



Michał Strzelecki
Instytut Elektroniki

Ultrasonografia

Inżynieria biomedyczna, 1. st., 2024





Ultrasonografia

Treść wykładu:

- Wprowadzenie
- Historia obrazowania ultrasonograficznego
- Usg
 - podstawy fizyczne
 - Aparatura USG
 - Obrazy echa
 - USG Dopplerowskie
 - elastografia





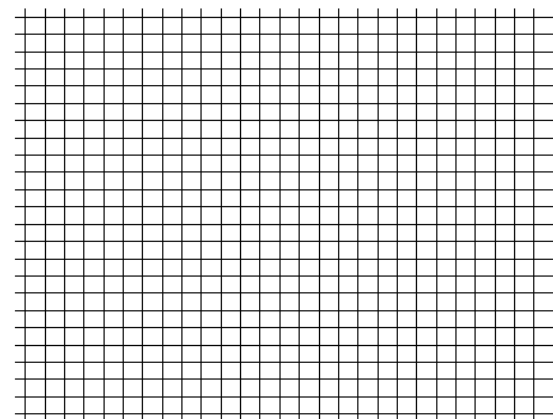
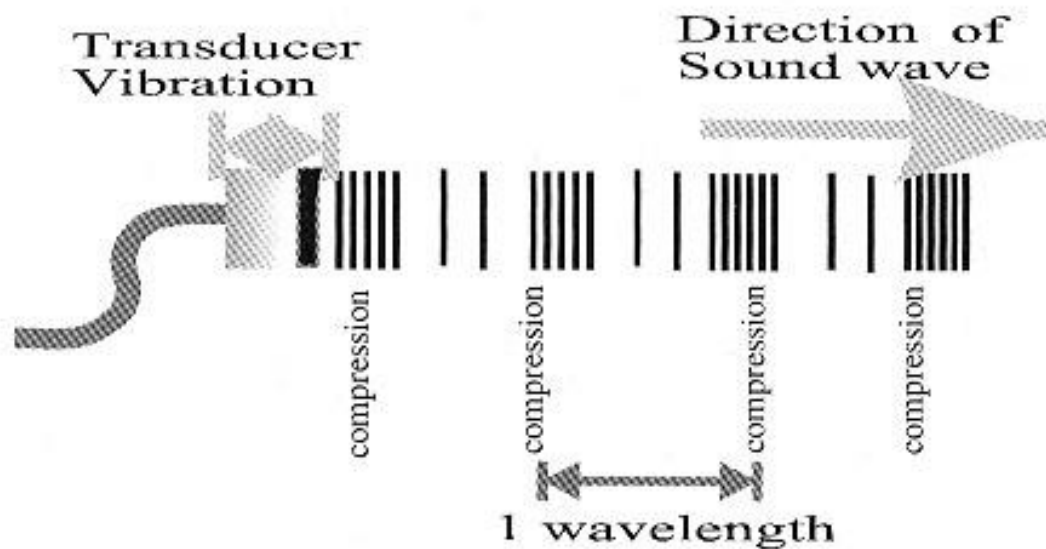
Historia obrazowania ultrasonograficznego

- 1928 – pierwszy pomysł zastosowania echa ultradźwiękowego do wykrywania uszkodzeń w metalach i stopach (Leningrad)
- 1946 - "naddźwiękowy reflektoskop", opracowany wcześniej w USA, został zastosowany do wykrywania guzów mózgu
- 1951 – opracowanie skanera, tryb B-mode, wykorzystywanego w wielu aplikacjach diagnostycznych
- 1954 – I. Edler i H. Hertz (Szwecja) zbudowali zaawansowany skaner (tryby B, M) do diagnostyki zastawki aortalnej
- 1955 – zastosowanie efektu Dopplera w diagnostyce ruchomych narządów
- od 60. XX w. – > – skanery USG czasu rzeczywistego, wieloelementowe macierze elektroniczne. analiza przepływu, przetworniki liniowe itp.



Podstawy fizyczne

- fale akustyczne - fale podłużne, które mają taki sam kierunek drgań jak ich kierunek przemieszczania się.



https://pl.wikipedia.org/wiki/Fala_pod%C5%82u%C5%BCna#/media/Plik:Onde_compression_impulsion_1d_30.gif

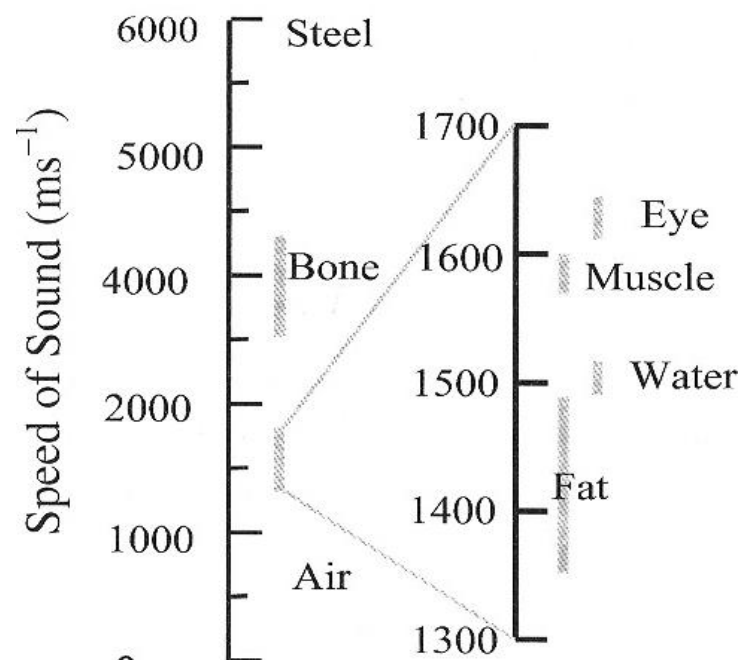


Podstawy fizyczne

- zakres częstotliwości, f : 1-18 MHz
- wysoka częstotliwość – lepsza rozdzielczość przestrzenna, ale ograniczona głębokość penetracji fali
- prędkość fali akustycznej w tkankach miękkich: $v = 1540 \text{ m/s}$, $\pm 6\%$
- zależność między długością fali a jej częstotliwością:

$$v = f \lambda$$

λ - długość fali, np. dla $f = 1 \text{ MHz}$, $\lambda \approx 1,5 \text{ mm}$



Podstawy fizyczne

- Obraz uzyskuje się dzięki różnym prędkościom fali akustycznej w tkankach miękkich
- fala odbija się od warstw pomiędzy różnymi tkankami o różnej impedancji akustycznej Z :

$$Z = v * \rho,$$

- ρ – gęstość tkanki

- Współczynnik odbicia:

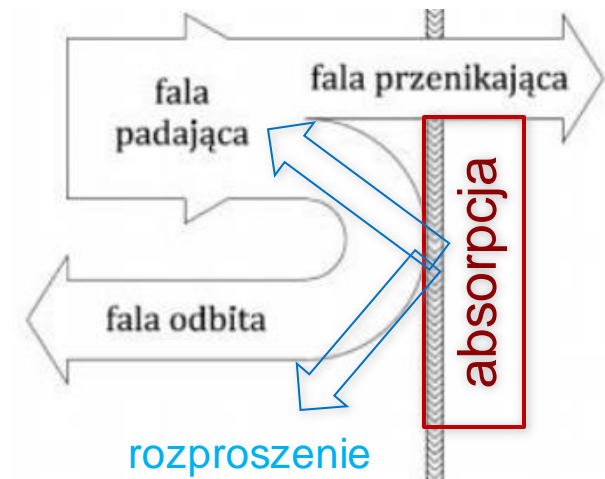
$$R = (Z_1 - Z_2) / (Z_1 + Z_2) \approx (v_1 - v_2) / (v_1 + v_2)$$

- Rozpraszanie (oddziaływanie z przeszkodami)

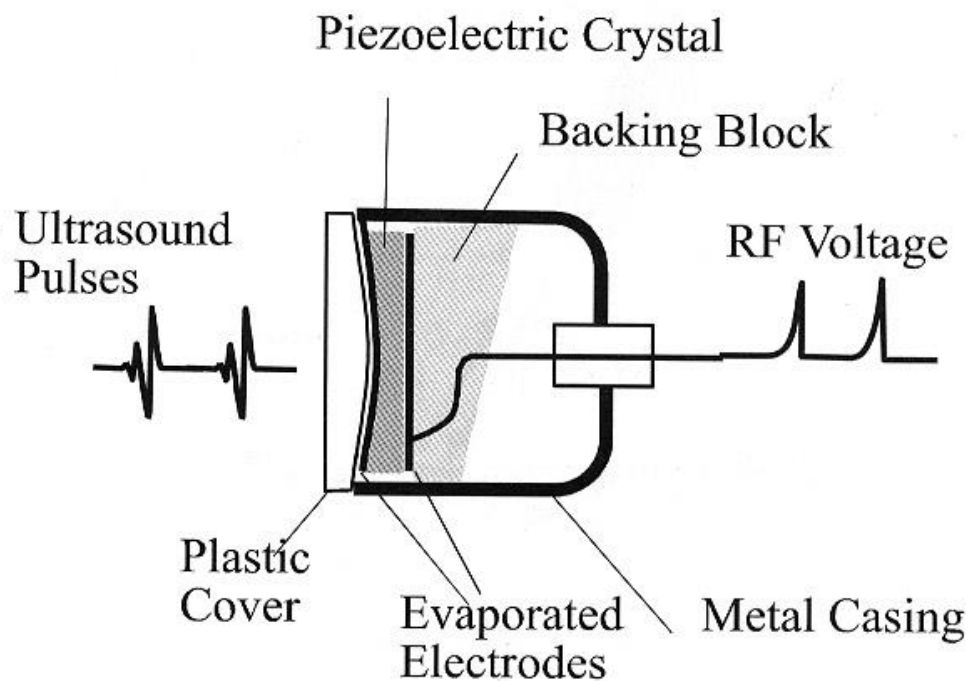
- Tłumienie

$$A = A_0 e^{-(\mu_{\text{rozpraszania}} + \mu_{\text{absorpcji}})x}$$

- A – amplituda fali w odległości x , A_0 – początkowa amplituda fali



Przetwornik ultradźwiękowy



$U=200-300V,$
 $f=1-10\text{ MHz}$

$$Z_{\text{match}} = \sqrt{(Z_{\text{trans}} Z_{\text{skin}})}$$

Przykłady przetworników

Duża częstotliwość (7-15 MHz) – duża rozdzielczość przestrzenna, ale ograniczona głębokość penetracji (kilka cm)

- Mała częstotliwość (2-7 MHz) – większa głębokość penetracji, ale ograniczona rozdzielczość przestrzenna
- Liniowy – generuje duże częstotliwości
- Konweksowy (zakrzywiony) – zalecany przy wymaganym szerszym polu widzenia





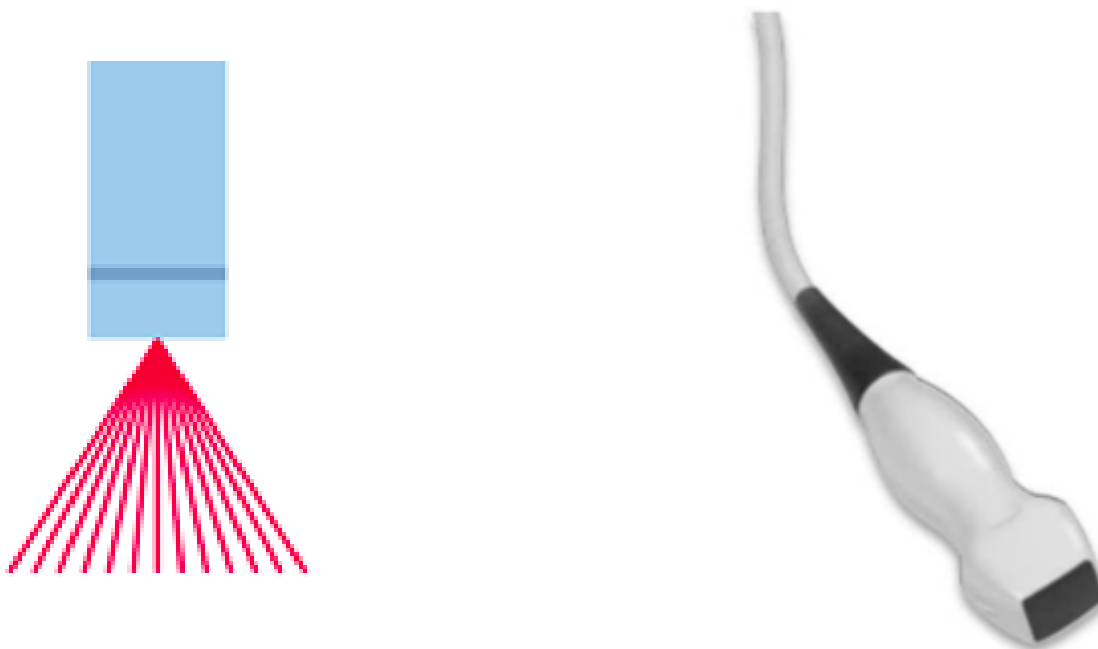
Głowica liniowa

- Prostokątne pole widzenia
- Wysoka jakość uzyskiwanego obrazu ultrasonograficznego
- Zastosowanie: badanie układu ruchu zarówno u ludzi jak i zwierząt, rzadziej do diagnostyki narządów wewnętrznych, płytko położonych
- Parametry: Częstotliwość 5 – 14 MHz



Głowica sektorowa

- Mały obszar emisji wiązki – USG serca przez przestrzenie międzyżebrowe
- Mała ilość elementów piezoelektrycznych lub pojedynczy przekaźnik poruszający się na małej powierzchni tworząc obraz będący wycinkiem koła





Głowica dopochwowa

- Głównym zadaniem jest obejrzenie miednicy, macicy oraz narządów rodnych
- Metoda dokładniejsza niż USG brzuszne
- Wyglądem podobna do głowicy rektalnej – urologia (gruczoł krokowy)



Głowica konweksowa



- Wachlarzowe pole widzenia
- Duży lub mały promień krzywizny
- Szersze pole widzenia niż głowica liniowa, lepsza rozdzielczość niż głowica sektorowa
- Zastosowanie: USG płuc, chirurgia, ginekologia, położnictwo, radiologia, urologia, nefrologia, pulmonologia, ultrasonografia zwierzęca



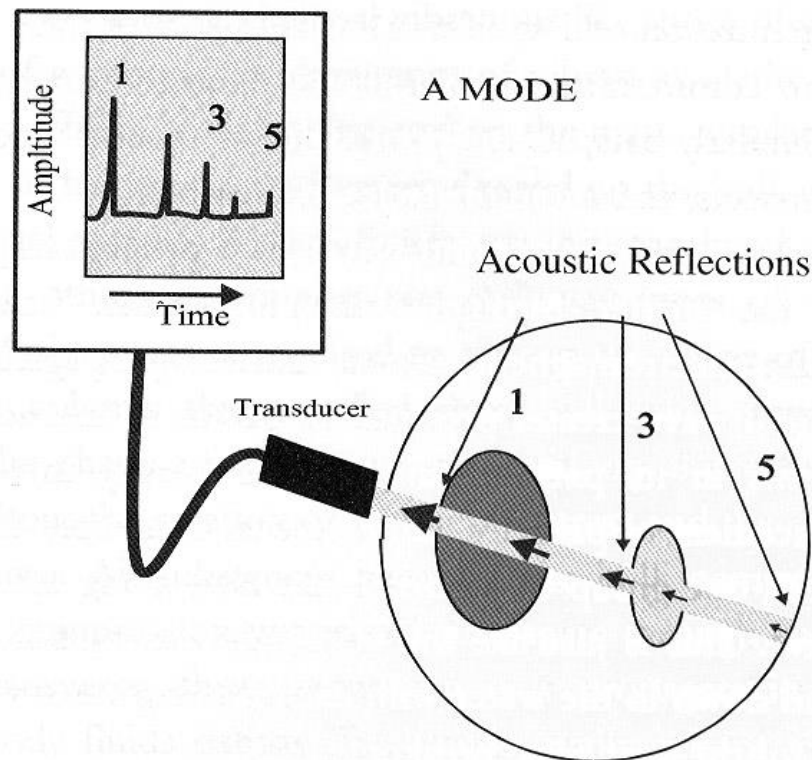
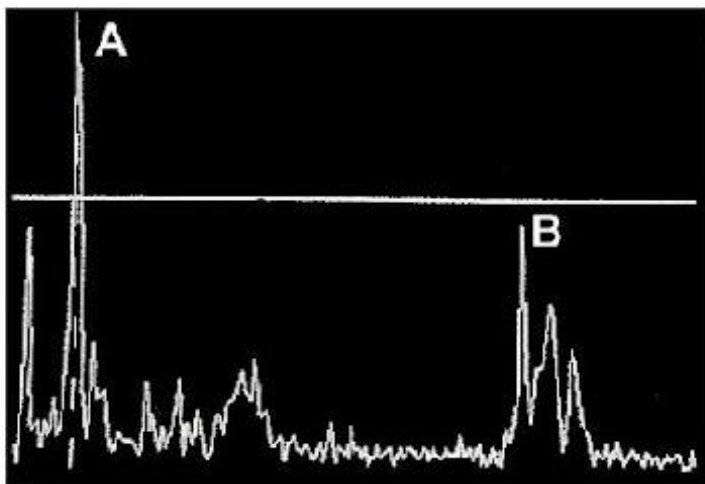
Rodzaje badań w zależności od zakresu częstotliwości

- 50kHz - 600kHz – badania kości (diagnostyka osteoporozy)
- 200kHz - 5MHz – badania przepływów
- 2MHz - 10MHz – obrazowanie tkanek wewnętrznych
- 20MHz - 100MHz – obrazowanie skóry (operacje plastyczne)



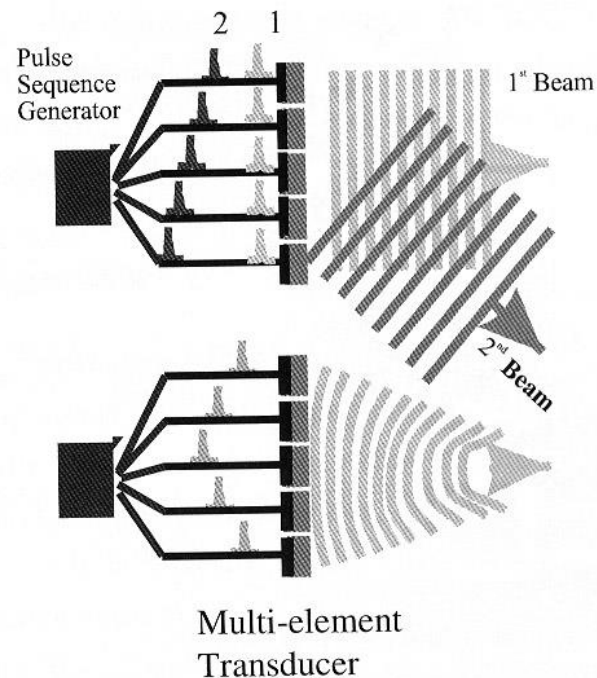
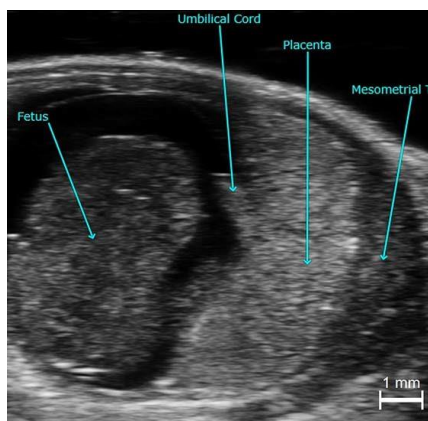
Tryby wyświetlania: Tryb A (obraz 1D)

- Najprostszy sposób akwizycji echa akustycznego
- Jedynym parametrem jest amplituda impulsu, proporcjonalna do wartości współczynnika odbicia. Ta wartość jest reprezentowana jako funkcja czasu.
- Ten tryb jest używany w okulistyce



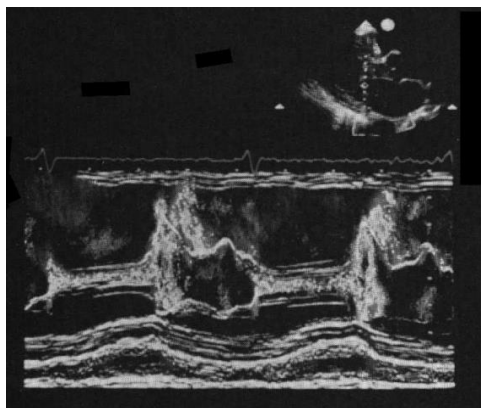
Tryb B (monochromatyczny obraz 2D)

- Dla określonej odebranej wartości amplitudy echa przypisywany jest poziom szarości
- Tryb B dostarcza informacji o analizowanym przekroju tkanki/narządu
- Wykorzystana do badania narządów nieruchomych, np. narządów jamy brzusznej, szyi, głowy

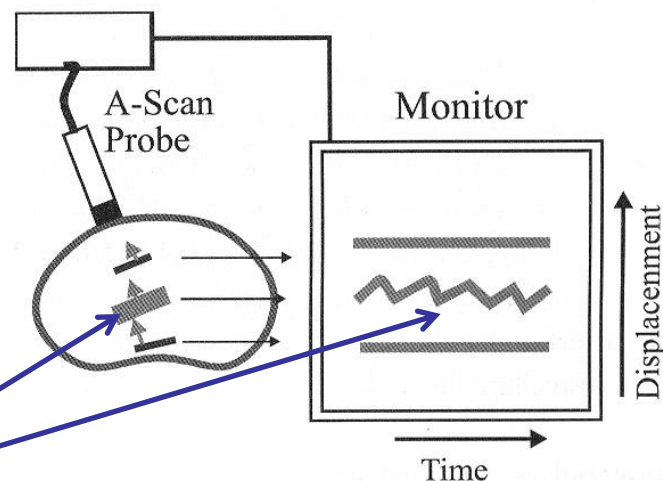


Tryb M (ruchome obrazy)

- Ten tryb jest wykonywany sekwencyjnie w jednym kierunku (jak tryb A)
- Obraz jest budowany tylko dla takich ech, które są powodowane przez narządy w ruchu
- Podstawowy tryb wyświetlania w przypadku diagnostyki serca (struktura i funkcjonalność, tętniaków aorty brzusznej)
- Zwykle w połączeniu z trybem B (obrazy ruchome 2D)

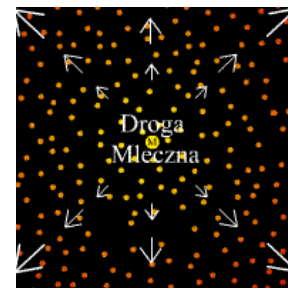
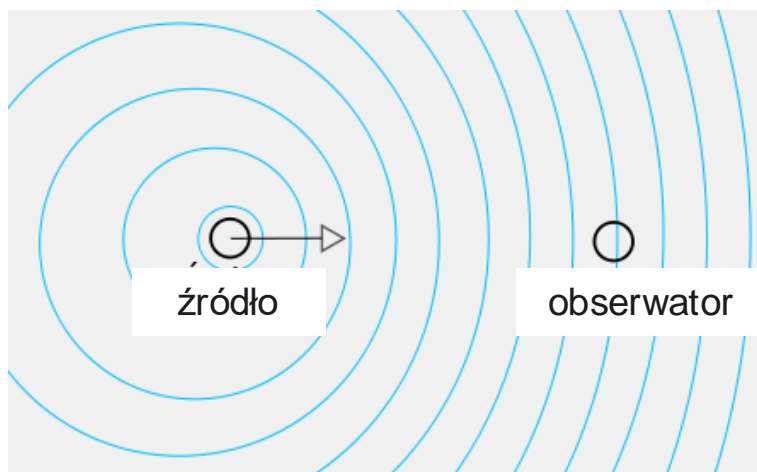


Poruszający się obiekt





Efekt Dopplera



W przypadku USG: $\Delta f = \pm 2 f v_{zr} / v$

$$f = f_0 v / (v - v_{zr})$$

v – prędkość fali źródłowej,

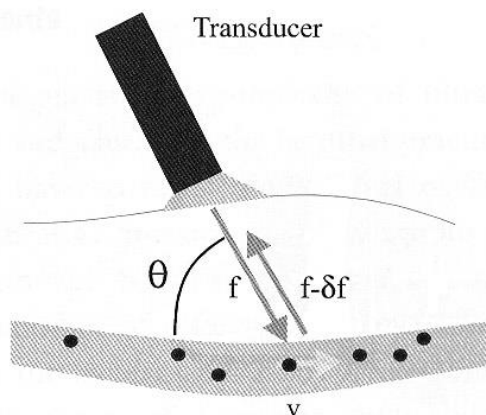
v_{zr} – składnik prędkości źródła || do kierunku obserwacji

f – częstotliwość fali odbieranej przez obserwatora

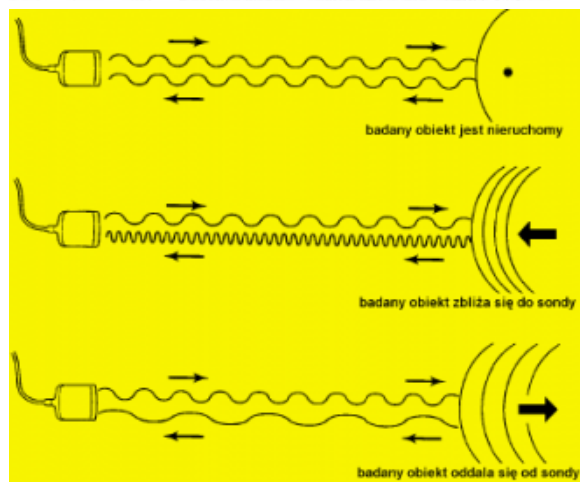
f_0 – częstotliwość fali źródłowej



Obrazowanie dopplerowskie

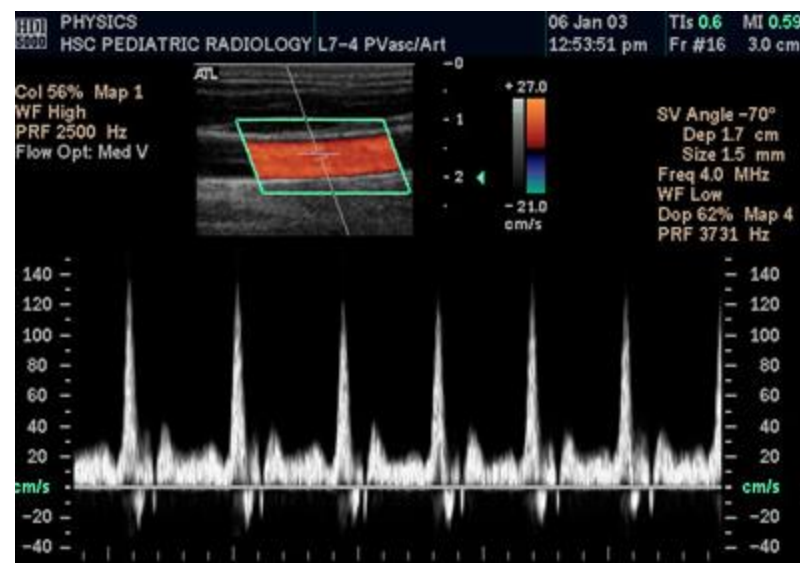


$$\delta f = 2 f v \cos(\theta) / c$$



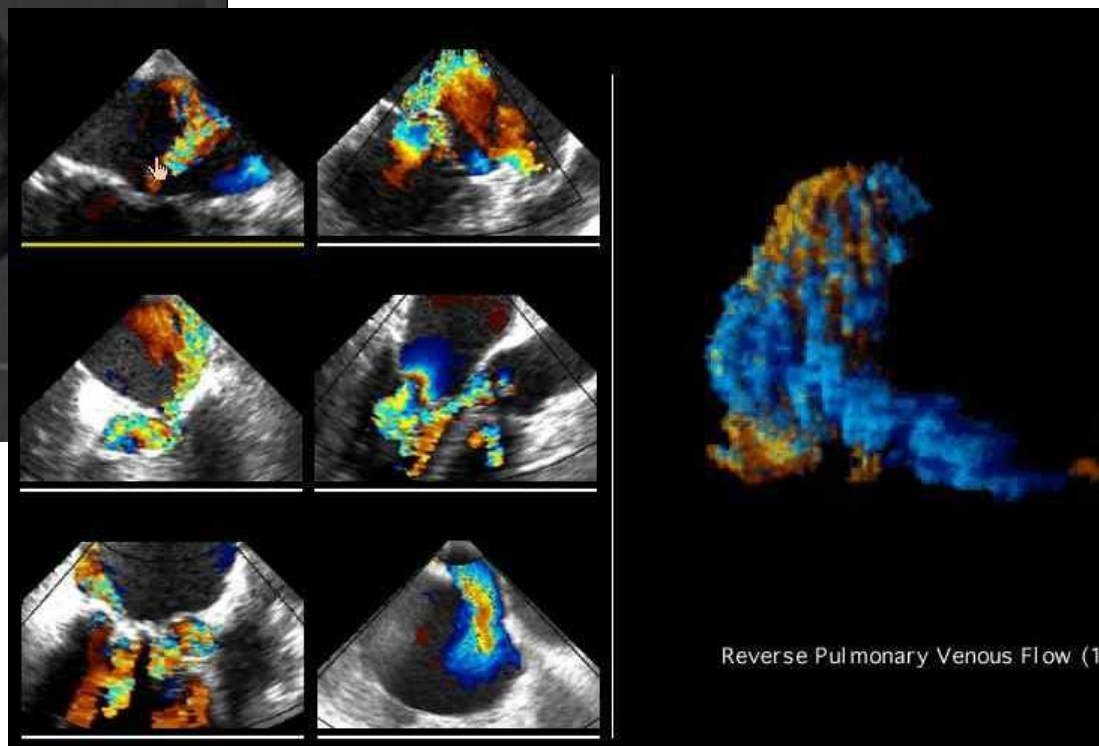
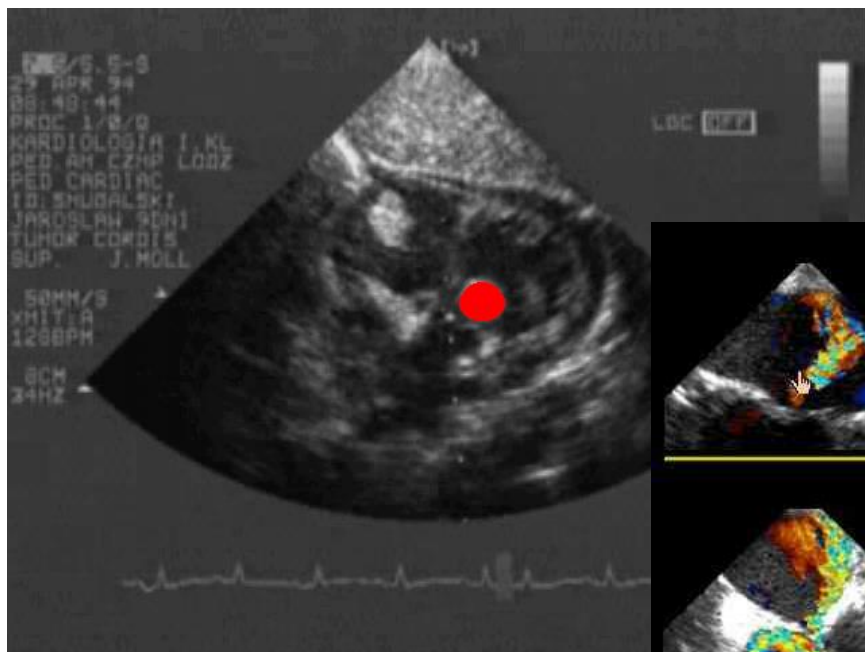
jeśli krew przemieszcza się w kierunku przetwornika (odbierana częstotliwość jest większa) – wyświetlany jest kolor czerwony

jeśli krew płynie od przetwornika (odbierana częstotliwość jest mniejsza) – wyświetlany jest kolor niebieski



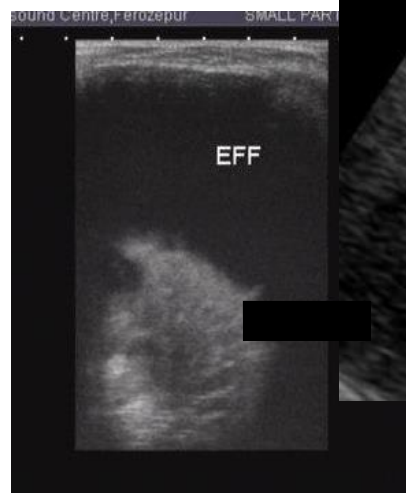


Przykładowe obrazy USG





Przykładowe obrazy echa



USG jamy brzusznej

- Najczęściej wykonywane badanie
- Badanie wykonuje się, aby ocenić stan wątroby, pęcherzyka żółciowego, trzustki, śledziony, nerki oraz naczyń jamy brzusznej
- Za pomocą USG nie można dokładnie ocenić stanu żołądka i jelit, nie można również rozpoznać choroby wrzodowej, polipów i nadżerek w przewodzie pokarmowym





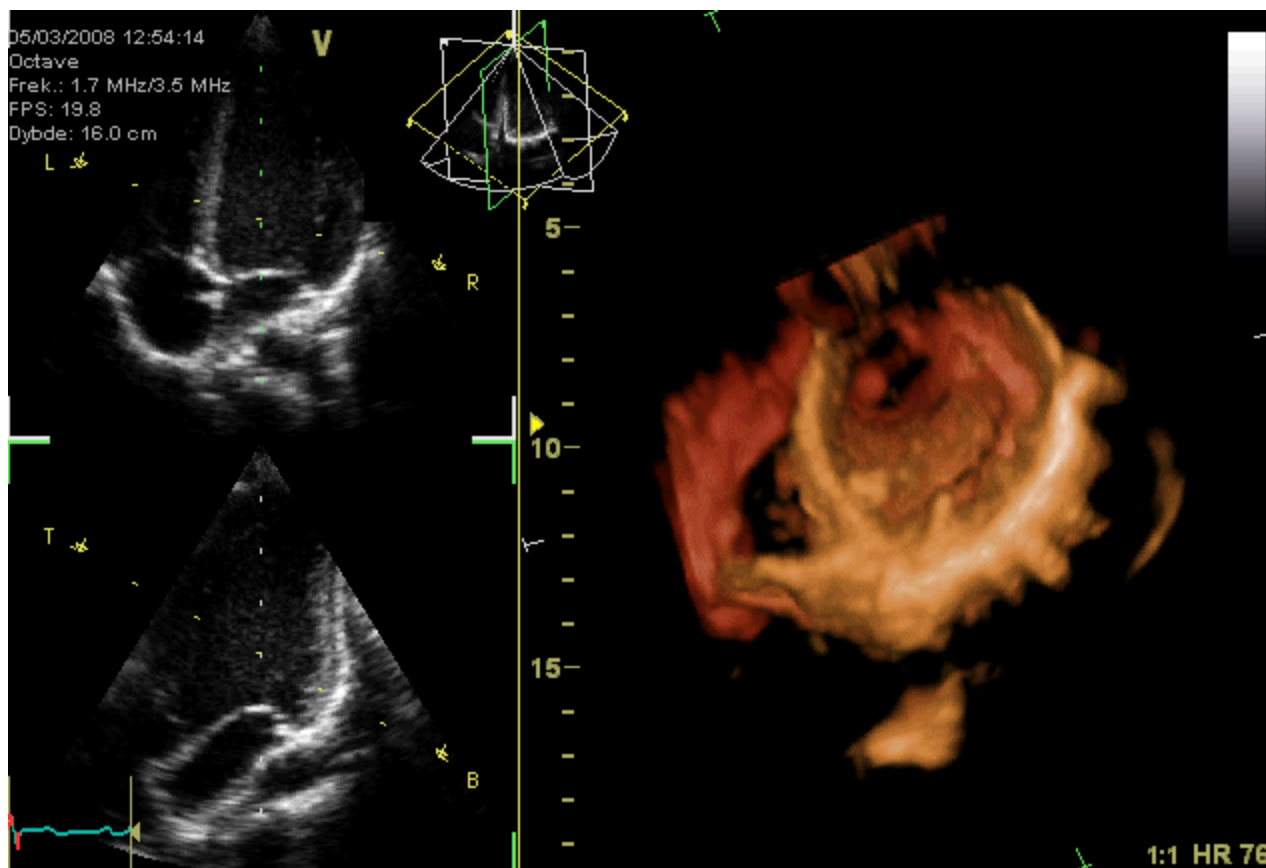
Badania prenatalne

- Drugie najczęściej wykonywane badanie
- Dokonywana jest całościowa ocena rozwijającego się płodu
- Podczas pierwszego USG dokonuje się pomiaru przezierności fałdu karkowego oraz określa wiek ciąży
- W II trymestrze dokonywana jest na dokładna ocena budowy ciała dziecka i narządów wewnętrznych
- Podczas ostatniego USG prenatalnego ustala się tempo wzrastania płodu i lokalizację łożyska





Ultrasonografia 3D i 4D



Human heart [Kjetil Lenes, <http://pl.wikipedia.org/wiki/Ultrasonografia>]



Elastografia

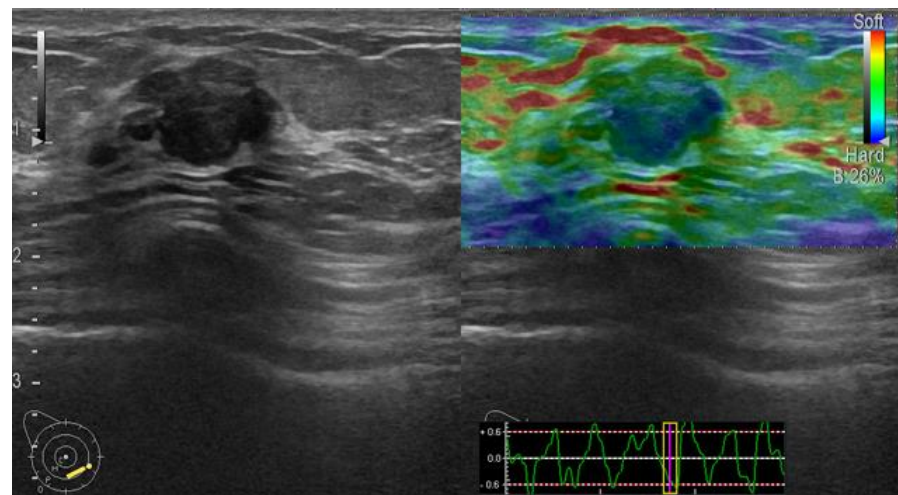
Elastografia jest nowoczesną metodą diagnostyczną wykorzystującą fakt, że w wyniku procesu chorobowego znacząco zmienia się twardość tkanki lub narządu.

Elastografia dynamiczna wykorzystuje zewnętrzne źródło drgań mechanicznych lub akustycznych (ultradźwiękowych) w celu wytworzenia fali poprzecznej w badanym narządzie. Prędkość rozchodzenia się tej fali jest ściśle uzależniona od twardości badanej tkanki, dzięki czemu może obliczyć bezwzględną twardość badanego obszaru.

Ocena zmian:

- ogniskowych (guzków) w tarczycy i piersiach
- mięsaszowych wątroby

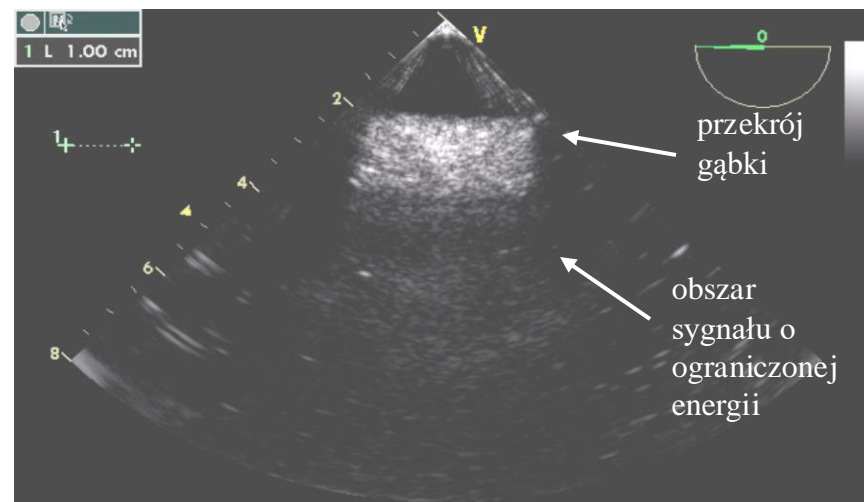
Możliwość oceny twardości i homogenności zmiany ułatwiając różnicowanie zmian potencjalnie złośliwych od zmian łagodnych.



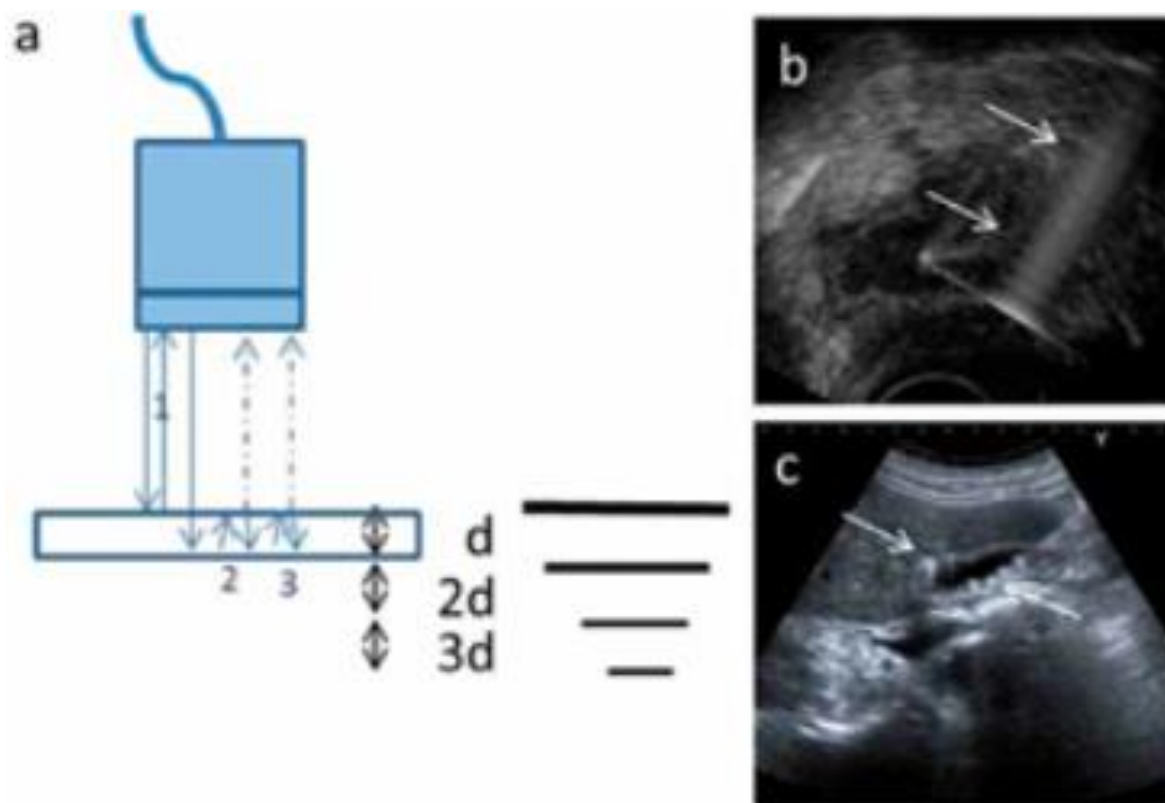
<https://port-zdrowia.pl/post/elastografia-nowe-narzedzie-w-diagnostyce-obrazowej/>

Wszystkie rodzaje zniekształceń, które mogą pojawić się w obrazach ultrasonograficznych

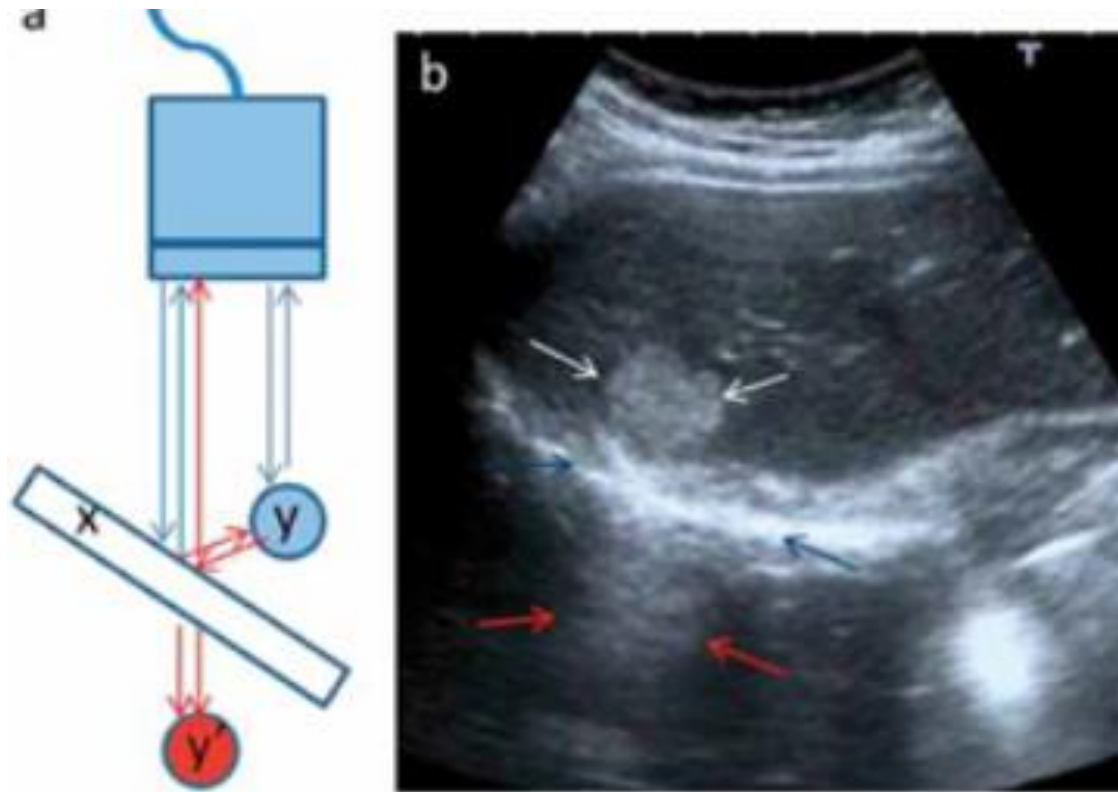
- Echa od nieistniejących obiektów (spowodowane np. wielokrotnymi odbiciami)
- Lokalizacja brakującego obiektu (z powodu załamania fali - zmiana kierunku spowodowana zmianą prędkości fali)
- Zniekształcony kształt i wymiary obiektu (załamanie fali, nieprawidłowe wzmocnienie)
- Pogłos – spowodowany wielokrotnym echem wyrażonym powolnym zanikiem sygnału
- Cienie akustyczne – pojawiają się blisko dużych obiektów (o wielkości porównywalnej z długością fali)



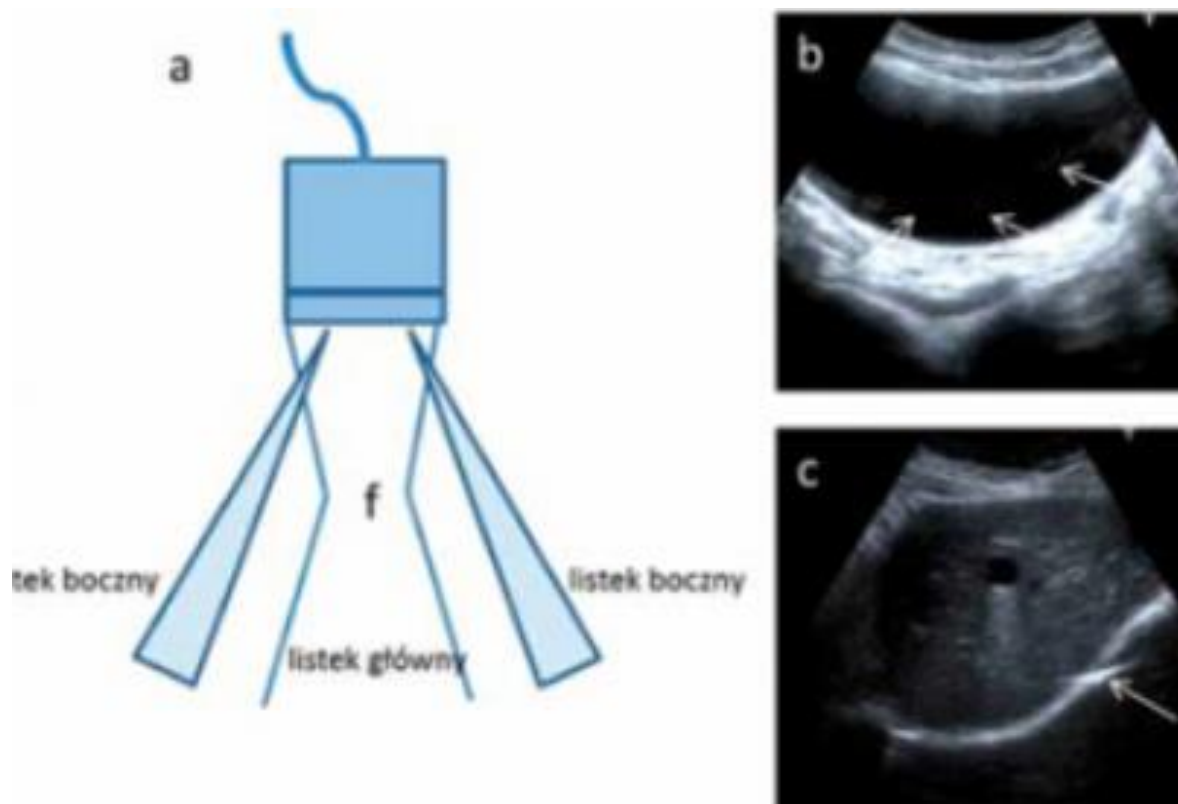
Artefakt „ogon komety”



Artefakt odbicia lustrzanego

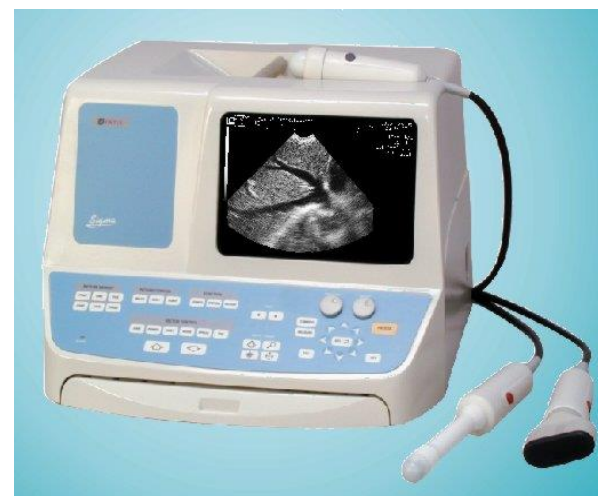


Artefakty od listków bocznych



Inne zastosowania ultrasonografii

- usuwanie kamienia naczębnego
- reumatoidalne zapalenie stawów
- bóle kręgosłupa
- miejscowe leczenie torbieli lub guzów (zogniskowana wiązka ultradźwięków)
- rozbijanie kamieni nerkowych metodą litotrypsji
- Leczenie zaćmy metodą fakoemulsyfikacji





USG - Podsumowanie

- niska jakość obrazu,
- trudne do interpretacji,
- badanie przepływu krwi (USG efektu Dopplera),
- badanie nieinwazyjne,
- niska cena sprzętu, mobilność





http://www.imagingeconomics.com/issues/articles/2002-03_12.asp

www.google.pl/imgres?imgurl=http://www.ultrasound-images.com/IMAGES

<https://pl.wikipedia.org/wiki/Ultrasonografia>

http://www.if.pw.edu.pl/~pekala/sites/default/files/przedmioty/Wyklad%28.%20Ruch%20falowy_1.pdf

<http://www.przegląd-urologiczny.pl/arttykul.php?2665>
ultrasoundvirtualdemo.com

www.gehealthcare-webshop.de

<https://www.philips.pl/healthcare/sites/lumify/glowice#s4>

<http://www.przegląd-urologiczny.pl/arttykul.php?1021>

http://www.ire.pw.edu.pl/~arturp/Dydaktyka/aus/paus_2.pdf

<http://www.przegląd-urologiczny.pl/arttykul/php?2728>





Jędrzejewska M., Jankowski P., Węcowski B.: Podstawy obrazowania USG – część 1, Polskie Towarzystwo Inżynierii Klinicznej

https://home.agh.edu.pl/~asior/stud/doc/ULTRASONOGRAFIA_20.pdf

[http://www.biomech.pwr.wroc.pl/wp-](http://www.biomech.pwr.wroc.pl/wp-content/uploads/2017/11/Defektoskopia-na-stron%C4%99.pdf)

[content/uploads/2017/11/Defektoskopia-na-stron%C4%99.pdf](http://www.biomech.pwr.wroc.pl/wp-content/uploads/2017/11/Defektoskopia-na-stron%C4%99.pdf)

<https://noraxmedical.pl/glowice-usg/>

<https://www.wikimed.pl/kategorie/glowice-usg-nowe>

<http://www.przegląd-urologiczny.pl/artukul.php?2727>

https://www.ire.pw.edu.pl/~arturp/Dydaktyka/aus/paus_3.pdf

