

Artefaktid ultrahelis

Ats Vare

III a radiologia resident

Ettekandes tuleb juttu ...

- Hallskaala ultraheli artefaktidest;
- Lihtsustatud kujul artefaktide tekkemehhanismidest;
- Artefaktide tähendusest ultraheliuuringu leiu tõlgendamisel;
- Milliste meetmetega artefakte vähendada või parandada.

Sissejuhatus^{1,2}

Ultraheli põhineb uuritavasse keskkonda saadetud ja sealt tagasipeegeldunud kõrgsageduslike mehhaaniliste võngete intensiivsuse registreerimisel.

Ultrahelis pildi moodustumisel kehtib **kolm eeldust**:

- Ultrahelilaine liigub sirgjooneliselt ja sellest tekkinud kajasignaalid pärinevad samast kitsast lainekimbust ning andurini jõudnud kajasignaal pärineb viimasest saadetud pulsist.
- Helikiirus kudedes on konstantselt 1540 m/s ning aeg saadetud pulsi ja saadud kaja vahel on otseselt seotud sügavusega, kust kajasignaal pärineb.
- Kajasignaali tugevus kajastab üksnes kudede ehogeensust.

Antud eeldused ei pea alati 100% paika, tekitades seeläbi erinevaid artefakte. Mõned neist rikuvad pildi kvaliteeti, samas mõned võivad meile uuritava piirkonna kohta olulist informatsiooni anda.

Artefaktide tekke ja tähenduse mõistmine on oluline ultraheliuuringu leiu tõlgendamisel.

– Ultraheli lainekimbu ja resolutsiooniga seotud artefaktid

(Beam- and Resolution-related Artifacts)

– Ultraheli liikumistee või -kiirusega seotud artefaktid

(Path- or Speed-related Artifacts)

– Ultraheli sumbumisega seotud artefaktid

(Attenuation Artifacts)

Ultraheli lainekimbu ja resolutsiooniga seotud artefaktid

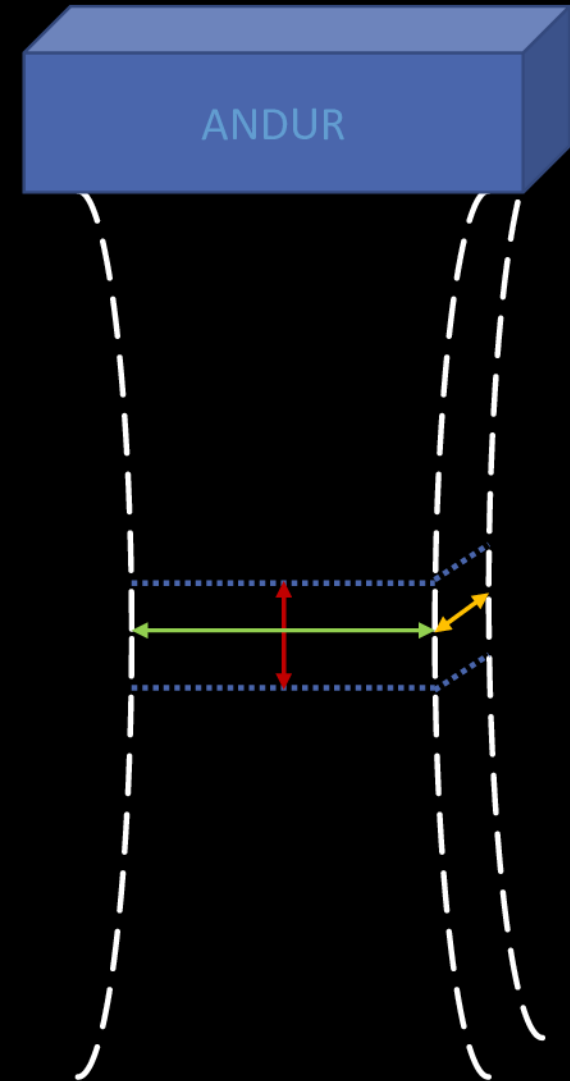
(Beam- and Resolution-related Artifacts)

Meeldetuletus¹

Joonisel on kujutatud ultraheli lainekimp ja selle ruumilised komponendid – aksiaalne ja lateraalne resolutsioon ning lainekimbu paksus (*elevational resolution*).

Fookuse alal ultraheli lainekimbu laius ja paksus vähenevad, seega on lateraalne resolutsioon ja *elevational resolution* seal optimaalseimad.

Aksiaalne resolutsioon sõltub ultrahelilainete sagedusest ning ei sõltu sügavusest.



Aksiaalresolutsioon¹

(Axial resolution)

Füüsika:

Aksiaalresolutsioon väljendub aksiaalsuunas kahe lähestikku asetseva objekti eristamises.

Aksiaalsuunas on võimalik kahte objekti eristada, kui nendevaheline kaugus on suurem kui $\frac{1}{2}$ ultraheli impulsi ruumilisest pikkusest (*spatial pulse length, SPL*).

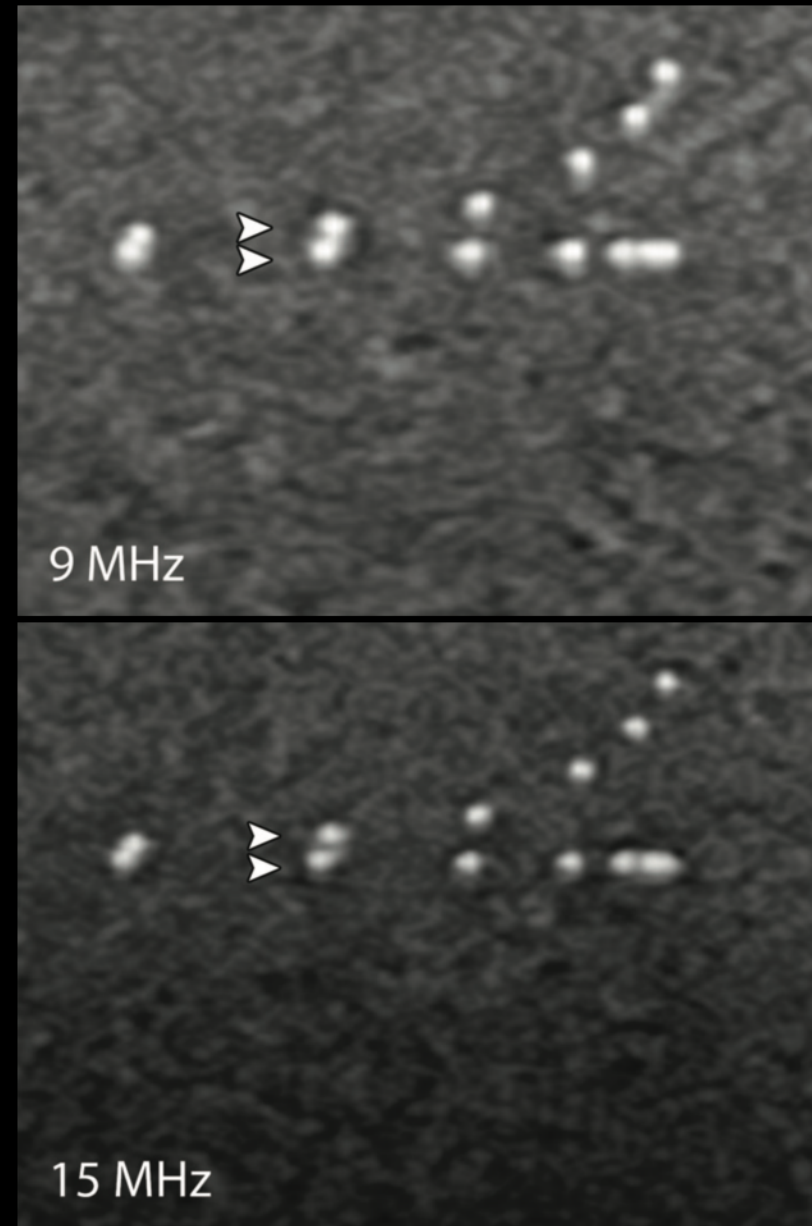
$$SPL = \text{tsüklite arv impulsis} \times \text{lainepikkus}$$

Tähendus:

Kõrgem sagedus \rightarrow väiksem lainepikkus \rightarrow väiksem *SPL* \rightarrow parem aksiaalresolutsioon.

Parandamine:

- Sageduse suurendamine (samal ajal väheneb kuvasügavus)



US images of echogenic foci (arrowheads) in phantoms demonstrate an improvement in axial resolution when the frequency increased from 9 MHz to 15 MHz.¹

Lateraalresolutsioon^{1,2}

(Beam width; lateral resolution)

Füüsika/tähendus:

Lateraalresolutsioon on optimaalseim fookusallas. Fookusest kaugenedes lateraalresolutsioon väheneb ning põhjustab objektide lateraalsuunalist moonutust.

Kui kahe lähestikku asetseva objekti omavaheline kaugus on väiksem kui üksiku lainekimbu laius, siis lateraalsuunalise moonutuse tõttu võivad objektid näiliselt summeeruda.

Parandamine:

- Fookusala korrektne paigutamine
- Mitmed fookusala (samas väheneb pildi kaadrisagedus)
- *Dynamic receive focusing* (nö järeltöötlus; olemas kõikidel moodsatel aparatuuridel)
- Sageduse suurendamine (sagedus \uparrow = lainekimbu laius \downarrow)

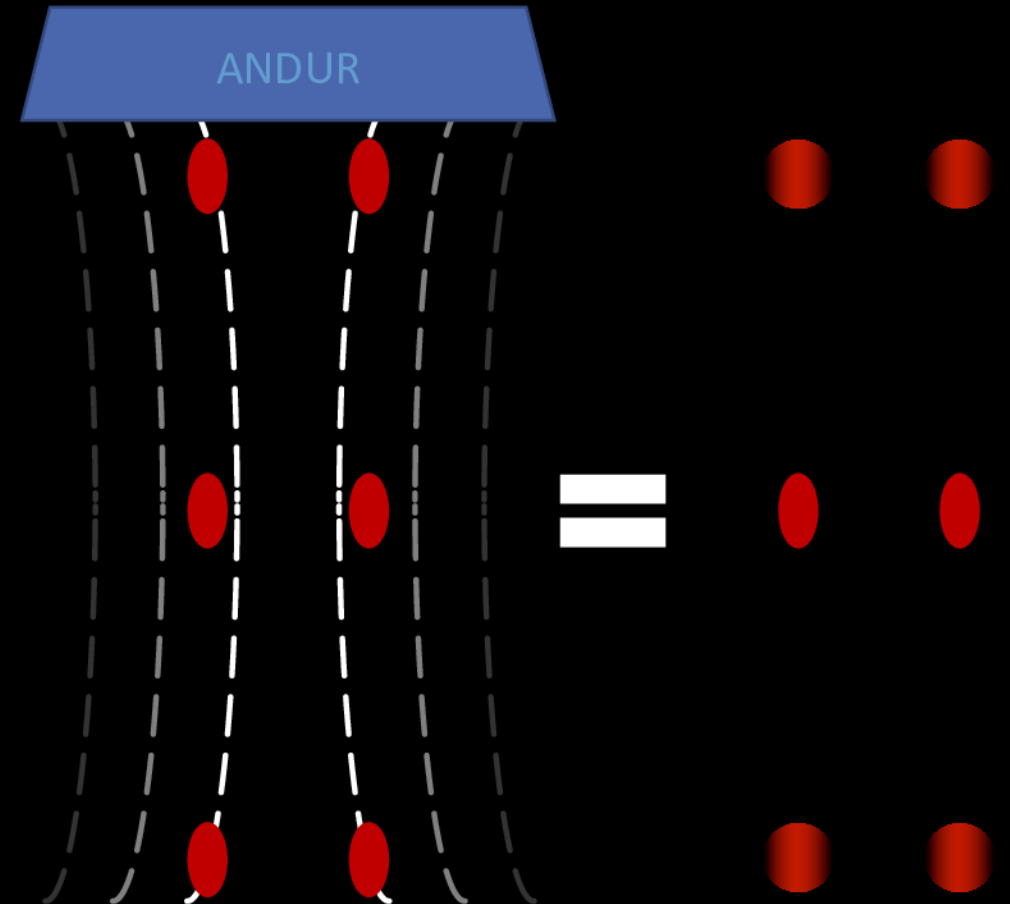


Diagram shows the effect of depth on lateral resolution. In the near and far fields, the beam width is wide and will register a target at multiple overlapping beam positions, resulting in lateral streaking. Thus, two point targets separated by the same distance will appear as one, whereas they may be resolved at the focal distance.¹



Beam width artefact. (a) Longitudinal US image of a partially filled bladder shows echoes (arrow) in the expected anechoic urine. The focal zone is improperly set too shallow. (b) Longitudinal US image obtained after adjustment of the focal zone and optimal placement of the transducer shows resolution of the intravesical echoes.²

Kihipaksuse artefakt^{1,3,4}

(Section thickness artifact; Partial-volume averaging artifact)

Füüsika:

Elevational resolution võimaldab eristada kahte uurimistasapinnaga risti asetsevat objekti. Sarnaselt lateraalresolutsioonile on see optimaalseim fookusala.

Fookusest kaugenedes *elevational resolution* väheneb ning lähestikku asetsevad objektid võivad näiliselt kattuda.

Tähendus:

Võib mimikeerida sadet/sisaldist kajavaestes struktuurides (kusepõis, sapipõis, veresoone, tsüstid). Samuti nende seina paksenemist, kui sein paikneb skaneerimistasapinna suhtes kaldu.

Vähendamine:

- Uuritava struktuuri hindamine fookusala ning risti skaneerimistasapinnaga

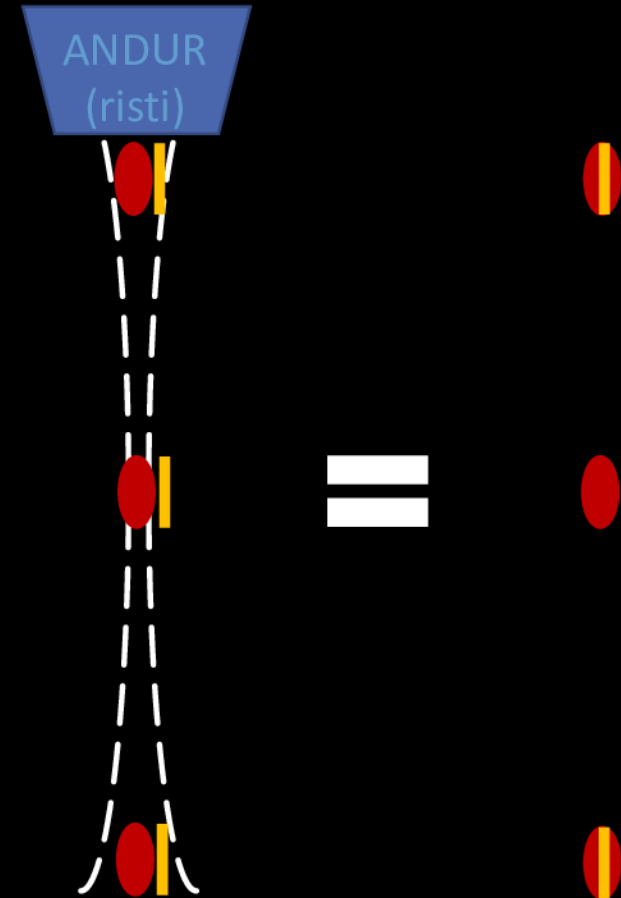


Diagram of the side of the transducer shows volume averaging occurring in the elevational plan, with section-thickness artifact minimized at the focal zone. An object (yellow bars, at differing apparent depths) adjacent to the target (red ellipses, at differing apparent depths) will be superimposed on the target in the near and far fields.¹

Kihipaksuse artefakt^{1,3,4}

(*Section thickness artifact; Partial-volume averaging artifact*)

Füüsika:

Elevational resolution võimaldab eristada kahte uurimistasapinnaga risti asetsevat objekti. Sarnaselt lateraalresolutsioonile on see optimaalseim fookusala.

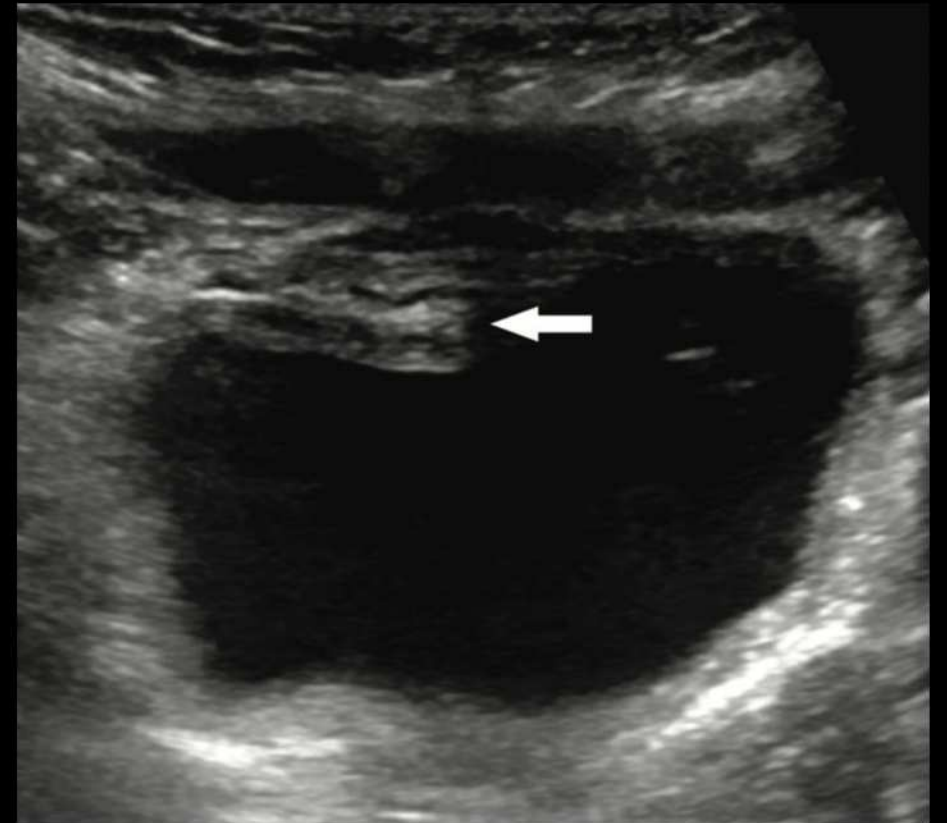
Fookusest kaugenedes *elevational resolution* väheneb ning lähestikku asetsevad objektid võivad näiliselt kattuda.

Tähendus:

Võib mimikeerida sadet/sisaldist kajavaestes struktuurides (kusepõis, sapipõis, veresooned, tsüstid). Samuti nende seina paksenemist, kui sein paikneb skaneerimistasapinna suhtes kaldu.

Vähendamine:

- Uuritava struktuuri hindamine fookusala ning risti skaneerimistasapinnaga



Transverse US image of the normal bladder in a 14-year-old girl shows artifactual echoes (arrow) that appear to be within the bladder from an adjacent bowel loop. A sidelobe artifact may have also contributed to these echoes.¹

Akustiline interferents¹

(Acoustic interference; Speckle noise)

Füüsika:

Ultraheli lainekimbu ja mikrostruktuuride (\leq lainepikkusest) interaktsioon.

Tähendus:

Vähendab ruumilist ja kontrast-resolutsiooni, kuid samas tekitab erinevatele kudede omase granulaarse mustri.

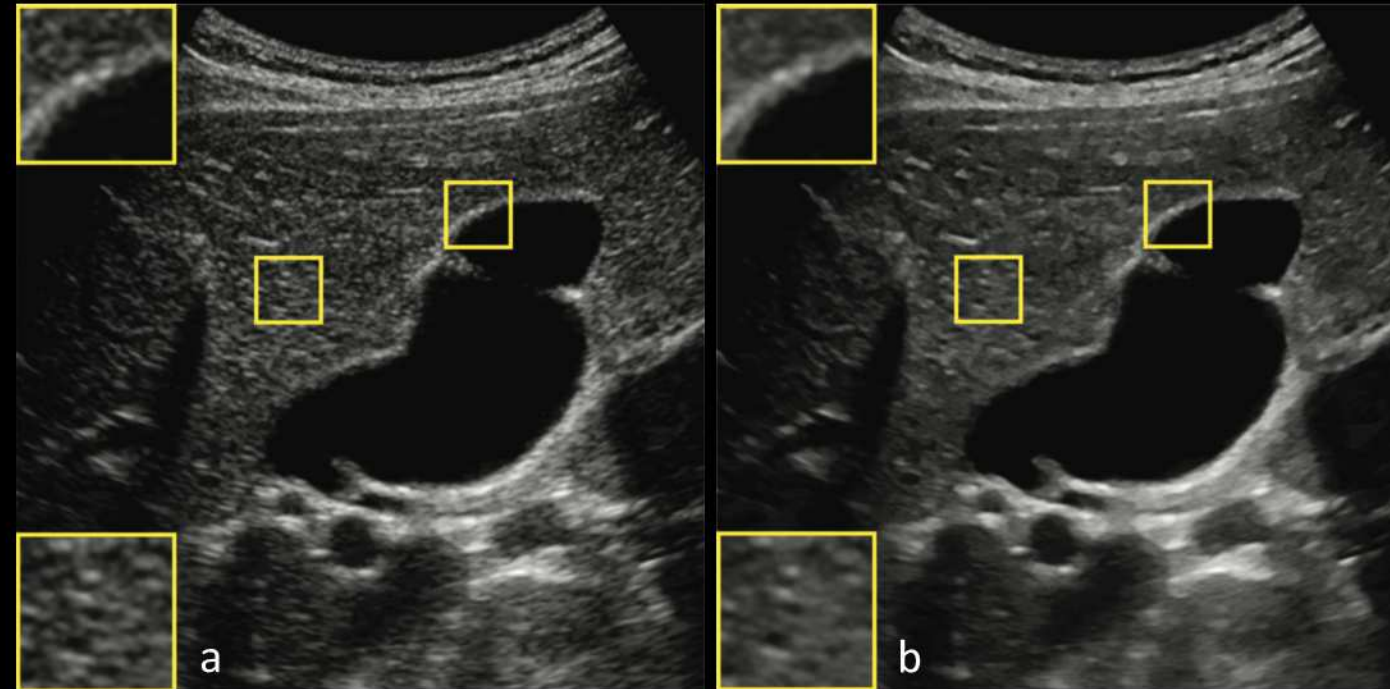
Vähendamine:

- *Speckle reduction imaging* (nö järeltöötlus; olemas enamustel moodsatel aparatuuridel)
- *Spatial compound imaging*

Kuvatehnika, kus mitu erineva nurga all kallutatud lainekimbu kajasignaali kombineeritakse ühtseks kujutiseks; saadakse tavapärasest parema kvaliteediga ja vähemate artefaktidega kujutis.⁵

- *Harmonikkuvamine (harmonic imaging)*

Meetod, kus kasutatakse laine ebalineaarsusest tingitud kõrgemate harmoonikute eraldi detekteerimist lisaks põhiharmonikutele; harmooniliste ja põhisageduse signaali baasil kombineeritud kujutis on parema kontrastsuse ja lahutusvõimega.⁵



Speckle (acoustic interference) at US of the normal bladder in a 12-year-old girl. Transverse US images were obtained without (a) and with (b) speckle reduction imaging (SRI). Speckle results from a complex interference pattern that gives a granular appearance, which is best demonstrated in the liver parenchyma (bottom left insets). SRI is a postprocessing technique performed after image acquisition that reduces speckle and results in edge enhancement (top left insets).¹

Külgsagarad^{1,2,4}

(Secondary lobes)

Füüsika:

Lisaks põhilainekimbule tekitab andur piesoelektriliste kristallide radiaalsest ekspansioonist vähesel määral (~1%) esimest ja kõrgemat järku külgsagaraid (*side lobes*, *grating lobes*), mis võivad tugevalt peegeldajalt tagasi andurini peegelduda, mis seeläbi aga eeldatakse pärinevat põhilainekimbu trajektoorilt.

Artefakt on veidi enam väljendunud lineaarandurite puhul.

Tähendus:

On jälgitavad kajavaestes struktuurides difuussete või intensiivsete kajadena, mimikeerides nende põhjas sisaldist/sadet. Külgsagaratest tulenev "nivoo" on tüüpiliselt kumer.

Vähendamine:

- Anduri kaldenurga muutmine
- Patsiendi repositsioneerimine
- *Gain*'i vähendamine
- Harmoonikkuvamine

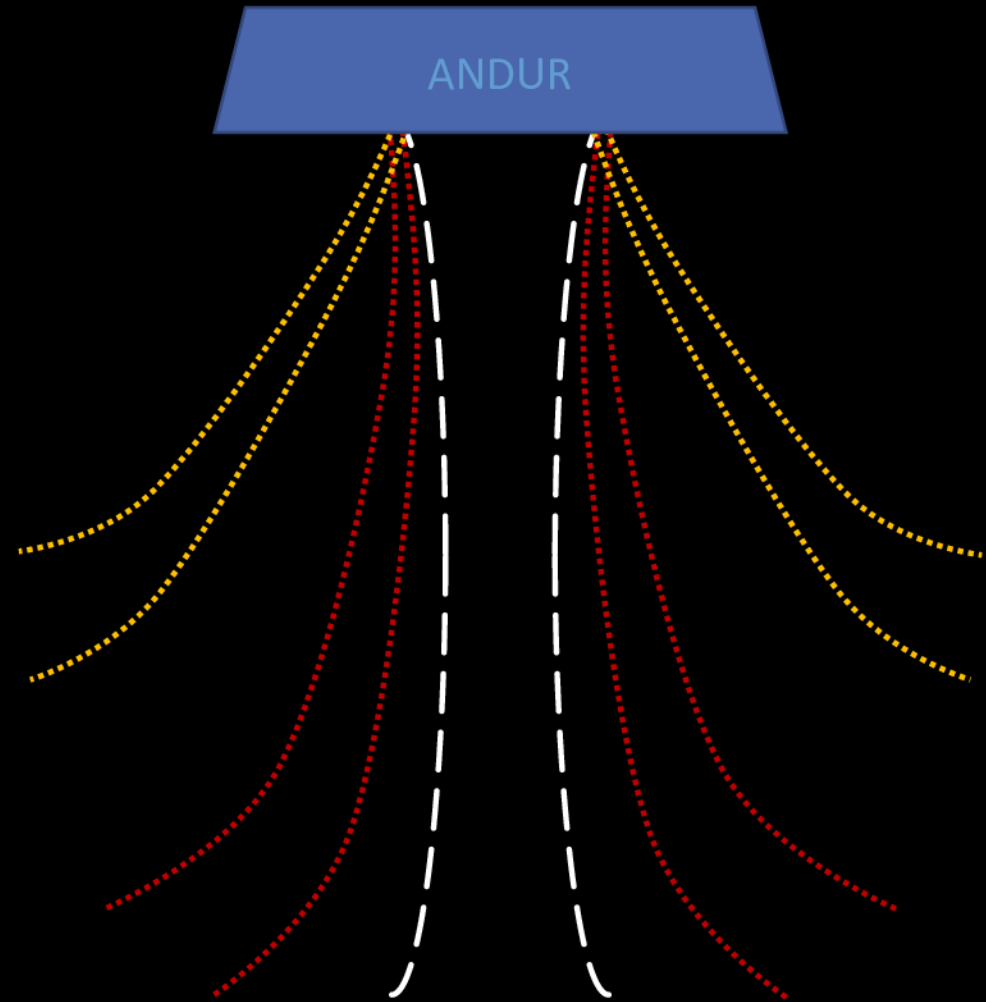


Diagram shows multiple secondary lobes occurring around the primary beam. Side lobes (red) are low-energy (up to 1% of the primary beam energy) off-axis beams immediately adjacent to the primary beam occurring in all transducers, whereas grating lobes (yellow) occur at more oblique angles, may be stronger, and are transducer dependent.¹

Külgsagarad^{1,2,4}

(Secondary lobes)

Füüsika:

Lisaks põhilainekimbule tekitab andur piesoelektriliste kristallide radiaalsest ekspansioonist vähesel määral (~1%) esimest ja kõrgemat järku külgsagaraid (*side lobes, grating lobes*), mis võivad tugevalt peegeldajalt tagasi andurini peegelduda, mis seeläbi aga eeldatakse pärinevat põhilainekimbu trajektoorilt.

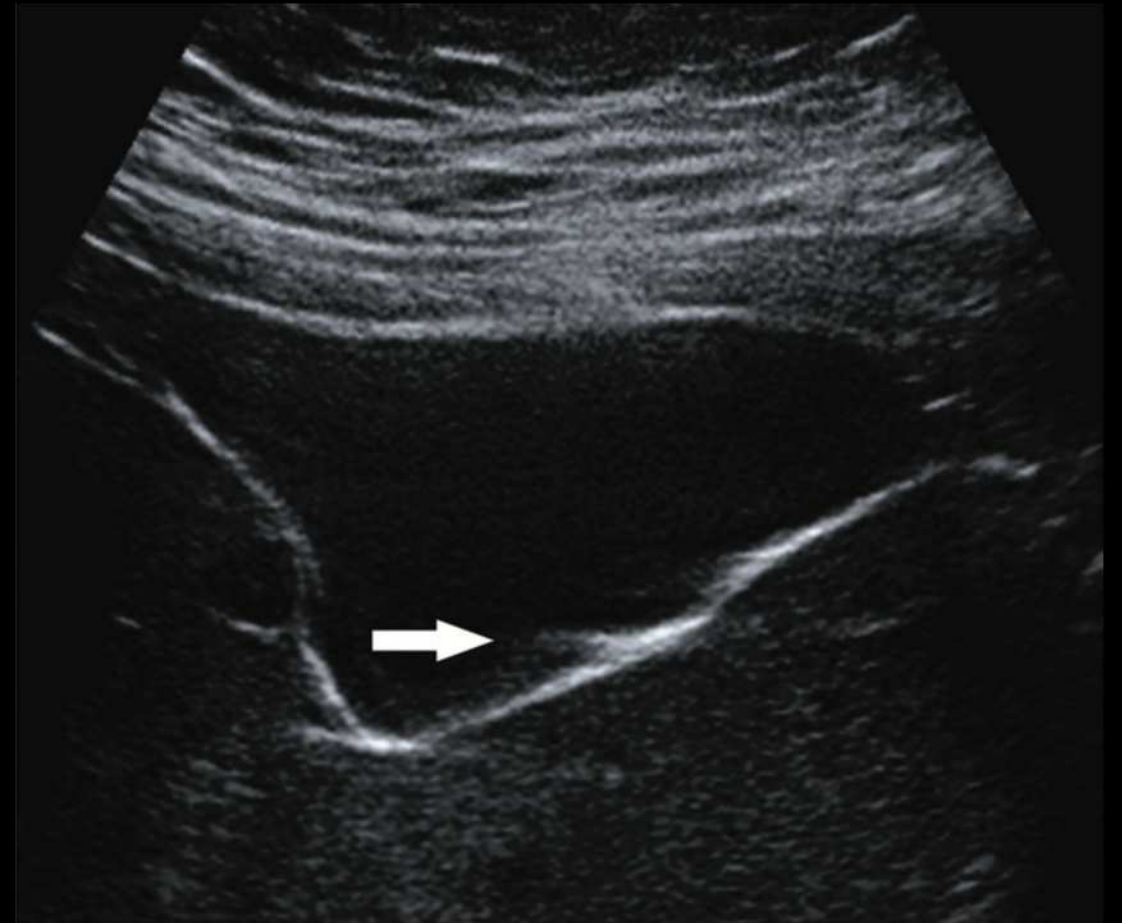
Artefakt on veidi enam väljendunud lineaarandurite puhul.

Täendus:

On jälgitavad kajavaestes struktuurides difuussete või intensiivsete kajadena, mimikeerides nende põhjas sisaldist/sadet. Külgsagaratest tulenev "nivoo" on tüüpiliselt kumer.

Vähendamine:

- Anduri kaldenurga muutmine
- Patsiendi repositsioneerimine
- Gain'i vähendamine
- Harmoonikkuvamine



Longitudinal US image of the normal gallbladder in a 55-year-old woman shows a side lobe artifact (arrow) in the gallbladder lumen, a finding that arises from the adjacent echogenic wall.¹

Ultraheli liikumistee või -kiirusega seotud artefaktid

(Path- or Speed-related Artifacts)

Kordumine/reverberatsioon/järelkõla/kaikumine¹⁻⁴ (Reverberation)

Füüsika:

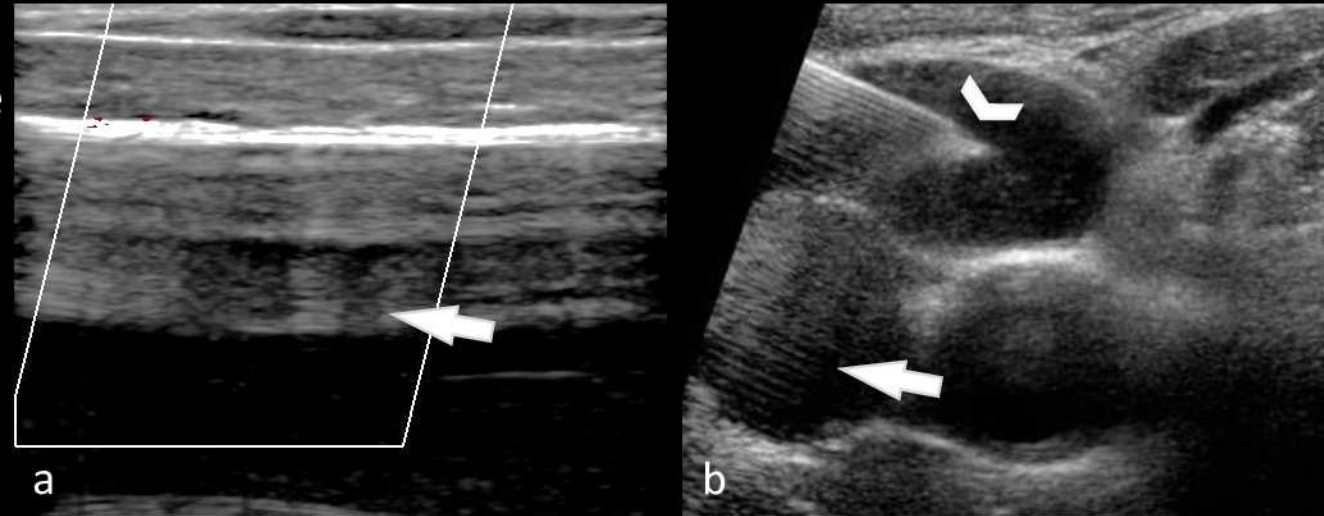
Kaks paralleelset tugevalt peegelduvat pinda (või akustilise impedantsi muutusega piirkonda), mille vahel kajad korduvalt peegelduvad. Korduvalt peegelduvad kajad jõuavad andurini hiljem ning seeläbi tõlgendatakse neid kui sügavamalt pärinevaid kajasid.

Tähendus:

Tavaliselt jälgitav kõhukatete servade reverberatsioon paralleeljoontena kajavaestes struktuurides (nt kuse- või sapipõies).

Vähendamine:

- Anduri kaldenurga muutmine
- Gain'i vähendamine
- Harmoonikkuvamine



(a) US image shows low-medium level echoes (arrow) immediately deep relative to the abdominal wall in a patient with ascites. **(b)** Gray-scale US image shows multiple equidistant linear echoes posterior to the biopsy needle (arrow), secondary to multipath reflections between the anterior and posterior needle walls.

In **(a)**, the pulses bounce back and forth between the fluid–body wall interface and overlying structures. In **(b)**, the pulses reflect between the needle walls one or more times. No echoes are depicted deep relative to the needle bevel (arrowhead), as there is effectively only one wall.³

Komeedisaba. Järelresonants.^{1,2,3}

(Comet-tail artifact. Ring-down artifact.)

Füüsika:

Tegemist on reverberatsiooni erijuhtudega.

Komeedisaba: reverberatsioon, kuid peegelduvad pinnad paiknevad äärmiselt lähedastikku – korduvad paralleelsed kajad ei ole üksteisest eristatavad, vaid on jälgitavad niioelda komeedisabana.

Järelresonants: mitmesed kajad õhumullide vahelistes neljatahulistest ruumides. Sageli jälgitav artefakti dünaamiline muutumine õhumullide liikumisest.

Tähendus:

Komeedisaba artefakt on jälgitav sapipõie adenomüomatoosi, kilpnäärme koloidsõlmede ning erinevate lubjastuste ja vöörkehade puhul.

Järelresonantsi artefakt on oluline õhu tuvastamisel. Kopsude UH-l on tegemist niinimetatud B-joontega.

Vähendamine/parandamine:

- Komeedisaba artefakt võib olla paremini jälgitav harmoonikkuvamise kasutamisel
- *Spatial compound imaging* võib vähendada artefakte

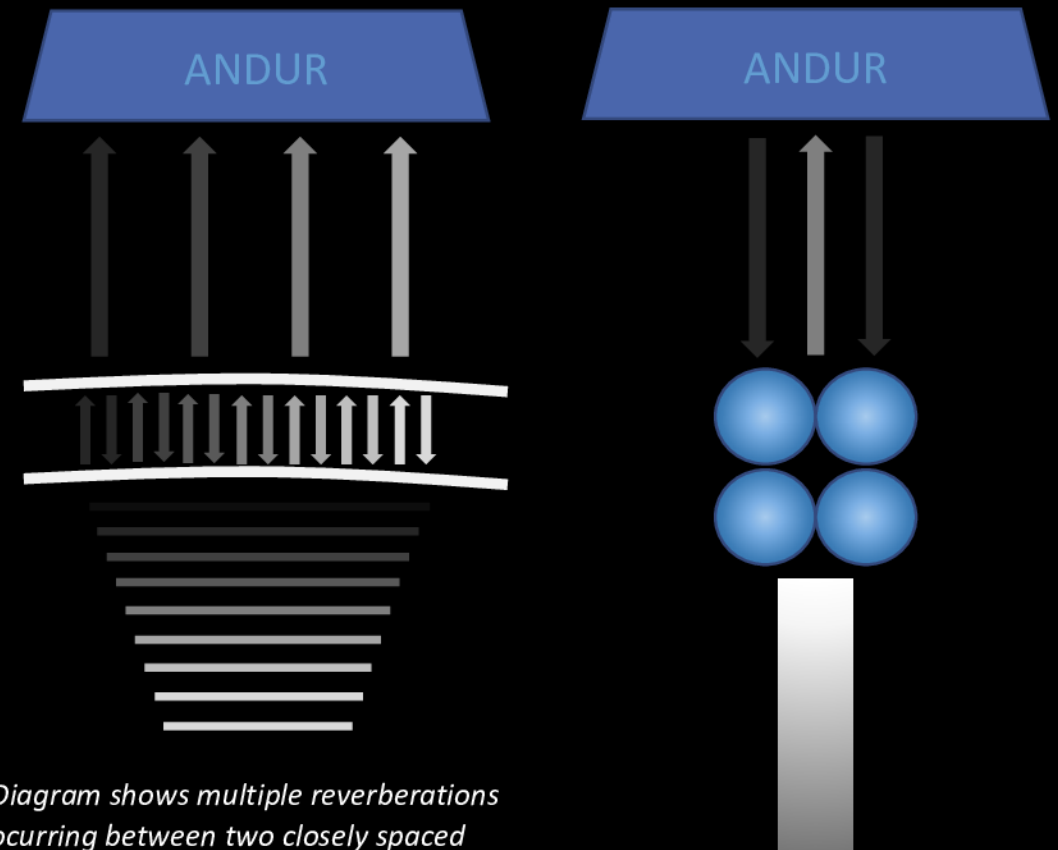


Diagram shows multiple reverberations occurring between two closely spaced reflective interfaces, producing a **comet-tail artifact**. The interfaces themselves are not discernible. However, as the number of reflections increases, the perceived depth increases and the amplitude decreases (increasingly light arrows), resulting in a tail appearance.¹

Diagram shows interactions of the primary beam with tetrahedral arrangements of air bubbles, resulting in a continuous wave of sound transmitted back to the transducer from resonant vibrations – **ring-down artifact**.¹

Komeedisaba. Järelresonants.^{1,2,3}

(Comet-tail artifact. Ring-down artifact.)

Füüsika:

Tegemist on reverberatsiooni erijuhtudega.

Komeedisaba: reverberatsioon, kuid peegelduvad pinnad paiknevad äärmiselt lähedastikku – korduvad paralleelsed kajad ei ole üksteisest eristatavad, vaid on jälgitavad niiõelda komeedisabana.

Järelresonants: mitmesed kajad õhumullide vahelistes neljatahulistest ruumides. Sageli jälgitav artefakti dünaamiline muutumine õhumullide liikumisest.

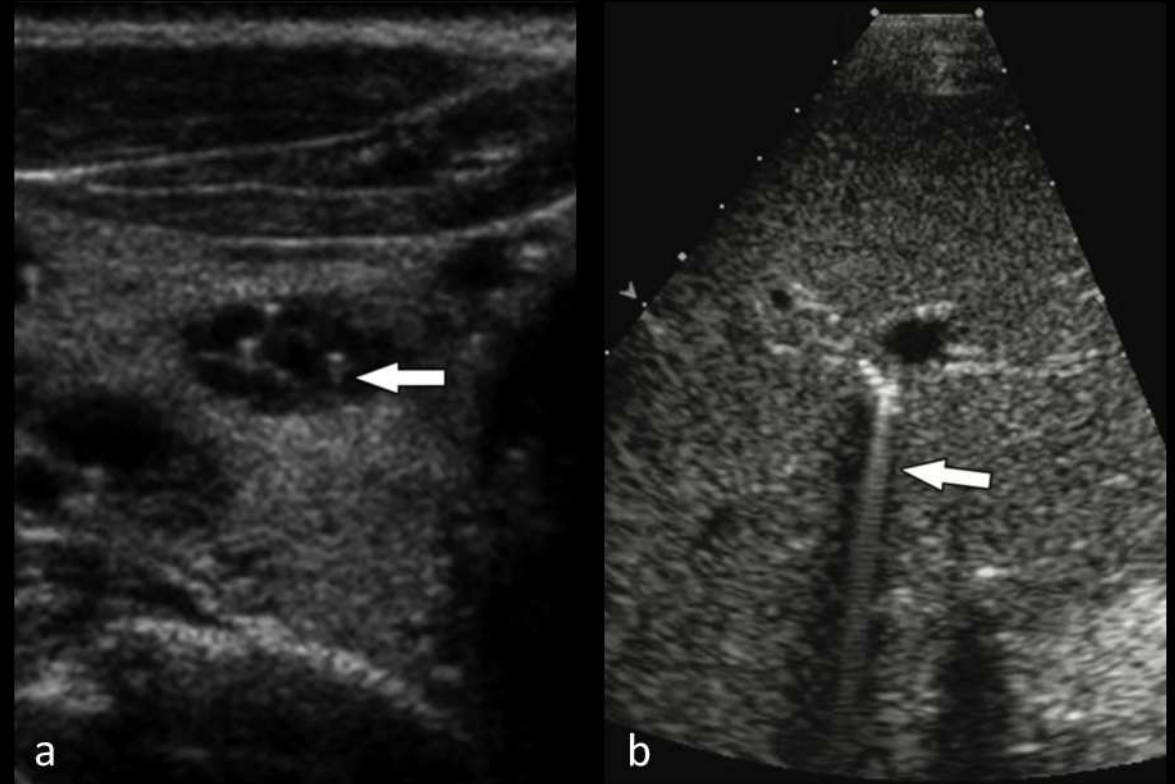
Tähendus:

Komeedisaba artefakt on jälgitav sapipõie adenomüomatoosi, kilpnäärme kolloidsõlmede ning erinevate lubjastuste ja vöörkehade puhul.

Järelresonantsi artefakt on oluline õhu tuvastamisel. Kopsude UH-l on tegemist niinimetatud B-joontega.

Vähendamise/parandamine:

- Komeedisaba artefakt võib olla paremini jälgitav harmoonikkuvamise kasutamisel
- *Spatial compound imaging* võib vähendada artefakte



(a) Transverse US image of the thyroid in a 57-year-old woman shows multiple comet-tail artifacts (arrow) in the cystic thyroid nodule, findings diagnostic for a benign colloid cyst.¹

(b) Longitudinal US image of the liver in a 61-year-old man shows ring-down artifact (arrow) from pneumobilia. The highly reflective interface also results in distal shadowing.¹

Peegeldusartefaktid¹⁻⁴

(Mirror image)

Füüsika:

Tugevalt peegelduvalt piirpinnalt (nt diafragma, pleura, kusepõie sein, soolesein) peegeldunud kaja peegeldub omakorda tagasi mõne **objekti** tagapinnalt, tekitades piirpinna taha **objekti peegelpildi**.

Tähendus:

Võib mimikeerida patoloogiat piirpinna tagasi.

Artefakt võib esineda ka Doppler-UHs.

Vähendamine:

- Anduri kaldenurga muutmine
- *Gain*'i vähendamine

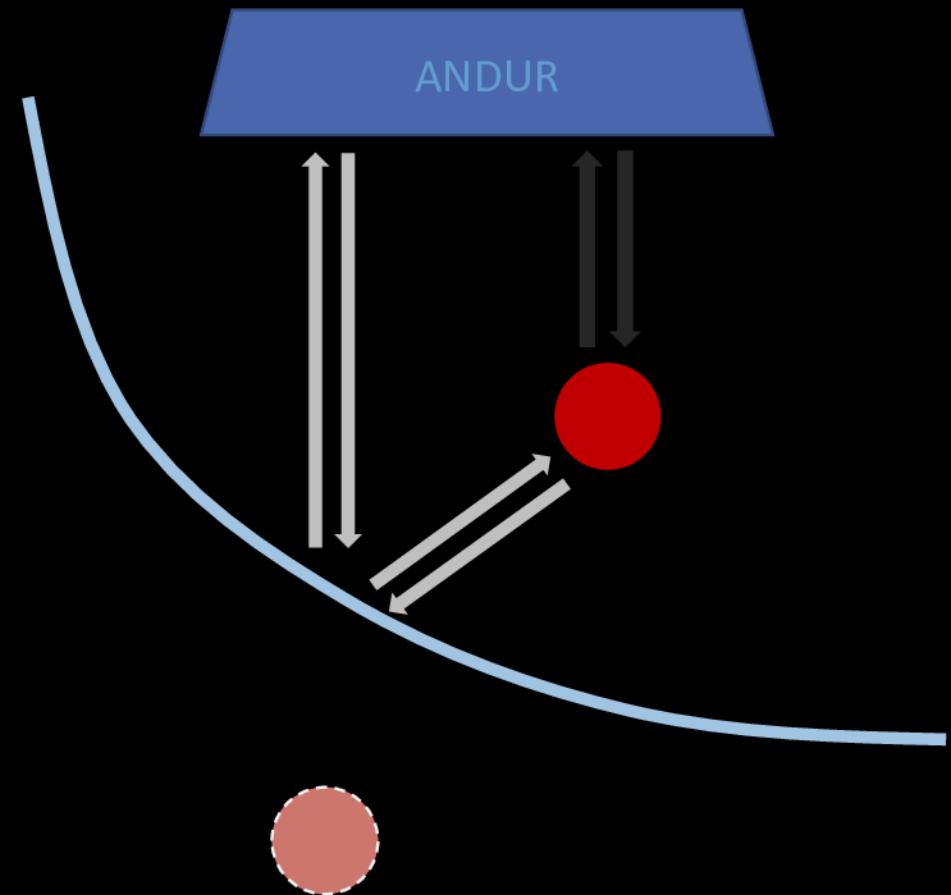
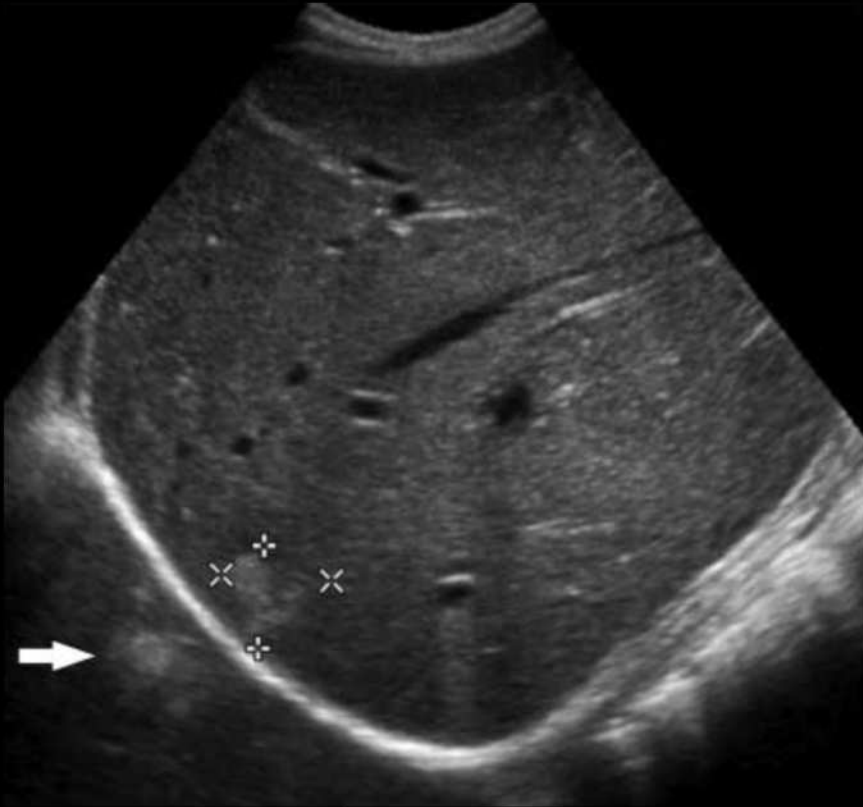


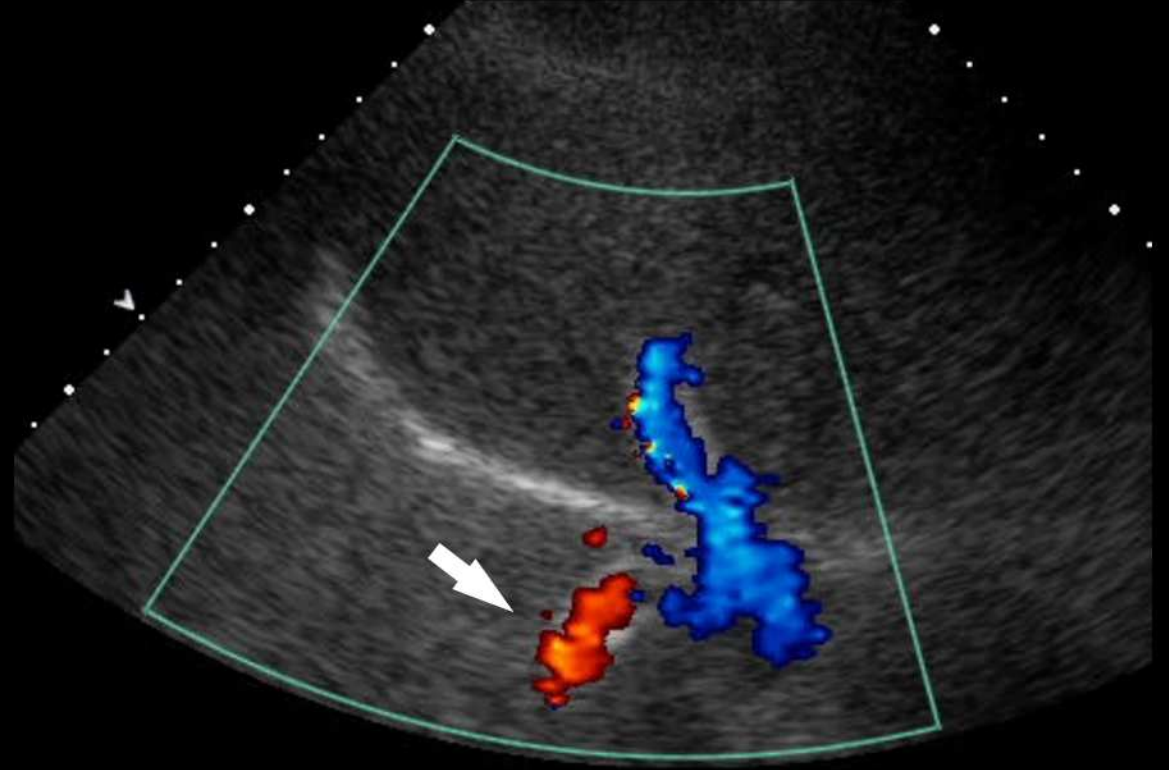
Diagram shows mirror image artifact produced from a strong specular reflector. The transmitted ultrasound beam (light gray arrows) reflects off the specular reflector (curved light blue line), encounters a target (red circle), and is then reflected back along its transmitted course. Because of the increased time to echo return, the image (dotted pink circle) appears to be deep to the reflector at that inappropriate beam path. At a different beam path (dark arrows), the target is appropriately imaged in the correct location. The result is a mirror image appearance across the specular reflector.¹

Peegeldusartefaktid

(Mirror image)



Longitudinal US image obtained at the level of the right hepatic lobe shows an echogenic lesion in the right hepatic lobe (cursors) and a duplicated echogenic lesion (arrow) equidistant from the diaphragm overlying the expected location of lung parenchyma.²



Color Doppler US image shows a patent transjugular intrahepatic portosystemic shunt (TIPS) in the liver and a duplicate (arrow) above the diaphragm.³

Refraktsioon^{1,2}

(Refraction)

Füüsika:

Refraktsioon on fenomen, kus ultrahelilaine muudab oma suunda, liikudes erinevate helikiirusega keskkondade vahel.

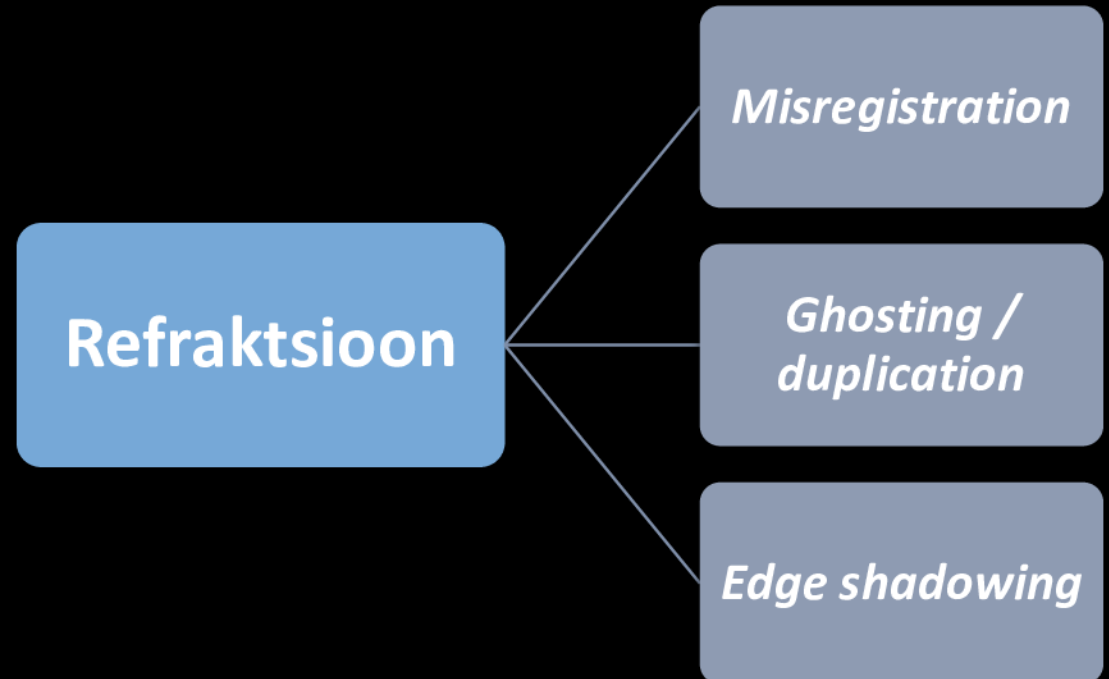
Mida suurem on helikiiruste erinevus (nt rasv vs lihas) ning mida suurem on pealelangemisnurk (90° juures refraktsiooni ei ole), seda enam väljendunud on ka refraktsioon.

Tähendus:

Võib muuta uuritavate objektide asukohta ja/või neid moonutada.

Vähendamine:

- Anduri kaldenurga muutmine



Misregistration¹

Refraktsiooni tõttu on uuritava objekti asukoht näiliselt muutunud, kui lainekimp läbib objektist pindmisemal olevat kaldus piirpinda erinevate helikiirusega keskkondade vahel.

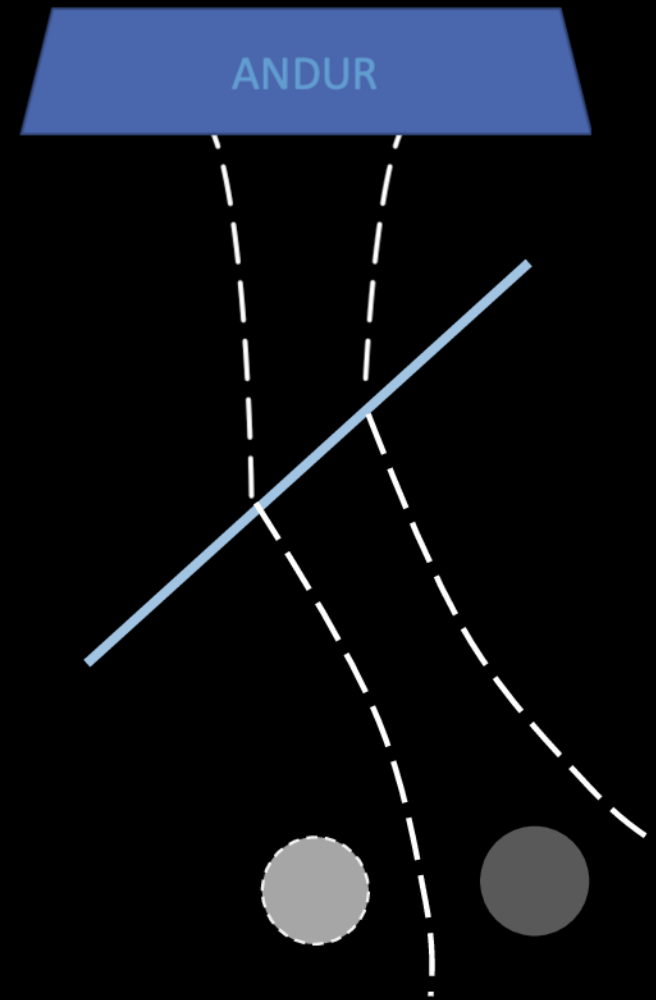
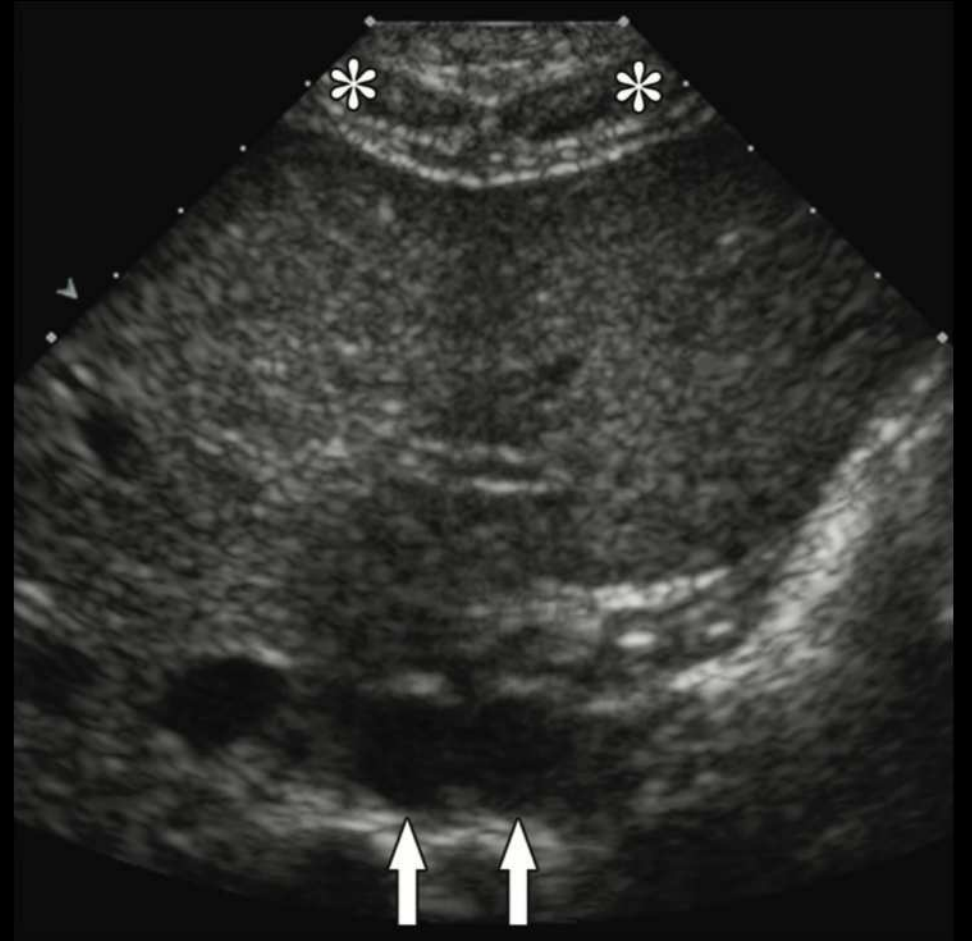


Diagram shows misregistration due to refraction, whereby the path of the beam is altered as it obliquely encounters an interface between mediums with different speeds of sound. The position of a target (dark grey circle) deep to the interface will be altered (dotted light grey circle).

Ghosting / duplication¹

Refraktsiooni tõttu on uuritav süvaobjekt näiliselt duplitseeritud.

Eelkõige jälgitav kõhukoopa-vaagna kuvamisel, mil refraktsioon tekib kõhu sirglihaste ja kõhuseina rasvkoe tõttu.



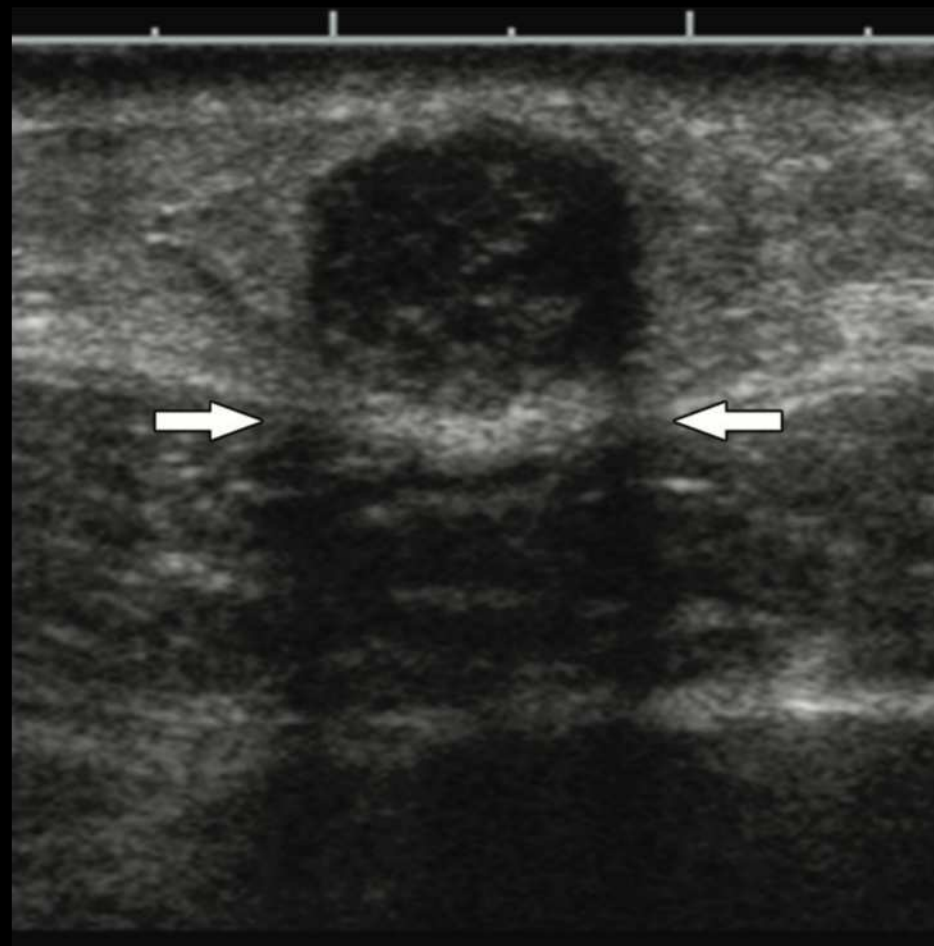
Transverse US image of the liver in a 29-year-old woman shows ghosting artifact of the aorta, which appears in duplicate (arrows) deep to the rectus abdominis musculature ().*

Edge shadowing¹

Refraktsiooni artefakt, mis tekib suurte ümarate struktuuride äärtes, kui ümbritsev kude omab erinevat helikiirust.

Ümara objekti servades pealelangemisnurk suureneb ehk suureneb ka **refraktsioon ja lainekimbu hajumine** ning antud piirkonnast vahetult distaalsemal on seetõttu lainekimbu intensiivsus vähenenud – sinna tekib kajavari.

On erinev kajavarjuartefaktist, mis on seotud näiteks kivide/lubjastustega.



Transverse US image of a complicated cyst in the breast of a 51-year-old woman shows edge shadowing (arrows) at the periphery.

Helikiirusega seotud artefaktid^{1,2}

(Speed of Sound Artifacts)

Füüsika:

Artefaktid tekivad eelduse tõttu, et helikiirus kudedes on konstantselt 1540 m/s.

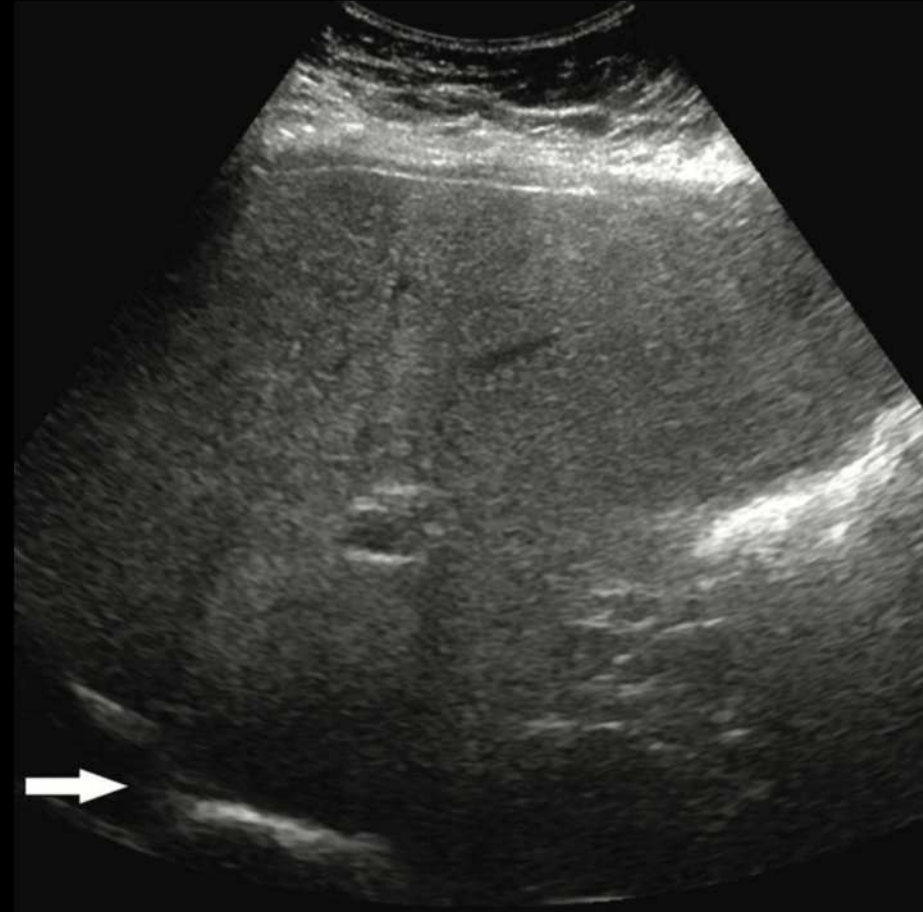
Tähendus:

Tegelikkuses helikiirused varieeruvad ning see võib tekitada vigu objektide sügavuse ja mõõtmete hindamisel aksiaalsuunas (vead on samas väikesed, näiteks 5% helikiiruse erinevus rasv- ja pehmekoe osas).

Lisaks võivad tekkida pildi moonutused – näiteks maksakontuuri moonutused lokaalse rasvdüstroofia tõttu; biopsianõela "kõverdumine" erinevate helikiirustega kudesid läbides (nn bajoneti artefakt).

Vähendamine:

- Moodsad aparaadid võimaldavad helikiiruse manuaalset korrigeerimist



Longitudinal US image of the liver in a 54-year-old man with focal hepatic steatosis shows a boundary distortion artifact (arrow) of the liver edge due to variability in overlying fatty infiltration.¹

Range ambiguity¹

Füüsika:

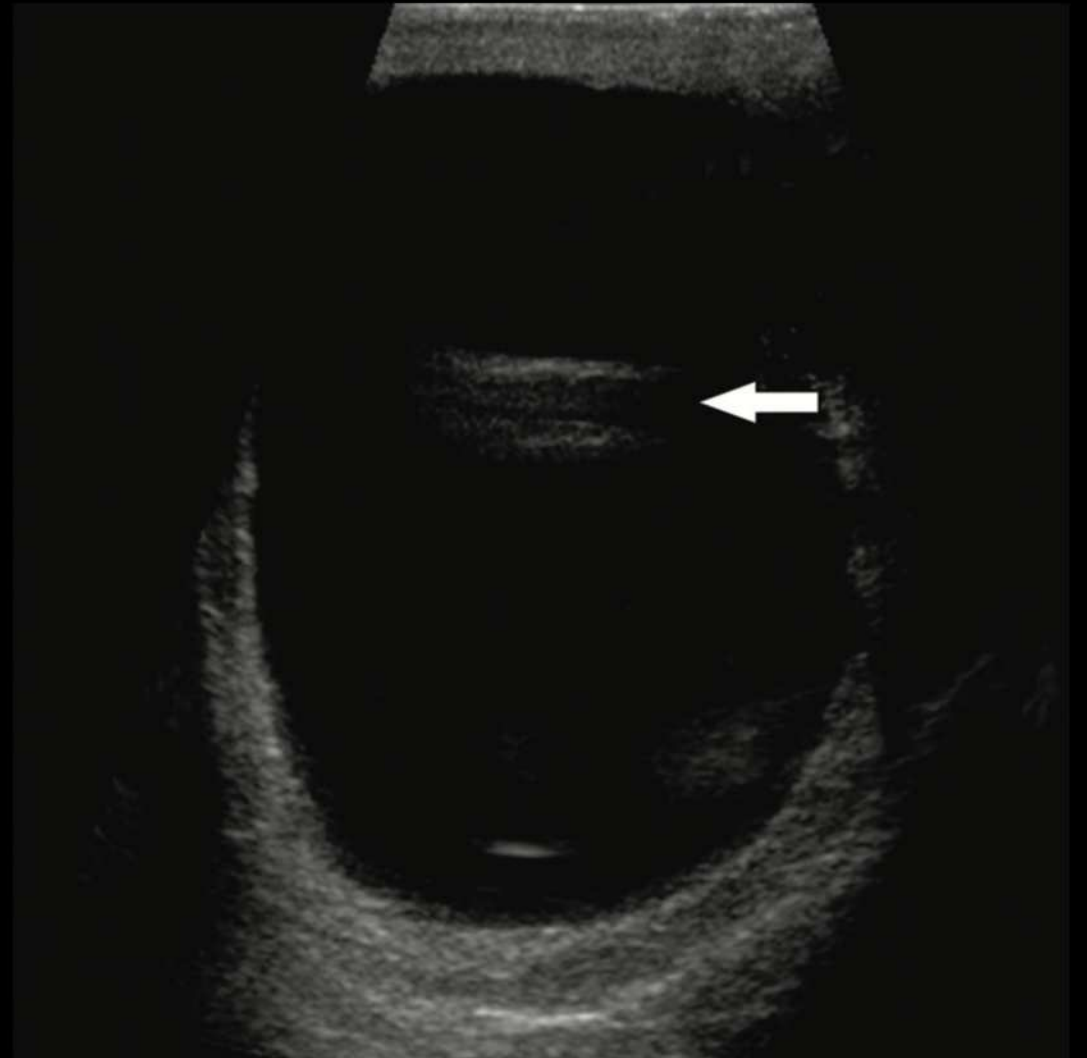
Artefakt tekib eelduse tõttu, et andurini jõudnud kajasignaali pärineb viimasest saadetud pulsist. Tegelikult võib mõne süvastruktuuri kaja jõuda andurini pärast järgmist pulssi, mistõttu kuvatakse süvastruktuur ekslikult pindmisemal.

Tähendus:

Võib mimikeerida sadet/sisaldist kajavaestes struktuurides.

Vähendamine:

- *Pulse repetition frequency* (PRF) vähendamine
- Pildi kuvasügavuse suurendamine



Transverse US image of the scrotum in a 29-year-old man with a large hydrocele shows artifactual echoes (arrow) in the middle of the fluid due to late-returning echoes from the posterior wall.¹

Ultraheli sumbumisega seotud artefaktid

(Attenuation Artifacts)

Kaja dorsaalne võimendumine¹⁻⁴

(Increased through transmission)

Füüsika:

Läbides homogeenseid kajavabu struktuure (kuse-/sapipõis, tsüstid, suured veresooned), helilained ei peegeldu ning UH-impulsi energia nõrgeneb vähem. Antud struktuuridest dorsaalsemal on muu kajastruktuur seeläbi tavapärasest intensiivsem.

Tähendus:

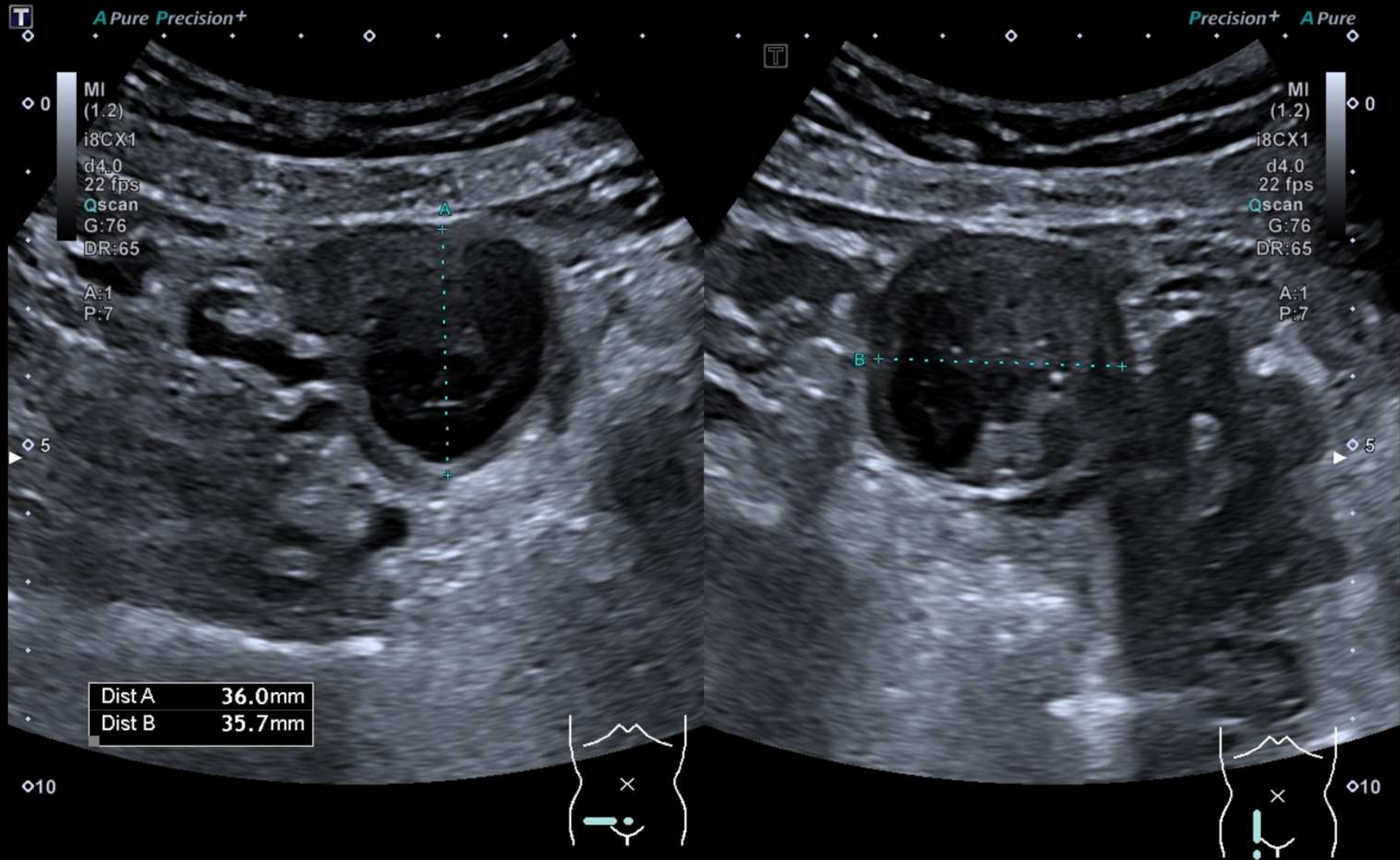
Tsüstja struktuuri eristamine soliidsest (samas ka homogeenne ja suhteliselt kajavaene soliidsoõlm võib tekitada sama artefakti!).

Vähendamine/parandamine:

- Harmoonikkuvamine võib artefakti paremini esile tuua
- *Gain*'i vähendamise ja/või fookuse korrigeerimisega võib artefakti vähendada



Gray-scale US image obtained through the right upper quadrant shows increased echogenicity (arrow) deep relative to the gallbladder.³



Munasarja hemorraagiline tsüst – heterogeense sisaldise, kuid samas hea kajasignaali dorsaalse võimendusega lesion.

Kajavarjuartefakt¹⁻⁴

(*Acoustic shadowing*)

Füüsika:

Tugevate peegeldajate (luu, konkremendid, lubjastused, gaas) tõttu UH-impulsi energia väheneb. Seeläbi tekivad antud struktuuridest dorsaalsemal oluliselt vähenenud kajalisusega vöödid.

Tähendus:

Konkrementide, lubjastuste ja gaasi leidmine.

Vähendamise/parandamine:

- Harmoonikkuvamine, anduri sageduse suurendamine ja korrektne fookusala paigutus aitab artefakti paremini esile tuua
- *Spatial compound imaging* vähendab artefakti



US images show shadowing artifacts (arrows) from gallstones and medullary nephrocalcinosis.³

Kasutatud materjalid

- 1) Baad, M., Lu, Z. F., Reiser, I., Paushter, D. (2017). **Clinical Significance of US Artifacts**. *RadioGraphics*, 37(5), 1408-1423. <https://doi.org/10.1148/rg.2017160175>
- 2) Feldman, M. K., Katyal, S., Blackwood, M. S. (2009). **US Artifacts**. *RadioGraphics*, 29(4), 1179-1189. <https://doi.org/10.1148/rg.294085199>
- 3) Triche, B. L., Nelson Jr, J. T., McGill, N. S., Porter, K. K., Sanyal, R., Tessler, F. N., ... Singh, S. P. (2019). **Recognizing and Minimizing Artifacts at CT, MRI, US, and Molecular Imaging**. *RadioGraphics Fundamentals, Slide Presentation*. <https://doi.org/10.1148/rg.2019180022> [Kasutatud 22.04.20]
- 4) Hofer, M. (2009). **Ultraheliuuringu põhikursus. Sissejuhatav käsiraamat**. Saksamaa: Thieme.
- 5) **Meditiinifüüsika sõnaraamat**. (i.a). <https://term.eki.ee/termbase/view/1550708/> [Kasutatud 22.04.20]