293 \text{ K}}{100 \% \cdot 58 \text{ g/mol}} = 2 \cdot 0,38 \frac{\text{J}}{\text{cm}^3} =$$

$$\Pi = 2 \cdot 0,38 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 7600 \text{ hPa}$$

CaCl<sub>2</sub>

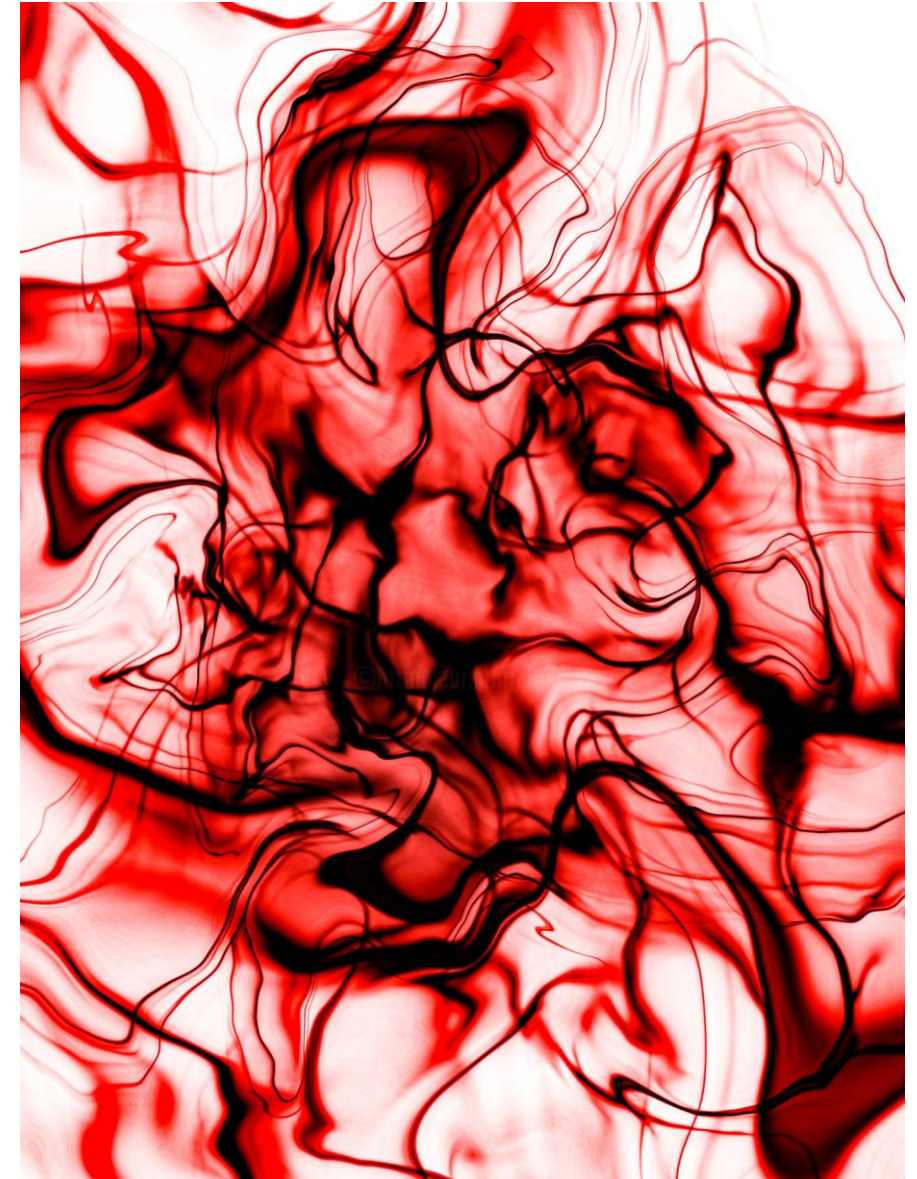
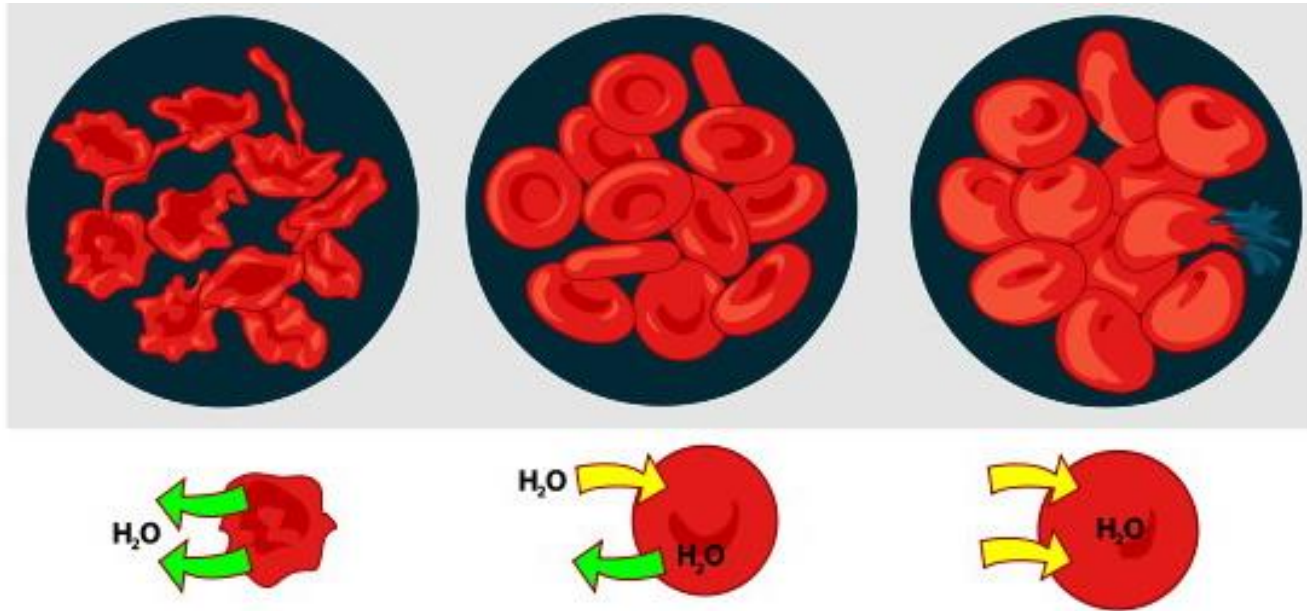
$$\Pi = 3 \frac{n}{V} RT = 3 \frac{m_s RT}{MV} = 3 \frac{c_p m_{\text{roztw}} RT}{100 \% MV} = 3 \frac{c_p \rho VRT}{100 \% MV} = 3 \frac{c_p \rho RT}{100 \% M}$$

$$\Pi = 3 \frac{0,9 \% \cdot 1,005 \text{ g/cm}^3 \cdot 8,31 \text{ J/molK} \cdot 293 \text{ K}}{100 \% \cdot 110 \text{ g/mol}} = 0,6 \frac{\text{J}}{\text{cm}^3} = 0,6 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 6000 \text{ hPa}$$

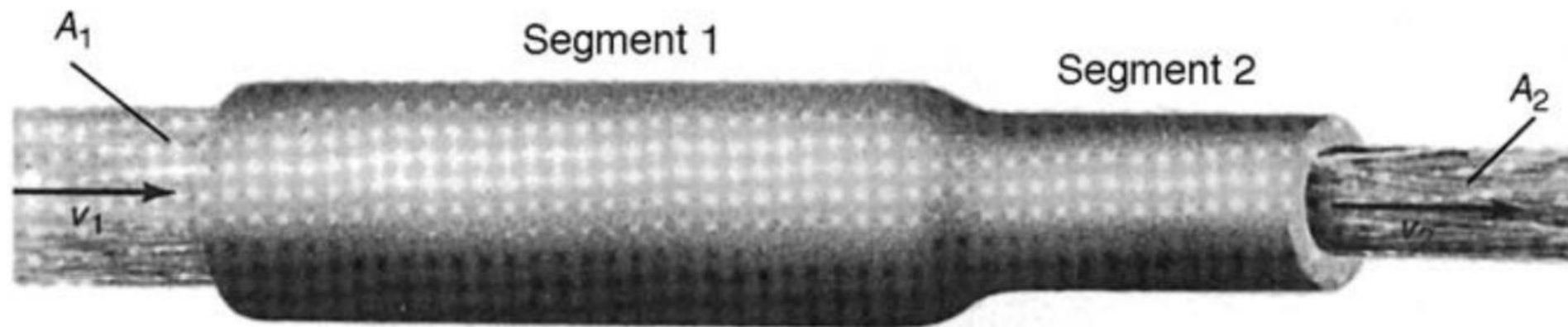


## 5. Ciśnienie osmotyczne

Co się stanie po wprowadzeniu kropli świeżej krwi do szklanki z wodą?



## 6. Przepływ krwi



$$p + p_h + p_{kin} = const.$$

$$Q = \frac{V}{t} = const. \quad \text{PRAWO CIĄGŁOŚCI PRZEPŁYWU!}$$

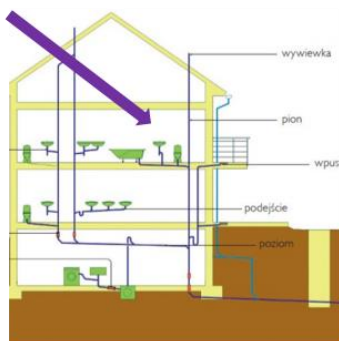
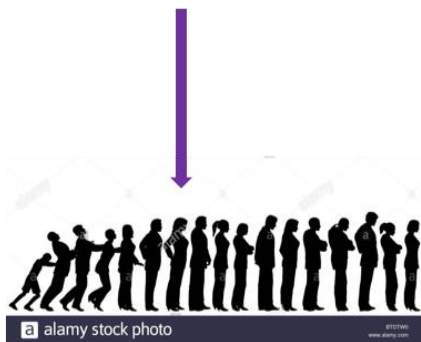
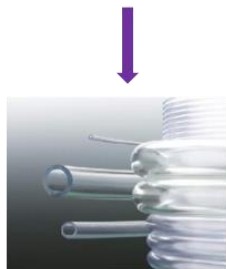
$$Q = v \cdot A \Rightarrow v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2 \Rightarrow v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1$$

$$A_1 > A_2 \Rightarrow v_1 < v_2$$

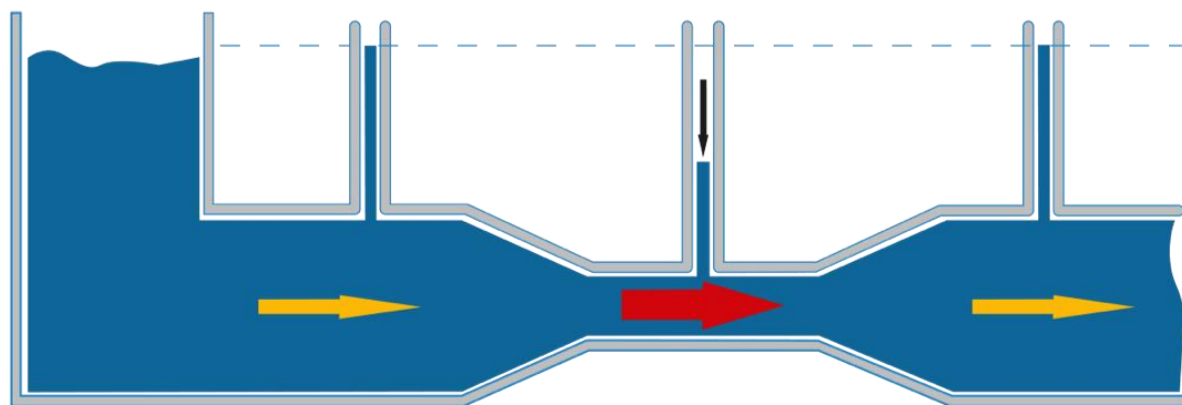
$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \Rightarrow p_2 = p_1 - \frac{1}{2} \rho v_1^2 \left[ \left( \frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right]$$

# Prawo Bernoulliego

$$p_{\text{statyczne}} + p_{\text{kinetyczne}} + p_{\text{hydrostatyczne}} = \text{const.}$$



$$p + p_h + p_{\text{kin}} = \text{const.}$$



Niska prędkość  
Wysokie ciśnienie  
statyczne

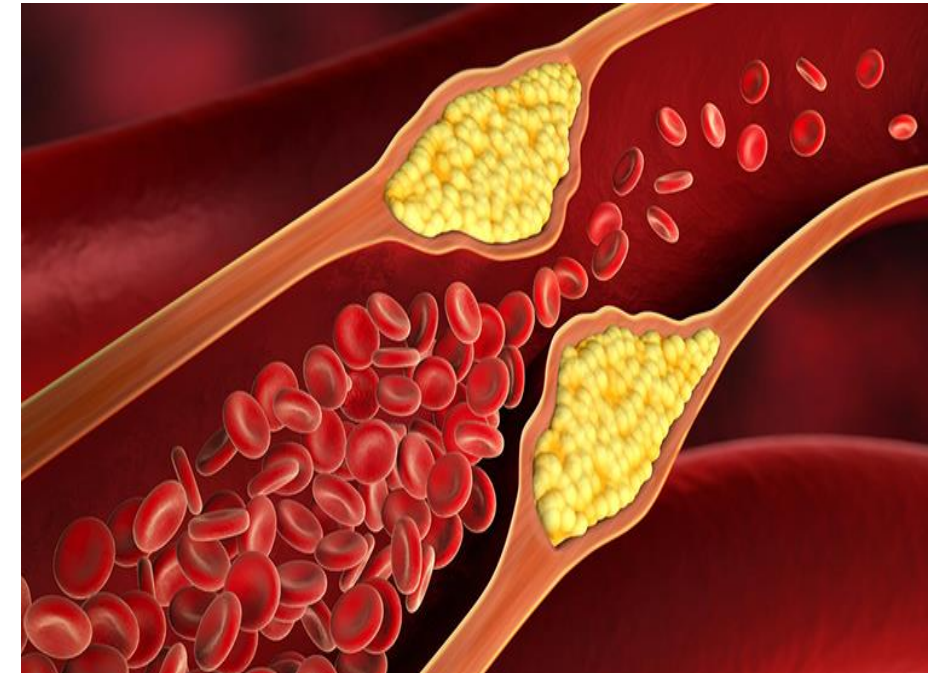
Wysoka prędkość  
Niskie ciśnienie  
hydrostatyczne

Niska prędkość  
Wysokie ciśnienie  
hydrostatyczne

$$Pa = \frac{N}{m^2} = \frac{N \times m}{m^2 \times m} = \frac{J}{m^3}$$

## 6. Przepływ krwi

Tętnica o średnicy  $D = 10$  mm na skutek zmian miażdżycowych zwęziła się w pewnym miejscu do  $d = 5$  mm. Szybkość przepływu w zdrowej tętnicy wynosi  $v_D = 0.25$  m/s. Jaka jest szybkość krwi w zwężeniu?

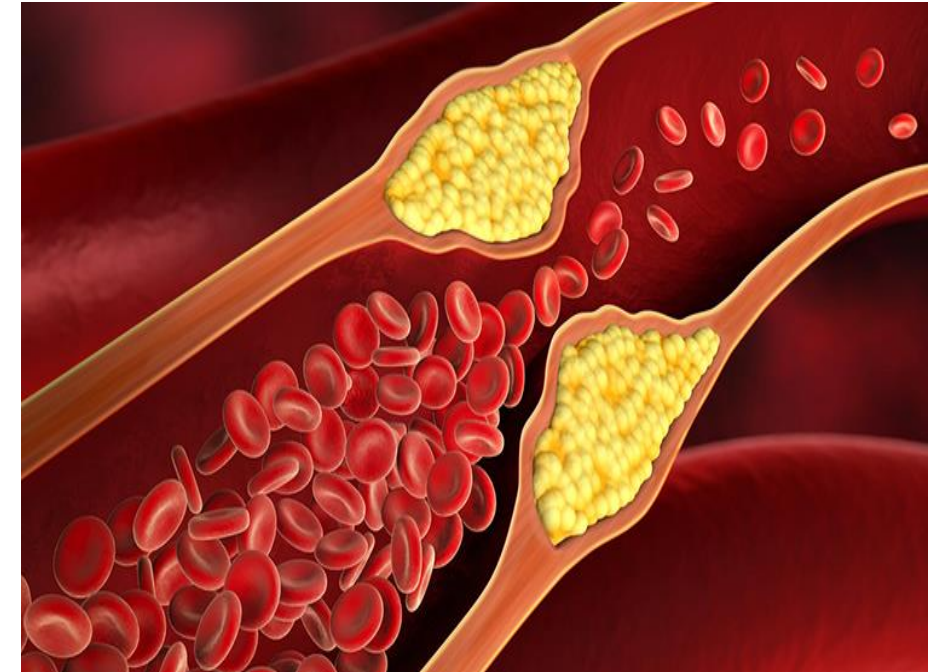




## 6. Przepływ krwi

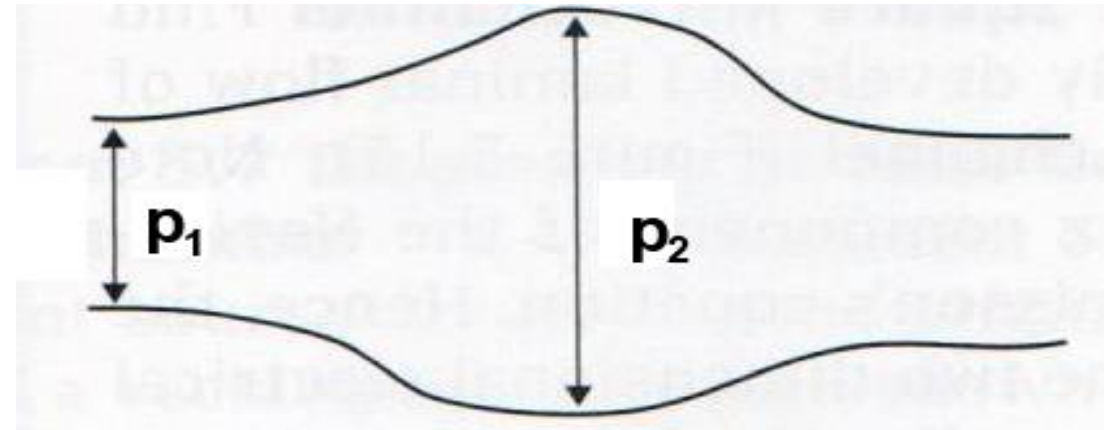
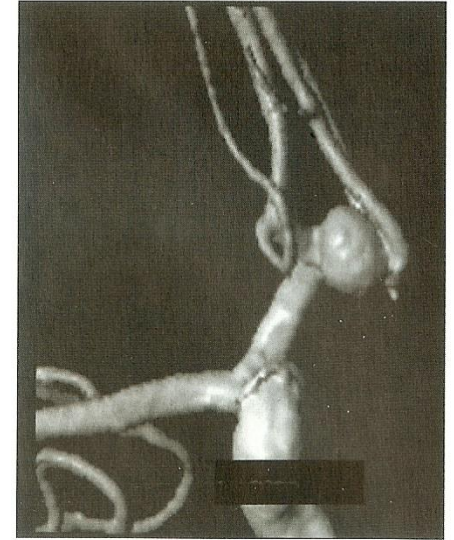
Tętnica o średnicy  $D = 10$  mm na skutek zmian miażdżycowych zwężyła się w pewnym miejscu do  $d = 5$  mm. Szybkość przepływu w zdrowej tętnicy wynosi  $v_D = 0.25$  m/s. Jaka jest szybkość krwi w zwężeniu?

$$\begin{aligned}
 v_d &= v_D \cdot A_D / A_d \\
 &= v_D \cdot D^2 / d^2 \\
 &= 0.25 \text{ m/s} \cdot (10 \text{ mm})^2 / (5 \text{ mm})^2 \\
 &= 0.25 \text{ m/s} \cdot 100 / 25 \\
 &= 1 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$



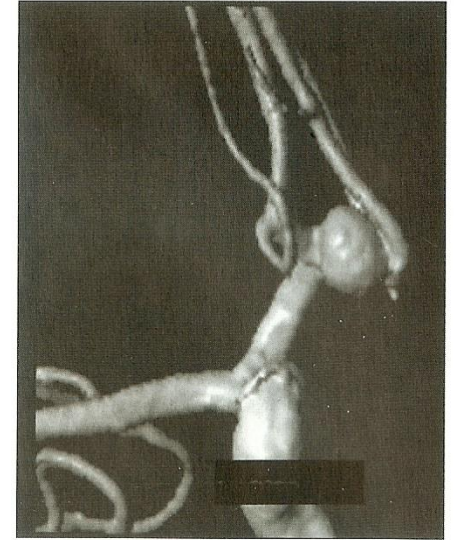
## 6. Przepływ krwi

Proszę porównać ciśnienia  $p_1$  i  $p_2$  panujące, odpowiednio, tuż przed i w miejscu powstawania tętniaka.



## 6. Przepływ krwi

Proszę porównać ciśnienia  $p_1$  i  $p_2$  panujące, odpowiednio, tuż przed i w miejscu powstawania tętniaka.

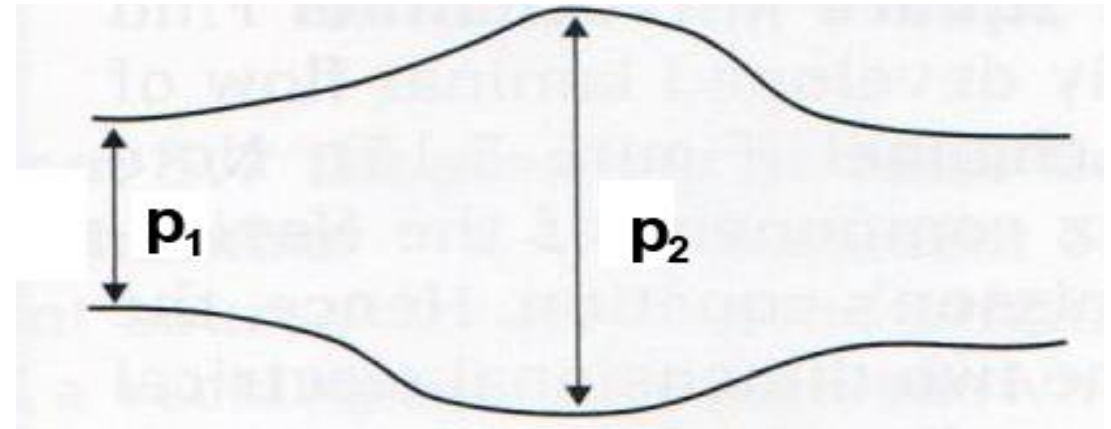


$$v_1 A_1 = v_2 A_2$$

$$R \uparrow \rightarrow A \uparrow \rightarrow v \downarrow \rightarrow v_2 < v_1$$

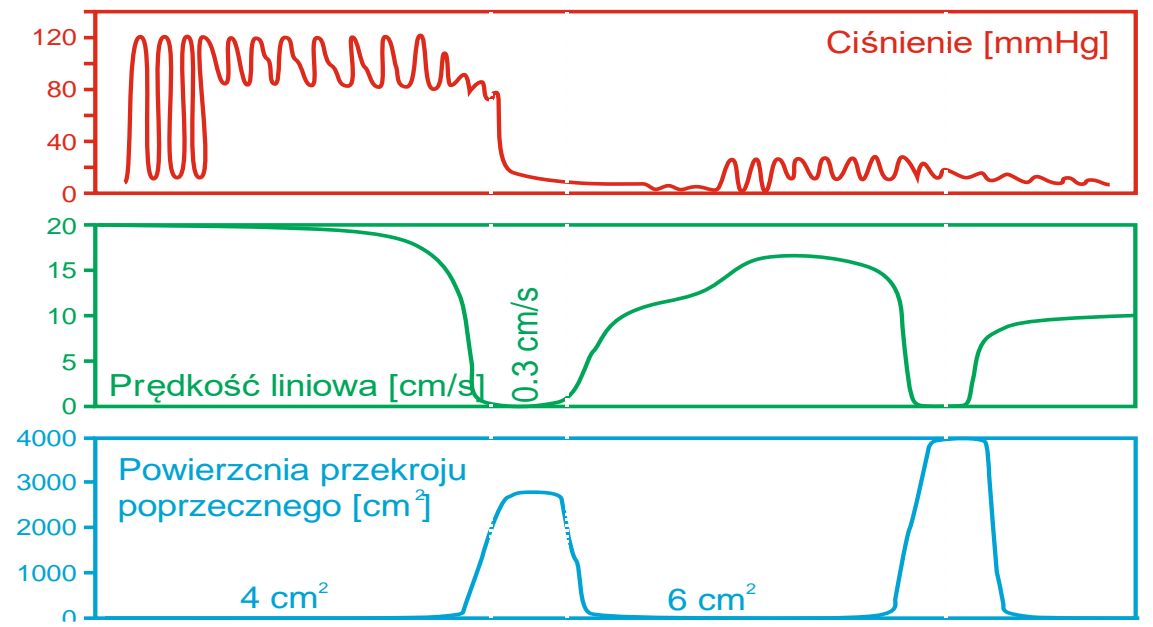
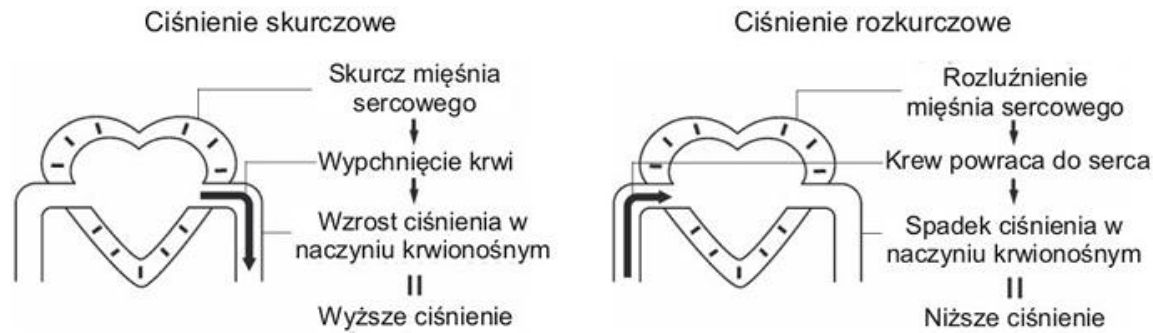
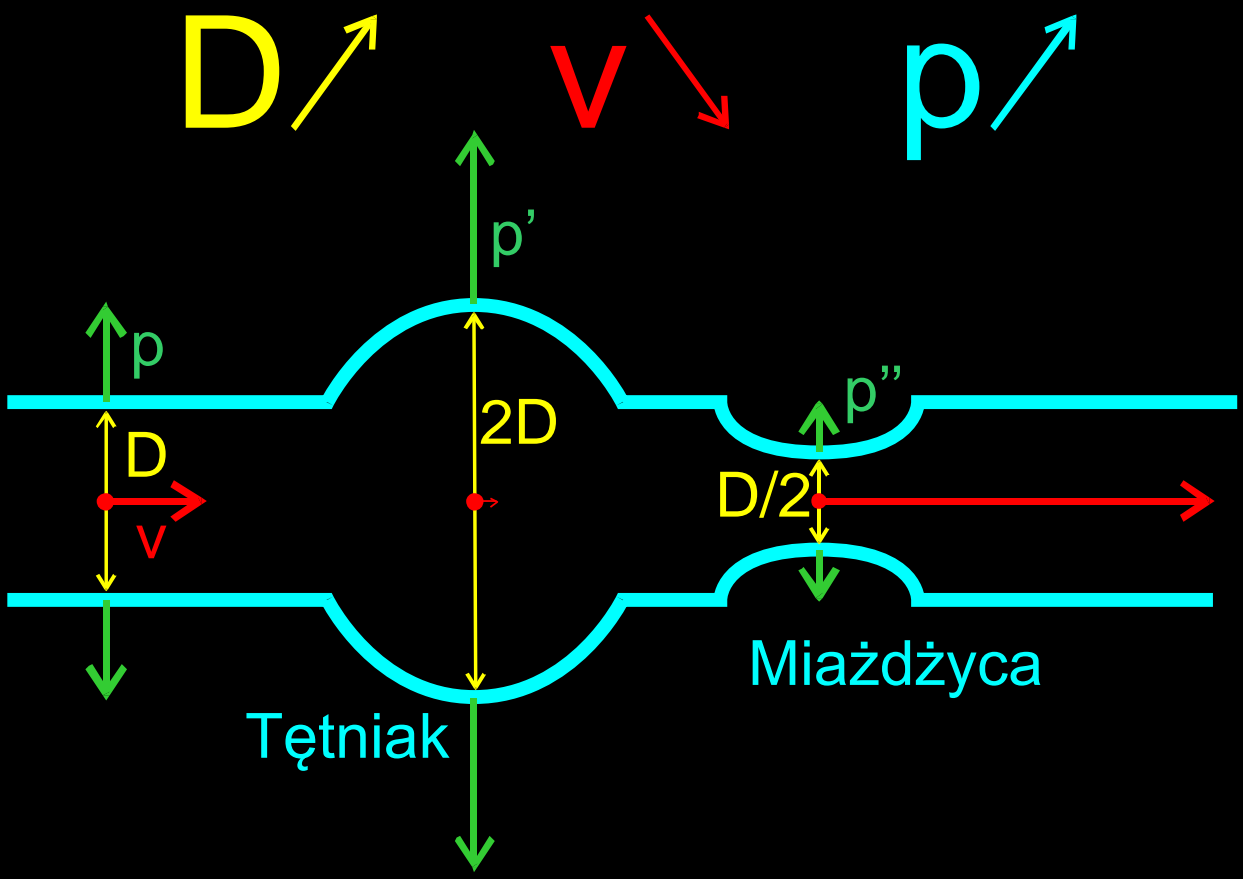
$$p_1 + \rho gh + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \rho gh + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

$$v \downarrow \rightarrow p \uparrow \rightarrow p_2 > p_1$$



# 6. Przepływ krwi

## Paradoks hydrodynamiczny





# 6. Przepływ krwi

Szybkość przepływu krwi w sztywnym naczyniu przyjmuje charakterystyczny paraboliczny profil i zależy od promienia naczynia,  $R$ , odległości od środka naczynia,  $r$ , długości naczynia,  $L$ , lepkości krwi,  $\eta$ , i różnicy ciśnień na końcach naczynia,  $\Delta P$ :

$$v = \frac{\Delta P}{4L\eta} (R^2 - r^2)$$

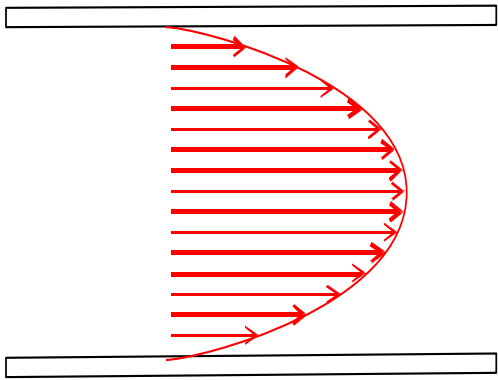
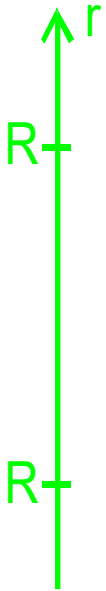
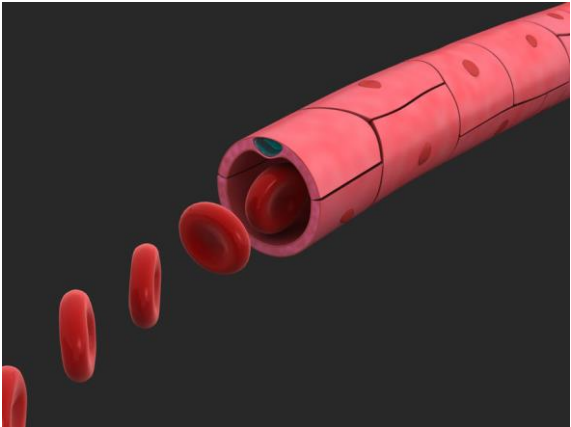
$$v(r) = \frac{R^2}{4\eta} \frac{\Delta p}{L} \left(1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2\right)$$

$$v_{śr}$$

$$Q = \frac{\Delta p}{L} \frac{\pi R^4}{8\eta}$$



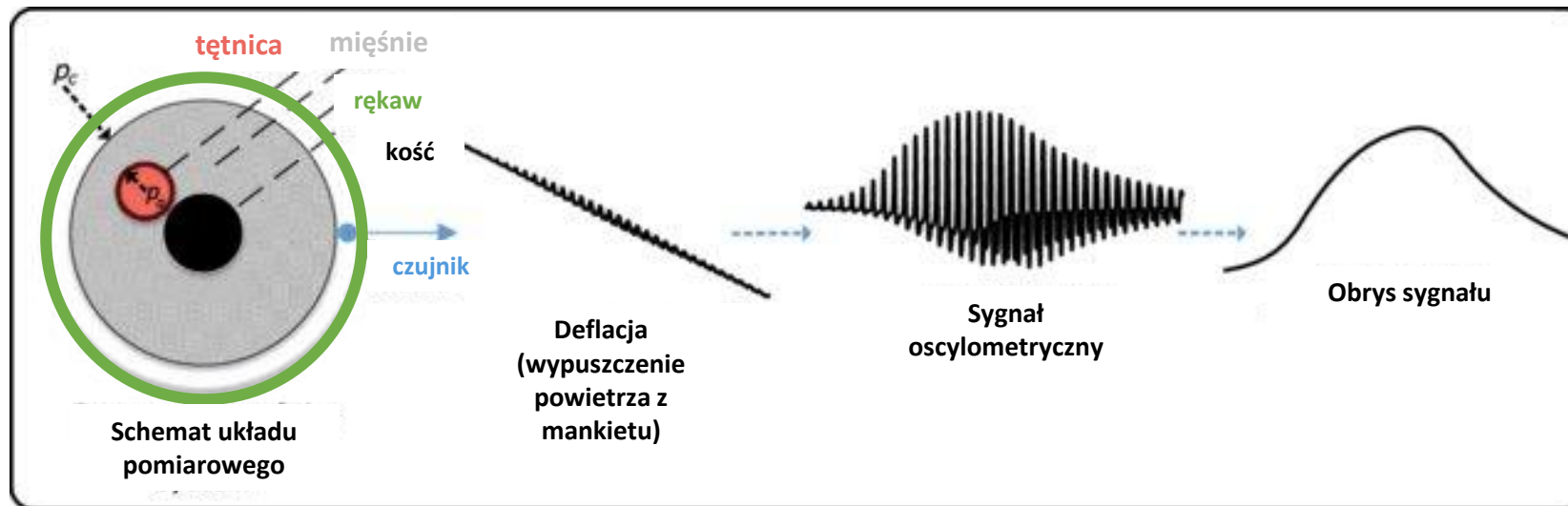
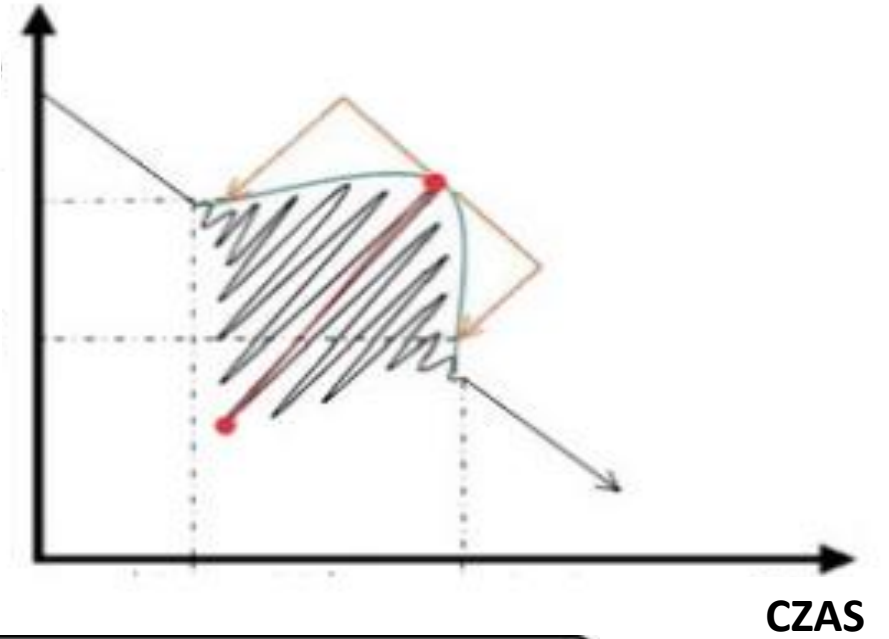
> 1 m



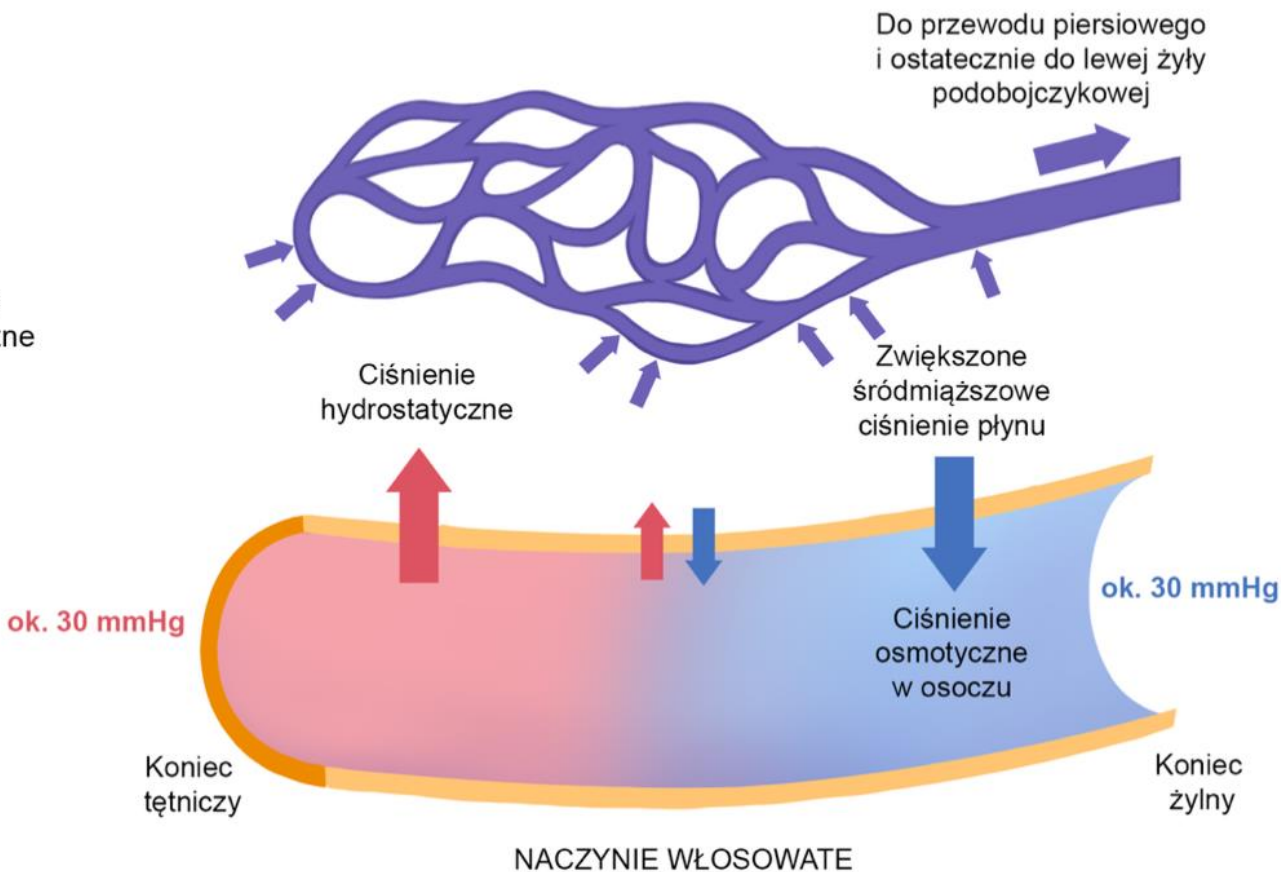
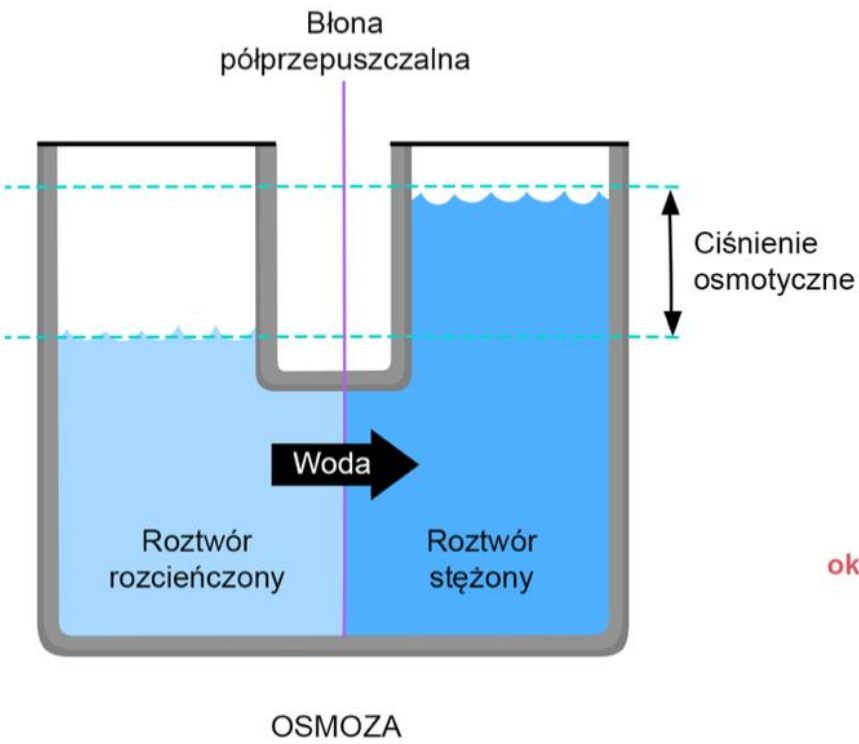
# DEMONSTRACJA – CIŚNIENIOMIERZ NADGARSTKOWY



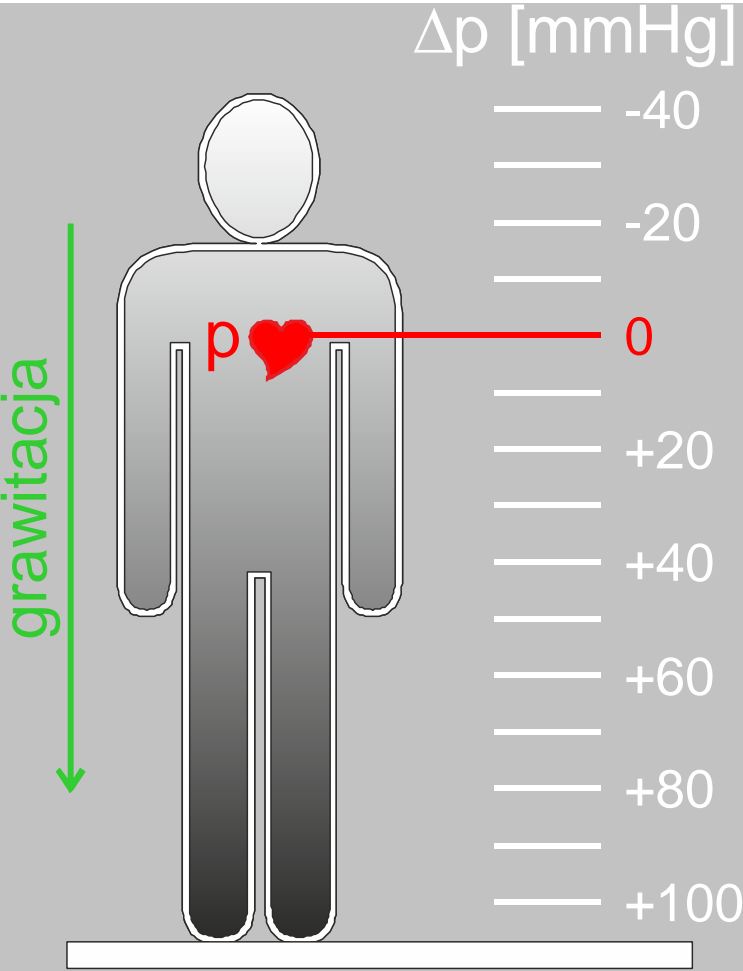
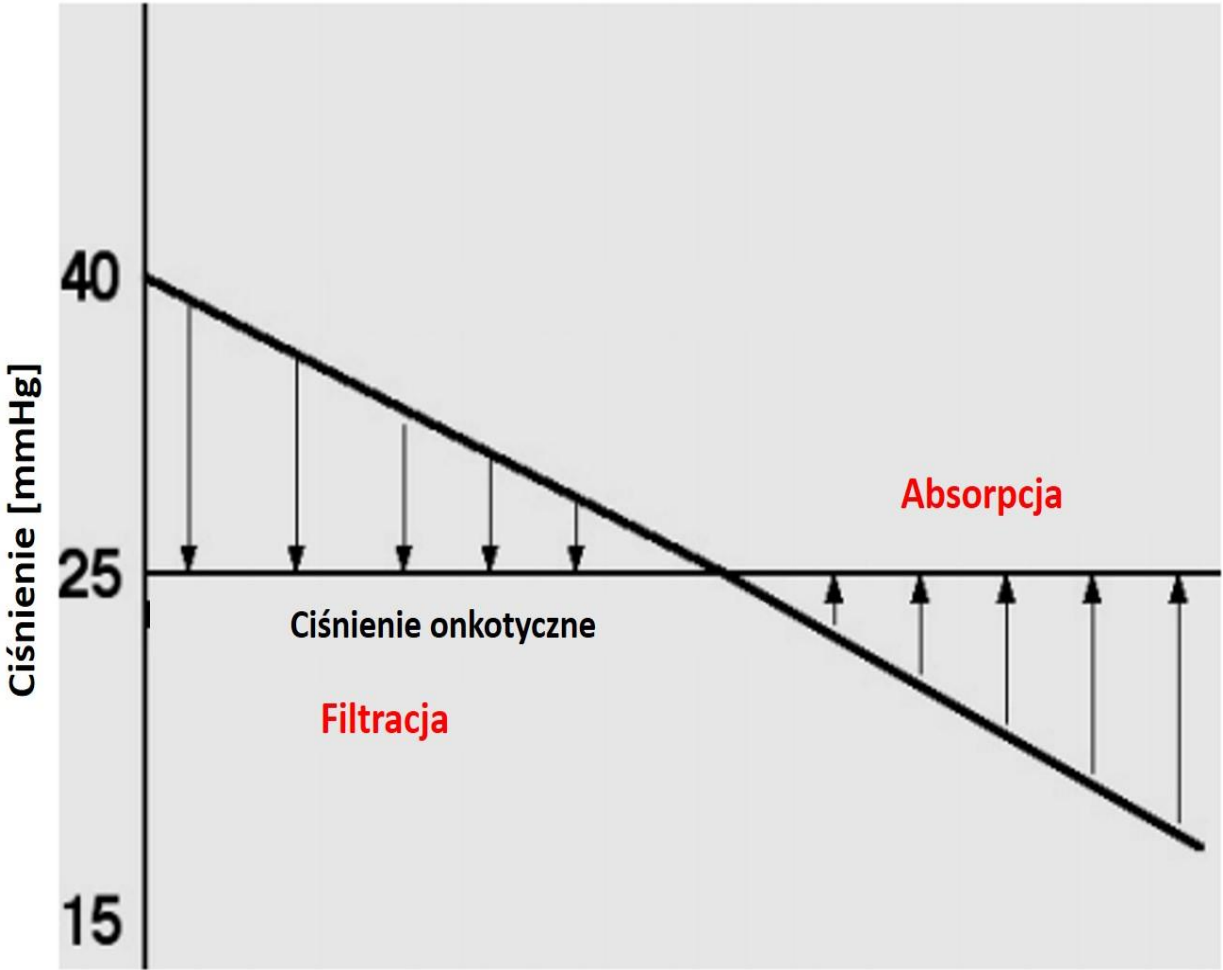
CIŚNIENIE  
skurczowe  
rozkurczowe



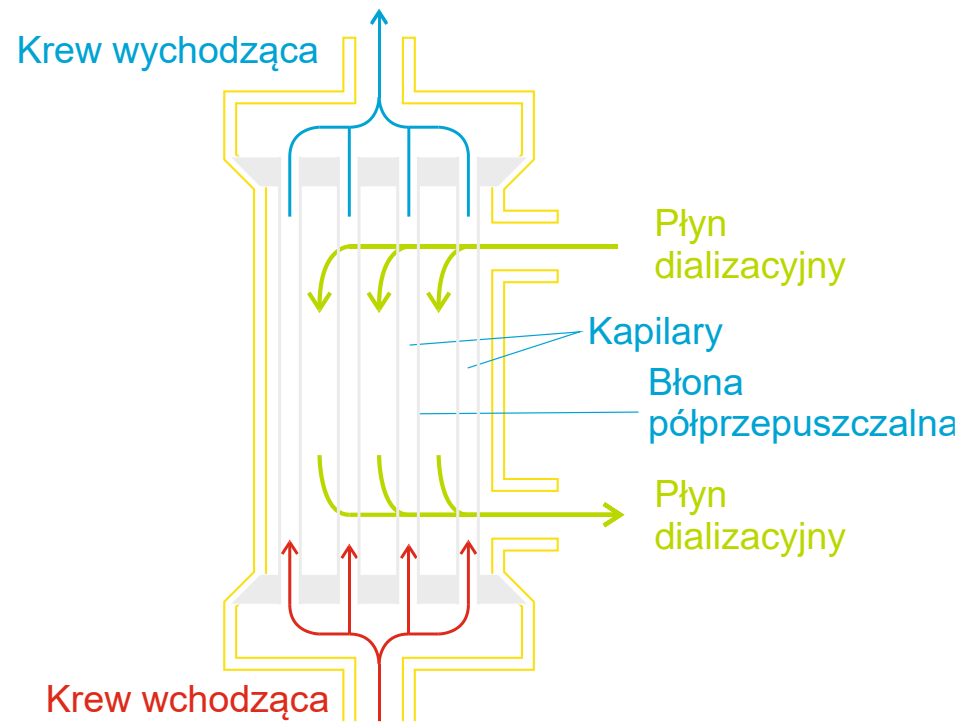
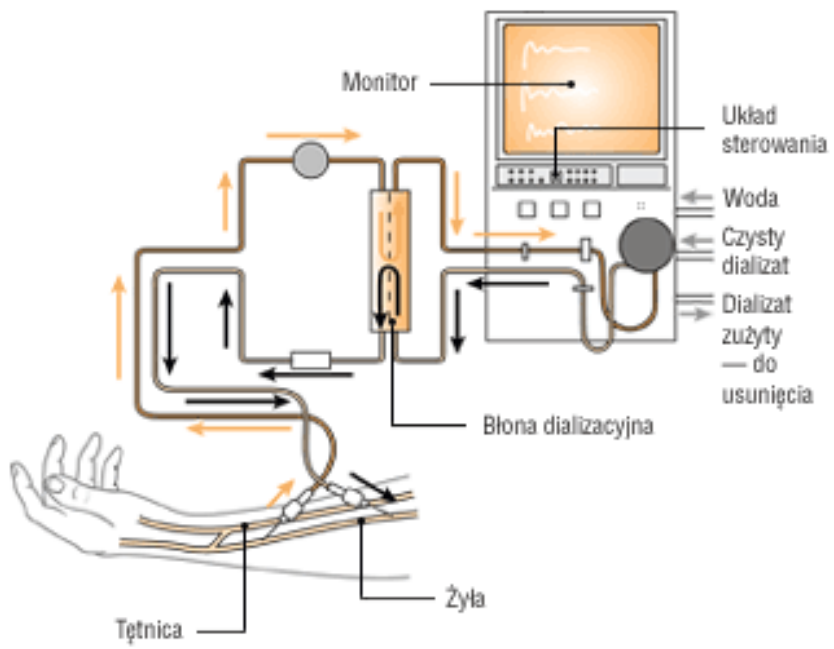
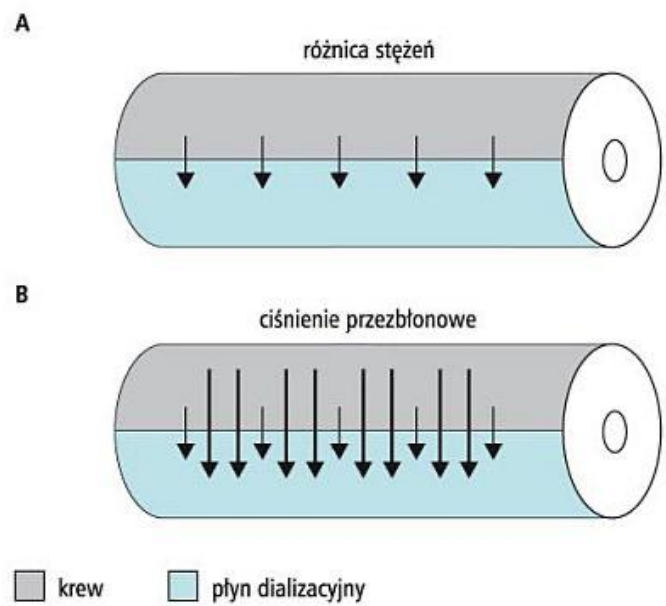
# 7. Transport przez ścianę kapilary – współdziałanie ciśnienia hydrostatycznego i osmotycznego, dializa



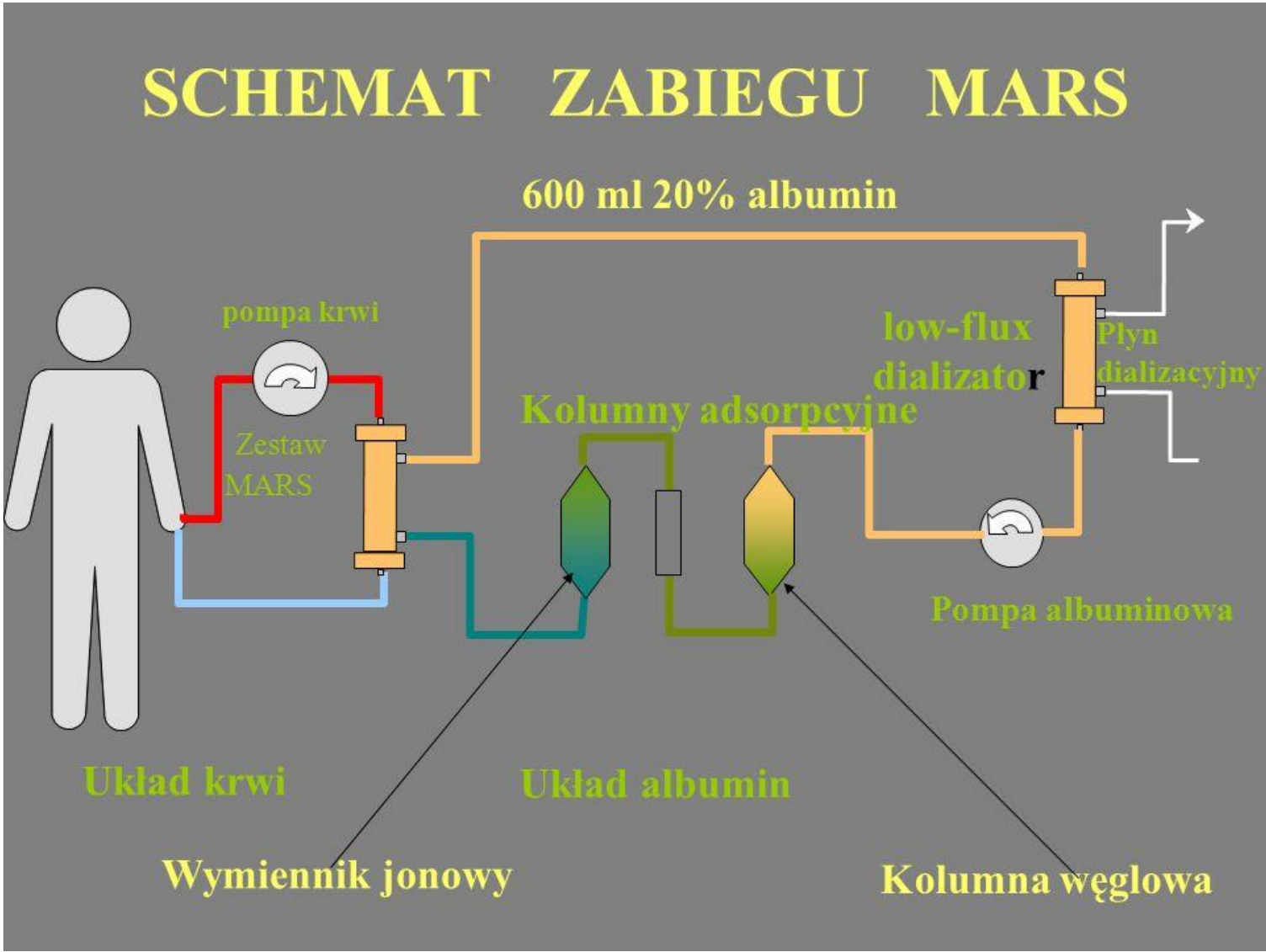
7. Transport przez ścianę kapilary – współdziałanie ciśnienia hydrostatycznego i osmotycznego, dializa



# 7. Transport przez ścianę kapilary – współdziałanie ciśnienia hydrostatycznego i osmotycznego, dializa



7. Transport przez ścianę kapilary – współdziałanie ciśnienia hydrostatycznego i osmotycznego, dializa





## 8. Mechanika oddychania i metody diagnostyczne w pulmonologii

Korzystając z prawa Boyle'a-Mariotte'a oszacuj zmianę objętości powietrza przedostającego się do atmosfery z płuc podczas wydechu (maksymalne nadciśnienie wynosi 30 mmHg). Czy w tym przybliżeniu można potraktować powietrze jako nieściśliwe?

$$pV = const.$$

Czy prawo Boyle'a-Mariotte'a jest równie dobrym przybliżeniem rzeczywistości podczas oddychania w upalny letni dzień, kiedy temperatura powietrza wynosi ok. 35 stopni Celsjusza, co podczas oddychania w mroźny zimowy dzień, gdy temperatura powietrza na zewnątrz równa jest 0 stopni Celsjusza? W której z tych sytuacji trudniej wstrzymać oddech?



## 8. Mechanika oddychania i metody diagnostyczne w pulmonologii

Korzystając z prawa Boyle'a-Mariotte'a oszacuj zmianę objętości powietrza przedostającego się do atmosfery z płuc podczas wydechu (maksymalne nadciśnienie wynosi 30 mmHg). Czy w tym przybliżeniu można potraktować powietrze jako nieściśliwe?

$$pV = const.$$

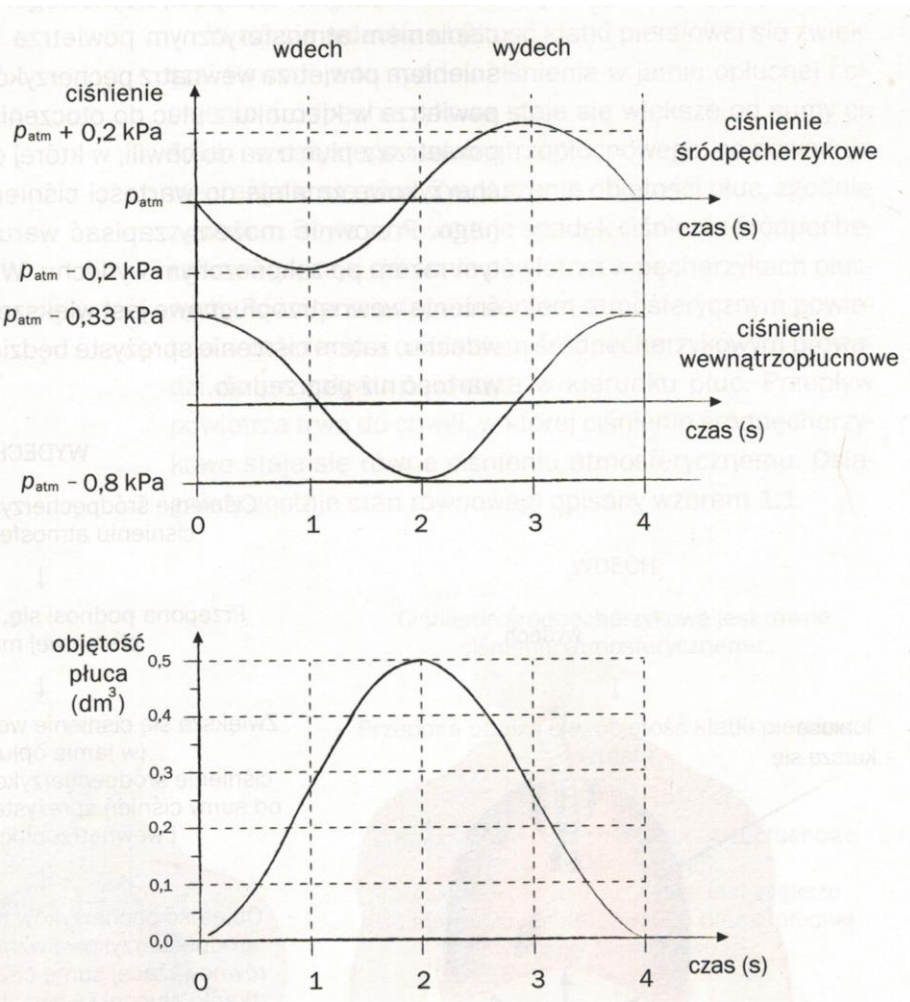
$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \rightarrow \frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1} \rightarrow \frac{760 \text{ mmHg}}{(760+30) \text{ mmHg}} = 0.96 \rightarrow \Delta V \sim 4\% , \text{ czyli b. niewiele} - \text{ powietrze można traktować jako nieściśliwe.}$$

Czy prawo Boyle'a-Mariotte'a jest równie dobrym przybliżeniem rzeczywistości podczas oddychania w upalny letni dzień, kiedy temperatura powietrza wynosi ok. 35 stopni Celsjusza, co podczas oddychania w mroźny zimowy dzień, gdy temperatura powietrza na zewnątrz równa jest 0 stopni Celsjusza? W której z tych sytuacji trudniej wstrzymać oddech?

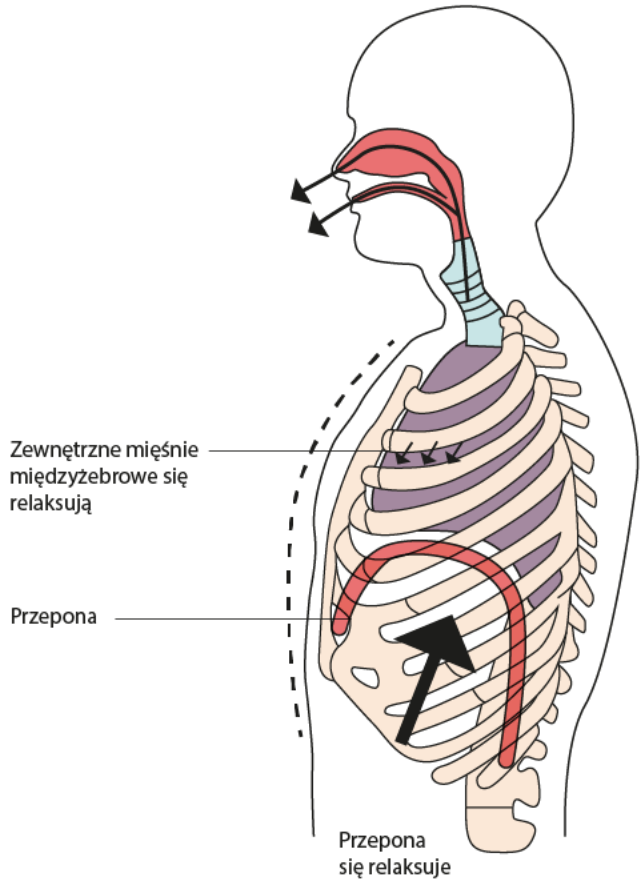
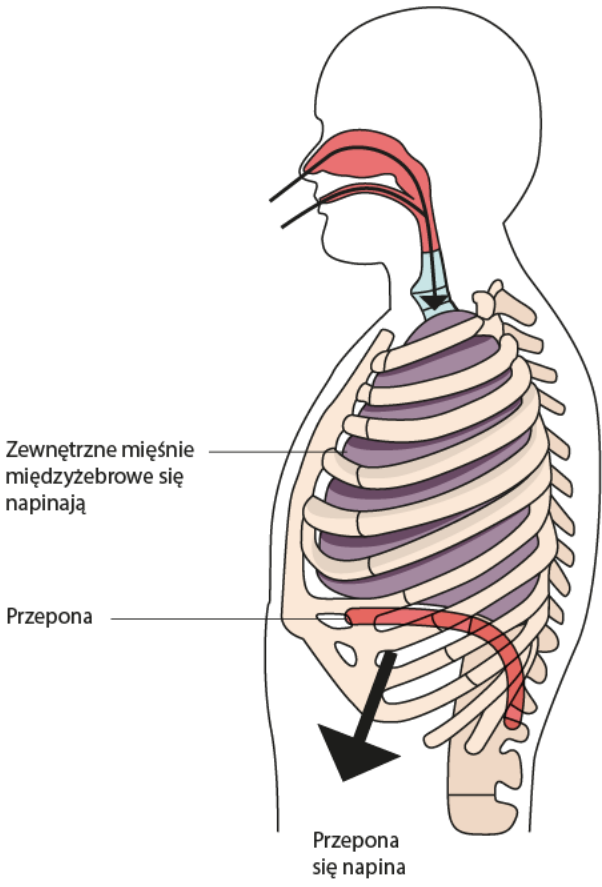




# 8. Mechanika oddychania i metody diagnostyczne w pulmonologii



Rys. 1.10. Zmiany ciśnienia śródpecherzykowego i ciśnienia wewnątrzpłucnowego oraz zmiana objętości płuca w cyklu oddechowym przy spokojnym wdechu i spokojnym wydechu



<https://body-work.com.pl/blog/moc-oddechu-jak-swiadomie-z-nim-pracowac/>

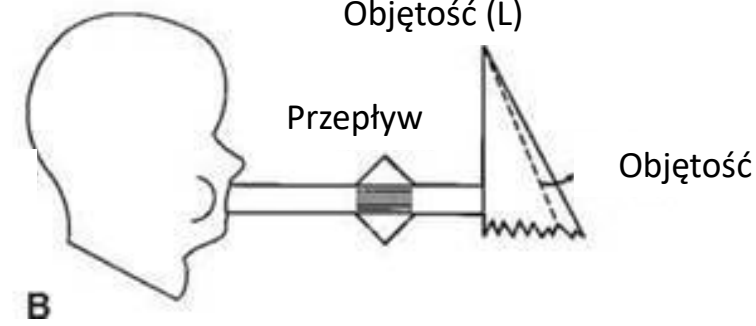
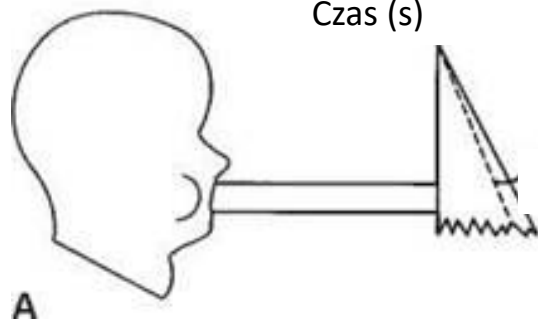
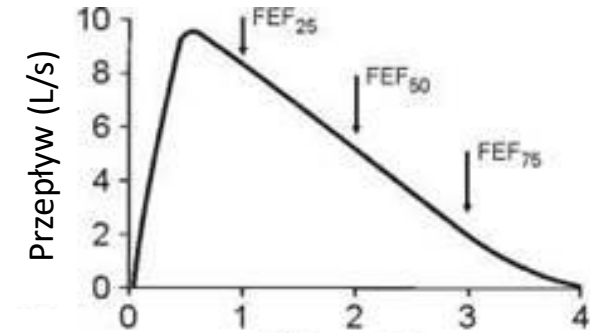
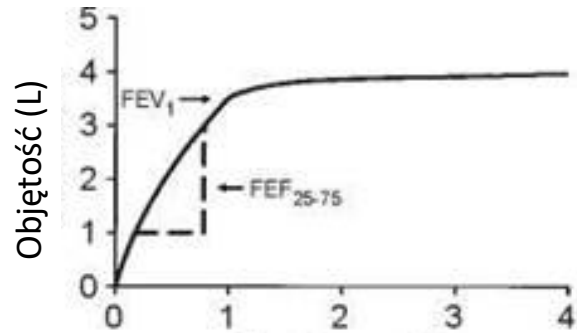
# 8. Mechanika oddychania i metody diagnostyczne w pulmonologii

Pacjent nabiera głęboki wdech, następnie możliwie mocno wypuszcza powietrze do rurki

Klips na nos

Technik monitoruje i zachęca pacjenta

Urządzenie rejestruje wyniki testu spirometrycznego

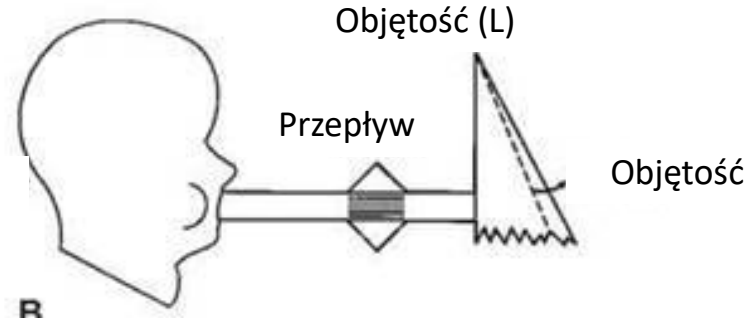
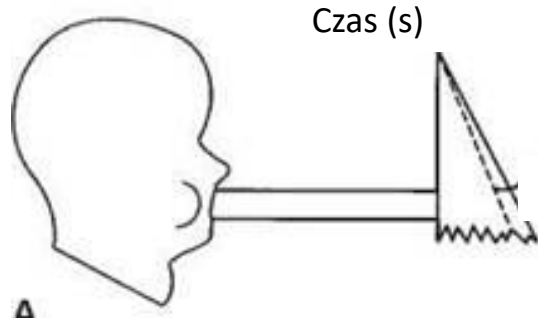
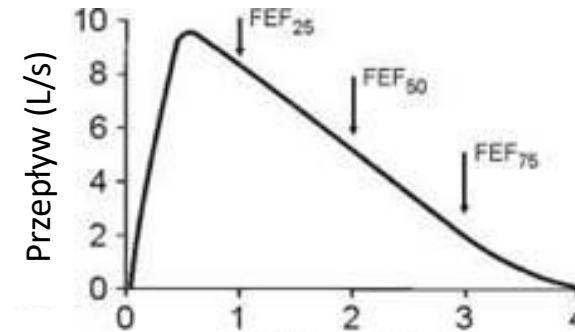
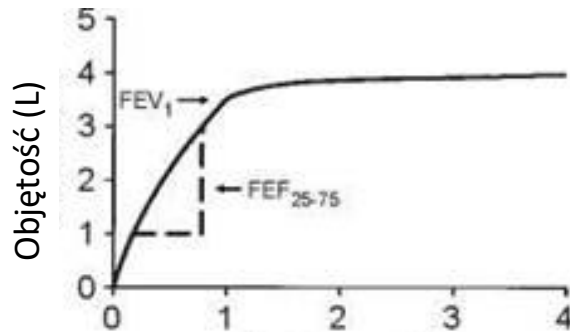
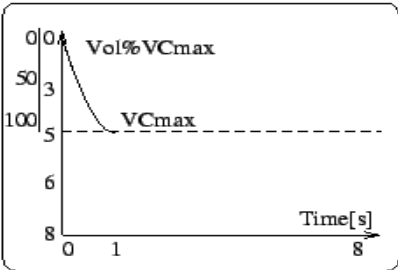
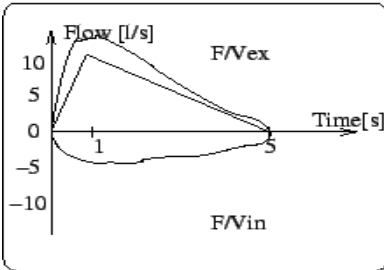


# 8. Mechanika oddychania i metody diagnostyczne w pulmonologii

SAMODZIELNY PUBLICZNY SZPITAL KLINICZNY  
 KLINIKA PNEUMONOLOGII  
 PRACOWNIA BADAN CZYNNOSCIOWYCH UKŁADU  
 ODDECHOWEGO  
 KATOWICE-LIGOTA, UL. Medyków 14

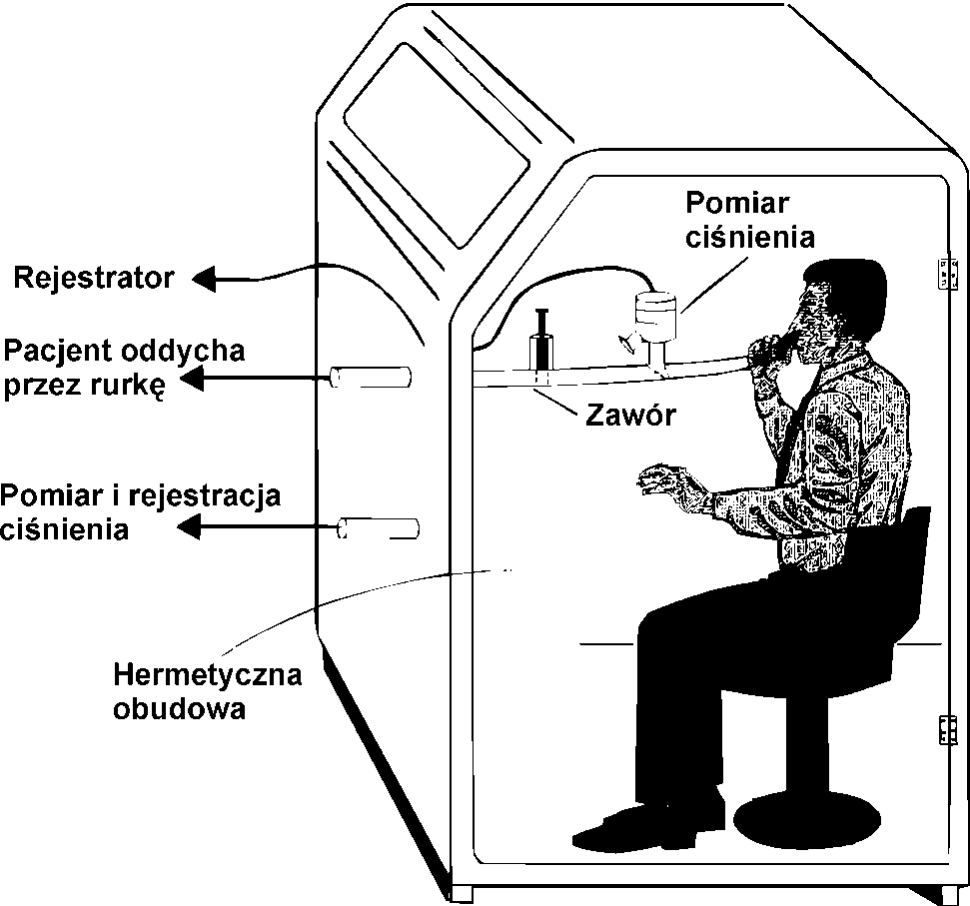
Flow-Vol

Last Name: X. Identification: Q2  
 First Name: Arkadiusz  
 Date of Birth: 1978-07-22 Age: 23 Years  
 Sex: male Height: 175.0cm  
 Smoker: Pali Weight: 100.0kg  
 Physician: Prof. Pierzchala Operator: A.Matusz  
 Ward: Poradnia Insurance: —

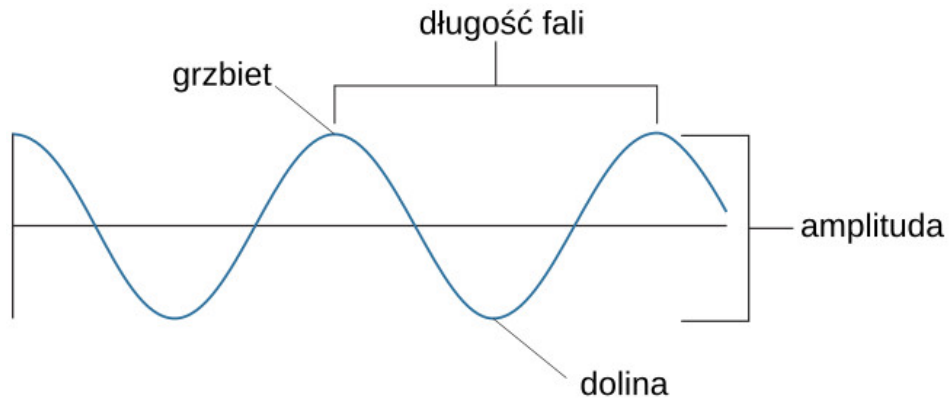


	Pred	Act1	%(Act1/Pred)	Act2	%(Act2/Pred)
Date:			2001-11-15		
Time			11:16:55		
VC IN.....[l]	5.33	4.88	91.7		
FEV1.....[l]	4.31	4.95	114.8		
FEV1%VC IN.....[%]	82.7	101.27	122.4		
FVC.....[l]	5.09	4.95	97.2		
FEV1%FVC.....[%]		100.00			
PEF.....[l/s]	9.82	12.33	125.3		
FEF 25.....[l/s]	9.36	12.33	147.5		
FEF 50.....[l/s]	5.51	7.51	136.3		
FEF 75.....[l/s]	2.58	3.88	150.9		
FIV1.....[l]		3.20			
FEF50%FVC.....[%]	108	151.74	140.1		
MMEF75/25.....[l/s]	5.02	7.66	152.7		
FEF 75/85.....[l/s]	1.58	3.21	203.7		
Mean transit time...[s]	0.59	0.21	35.6		
Exspir. F/V area[l*s]	28.6	34.82	121.6		
PIF.....[l/s]		3.26			
FVC IN.....[l]	5.33	4.88	91.7		
FIF 50.....[l/s]		2.84			
IC.....[l]	3.74				

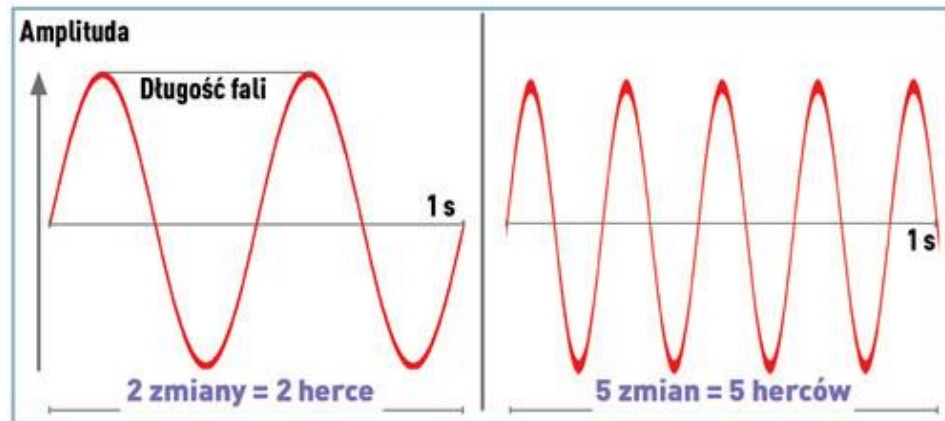
# 8. Mechanika oddychania i metody diagnostyczne w pulmonologii



9. Fale mechaniczne – okres, długość, amplituda i częstotliwość, energia, moc i natężenie fali mechanicznej

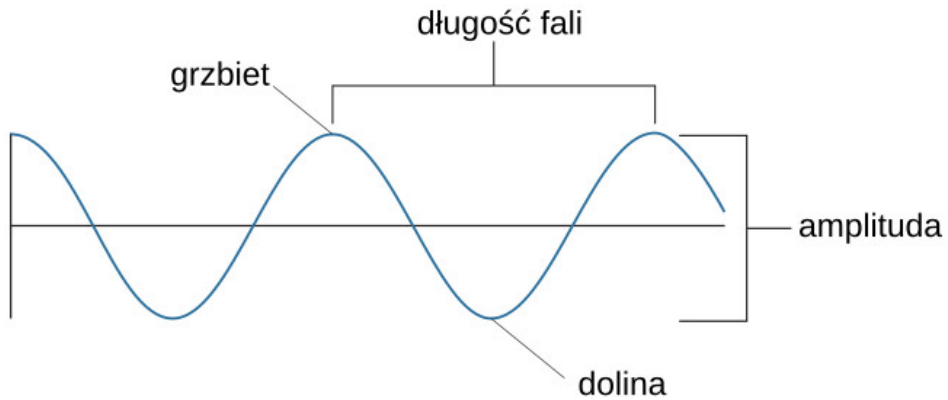


Fala dźwiękowa o intensywności  $3.2 \times 10^{-4} \text{Wm}^{-2}$  wytwarza w bębunku ucha dość istotną zmianę ciśnienia. Proszę wyznaczyć poziom głośności tej fali bezpośrednio przy błonie bębenkowej.



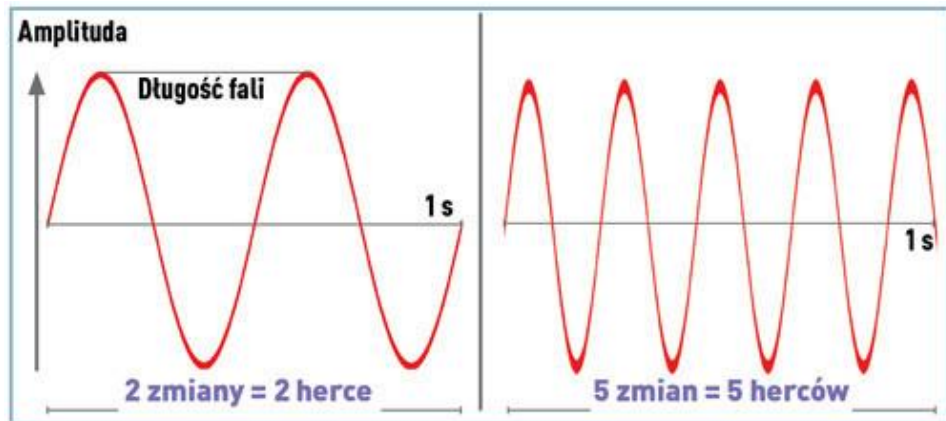


9. Fale mechaniczne – okres, długość, amplituda i częstotliwość, energia, moc i natężenie fali mechanicznej

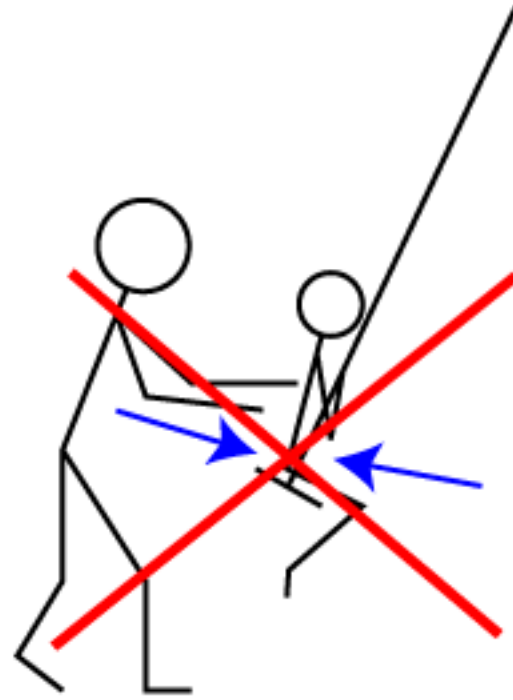
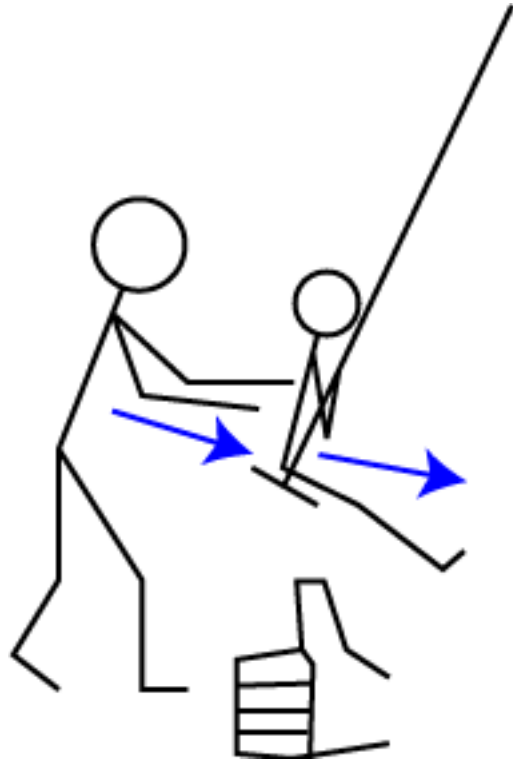


Fala dźwiękowa o intensywności  $3.2 \times 10^{-4} \text{ W m}^{-2}$  wytwarza w błonie bębenkowej ucha dość istotną zmianę ciśnienia. Proszę wyznaczyć poziom głośności tej fali bezpośrednio przy błonie bębenkowej.

$$IL = 10 \lg \left( \frac{3.2 \times 10^{-4}}{10^{-12}} \right); = 85 \text{ dB}$$

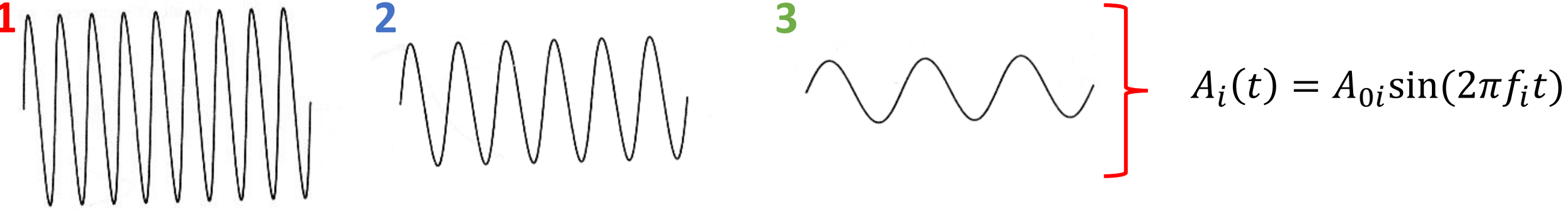


# 10. Zjawisko rezonansu mechanicznego, częstość rezonansowa



# 11. Biofizyka słuchu – związek budowy ucha z mechanizmem słyszenia

Trzy funkcje sinusoidalne (okresowe) o różnych amplitudach i częstotliwościach, ale o tej samej ogólnej postaci:



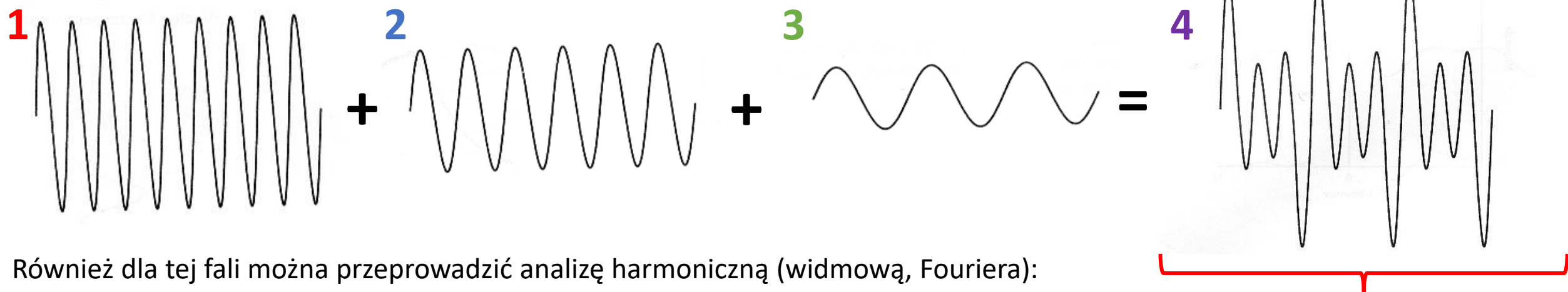
Ponieważ funkcje te są okresowe, zamiast zmian wychylenia w czasie, można przedstawić je w domenie częstotliwości, a na osi OY odłożyć ich amplitudy (maksymalne wychylenie):





# 11. Biofizyka słuchu – związek budowy ucha z mechanizmem słyszenia

Po dodaniu tych trzech fal otrzymujemy bardziej skomplikowany wzorec:



Również dla tej fali można przeprowadzić analizę harmoniczną (widmową, Fouriera):

$$A_i(t) = A_1(t) + A_2(t) + A_3(t)$$



# 11. Biofizyka słuchu – związek budowy ucha z mechanizmem słyszenia

Analiza harmoniczna zasadza się na tzw. transformacie Fouriera:

$$A(t) = \frac{1}{2}A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin(2\pi nft)$$

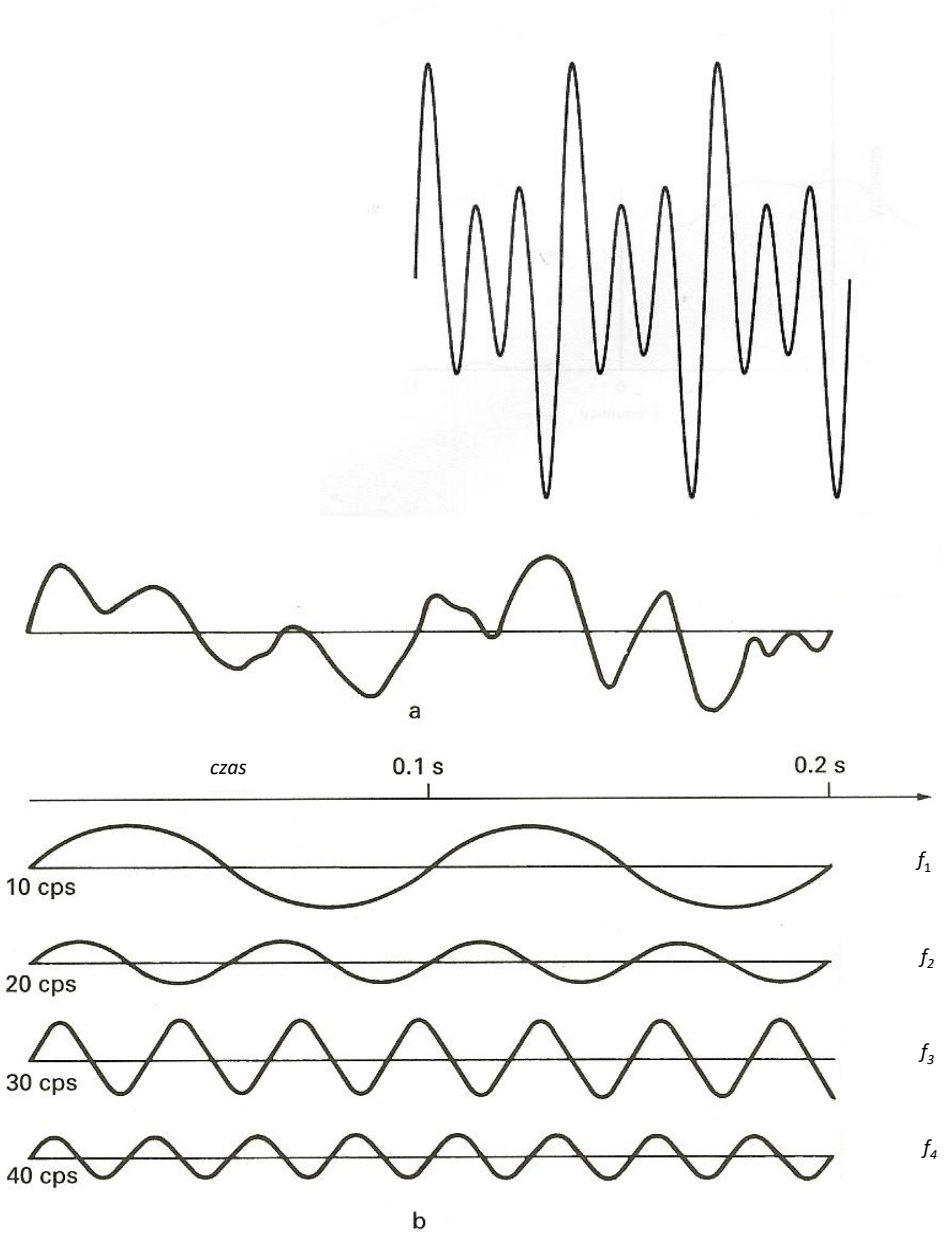
$f_1 = 1*f$  → częstotliwość podstawowa (pierwsza składowa harmoniczna)

$f_2 = 2*f$  → druga składowa harmoniczna

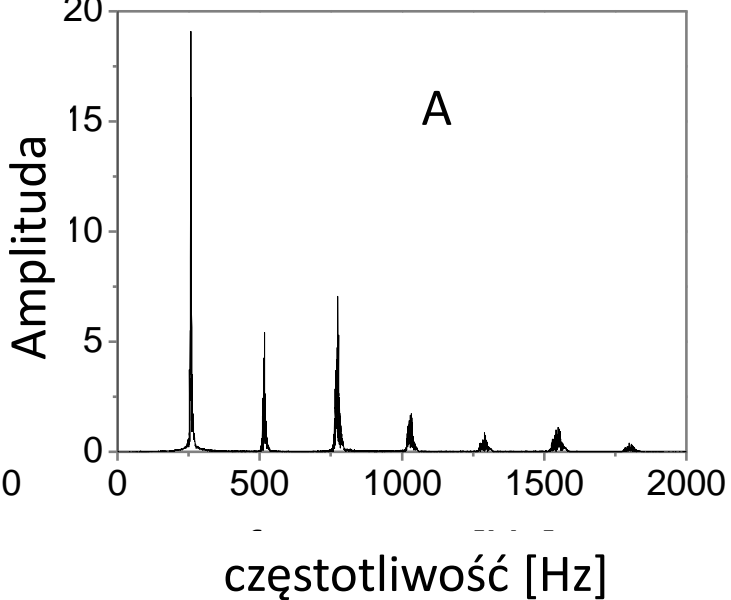
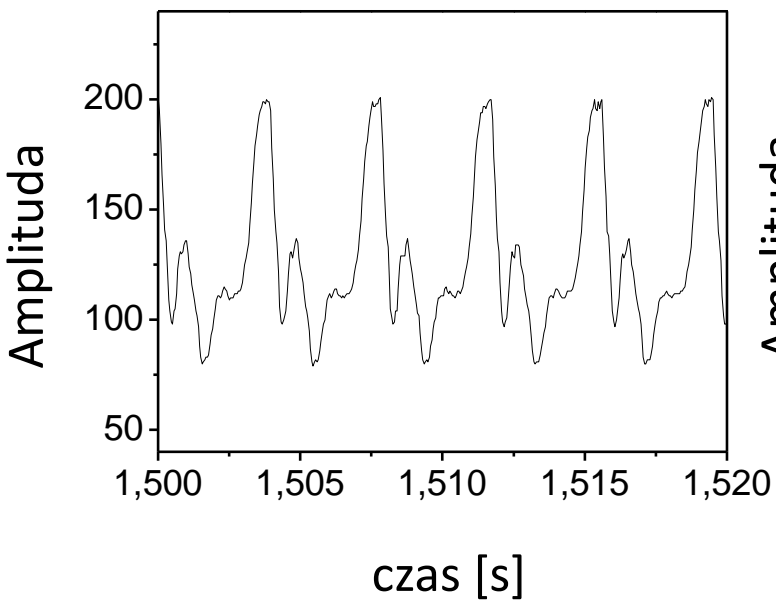
$f_3 = 3*f$  → trzecia składowa harmoniczna

...

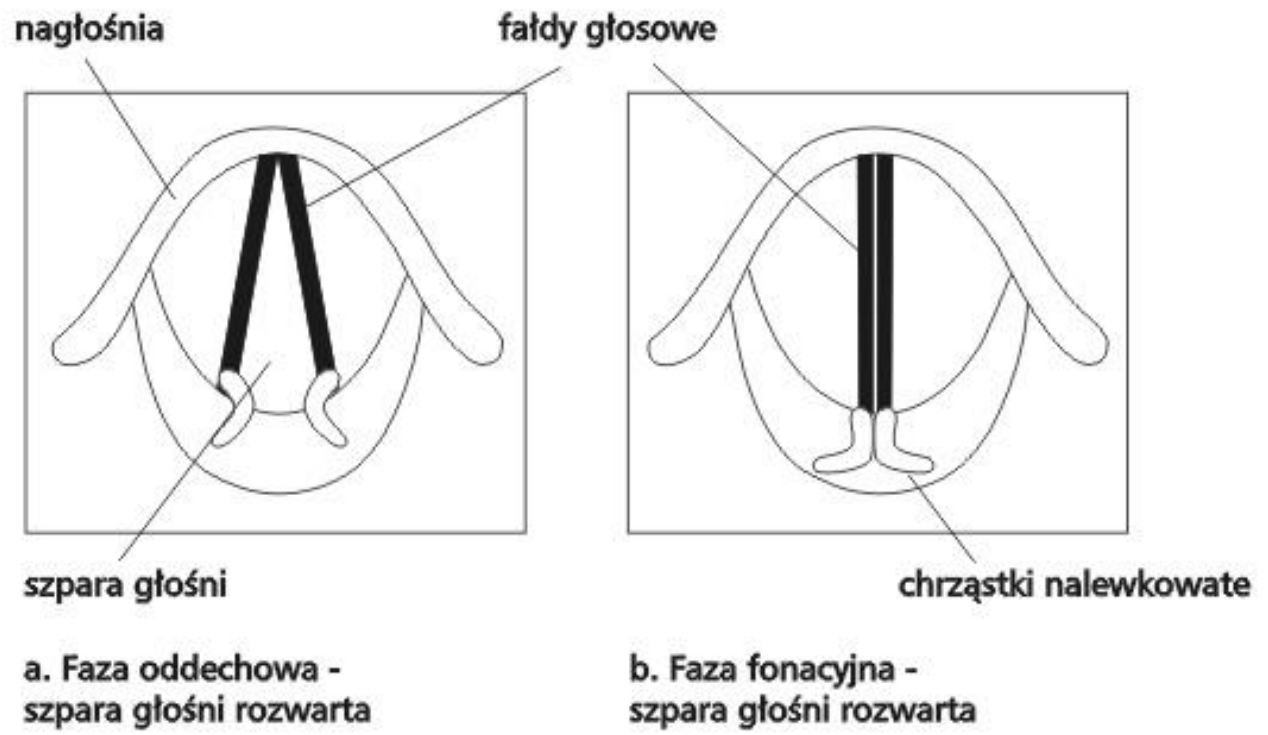
$f_4 = n*f$  → n-ta składowa harmoniczna



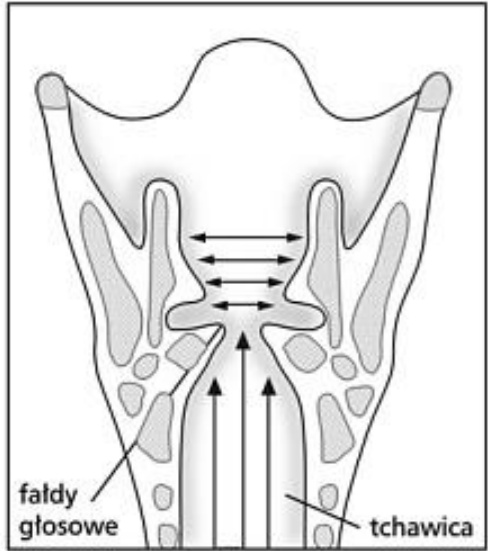
11. Biofizyka słuchu – związek budowy ucha z mechanizmem słyszenia



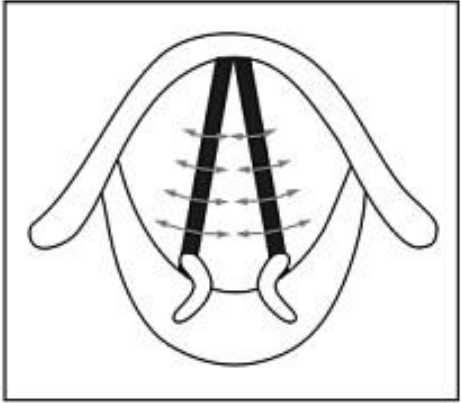
# 11. Biofizyka słuchu – związek budowy ucha z mechanizmem słyszenia



# 11. Biofizyka słuchu – związek budowy ucha z mechanizmem słyszenia



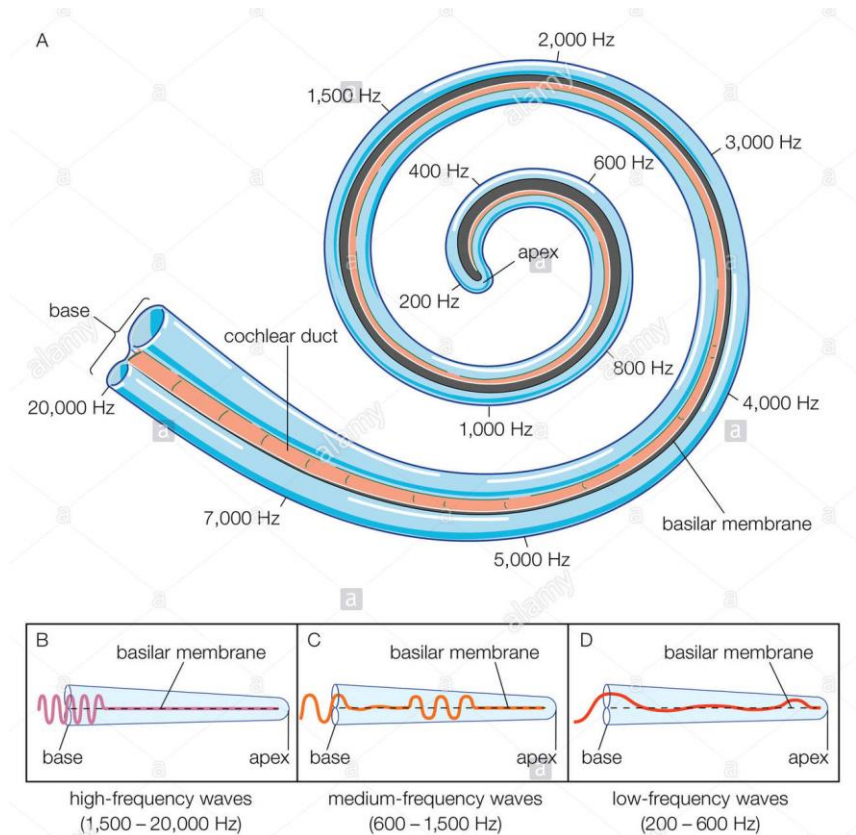
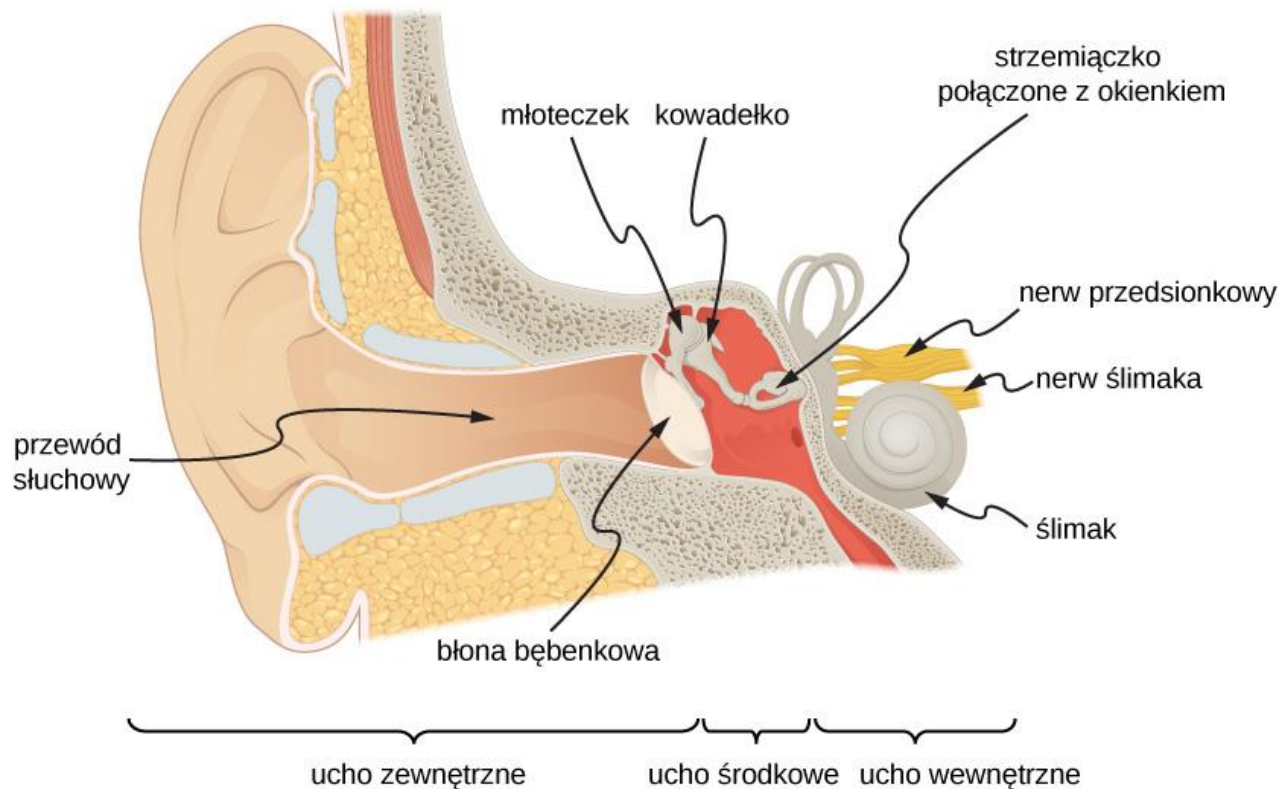
strumień powietrza w tchawicy  
 a. Strumień powietrza wydechowego w tchawicy jest „motorem” wprawiającym w drgania faldy głosowe



drgania faldów głosowych  
 b. Powtarzająca się wielokrotnie w jednostce czasu cykle naprzemiennych drgań faldów głosowych powodują powstanie dźwięku (tonu krtaniowego)

# 11. Biofizyka słuchu – związek budowy ucha z mechanizmem słyszenia

Przewód słuchowy ma długość 2,5 cm. Przyjmując, że dźwięk rozchodzi się w powietrzu z szybkością 343 m/s oblicz, na jakie częstotliwości najbardziej wrażliwy jest słuch dorosłego człowieka.



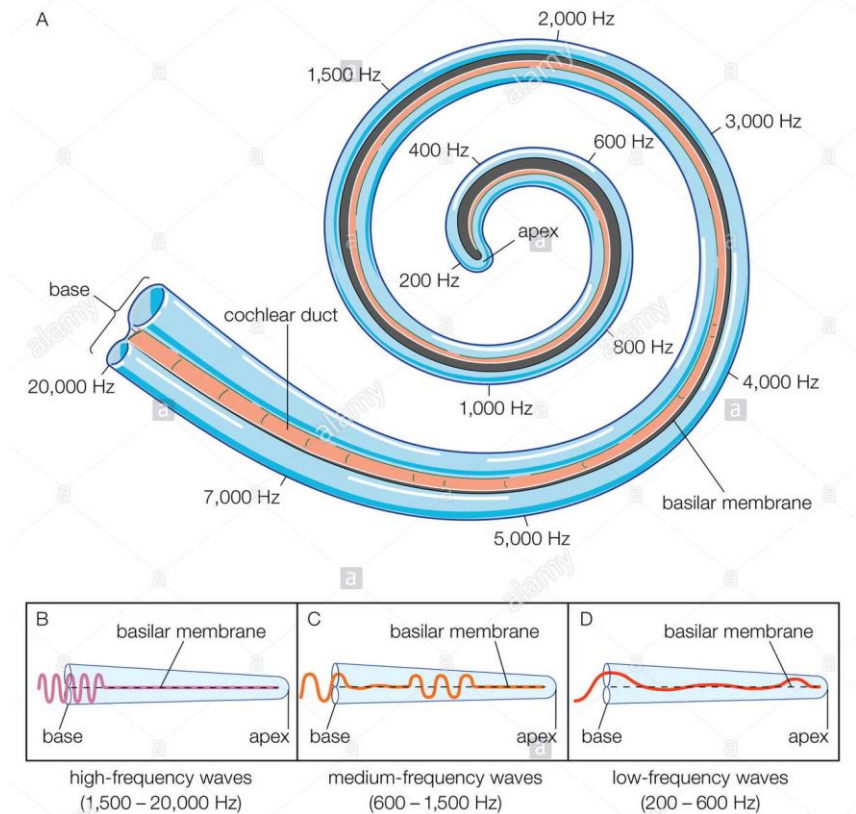
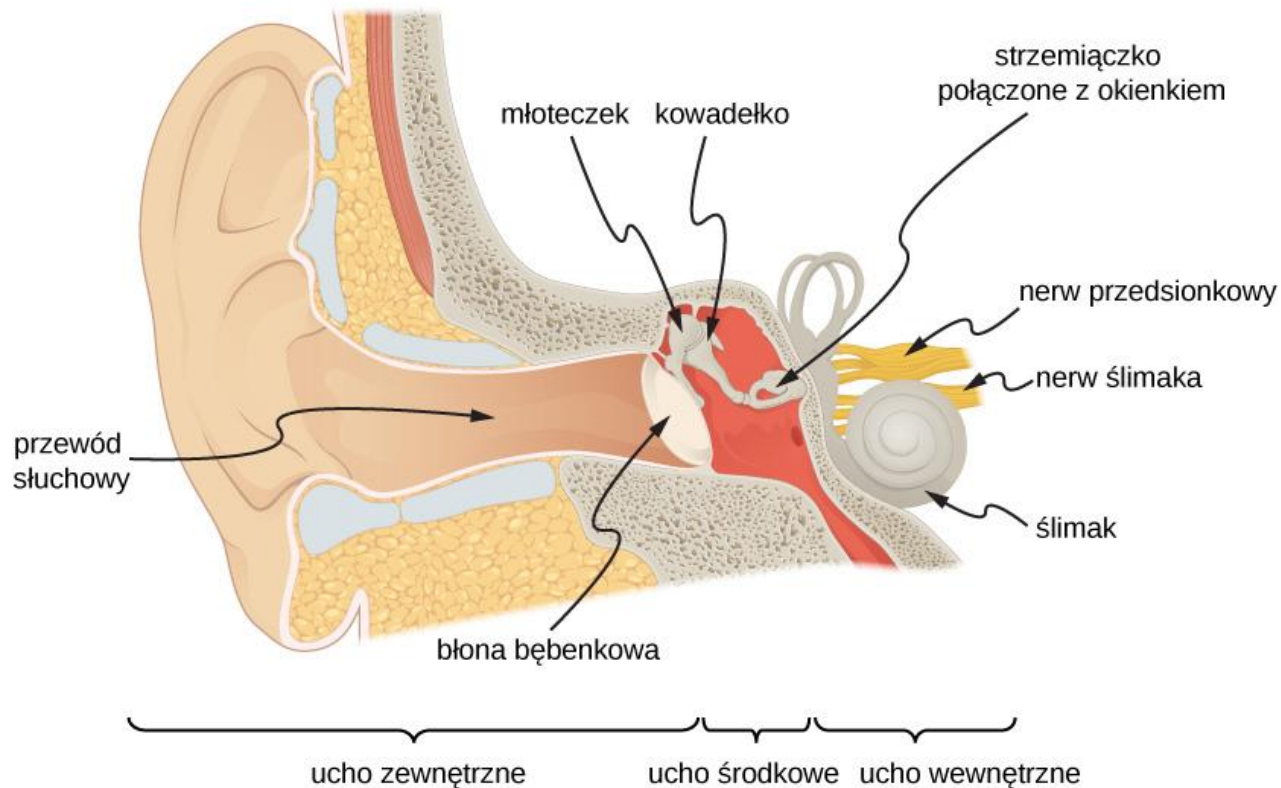


# 11. Biofizyka słuchu – związek budowy ucha z mechanizmem słyszenia

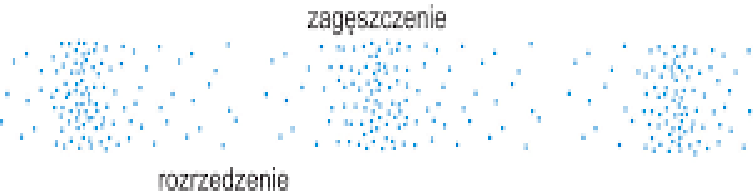
Przewód słuchowy ma długość 2,5 cm. Przyjmując, że dźwięk rozchodzi się w powietrzu z szybkością 343 m/s oblicz, na jakie częstotliwości najbardziej wrażliwy jest słuch dorosłego człowieka.

*Dla rury jednostronnie zamkniętej:*

$$f_0 = \frac{v}{4 \cdot L} = 3430 \text{ Hz}$$



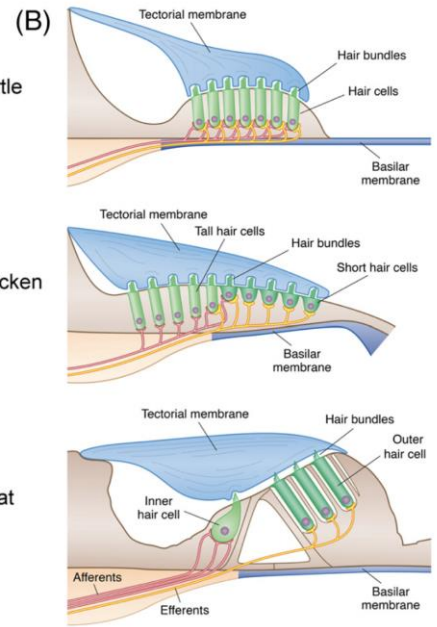
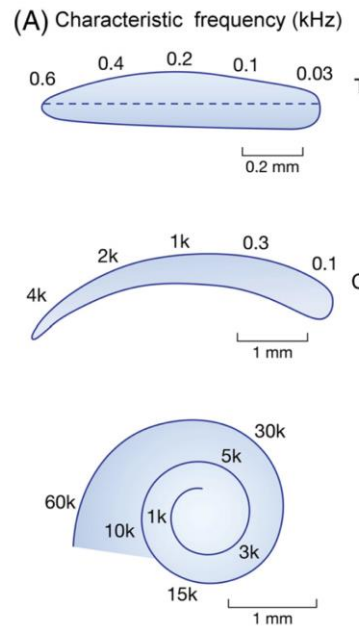
# 11. Biofizyka słuchu – związek budowy ucha z mechanizmem słyszenia



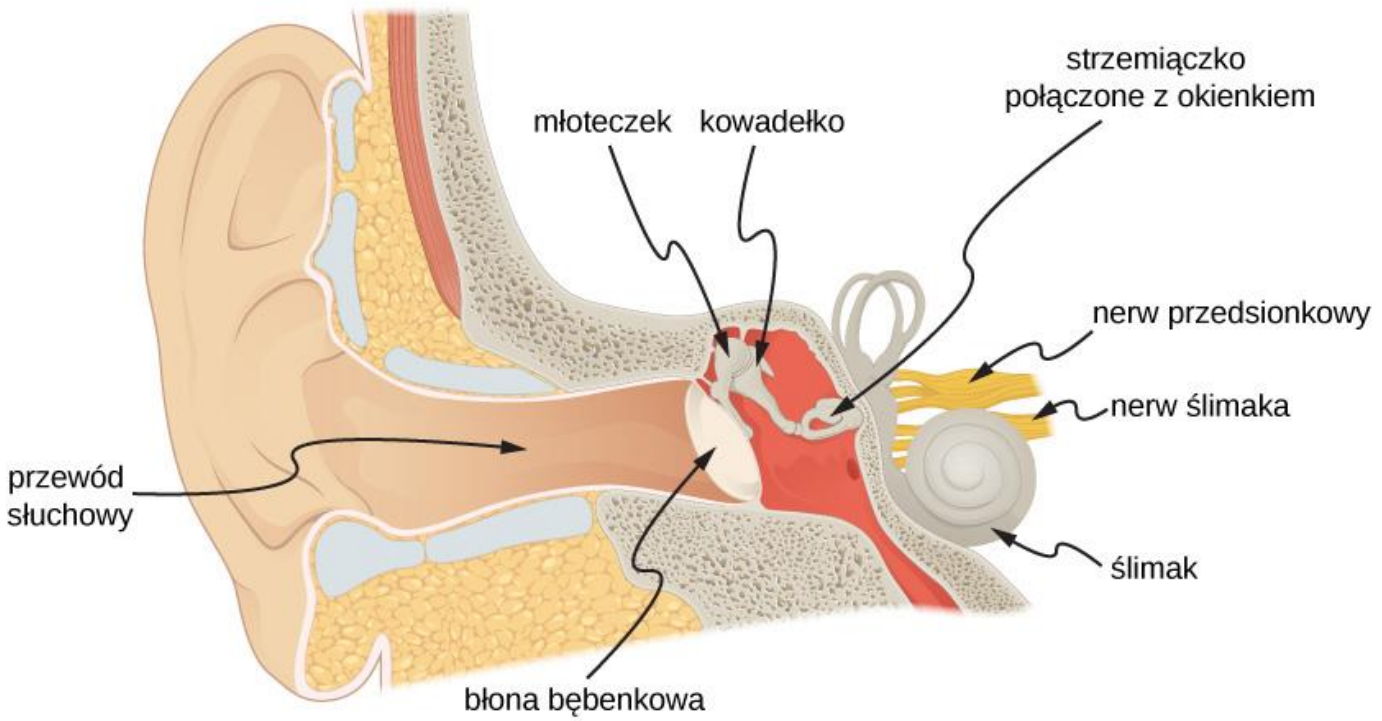
**UCHO ZEWNĘTRZNE**  
(filtr akustyczny)

**UCHO ŚRODKOWE**  
(przełącznik mechaniczny)

**UCHO WEWNĘTRZNE**  
(2 wypełnione płynem kanały ze wspólną błoną)



Trends in Neurosciences  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tins.2019.12.003>

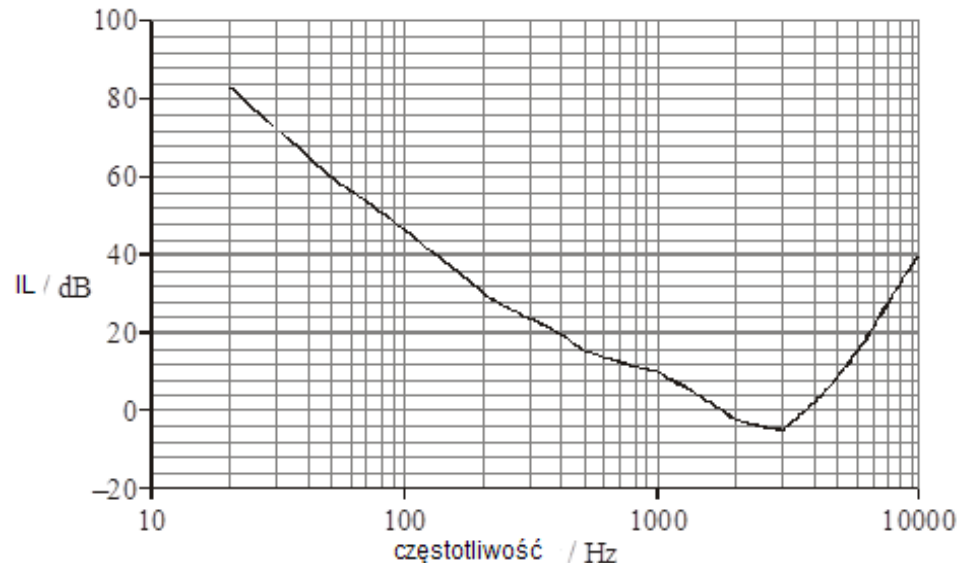


ucho zewnętrzne      ucho środkowe      ucho wewnętrzne

11. Biofizyka słuchu – związek budowy ucha z mechanizmem słyszenia

Ania słyszy dźwięk o częstotliwości 1000 Hz, którego intensywność jest równa  $10^{-12} \text{ Wm}^{-2}$ . Tata Ani, Marek nie jest w stanie usłyszeć tego dźwięku, póki jego intensywność nie wzrośnie do wartości  $10^{-6} \text{ Wm}^{-2}$ .

- Proszę oszacować stosunek amplitudy dźwięku słyszanego przez Anię do amplitudy dźwięku słyszanego przez jej tatę
- Proszę oszacować ubytek słuchu taty Ani dla tej częstotliwości w dB
- Korzystając z audiogramu proszę wyjaśnić dla jakiej częstotliwości słuch Ani jest najbardziej wrażliwy
- Proszę zaznaczyć na wykresie próg słyszalności taty Ani dla częstotliwości 1000 Hz.



- intensywność  $\propto A^2$ ;  
stosunek amplitud =  $10^{-3}$ ;
- różnica w dB pomiędzy Anią i jej tatą =  $10 \log \left( \frac{10^{-12}}{10^{-6}} \right)$ ;  
= 60 dB;
- 3 000 Hz;
- 60 ( $\pm 5$ ) dB;

## D1. Poziom natężenia dźwięku

Dwa źródła dźwięku, zlokalizowane w tej samej odległości od obserwatora, wysyłają dźwięki, których poziom natężenia wynosi 20 dB każdy. Ile wynosi sumaryczny poziom natężenia dźwięku docierającego do obserwatora?

## D1. Poziom natężenia dźwięku

Dwa źródła dźwięku, zlokalizowane w tej samej odległości od obserwatora, wysyłają dźwięki, których poziom natężenia wynosi 20 dB każdy. Ile wynosi sumaryczny poziom natężenia dźwięku docierającego do obserwatora?

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

$$L_2 = 10 \log \frac{2I}{I_0} = 10 \left( \log(2) + \log \left( \frac{I}{I_0} \right) \right) = 10 \log(2) + 10 \log \left( \frac{I}{I_0} \right) \sim 23 \text{ dB}$$