

MATERIAŁY POMOCNICZE DO WYKŁADU Z PODSTAW ZASTOSOWAŃ ULTRADŹWIEKÓW W MEDYCYNIE

(wyłącznie do celów dydaktycznych – zakaz rozpowszechniania)

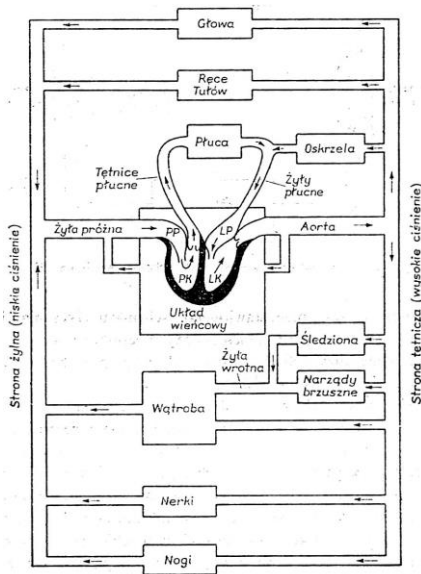
12. Diagnostyka ultradźwiękowa oparta na zjawisku Dopplera.

S2. Hemodynamika

Hemodynamika:

- badanie mechaniki pracy serca,
- przepływ w dużych naczyniach,
- mikroprzepływy (mikrokrążenie),
- rozchodzenie się fali tętna,
- synteza całego mechanizmu krążenia.

S3. Funkcje i schemat układu krążenia (1)



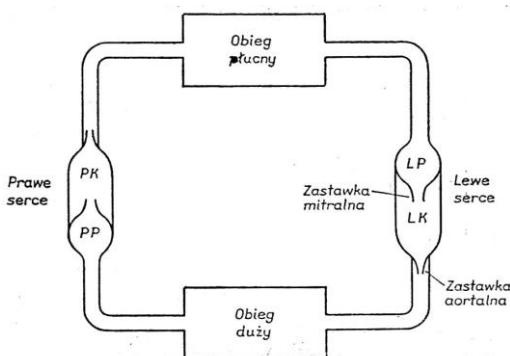
Systemem krwionośnym rządzą 2 układy sterujące:

- sterowanie ogólne, obejmujące swoim zasięgiem wszystkie narządy organizmu,
- sterowanie lokalne, wybiórczo regulujące przepływ w jednym lub paru narządach (lub ich częściach).

$$Q = \frac{\Delta P}{k}$$

$$Q_s = f \cdot SV$$

S4. Funkcje i schemat układu krążenia (2)



Przez obieg płucny przepływa w danym czasie dokładnie tyle samo krwi ile przez obieg duży (nie bierzemy pod uwagę przepływu oskrzelowego, który w warunkach normalnych jest nieduży).

Serce działa jako pompa tło-cząca o działaniu okresowym: kolejno następują skurcze (systole) i rozkurcze (diastole) mięśnia sercowego.

Częstość pracy serca: 67 cykli/min. → 1.117 Hz

Pojemność wyrzutowa: 80 cm³

Wydatek minutowy: 5360 cm³

S5. Obieg krwi

LK → pień aorty → duże tętnice → średnie → końcowe → tętniczki → włosniczki (kapilary)

Żyłeczki → żyłki → żyły końcowe → żyły średnie → duże → żyła próżna → PP

S6. Metoda ultradźwiękowa oparta na zjawisku Dopplera

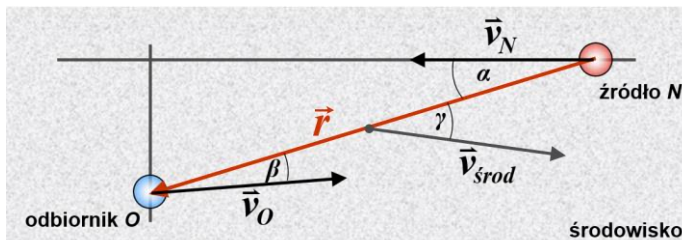
Metoda ultradźwiękowa oparta na zjawisku Dopplera:

- nieinwazyjna,
- pomiary wprost z powierzchni skóry,
- informacja o prędkości chwilowej przepływu oraz prędkości średniej,
- informacja o wydatku (prędkości objętościowej),
- informacja o średnicy naczynia krwionośnego,
- informacja o kierunku przepływu,
- pozwala wyznaczyć miejsca niedrożności naczynia.

Nowe metody badawcze:

- arteriografia ultradźwiękowa – kojarzy technikę dopplerowską z ultradźwiękową wizualizacją tkanek,
 - wewnątrzsercowe dopplerowskie pomiary przepływu krwi.
-

S7. Zjawisko Dopplera



$$f_o = \frac{c \pm v_o \cdot \cos(\alpha(\vec{r}, \vec{v}_o))}{c \mp v_N \cdot \cos(\beta(\vec{r}, \vec{v}_N))} \cdot f_N$$

$$f_o = \frac{c \pm v_o \cdot \cos(\alpha(\vec{r}, \vec{v}_o)) \pm v_{srod} \cdot \cos(\gamma(\vec{r}, \vec{v}_{srod}))}{c \mp v_N \cdot \cos(\beta(\vec{r}, \vec{v}_N)) \mp v_{srod} \cdot \cos(\gamma(\vec{r}, \vec{v}_{srod}))} \cdot f_N$$

S8-9. Ultradźwiękowa diagnostyka dopplerowska

$$p = P \cdot \sin(\omega t - \beta x) = P \cdot \sin\left(\omega \cdot \left(t - \frac{x}{c}\right)\right) \quad T = \frac{\lambda}{c} = \frac{1}{f_N}$$

$$p_o = P_o \cdot \sin\left(\omega_o \left(t - \frac{x \pm \Delta x}{c}\right)\right) \quad T_o = \frac{\lambda \pm v \cdot T_o}{c}$$

$$T_o = \frac{1}{f_o} \quad \lambda = \frac{c}{f_N} \quad \frac{c}{f_o} = \frac{c}{f_N} \pm \frac{v}{f_o} \quad f_o = \frac{c \mp v}{c} \cdot f_N \quad \Delta f = f_o - f_N = \mp \frac{v}{c} \cdot f_N$$

$$c_{krwi} = 1570 \text{ m/s} \quad f_o = f_N \pm f_D \quad f_D = 2 \frac{v}{c} f_N \cdot \cos \theta$$

$$v [\text{m/s}] = 0.78 \frac{f_D [\text{kHz}]}{f_N [\text{MHz}]} \frac{1}{\cos \theta}$$

S10-11. Ultradźwiękowa dopplerowska metoda badania tętna płodu

Serce płodu – ruchoma struktura biologiczna drgająca z pulsacją Ω Częstotliwość drgań: ~ 2 Hz

$$\xi = A \cdot \sin(\Omega t) \quad v = A\Omega \cdot \cos(\Omega t) = V \cos(\Omega t) \quad f_o = f_N \pm f_D \quad f_D = 2 \frac{v}{c} f_N \cdot \cos \theta$$

$$\omega_o = \omega_N + 2 \frac{V}{c} \omega_N \cos(\Omega t)$$

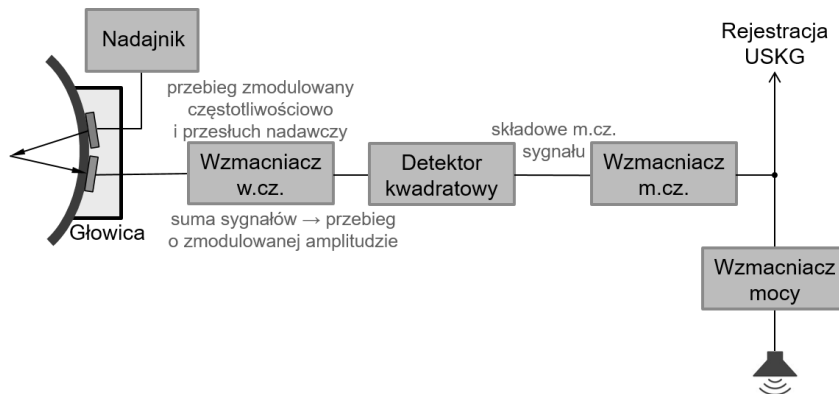
$$p = P \sin(\varphi(t)) \quad \text{gdzie} \quad \varphi(t) = \omega_o t + \text{const.}$$

$$\varphi(t) = \omega_N t + 2 \frac{V}{c} \frac{\omega_N}{\Omega} \sin(\Omega t) + \text{const.}$$

$$p = P \sin\left(\omega_N t + 2 \frac{V}{c} \frac{\omega_N}{\Omega} \sin(\Omega t)\right)$$

S12. Ultradźwiękowa dopplerowska metoda badania tętna płodu

$$m_f = 2 \frac{V \omega_N}{c \Omega} \quad \Delta f = 2 \frac{V}{c} \cdot f_N = f_D$$



$$u = U_o \cdot U_{przes_N} \cdot \cos\left(2 \frac{V \omega_N}{c \Omega} \sin(\Omega t) - \varphi(t)\right)$$

S13. Ultradźwiękowa dopplerowskie detektory tętna płodu

S14-15. Dopplerowskie metody pomiarowe (przepływ krwi)

Metoda fali ciągłej:

Pomiar w całym obszarze wiązki.

Zależnie od potrzeb wyznaczamy średnią lub maksymalną częstotliwość dopplerowską.

Zaleta: zdolność pomiaru bardzo dużych prędkości (> kilku m/s).

Wada: Brak możliwości oceny głębokości, na której dokonujemy pomiaru.

Metoda impulsowa:

Pomiar na wybranej głębokości.

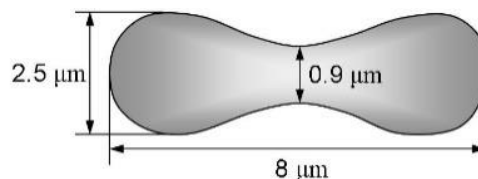
Pomiar opóźnienia i częstotliwości echa (pomiaru profili prędkości przepływu krwi, rzutu minutowego serca, ocena przepływów śród-czaszkowych, podstawa kolorowego obrazowania przepływów krwi).

S16. Ultradźwiękowy dopplerowski pomiar przepływu krwi CW

Ultradźwiękowy dopplerowski pomiar przepływu krwi z wykorzystaniem fali ciągłej

$$N = a D^3 \cdot f^4$$

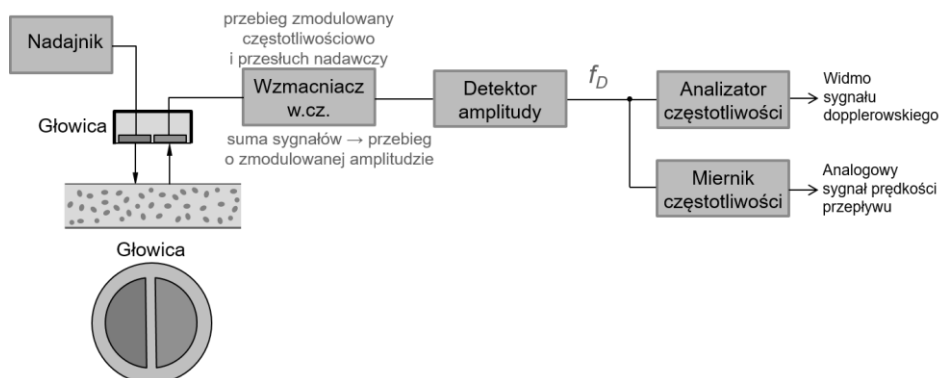
$$f_D = \mp \frac{v}{c} f_N (\cos \theta_N + \cos \theta_o)$$



S17. Ultradźwiękowy dopplerowski pomiar przepływu krwi CW

Ultradźwiękowy dopplerowski miernik przepływu krwi z wykorzystaniem fali ciągłej:

schemat blokowy



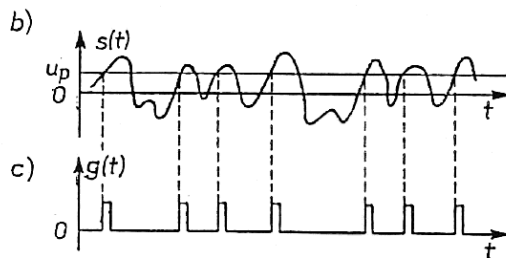
$$f_D = \mp \frac{2v(r)}{c} f_N$$

S18. Ultradźwiękowy dopplerowski pomiar przepływu krwi CW

Co i jak mierzy ultradźwiękowy miernik prędkości przepływu krwi fali ciągłej (CW)?

S19. Ultradźwiękowy dopplerowski pomiar przepływu krwi CW

Ultradźwiękowy dopplerowski miernik przepływu krwi z wykorzystaniem fali ciągłej:
 detekcja przejść przez zero



$$v_o = v_s = a \frac{b \cdot f_{zc} \cdot c}{f_N (\cos \theta_N + \cos \theta_o)}$$

S20-21. Ultradźwiękowy dopplerowski pomiar przepływu krwi CW

Ultradźwiękowy dopplerowski pomiar przepływu krwi z wykorzystaniem fali ciągłej: błędy

S22-23. Ultradźwiękowy dopplerowski pomiar przepływu krwi CW

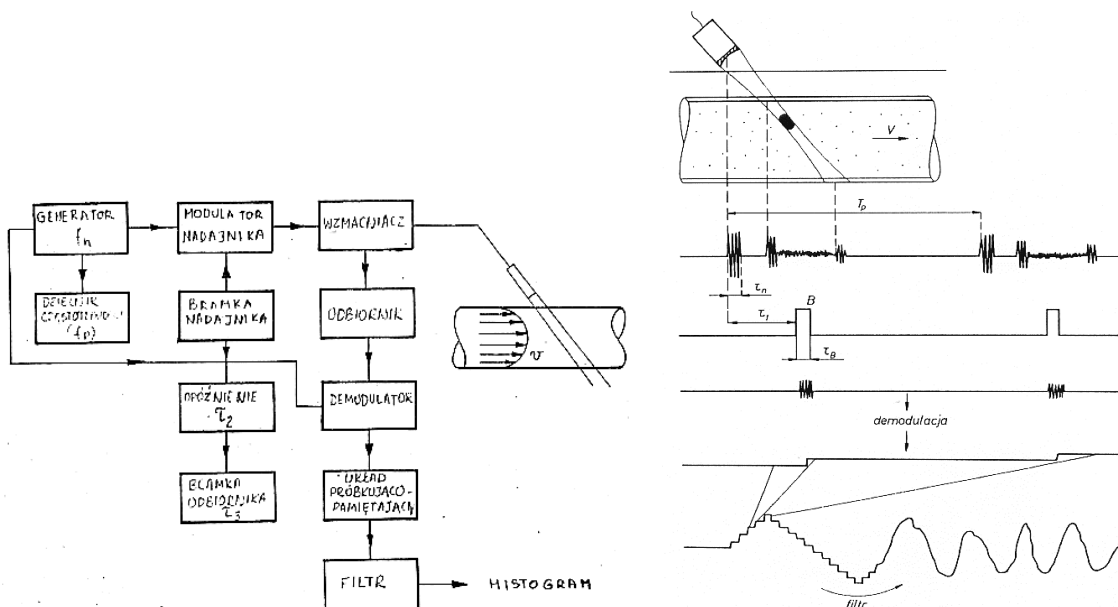
Ultradźwiękowy dopplerowski pomiar przepływu krwi z wykorzystaniem fali ciągłej:
wizualizacja prędkości przepływu

S24. Ultradźwiękowy dopplerowski pomiar przepływu krwi CW

Ultradźwiękowy dopplerowski pomiar przepływu krwi z wykorzystaniem fali ciągłej:
głowice

S25. Ultradźwiękowy dopplerowski miernik przepływu krwi PW

Ultradźwiękowy dopplerowski pomiar przepływu krwi z wykorzystaniem fali impulsowej:
metoda pomiarów



$$d = \frac{c \cdot t}{2} \cos \theta$$

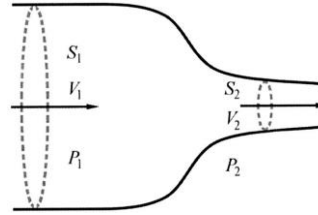
$$v = \frac{f_D \cdot c}{2 f_N \cdot \cos \theta}$$

S26. Równanie ciągłości i gradient ciśnienia

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2)$$

$$\Delta P [\text{kPa}] \cong 0.533 \cdot v_2^2$$

$$\Delta P [\text{kPa}] \cong 320 \cdot \frac{f_{d\max}}{f_n}$$



$$S_2 = S_1 \frac{v_1}{v_2}$$

S27. Czas połowicznego spadku ciśnienia PHT

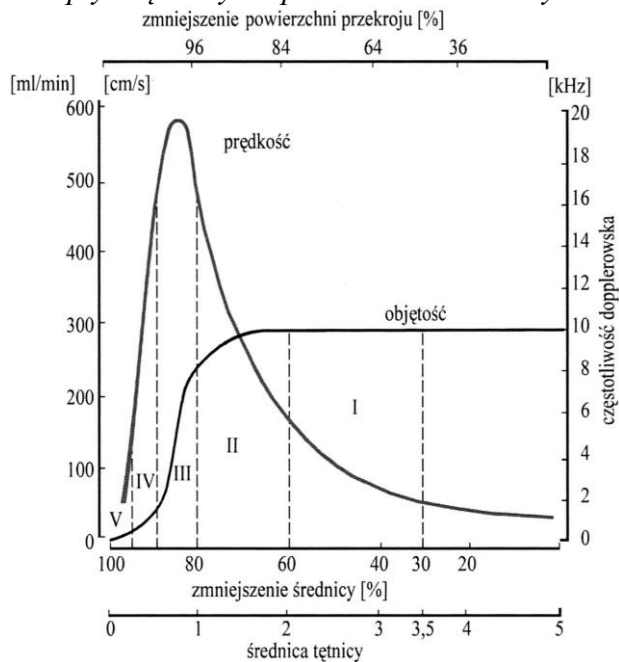
Wartość czasu półtrwania gradientu ciśnienia PHT równa jest odcinkowi czasu, jaki upływa od chwili wystąpienia maksimum ciśnienia do chwili, w której spada ono do połowy tej wartości.

$$PHT \rightarrow \frac{v_{\max}}{\sqrt{2}} \approx 0.7 v_{\max}$$

$$PZM [\text{cm}^2] = \frac{220}{PHT [\text{ms}]}$$

S28. Badanie tętnic

Przepływ tętnicowy \rightarrow podział na skurczowy i rozkurczowy.



Ponad 85% udarów mózgu spowodowanych jest nie-drożnością tętnic szyjnych, pozostałe związane są zazwyczaj z niedrożnością tętnic wewnątrz-czaszkowych.

S29. Indeks pulsacji krzywej prędkości przepływu krwi

$$PI = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{a_n^2}{a_0^2} \quad PI = \frac{v_{\max} - v_{\min}}{v_{sr}}$$

S30. Indeks oporowy krzywej prędkości przepływu krwi

$$RI = \frac{v_{s\max} - v_r}{v_{s\max}} \quad S/D = \frac{v_{s\max}}{v_r} = \frac{1}{1 - RI}$$

Zdrowe naczynia kończyn dolnych $\rightarrow PI = 10 \div 20$ między tętnicą udową wspólną i tętnicą grzbietową stopy.

Dla zwężenia w segmencie biodrowo-udowym $\leq 50\%$, PI w tętnicy udowej spada do około 5, a dla zwężenia $> 50\%$, PI maleje do 2; przy całkowitej niedrożności spada do 1.

S31-36. Obrazowanie przepływu krwi
