

UZ – nové metody

Foukal J. a kolektiv

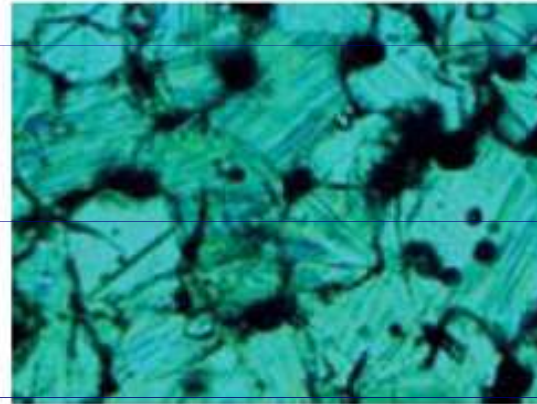
Klinika radiologie a nukleární medicíny
FN Brno a LF MU



Technologie výroby piezoelektrických krystalů sond

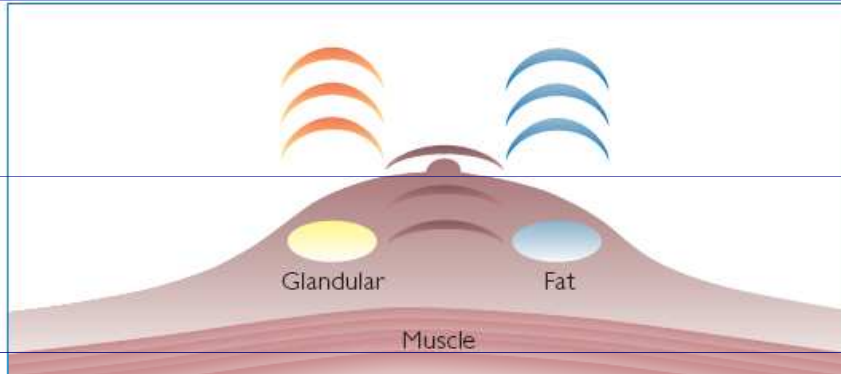
Piezoelektrický materiál použitý v sondě zásadním způsobem ovlivňuje kvalitu UZ zobrazení

Nověji použity krystaly vytvořené speciálním procesem z velmi jemného keramického prášku – uniformní konzistence

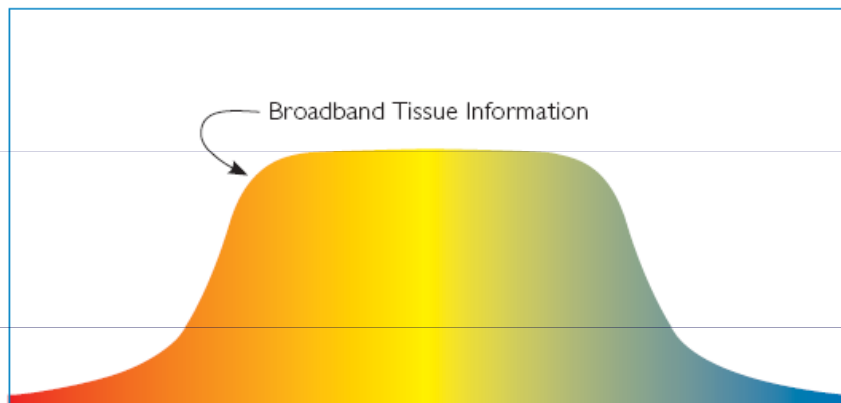


Conventional PZT ceramics (as shown at the top) are made up of randomly oriented grains, while PureWave crystals (shown at the bottom), have a virtually perfect atomic level arrangement and uniform consistency throughout the material.

Digital broadband beamforming



Philips' unique technology enables the transmission, acquisition and processing of broadband signal information.

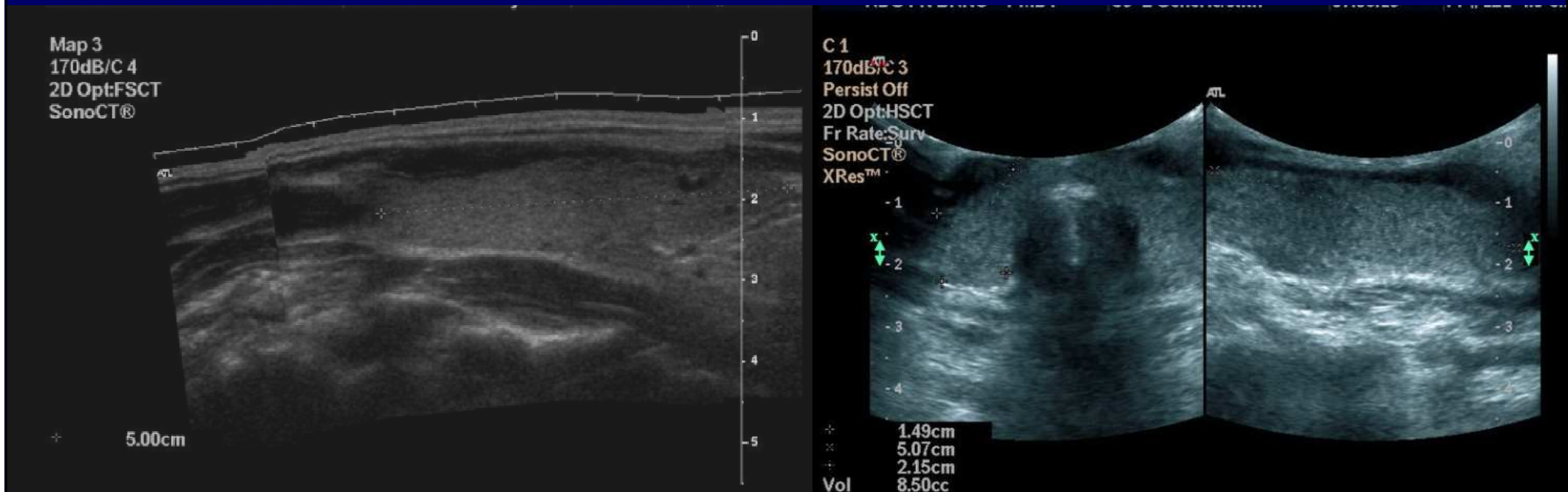


Broadband beamforming transmits a broad signal range and has the ability to capture and process the entire broad band of returning signals.

- Co nejširší rozsah frekvencí, abychom obdrželi co nejširší spektrum informací o vyšetřované tkáni
- Zlepšení axiálního, prostorového i kontrastního rozlišení

Panoramatické zobrazení

- **rekonstrukce** složeného obrazu z **množství B-skenů**, které jsou snímány ve stejné rovině.
- **náběr dat** je ukládán do paměti přístroje, rozdělený na jednotlivé pixely
- **opakující se pixely jsou zprůměrovány**
- pixely jsou uloženy do matrice z níž je následně vytvořen panoramatický obraz



porovnání nízkofrekvenční sondy a panoramatického UZ

Panoramatické zobrazení - technika

- sondu vedeme jedním směrem v **rovině podélné osy** sondy
- nesmí dojít k odchýlení od skenované oblasti
- pohyb musí být **plynulý**



Distální stehno, sagitálně

Panoramatické zobrazení - výhody

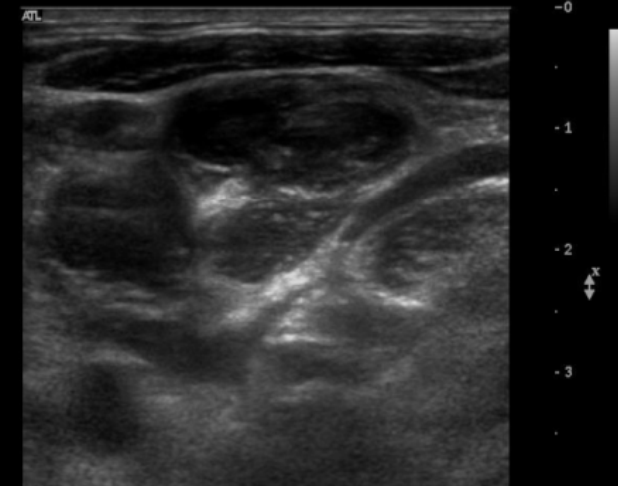
- zlepší topograficko anatomickou **orientaci**
- umožní zobrazení **rozsahu léze**, která přesahuje FOV sondy
- usnadní stanovení **počtu jednotlivých lézí**

2D Opt:FSCT
SonoCT®



Paket uzlin na krku

Map 3
170dB/C 4
Persist Off
2D Opt:FSCT
Fr Rate:Surv
SonoCT®
XRes™



Panoramatické zobrazení - nevýhody

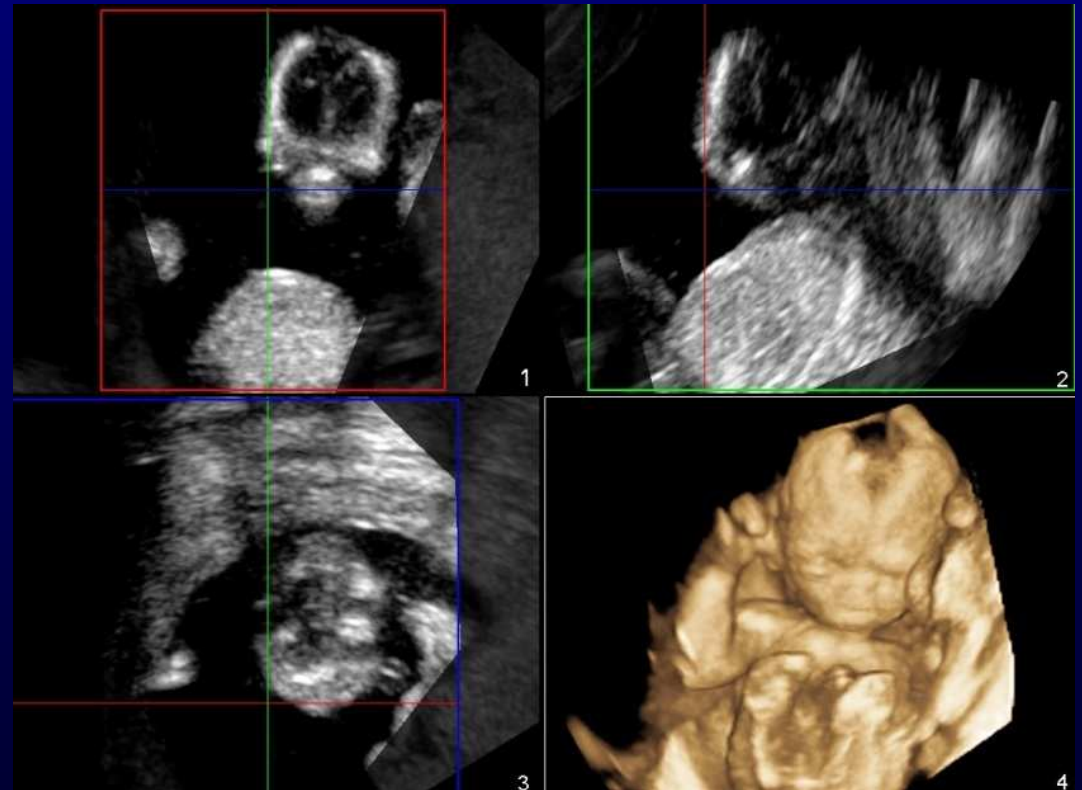
- časově náročnější
- nerovnosti na povrchu těla
- **nepřesné měření** při špatném složení obrazu

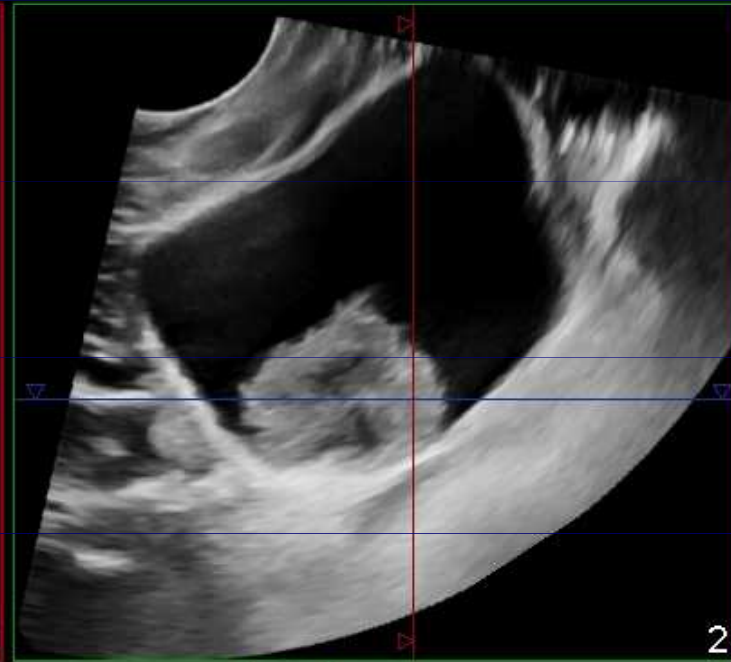
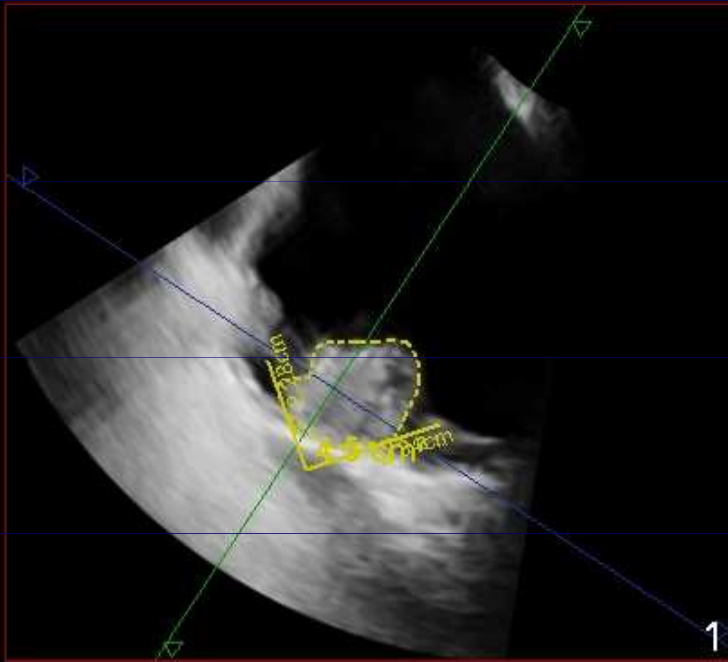


Trojrozměrné (3D/4D) zobrazení

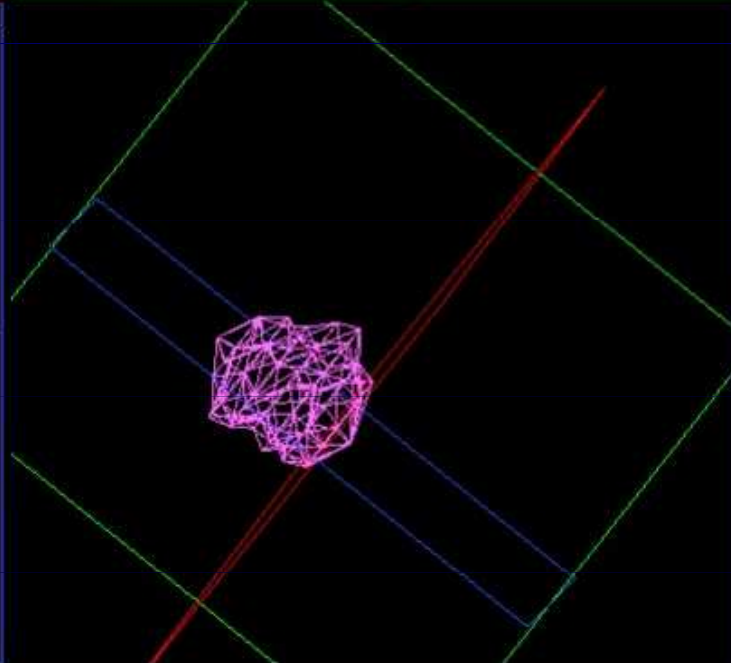
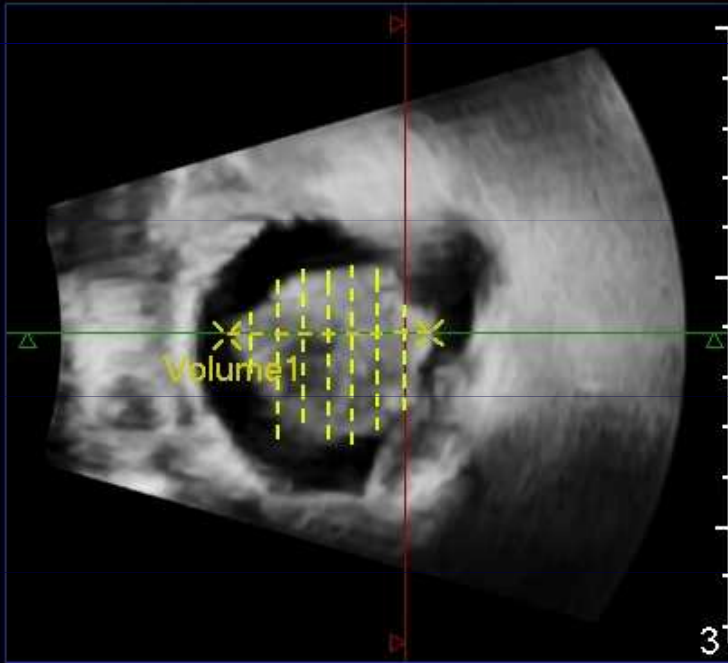
- Sonda se během snímání buď **lineárně posunuje, naklání nebo rotuje**. Údaje o odrazivosti v jednotlivých rovinách jsou uloženy do paměti, následuje **matematická rekonstrukce obrazu**.
- Původní 3D systémy vytvářely objemový obraz pomalu. Současné systémy pracují **v reálném čase**. Používá se označení **4D-zobrazení**

MPR rekonstrukce ve 3 rovinách, VRT rekonstrukce





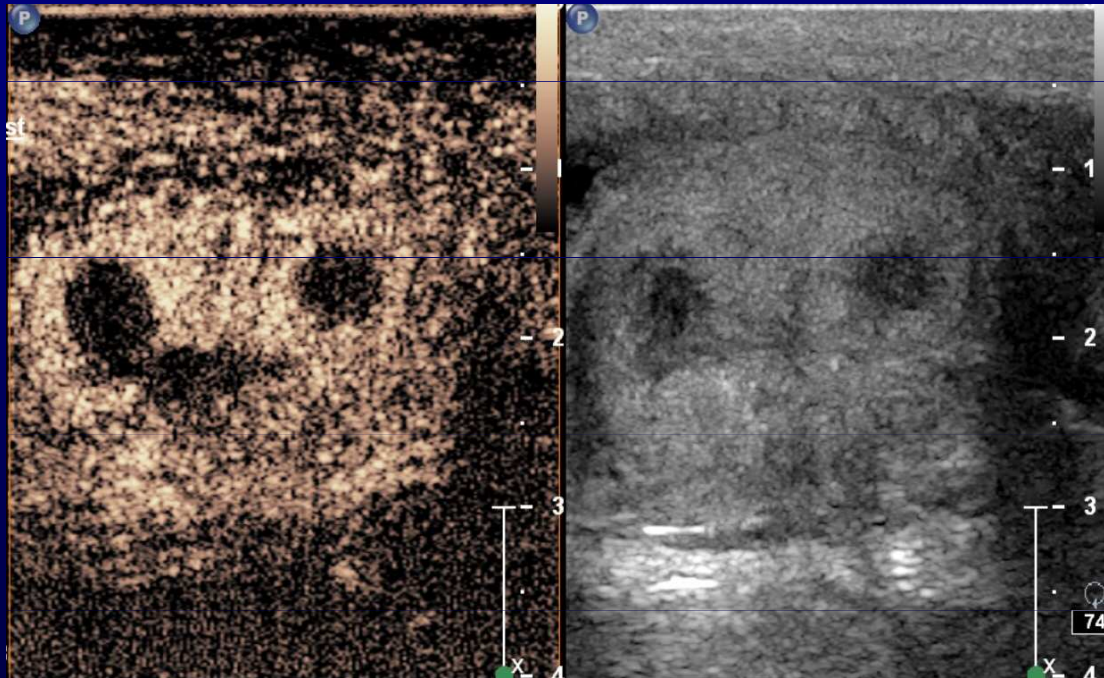
Volume1 = 22.8 ml
I X



3D a 4D: výhody

- Umožní **anatomické pohledy** nedosažitelné 2D zobrazením
 - Typicky frontální rovina
- Kompletní vyšetření z různých perspektiv z **objemových** dat – lepší kvalitativní i kvantitativní informace
- Běžné použití je ale omezené
 - Porodnictví – pěkné zobrazení plodu
 - (Transesofageální echokardiografie – zobrazení anatomie srdečních oddílů)
 - (Objektivnější hodnocení velikosti – objemů ložisek např. jater při sledování/léčbě)

CEUS - Contrast Enhanced Ultrasound



Proč používat kontrastní látku?

- Pro detekci toků na úrovni, která by jinak nebyla možná
- **Doppler** je metodou, která úspěšně odliší echa pohybující se krve od statické tkáně
 - Funguje pro toky ve **větších cévách**
 - Nefunguje u toků na **parenchymové úrovni**, kde se tkáň pohybuje stejnou rychlostí či rychleji než krev, která ji perfunduje
- Proto **parenchymové toky nemohou** být zobrazeny metodou konvenčního **Dopplera**

Podmínky kontrastního UZ zobrazení

- Bylo nutno vyvinout jednak **techniku** UZ zobrazení schopnou k.l. dobře zobrazit
- Vyvinout **kontrastní látku**:
 - Netoxiciká
 - I.v. aplikovatelná
 - Dostatečné zvýšení kontrastu (**odrazivost**)
 - Nerozpouští se v krvi a zároveň schopna **transpulmonální pasáže**, tedy vhodnou ke zobrazení levostranného řečiště
 - Dostatečná **životnost** v krevním oběhu pro zobrazení pozdní fáze dynamického vyšetření

Proč bubliny?

- plyn působí vysoký rozdíl akustické impedance
- vysoká odrazivost UZ vlnění (koeficient odrazu)
- vysoký kontrast

$$R = \left(\frac{z_2 - z_1}{z_2 + z_1} \right)^2$$

voda 1,52

vzduch 0,0004 [Pa.s.m⁻¹]



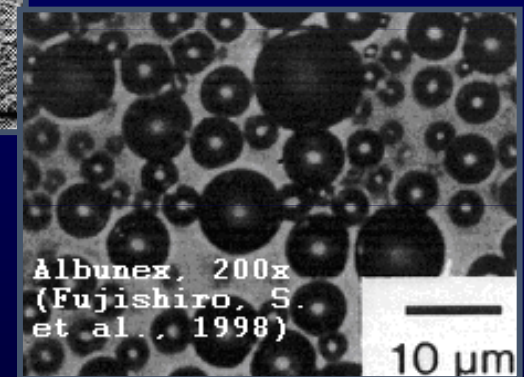
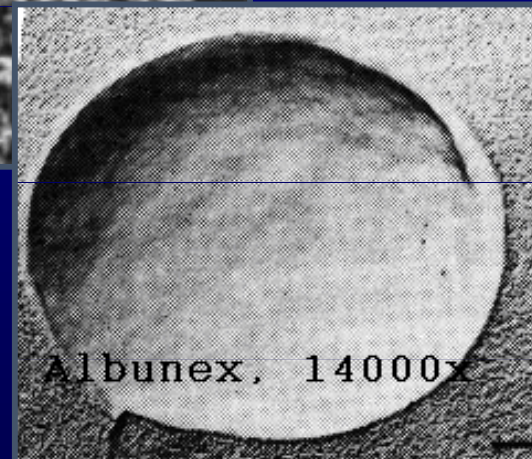
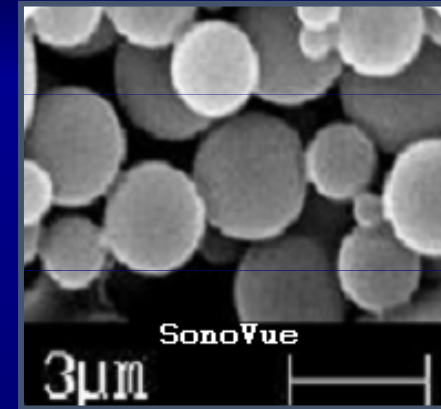
Jaké částice



Echovist, 75000x (Schlief R. et al., 1993)

Galaktózové mikročástice

- vodné roztoky
- emulze
- suspenze
- enkapsulovné bubliny - **mikrobubliny**



Generace kontrastních látek

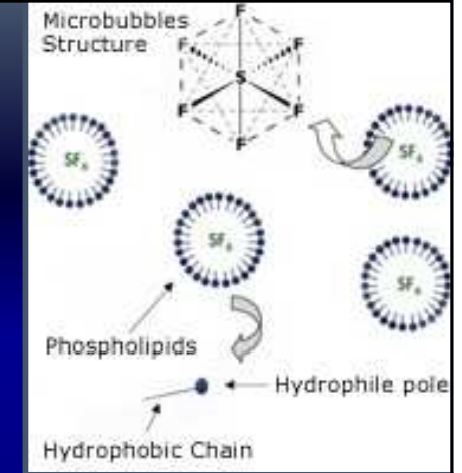
- **1. generace** – krátká životnost, neprocházejí plicním řečištěm.
(Echovist, Albunex, Levovist)
- **2. generace** – procházejí plicním řečištěm, životnost několik minut.
(SonoVue, Optison, Definity, Sonazoid)
- **3. generace** - vyšší echogenita a stabilita, zobrazí např. perfuzi myokardu.
(EchoGen)

Důležité aspekty k.l. pro UZ

- Jsou přísně **intravaskulární**, nepronikají do extravaskulárního prostoru
- Odrážejí tedy **mikrovaskularizaci**

SonoVue®

- Jediná k.l. **schválená** v EU pro makro a **mikrovaskulární** zobrazování.
- **Fluorid sírový** (SF_6) – neškodný plyn, eliminace plynu cestou plicních kapilár (80% během 2 minut).
- Mikrobubliny stabilizované **fosfolipidy**
- Průměrná **velikost** bublin je **2,5 μm** a více než 90 % bublin je menší než 6 μm
- Zvýšení intenzity **signálu 3-8 min.**



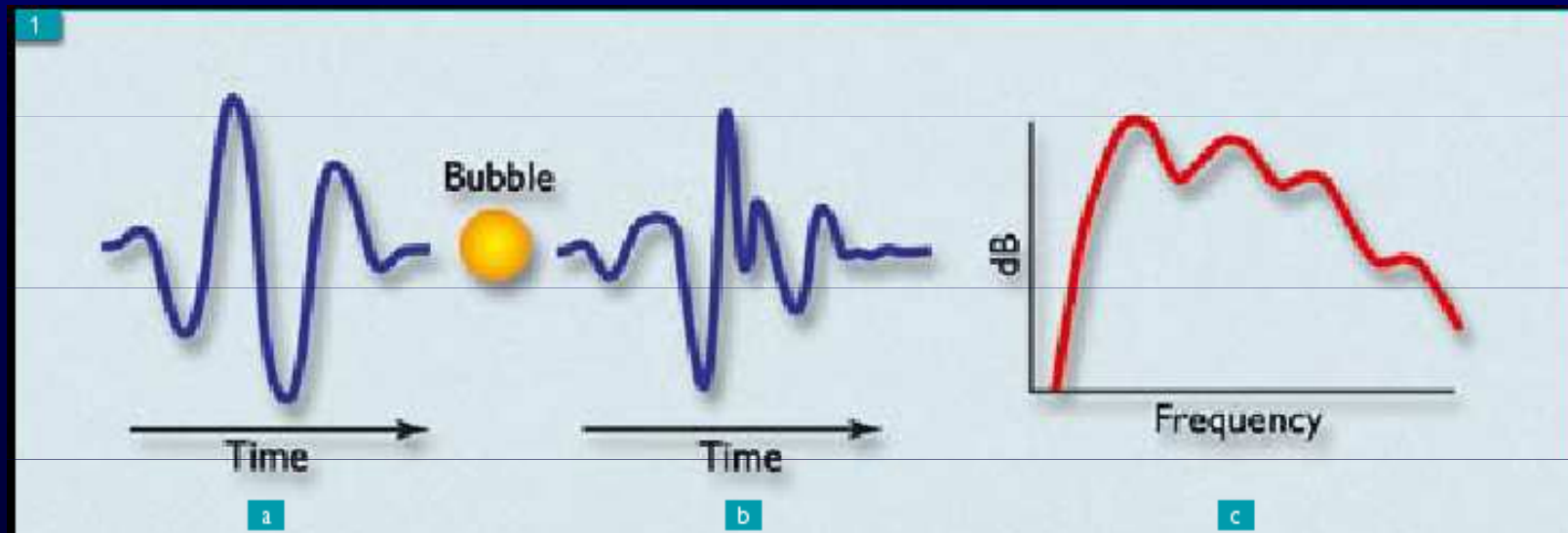
SonoVue®



- 25 mg lyofilizovaného prášku v atmosféře fluoridu sírového
- 5 ml fyziologického roztoku
- Rozpustit a 20s protřepávat
- Výsledný roztok obsahuje 8 $\mu\text{l/ml}$ SF_6
- Suspenze vykazuje stabilitu cca 6 hodin
- Aplikace bolusově + proplach FR (standardní dávka 2,5ml)

Chování mikrobublin v UZ vlnění

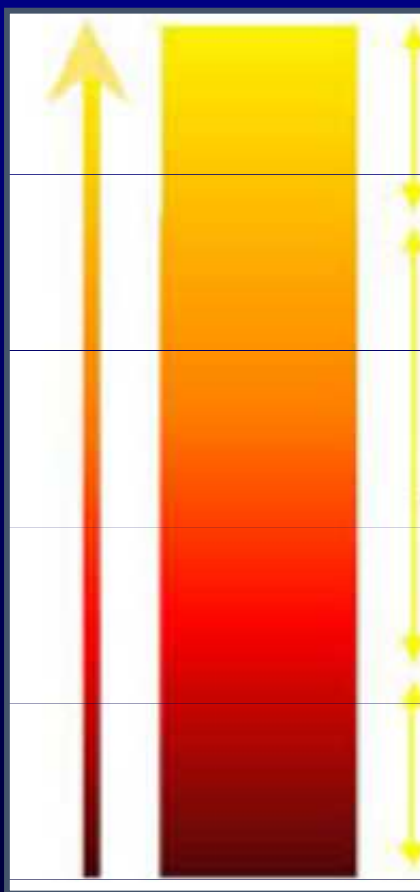
- Při srážce UZ vlny s mikrobublinou dojde střídavě k její kompresi a následné expanzi
- **Stlačení** je díky plynové náplni **limitováno**, naopak **expanze** je mnohem **větší** nežli komprese (poloměr bublin se zvětší až o několik set %)
- Důsledkem je asymetrická **nelineární oscilace** bublin, která produkuje vyšší **harmonické frekvence**, v přijímaném signálu je potom větší zastoupení harmonických frekvencí než u signálu odraženého od ostatních tkání.



Mikrobubliny a mechanický index

- Závisí na frekvenci a energii vysílaného ultrazvuku
- MI vyjadřuje stupeň nebezpečí poškození tkáně **kavitací** ale i pravděpodobnost **disrupce bublin**

MI



Vysoký
~ 1,2



Destrukce bublin, **artefakty**
(blooming)

Střední
~ 0,6



Nelineární oscilace,
částečná destrukce

Nízký
< 0,3



Přibývá lineární oscilace ale
chrání bubliny

Příliš nízký
< 0,04



Lineární oscilace
(málo signálu)

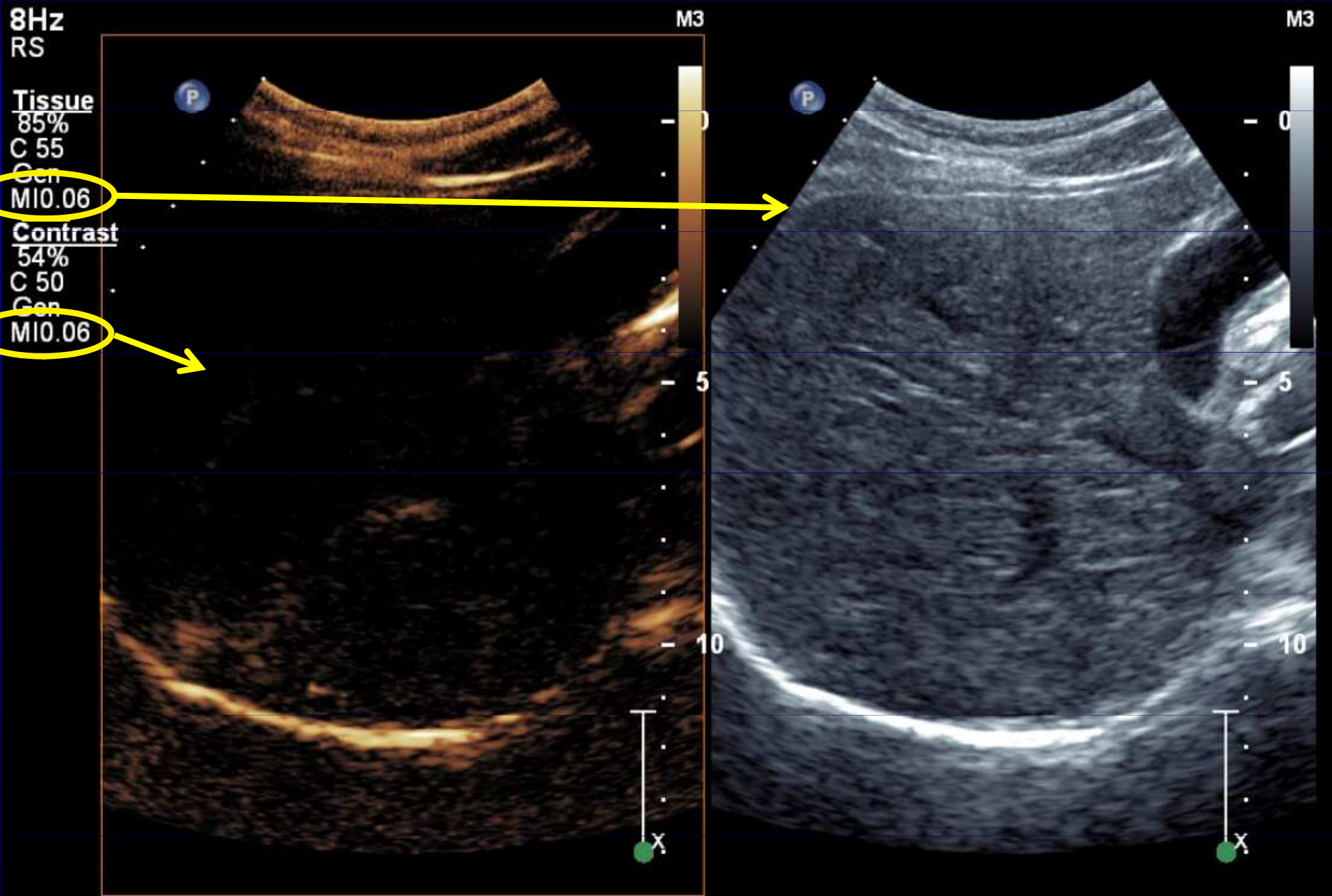
Low MI imaging

- Během vyšetřování za normálních hodnot akustického výkonu (MI cca 1,0) nemá KL šanci naplnit mikrovaskularizaci
- Byly tedy vyvinuty UZ techniky senzitivní na velmi malé odrazy od mikrobublin

Důležité ze 2 důvodů:

- 1/ **prevence destrukce mikrobublin** (MI pod 0,1 – bubliny dávají stále dobrý harmonický signál)
- 2/ **redukce harmonické komponenty tkáňových odrazů** a tedy relativní zvýraznění odrazů mikrobublin
 - Protože tkáně se chovají v UZ vlnění méně nelineárně než mikrobubliny, vyžadují vyšší MI pro harmonickou odpověď, proto při nízkém MI je **poměr kontrast / tkáň vyšší**

Low MI imaging



Pulse inversion (PI)

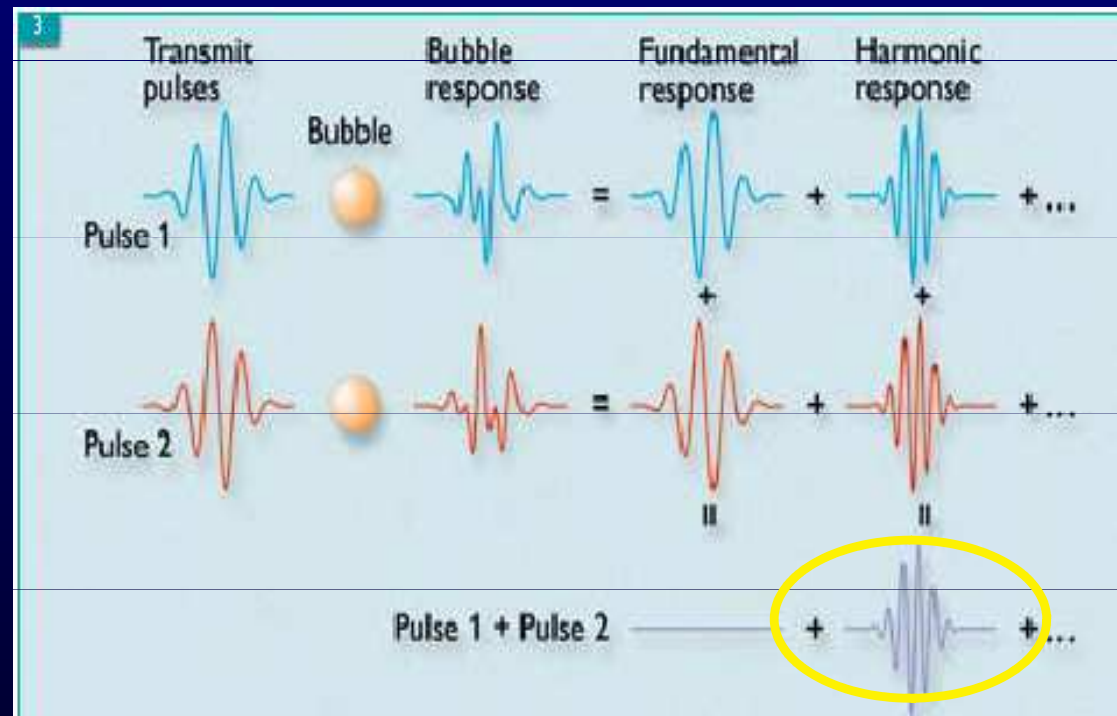
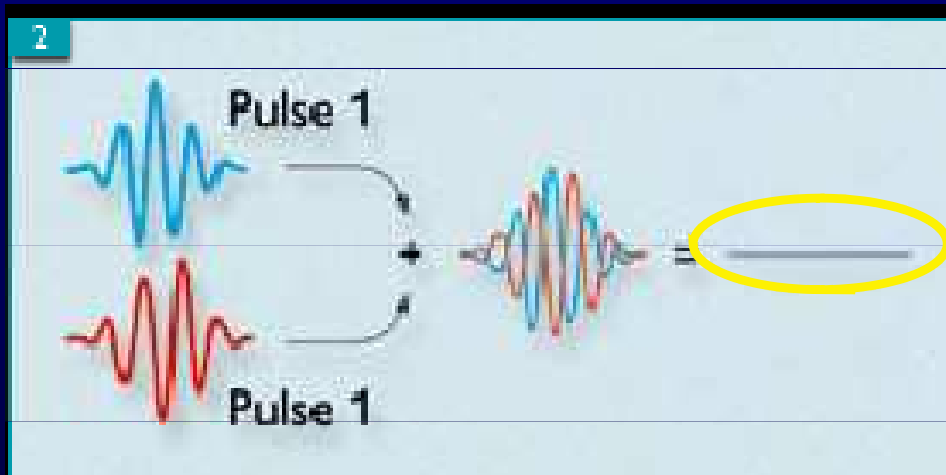
Dva pulsy s opačnou fází vyslány rychle za sebou, přístroj detekuje odražené pulsy a sečte je

Pulzní inverze zcela potlačuje frekvenci základní a zůstávají pouze **frekvence harmonické**.

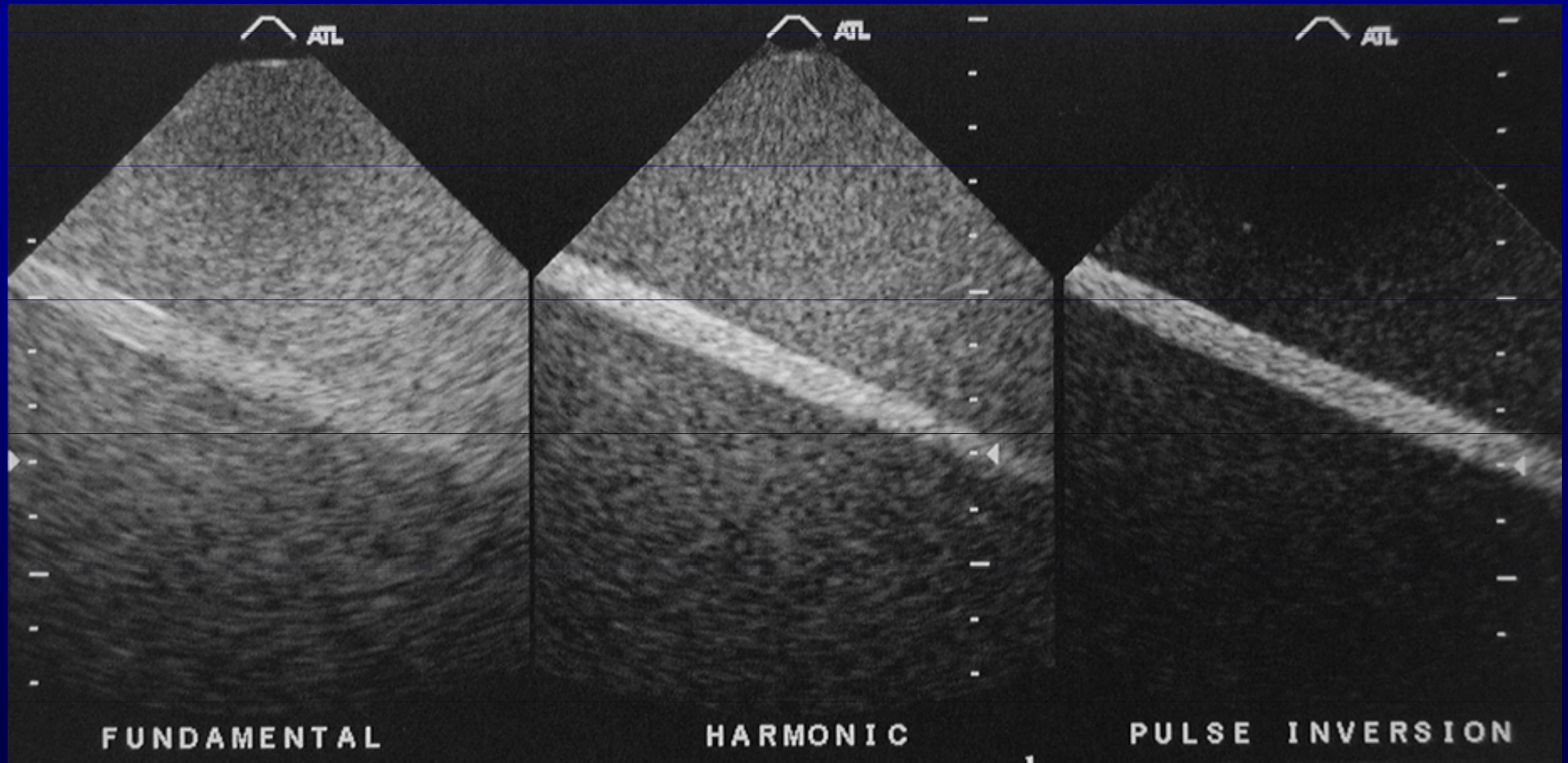
Pro **normální tkáň** je tak signál = 0

Mikrobubliny odrážejí signál asymetricky – **nelineárně**, součet signálů nenulový.

Na **sudých harmonických** frekvencích mají navíc oba odražené pulsy **stejnou fází**

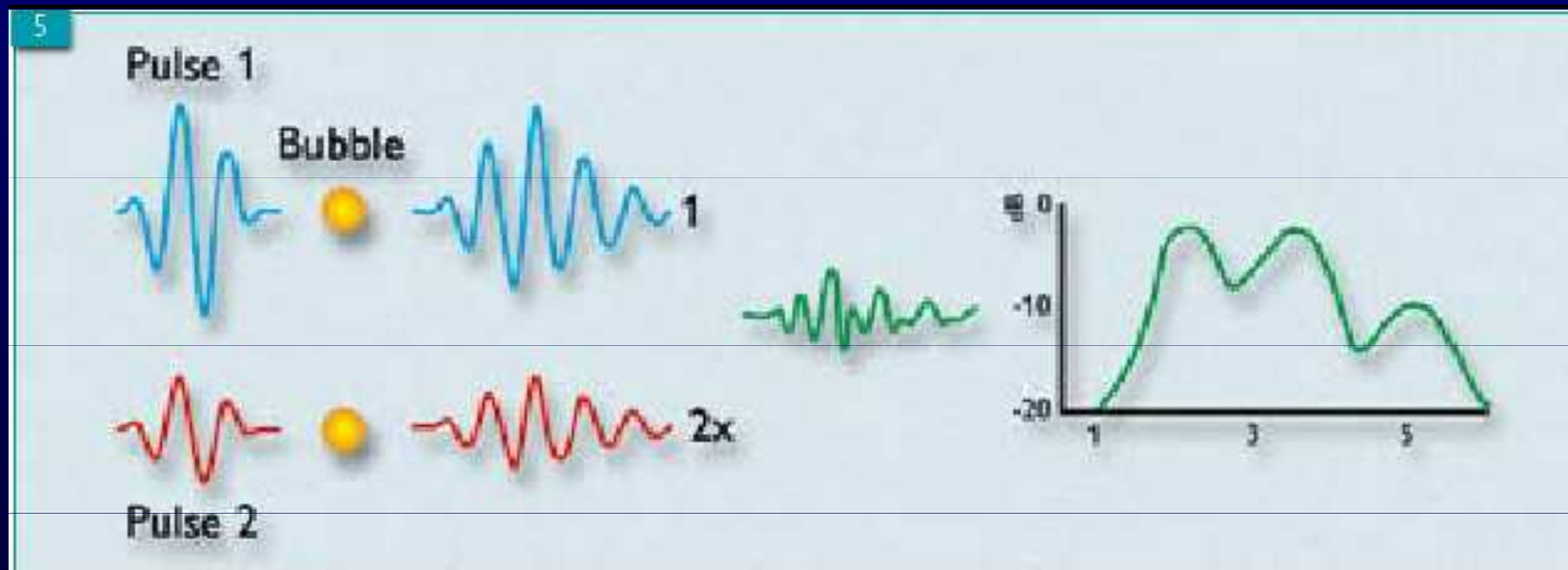


Pulse inversion (PI)



Power modulation (PM)

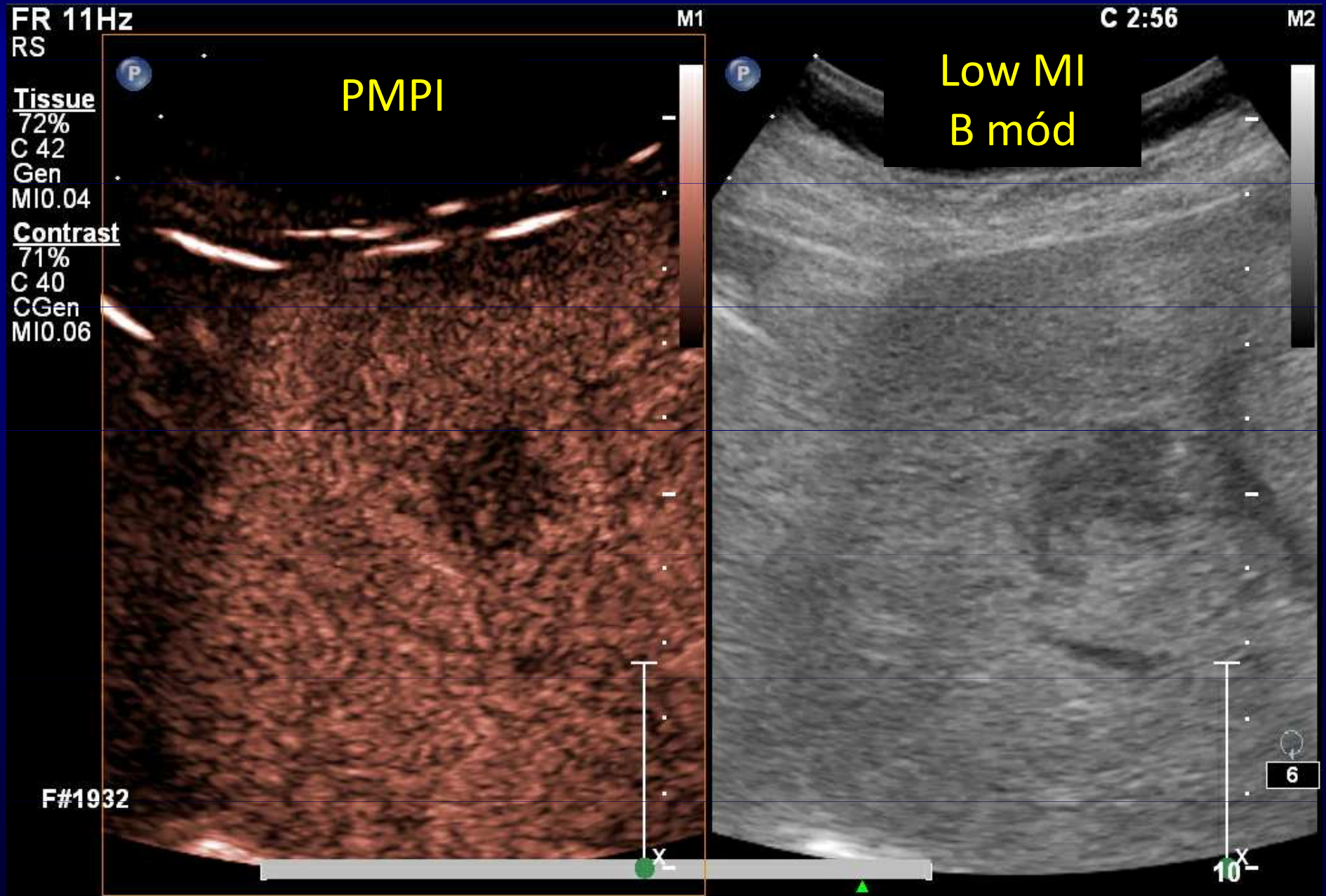
- Alternativou ke změně fáze UZ vlnění je změna jeho **amplitudy**
- Přijatý puls s menší amplitudou je vynásoben poměrem mezi amplitudami vyslaných impulsů
- V subtrahovaném spektru je pak zachycena **nelineární složka základní frekvence i vyšších harmonických**
- Signál pozadí pak není potlačen zcela, nicméně je nízký
- Má větší **dosah do hloubky**, ale poněkud **nižší rozlišení** oproti PI



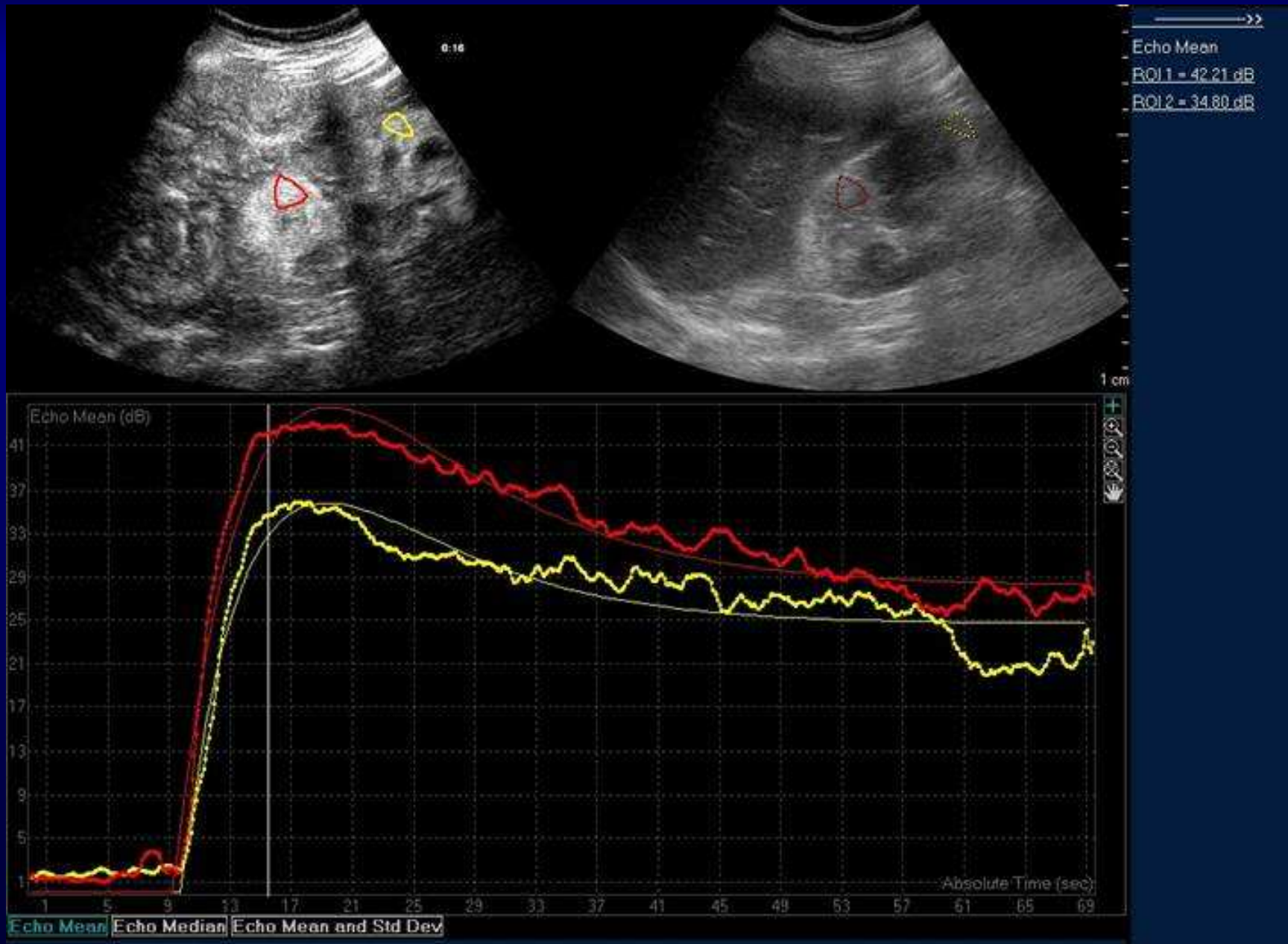
Power modulated / pulse inversion (PMPI)

- Kombinace obou předchozích metod
- Během pulsů se zde mění jak **amplituda** tak **fáze**, rovněž pak dochází k subtrakci signálu
- PMPI detekuje nelineární signál jak základní, tak druhé harmonické frekvence
- Někdy nazývána Contrast pulse sequence (CPS)
- Dnes nejčastěji používaná

Side-by-side display



Kvantifikace

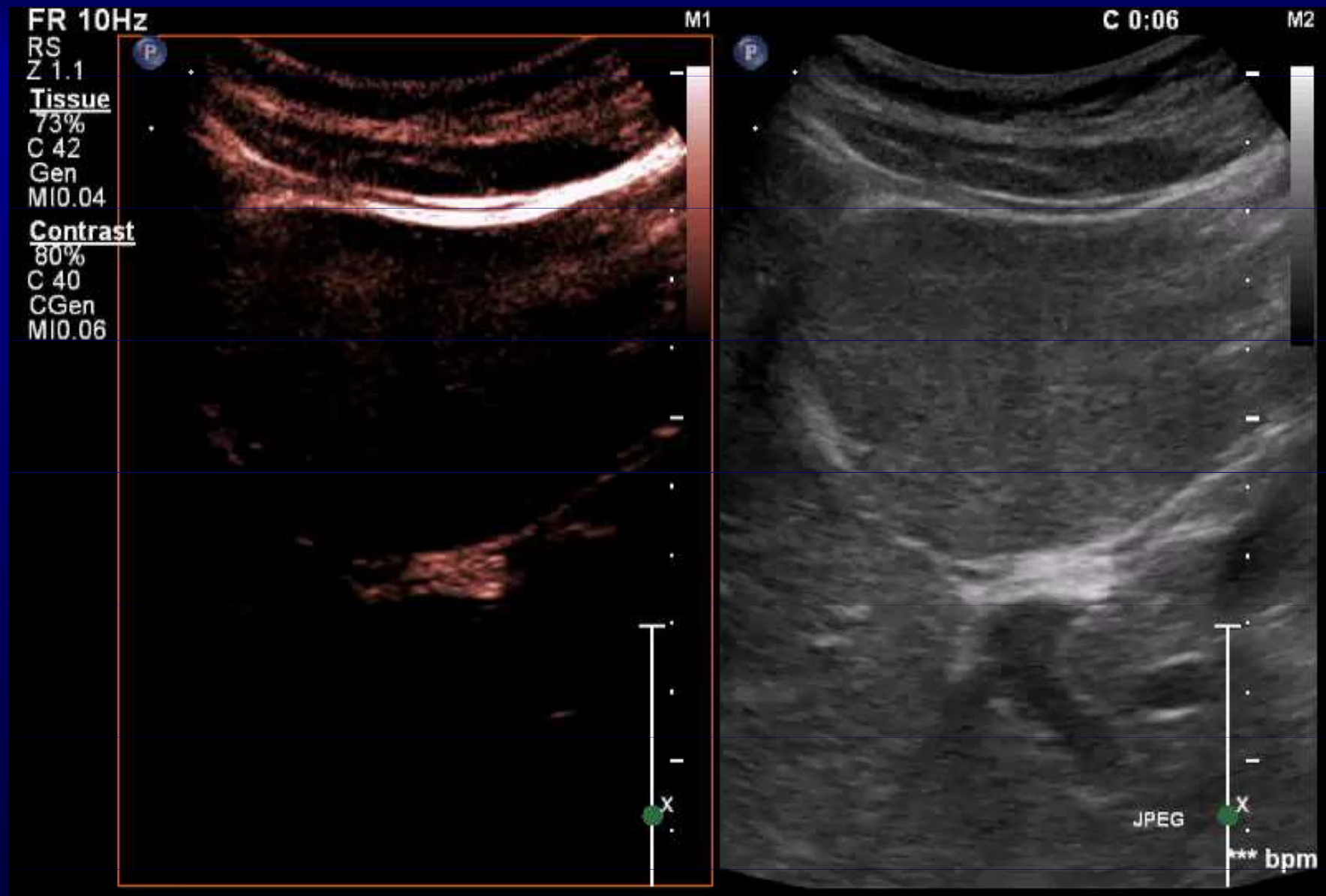


CEUS (příklad)

Mladá žena, ložisko v levém laloku jater

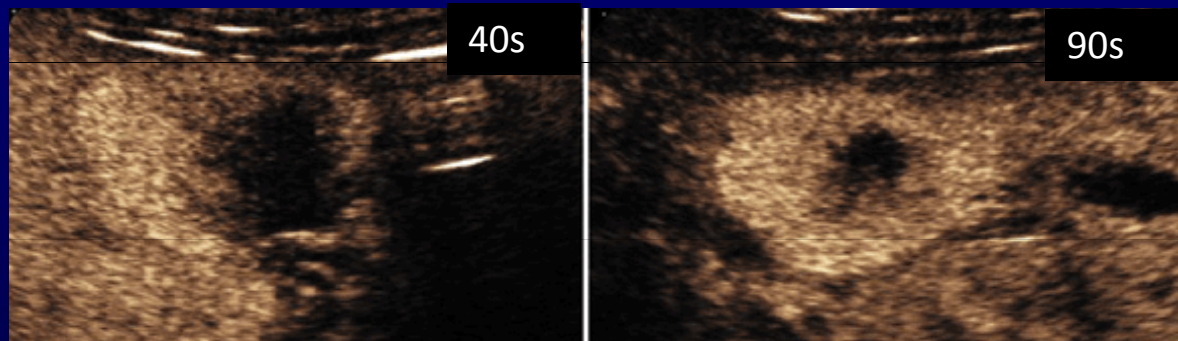
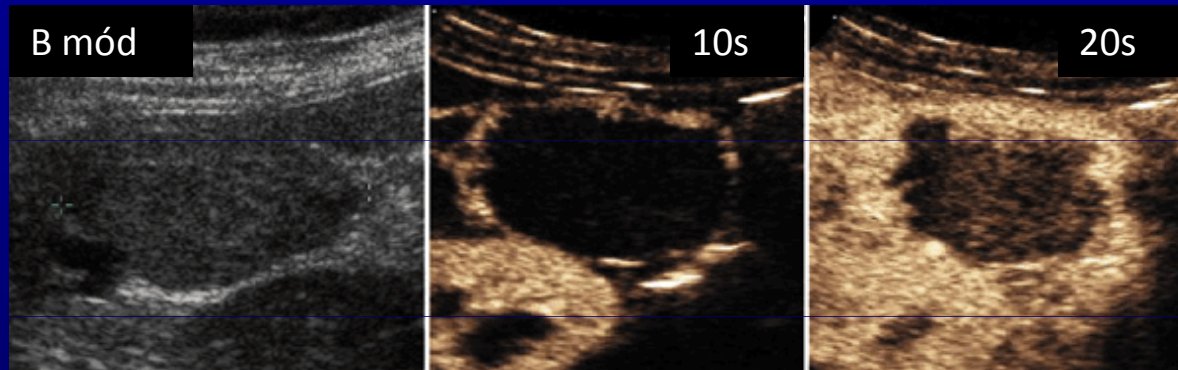


CEUS (příklad)



Fokální nodulární hyperplazie – nezhoubný útvar

CEUS jater

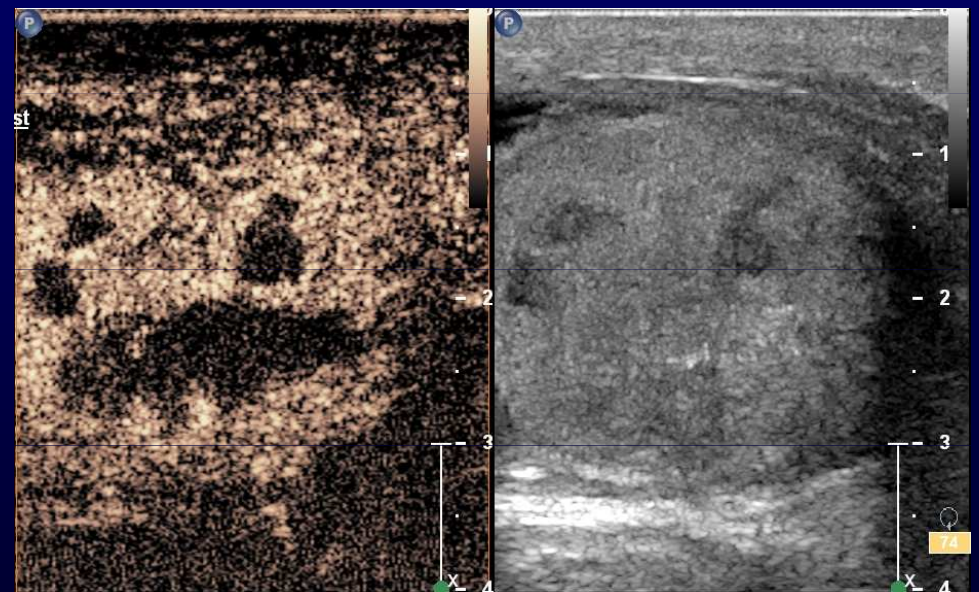
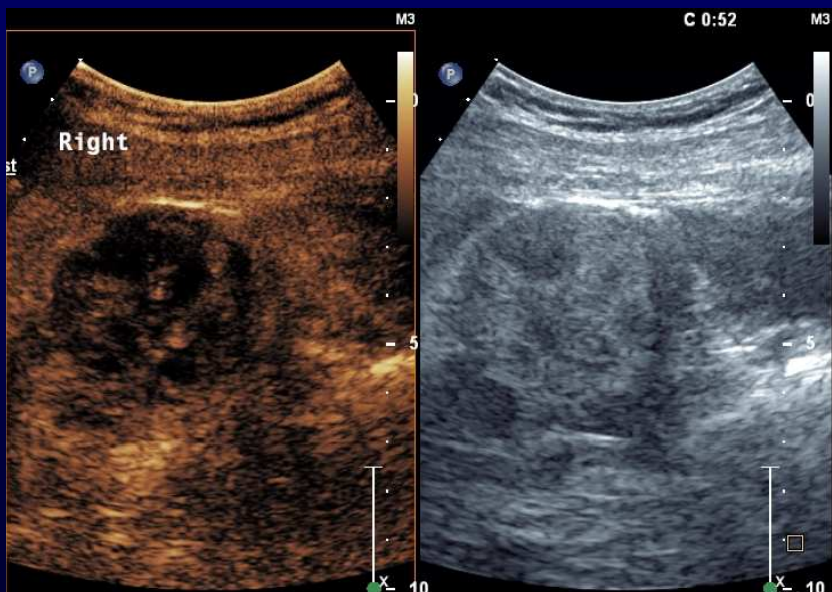


Hemangiom

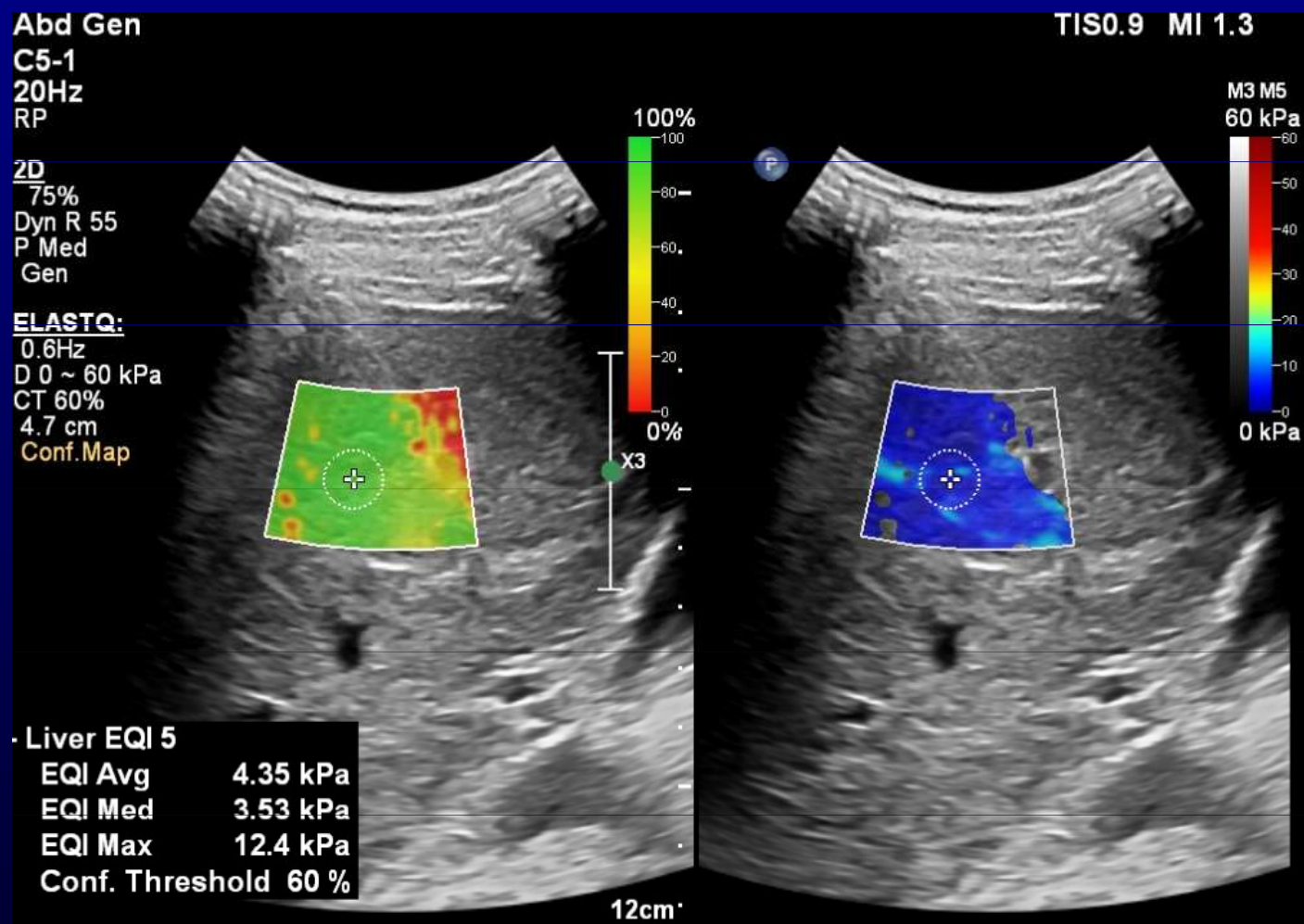
Type	Class Name	Arterial Phase (20-25 s)	Portal Phase (45-90 s)	Late Phase (> 100 s)
BENIGN	Hemangioma			
	FNH			
MALIGNANT	HCC			
	Metastasis			

Další využití CEUS

- Ledviny – ložiska
- Revmatologie – odlišení tekutiny od zesílené výstelky v kloubu
- Prsa – ložiska
- Ložiska měkkých tkání
- (Prostata, varlata, lymfatické uzliny,...)



UZ elastografie



Definice

- (UZ) **elastografie** je souborem různých UZ metod, které zobrazují elastické vlastnosti tkání

Základy

- Všechny elastografické metody měří pohyb tkání vyvolaný deformací
- K vyvolání deformace je třeba působit na tkáň silou
- Podle působící síly lze rozdělit metody na
 - **Statické** (tlak sondy, pohyby tkání)
 - **Dynamické** (speciální UZ vlna)

Druhy elastografií

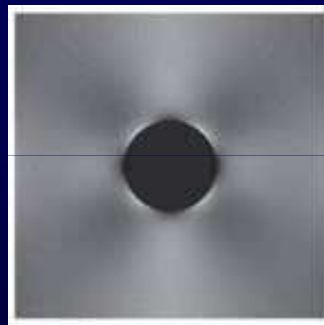
- Podle toho, co zobrazují:
 - Pnutí tkání - Strain elastography (SE)
 - Propagace příčných vln – Shear-Wave Elastography (SWE)
 - Lokální hodnota rychlosti - Transient Elastography (TE), Point Shear-wave Elastography (pSWE)
 - Mapa rychlostí příčných vln – 2D/3D Shear-Wave elastography (2D/3D SWE)
- Výsledkem je barevný obraz - **elastogram** nebo **lokální měření rychlosti**

Strain elastografie

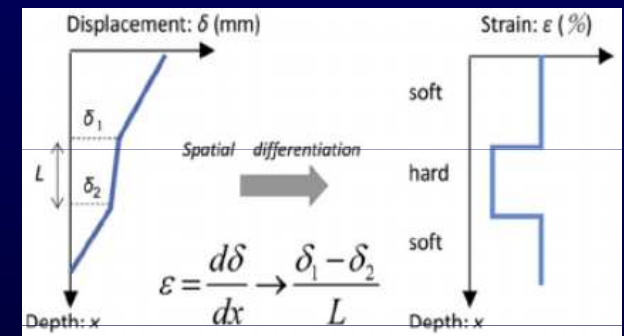
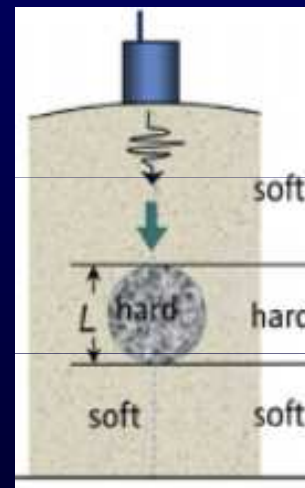
- Komprese tkání
 - Aktivně - rytmickým tlakem sondy
 - Pasivně - vnitřní pulzace (cévy, srdce, dýchání, svalové kontrakce)
- UZ přístroj porovnává sekvence obrazů a vypočítá rozdíl polohy jednotlivých ech
- Zahrnutý pouze **axiální posuny**, ne laterální
- Každý posun se převede do obrazu pnutí – **lokální gradienty posunu**



displacement image
(posun klesá s hloubkou)



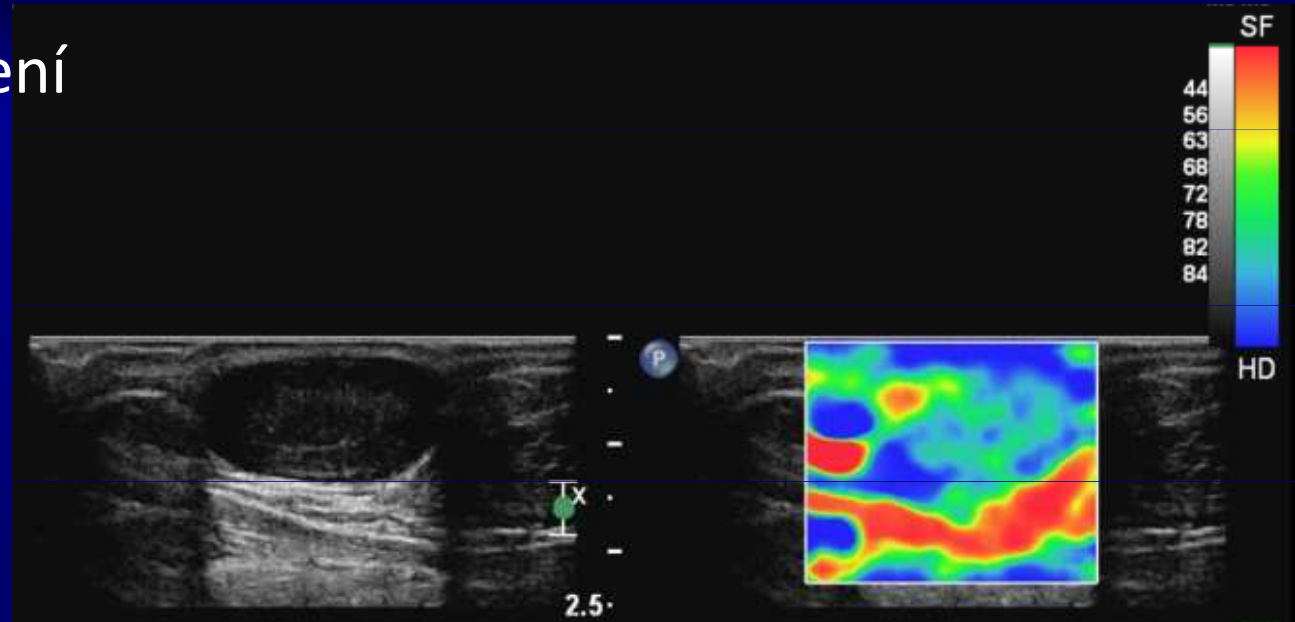
strain image
(stejný útvar)



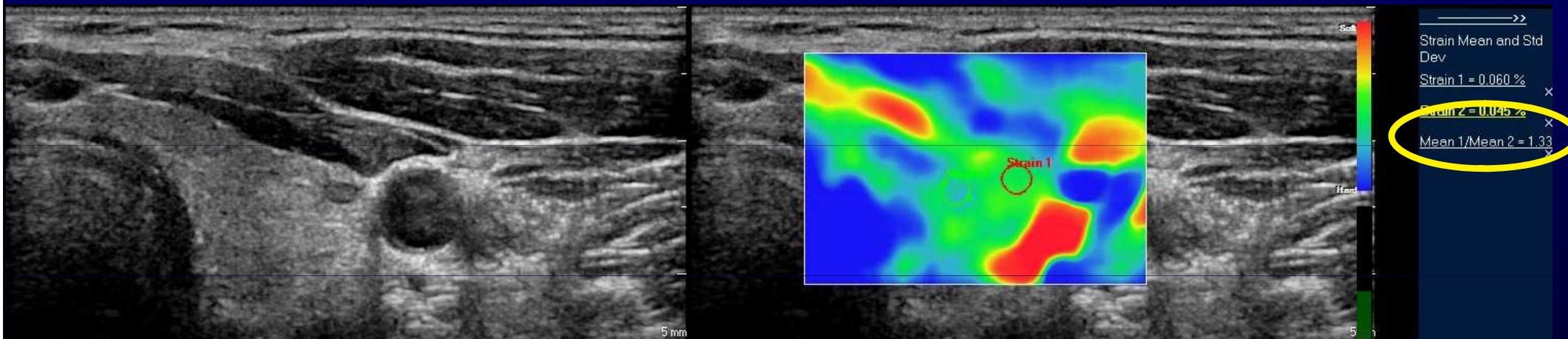
WFUMB guidelines and recommendations for clinical use of ultrasound elastography: Part 1: basic principles and terminology

Strain elastografie

- Kvalitativní hodnocení



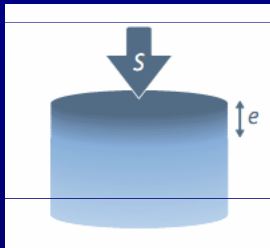
- Semikvantitativní
 - Poměr pnutí (strain ratio) mezi lézí a referenční tkání



Shear-wave elastografie

- Tuhost tkání obecně vyjadřuje

Youngův modul pružnosti (jednotka - Pa)



$$E = \frac{S}{e}$$

poměr mezi aplikovaným tlakem (S) a vyvolaným pnutím e

- tužší tkáně mají vyšší Youngův modul než měkké

Type of soft tissue		Young's Modulus (E in kPa)	Density (kg/m ³)
Breast	Normal fat	18-24	1000 +/- 8% ~water
	Normal glandular	28-66	
	Fibrous tissue	96-244	
	Carcinoma	22-560	
Prostate	Normal anterior	55-63	
	Normal posterior	62-71	
	BPH	36-41	
	Carcinoma	96-241	
Liver	Normal	0.4-6	
	Cirrhosis	15-100	

Shear-wave elastografie

- Při vhodném UZ vlnění lze generovat nejen podélné ale i **příčné vlny** (shear waves)
- **Příčné vlny**
 - vznikají jako odezva elastického odporu tkáně na vibrace s nízkou frekvencí
 - zdrojem vibrací jsou pulzy akustického tlaku vytvořené fokusovaným UZ paprskem (Acoustic Radiation Force)
 - jsou mnohem pomalejší (1 až 10m/s) než podélné tlakové vlny (cca 1500m/s)
 - Tuhost a rychlost šíření příčného vlnění mají jednoduchý vztah:

$$E = 3\rho c^2$$

E ... tuhost [Pa]

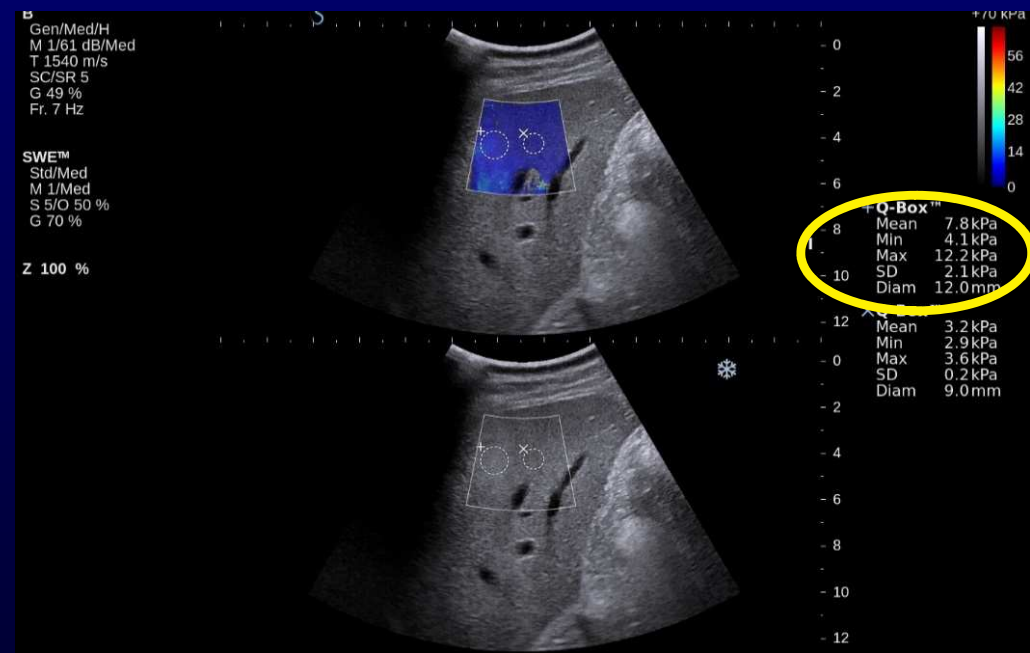
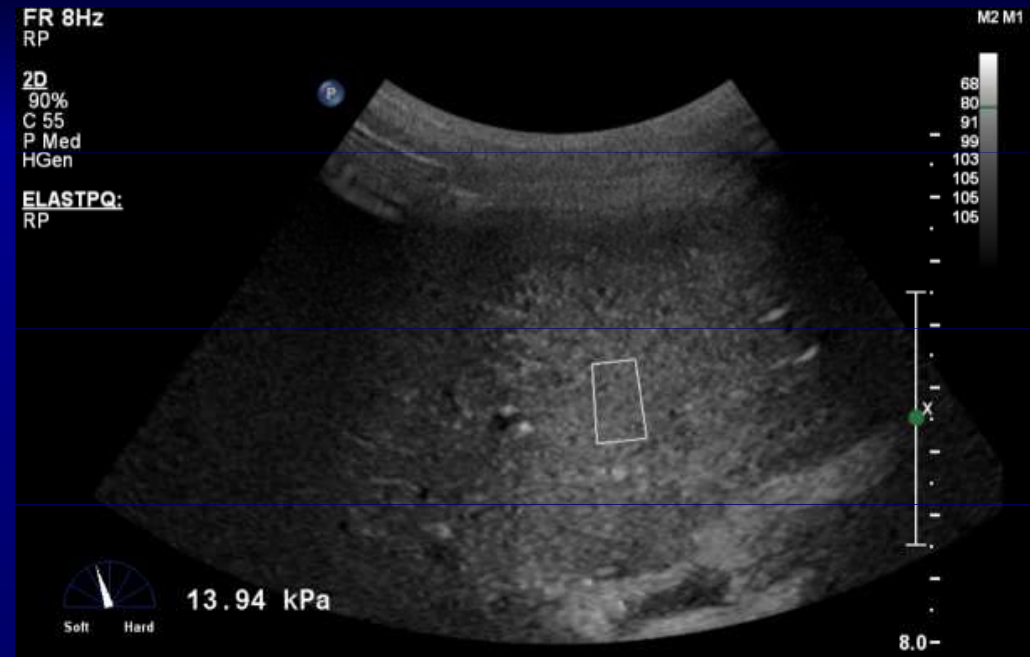
ρ ... hustota prostředí [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

c ... rychlost šíření vlny [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]

- Rychlost šíření vlny se určí podle rozdílu v časech, kdy došlo k posunu tkání v různých místech

Shear wave elastografie

- Jednobodová – pSWE
 - Výstupem je jen měření rychlosti/tuhosti
- 2D SWE
 - Výstupem je ultrazvukový B-obraz překrytý barevnou mapou.
 - Každému bodu tkáně je přiřazena barva, která kóduje jeho elastické vlastnosti.



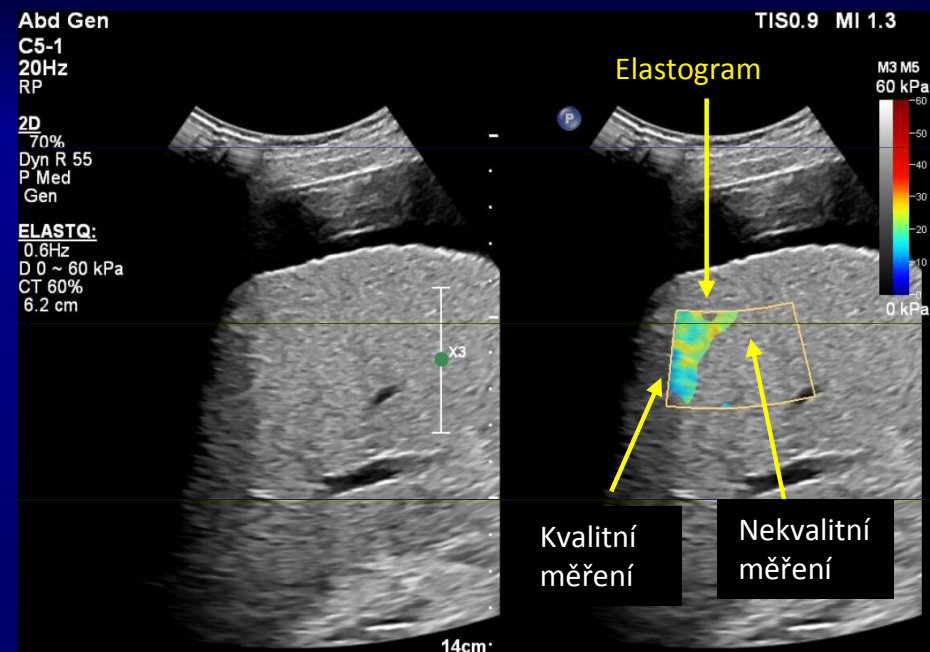
Klinické využití elastografie

- Játra
 - Fibróza
 - (ložiska)
- Slezina
 - Portální hypertenze
- Prsa
- Štítná žláza
- Prostata
- ...

2D SWE

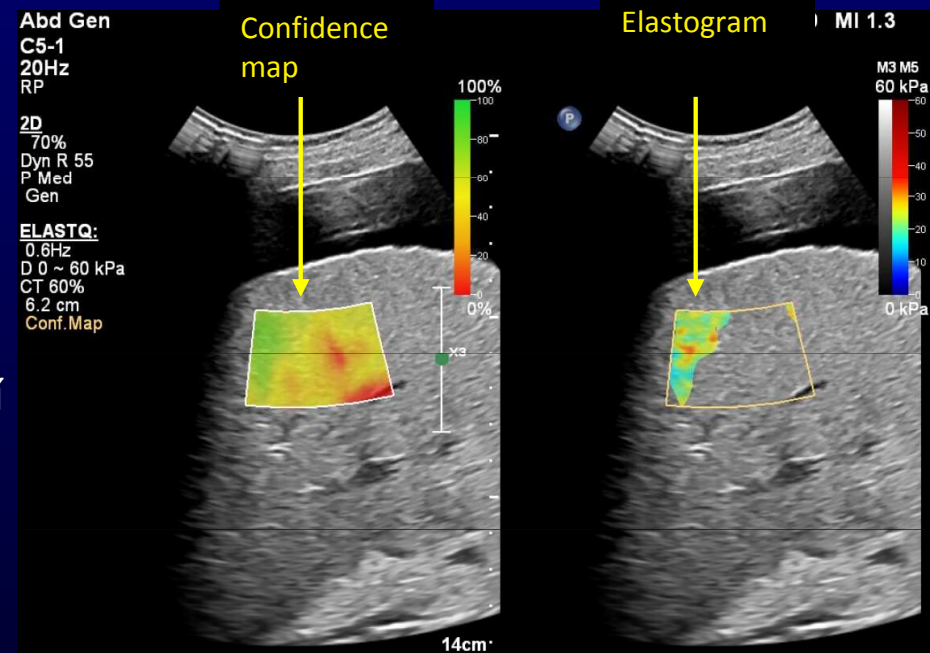
- SWE

- Barevná mapy rychlosti/tuhosti
- Zobrazí jen místa s kvalitním měřením



- Confidence map (na dotykovém panelu)

- mapa kvality měření v %
- Kvalitní zeleně
- Nekvalitní (<60%) červeně
 - tato část se nezobrazí v elastogramu
- Pomáhá ve výběru vhodného obrazu pro použití měření a také v umístění ROI



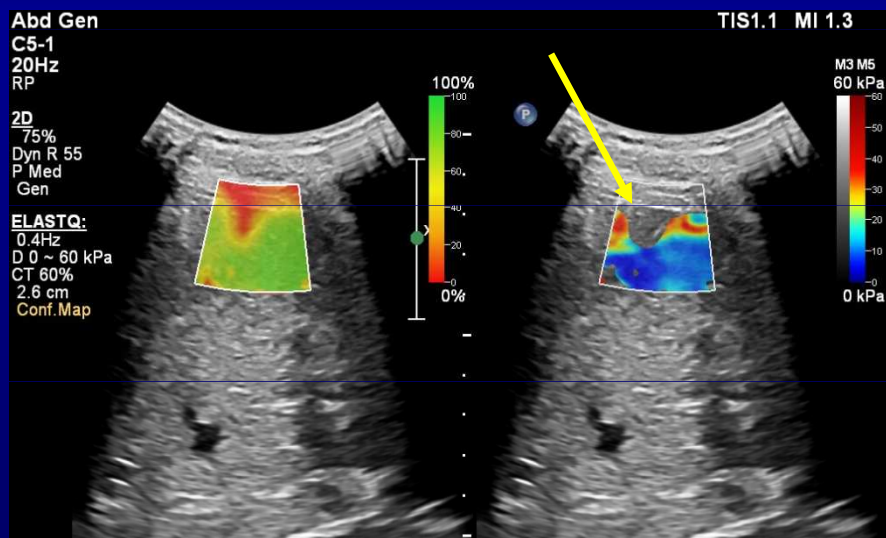
Elastografie jater 2D SWE

- 5 měření, výsledný medián měření a IQR

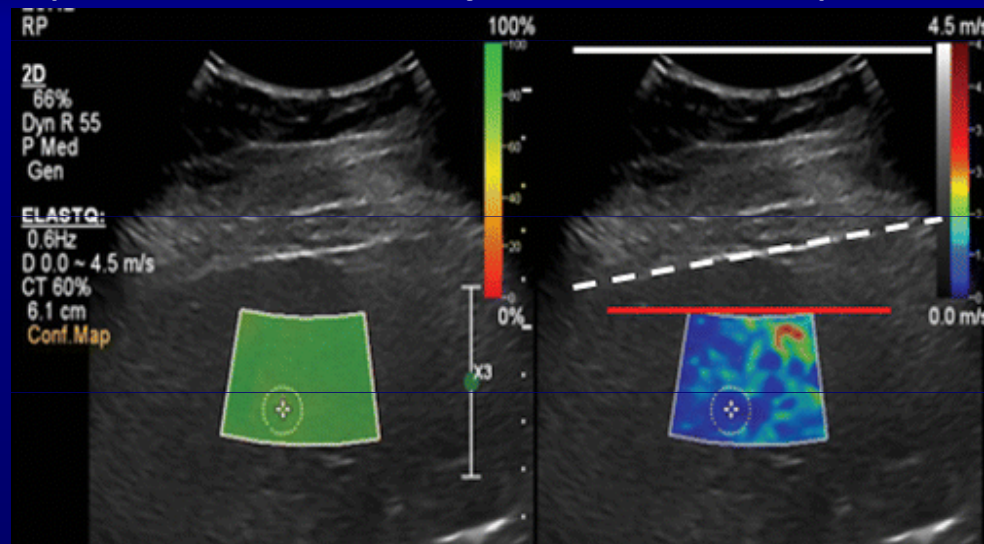


Artefakty

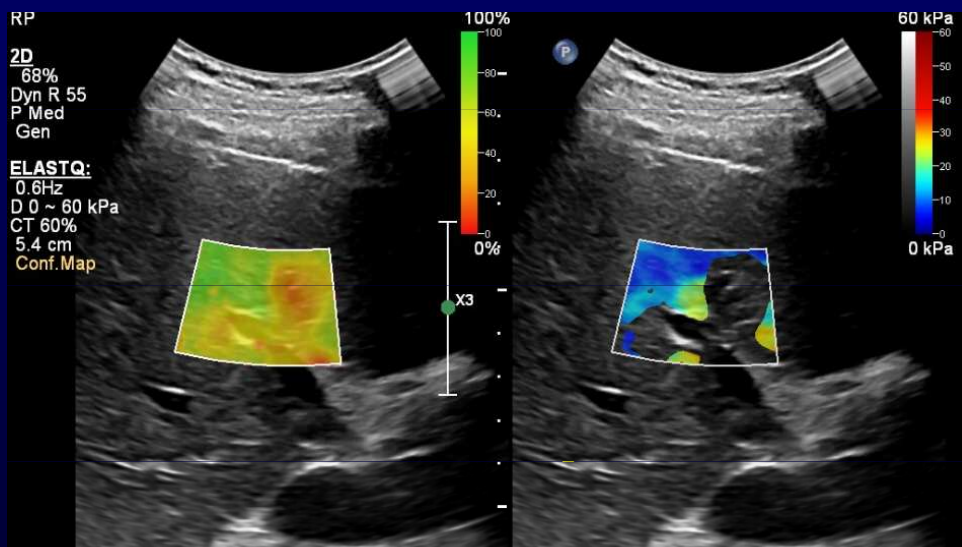
- Kapsula jater – reverberace



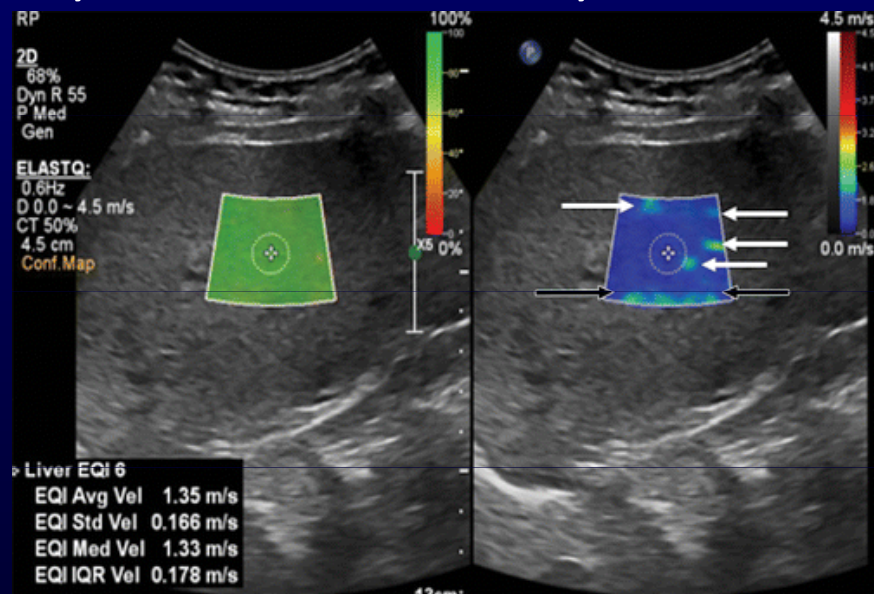
- Kapsula - ARFI musí jít kolmo na kapsulu



- Cévy – v rovině



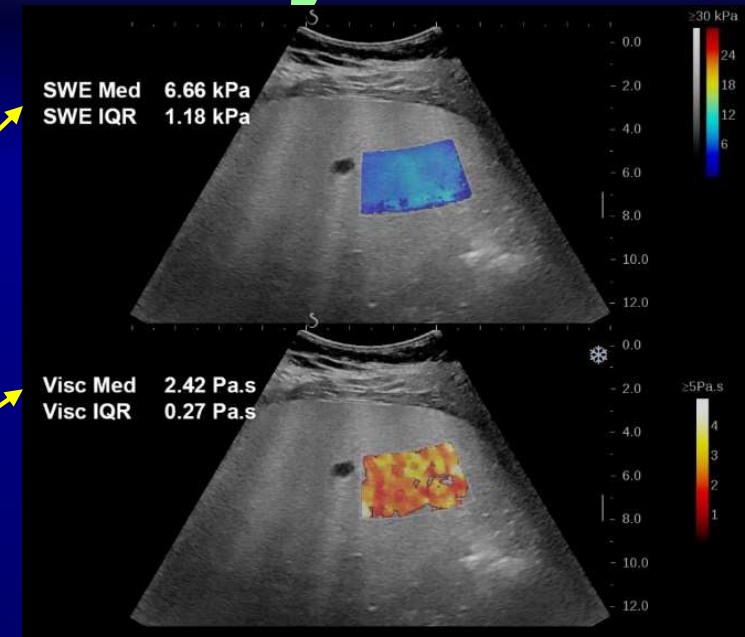
- Cévy - mimo rovinu sondy



Další možnosti v hodnocení jater

- Rychlost SW vln (u všech výrobců)

- Vztah k tuhosti a fibróze
- Přepočet na kPa

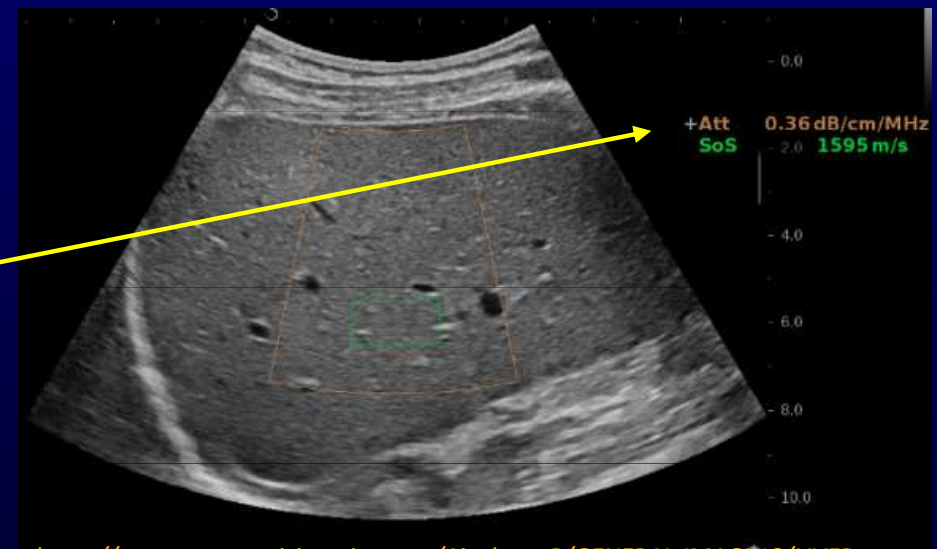


- Disperzní mapa

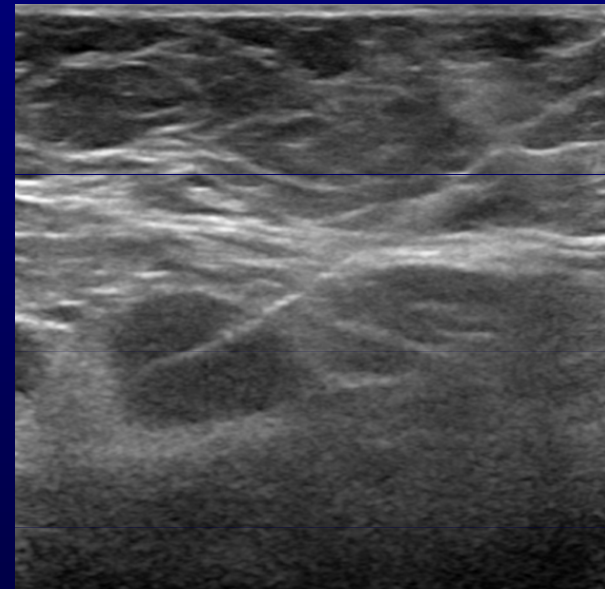
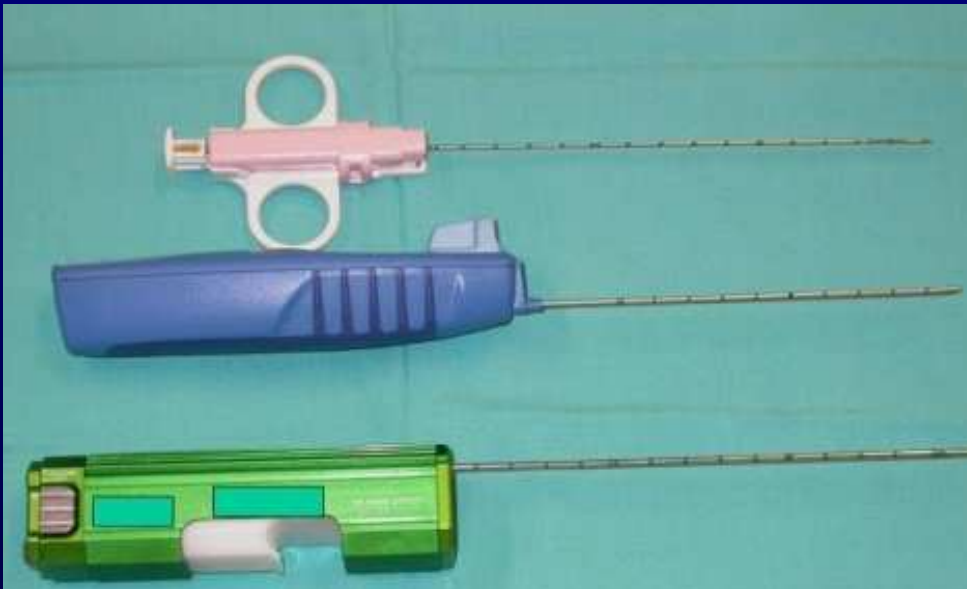
- Se zvyšující se frekvencí roste u viskoznější tkáně více rychlost SW vln
- Odpovídá viskozitě
- Vztah k zánětlivým změnám

- Attenuace (dB/cm/Hz)

- Útlum signálu
- Kvantifikace steatózy



Intervence pod UZ

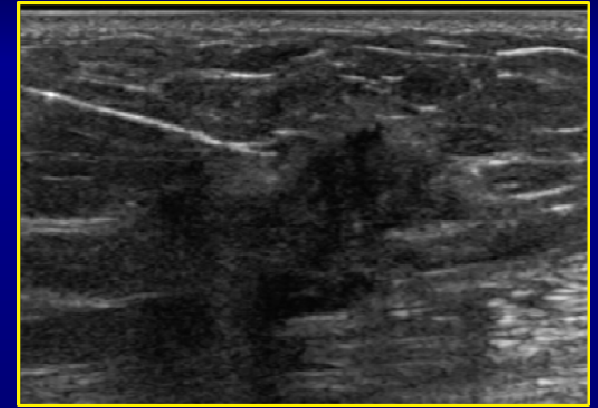
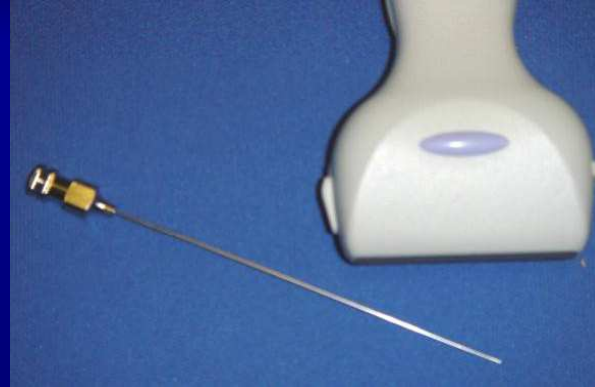


Co lze provádět pod UZ kontrolou

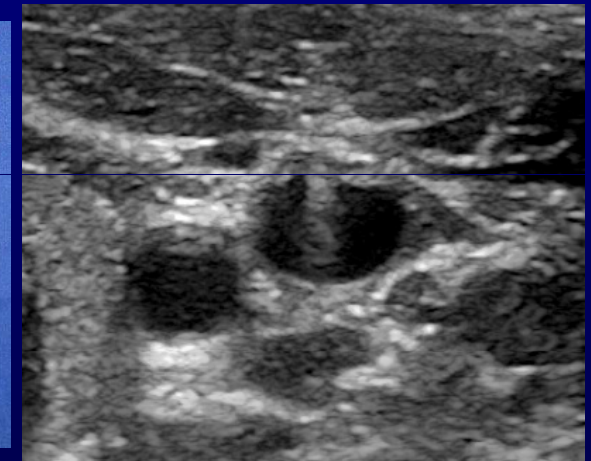
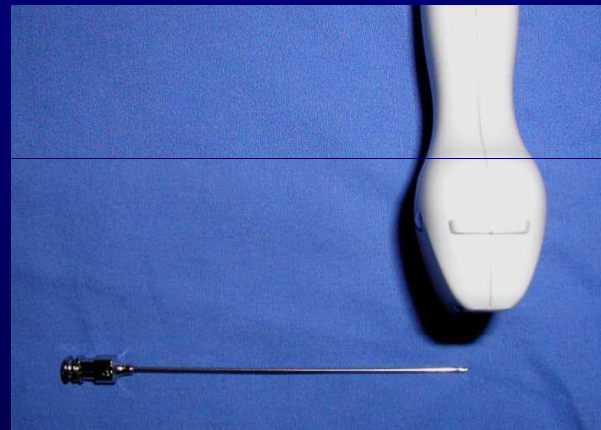
- Punkce
- Biopsie
- Lokalizace – zavedení lokalizačního drátu/značky
- Drenáže – zavedné drénu
- Instilace léčiv
- Abláční výkony – např. radiofrekvenční ablace tumoru jater

Technika UZ navigace

- Volnou rukou
 - Sklon jehly
 - v rovině sondy



- kolmo na sondu

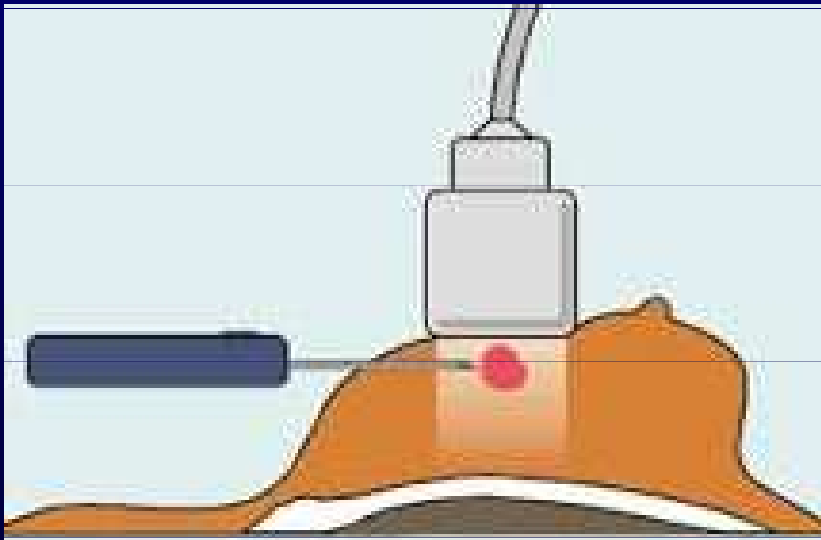


- Bioptické nástavce

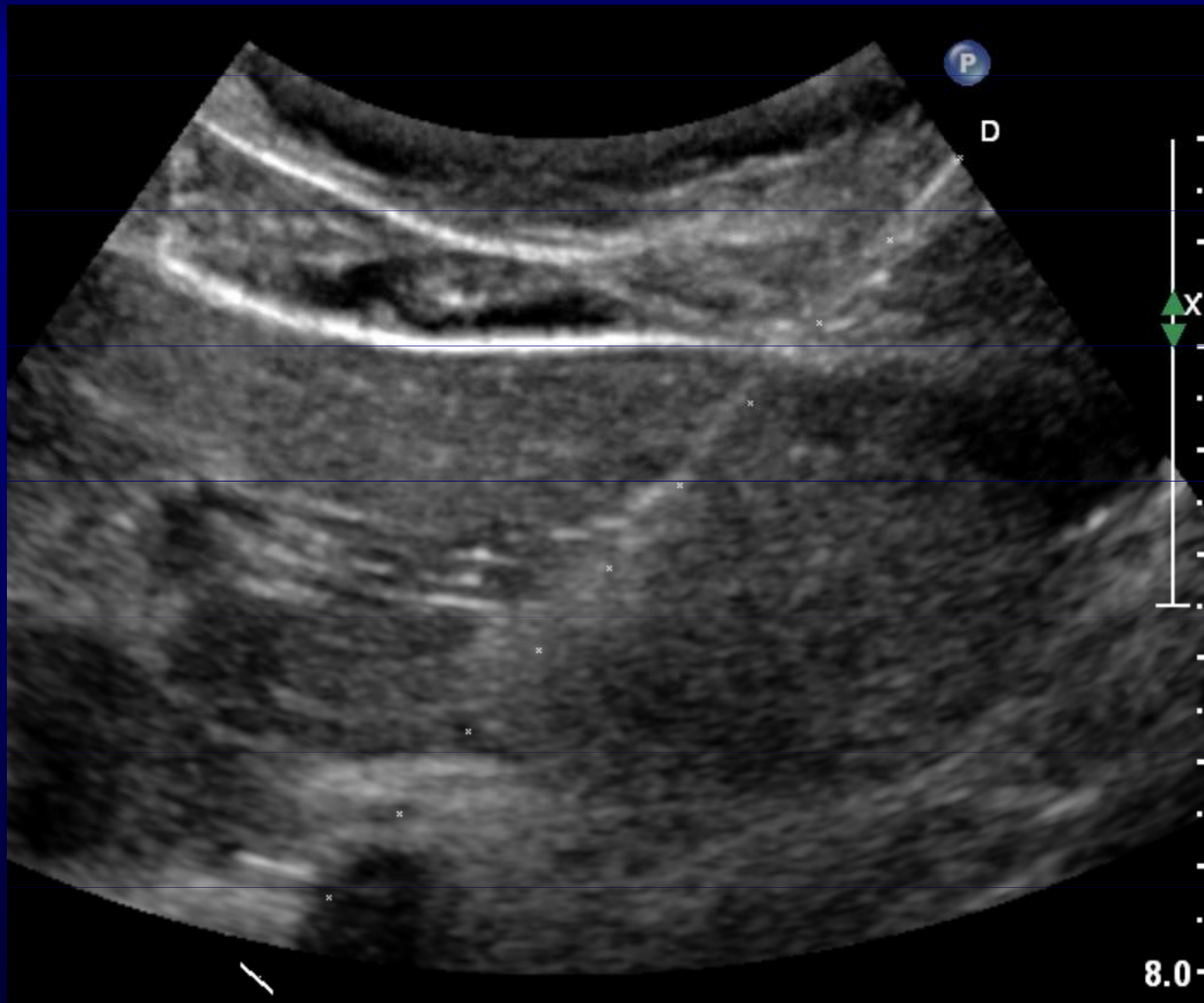


Core biopsie prsu

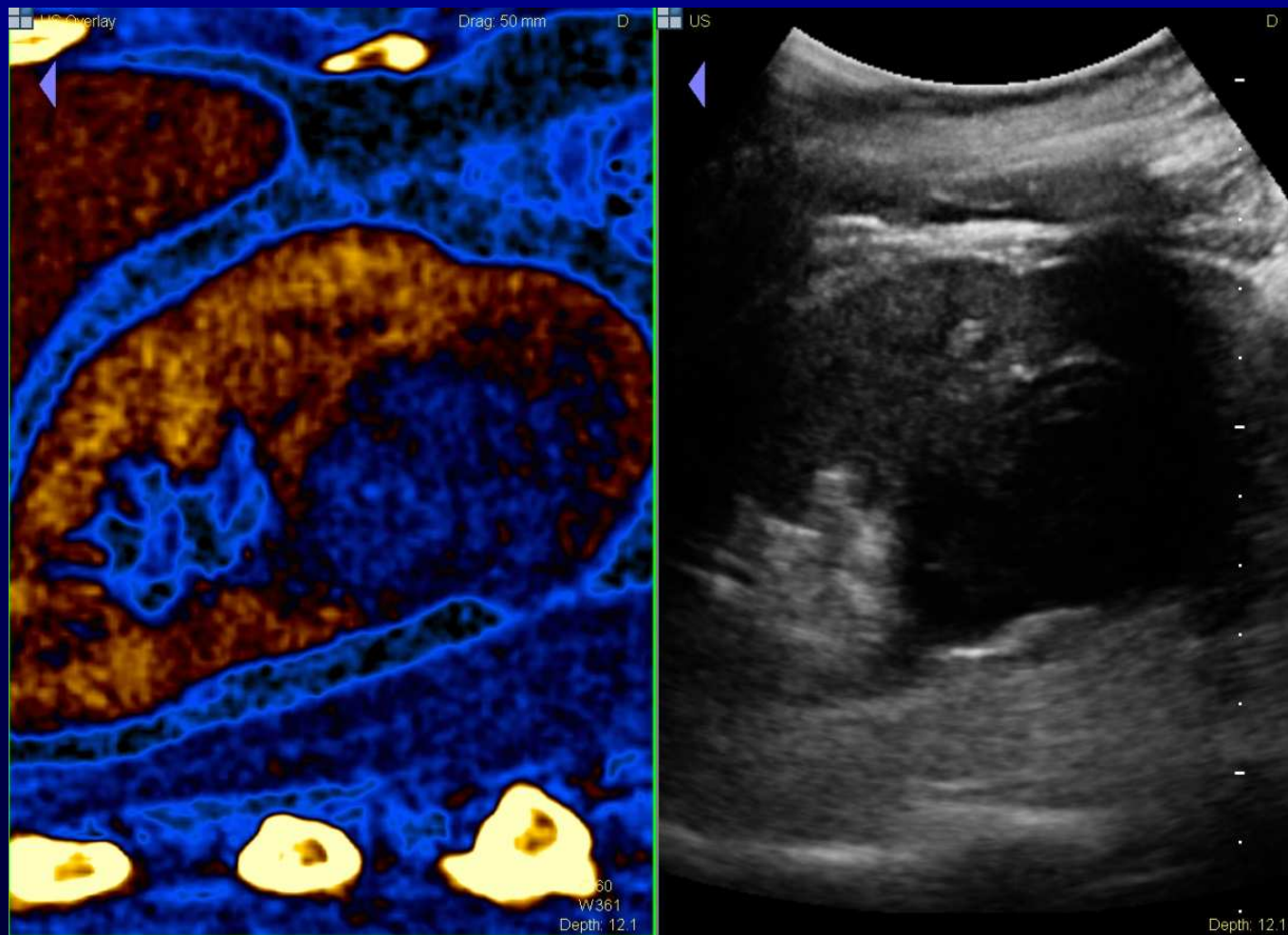
- Nejčastěji 14G jehla
- Technika volnou rukou – v rovině sondy
- Obvykle 2 vzorky



Biopsie jater - guide

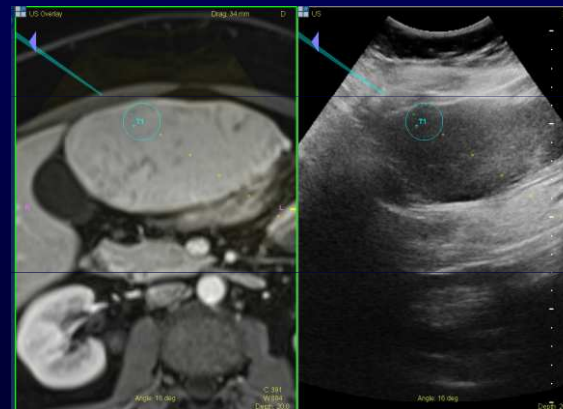


Fúze UZ s další modalitou



Možnosti

- **Fúze** real-time UZ/CEUS zobrazení a předchozího vyšetření (CT, MR, PET/CT, PET/MR)
- **Navigované intervence** pomocí speciálních jehel, které systém dokáže detekovat v prostoru
 - Biopsie
 - Ablace
- **Kombinace** obou metod

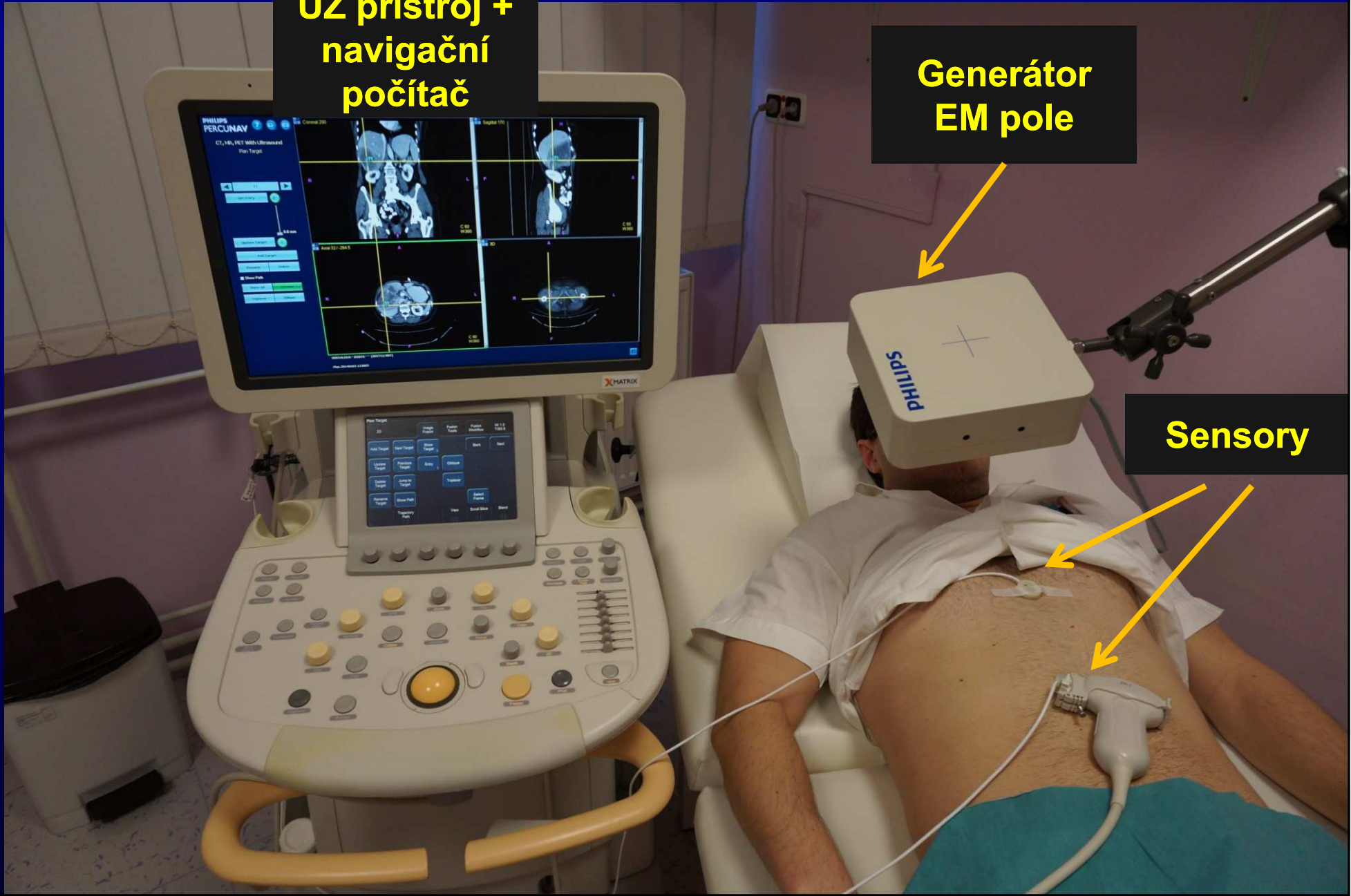


Součásti systému

UZ přístroj +
navigační
počítač

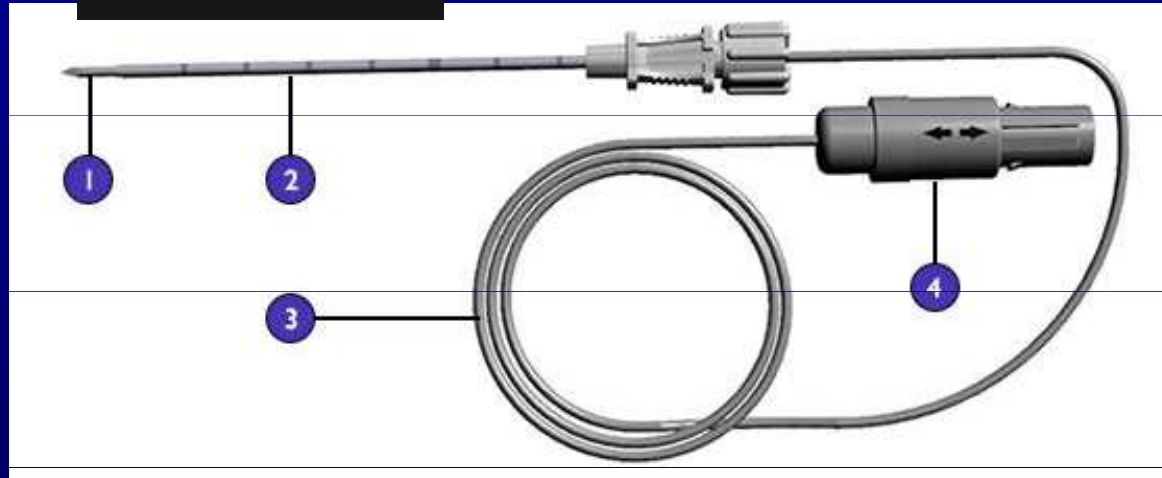
Generátor
EM pole

Sensory

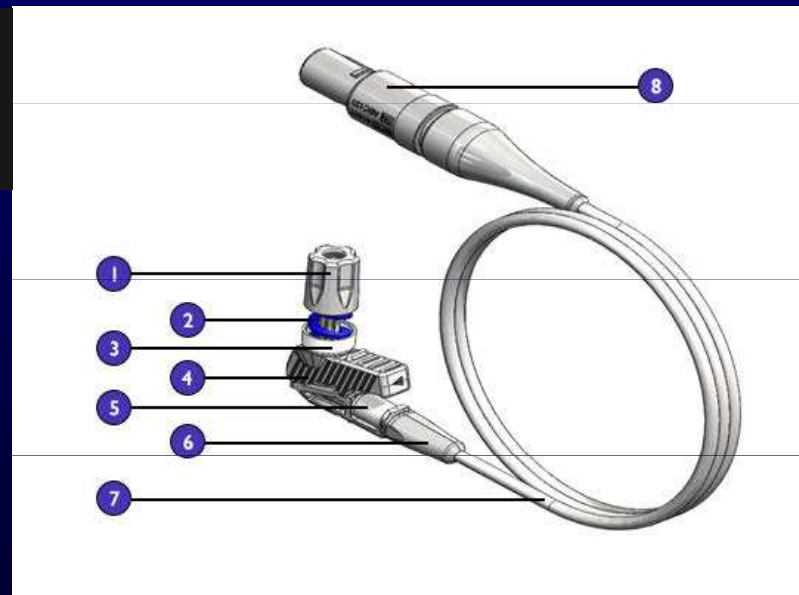


Součásti systému (intervence)

Koaxiální tracker



ANT - Adaptive needle tracker



Nahrání CT/MR do přístroje

Review Exam

Source: PACS, Hard Drive (Used: 25%)

Media: Selected Exams Estimate: 67.6 MB

Review Exam Source: Hard Drive (Used: 25%)

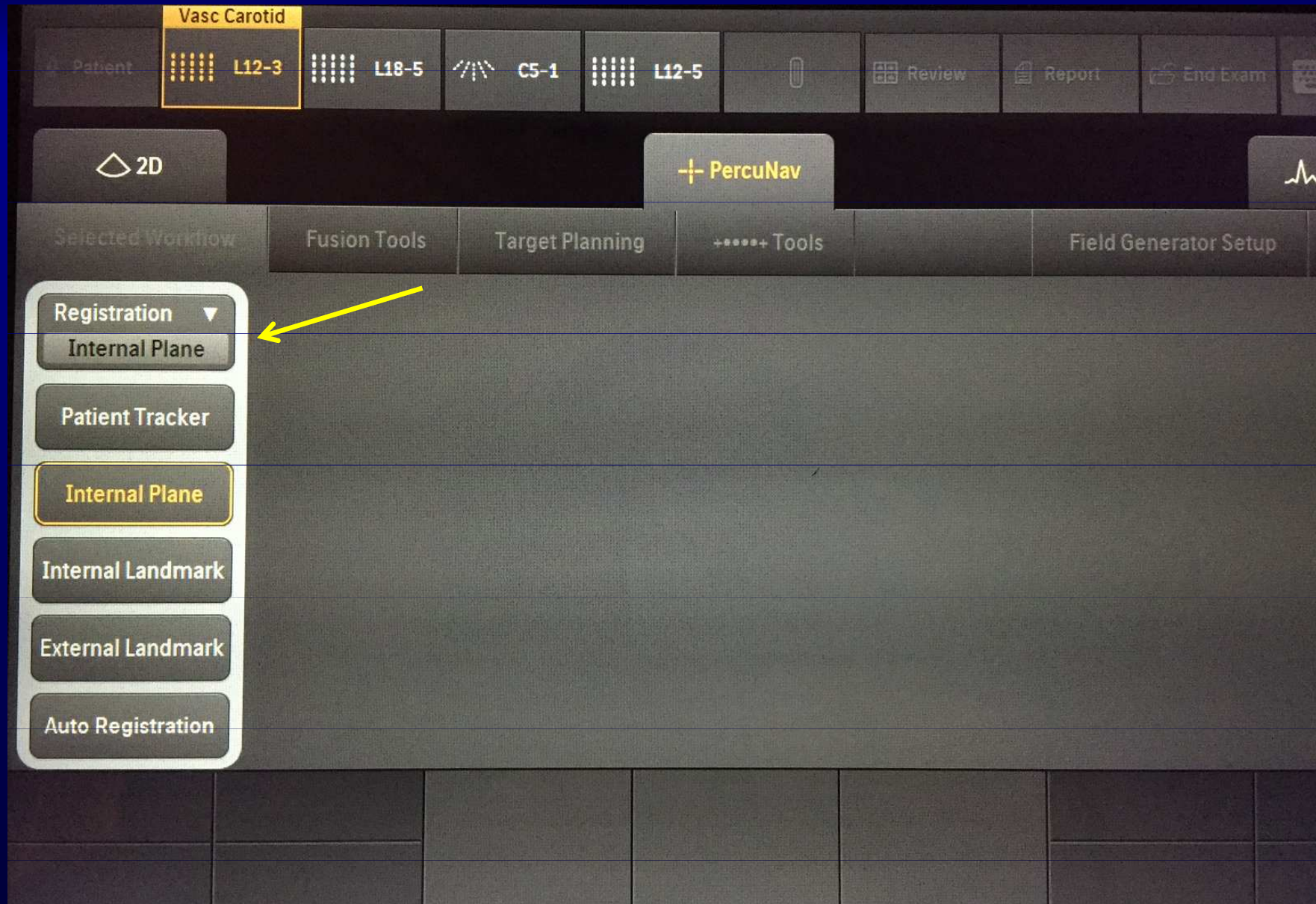
By Patient Name

Patient Name	Patient ID	Accession #	Exam Date/Time	Study Type	Modality	Images	Status	
			30/03/2016 10:00		CT	377	Imported	
<input type="checkbox"/>			30/03/2016 10:00		CT	1	Imported	
<input checked="" type="checkbox"/>		2840074	30/03/2016 09:00	OB	US	41	Ended	
<input checked="" type="checkbox"/>		2635998	29/03/2016 07:49	OB	US	12	Ended	
<input checked="" type="checkbox"/>		2851003	22/03/2016 11:04	None	US	15	Ended	✓
<input checked="" type="checkbox"/>		2825873	21/03/2016 09:56	OB	US	14	Ended	✓
<input checked="" type="checkbox"/>		2847707	16/03/2016 14:04	OB	US	7	Ended	✓
<input checked="" type="checkbox"/>		2848533	16/03/2016 13:46	OB	US	7	Ended	✓
<input checked="" type="checkbox"/>		2819635	16/03/2016 13:09	None	US	17	Ended	✓
<input checked="" type="checkbox"/>		2848496	16/03/2016 11:18	OB	US	22	Ended	✓
<input checked="" type="checkbox"/>		2830237	16/03/2016 10:51	OB	US	27	Ended	✓
<input checked="" type="checkbox"/>		2805706	16/03/2016 09:37	OB	US	31	Ended	✓
<input checked="" type="checkbox"/>		2829375	15/03/2016 13:09	OB	US	15	Ended	✓
<input checked="" type="checkbox"/>		2847720	14/03/2016 11:43	OB	US	13	Ended	✓

Series Count: 2 1.1, Series Count: 57 1.2, Series Count: 56 1.3, Series Count: 56 1.4, Series Count: 62 1.5, Series Count: 42 1.6, Series Count: 41 1.7, Series Count: 59 1.8, Series Count: 1 1.9

Open Unselect All Delete Append Send To... CT Only Fusion Done

Registrace



Registrate

- Registrate pomocí roviny – Internal plane

The screenshot displays the PERCUNAV software interface during a registration procedure. The main window shows a 2D Frozen ultrasound image of a patient's abdomen, with a yellow arrow pointing to a specific anatomical feature. The interface is divided into several panels:

- Left Panel:** Lists instruments (C5_1 (Tracker), Patient Reference) and CT/MR/PET With Ultrasound settings (1. Internal Plane, 2. Guide).
- Top Panel:** Shows patient information (FN Brno, 03/30/2016, 5:40:31PM) and navigation options (L12-3, L18-5, C5-1, L12-5, Review, Report, End Exam).
- Registration Workflow Panel:** Displays the current registration method (Internal Plane) and orientation (Axial). It includes buttons for "Match Plane" (highlighted with a yellow arrow), "Adjust Fusion", "Transducer", "Frame" (1, 2), "Scroll Slice", and "View".
- Right Panel:** Shows "Utilities" and "Blend" settings (Auto-Blend On, Blend Rate Low).

The bottom of the screen shows a depth of 16.0 and a scroll wheel control.

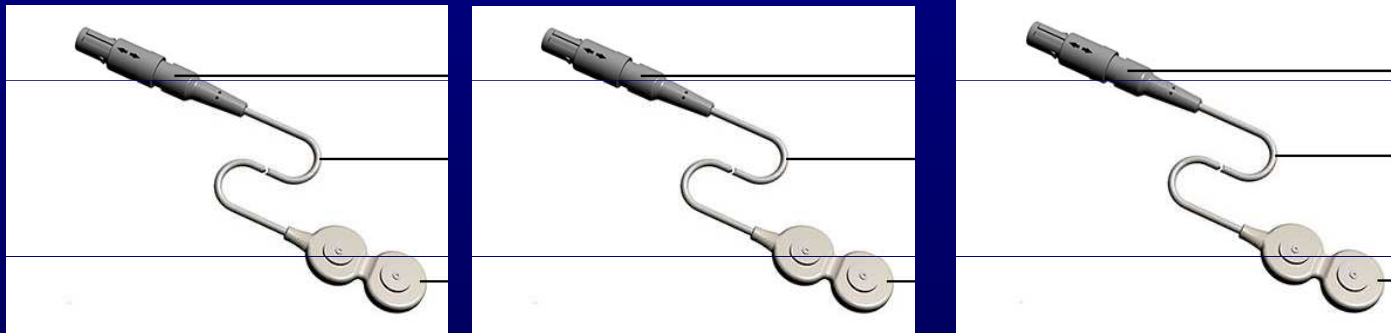
Registrace

- Registrace 3 a více bodů – Internal Landmark



Registrace

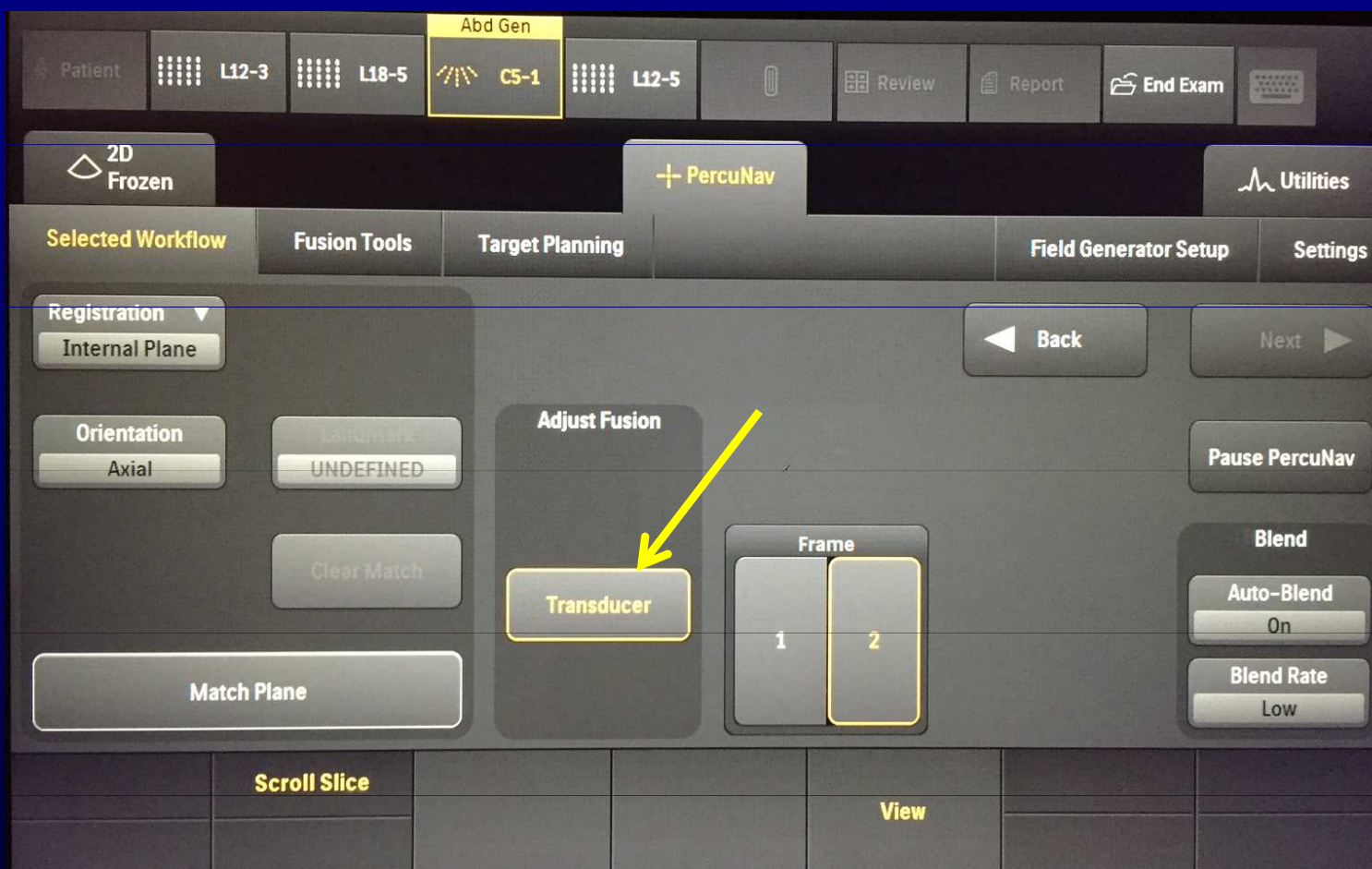
- Registrace automaticky hned po CT (3 trackery) – **Patient tracker**
 - Nutné provedení nového CT těsně před výkonem



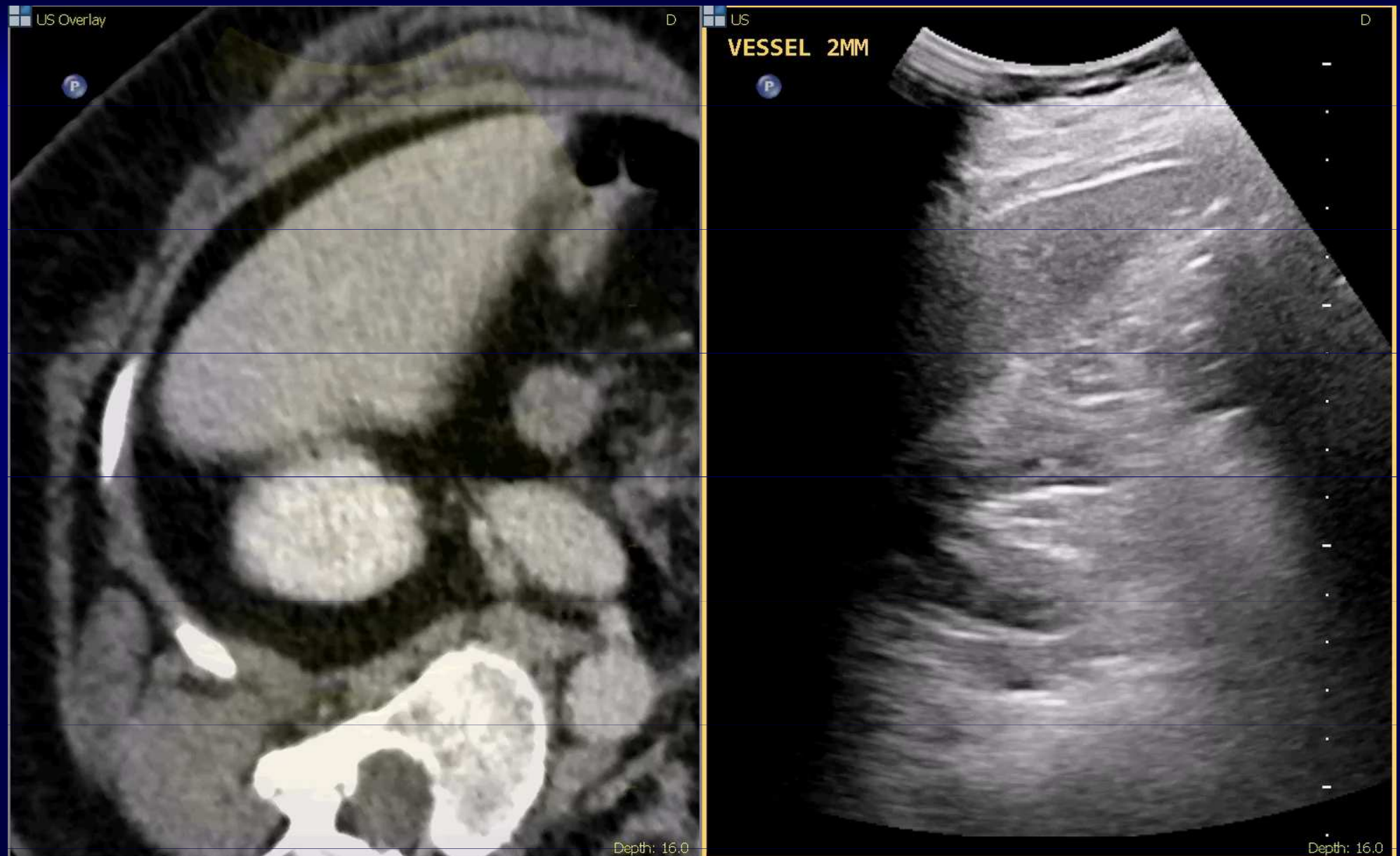
- Registrace automaticky z předchozího CT jater
 - **Vessel based**
 - **Surface**

Registrace - úpravy

- Kontrola a oprava nedokonalé registrace
 - Trackball – posun v dané rovině
 - Rotate – rotace dané roviny
 - Transducer – 3D pohyb pomocí sondy

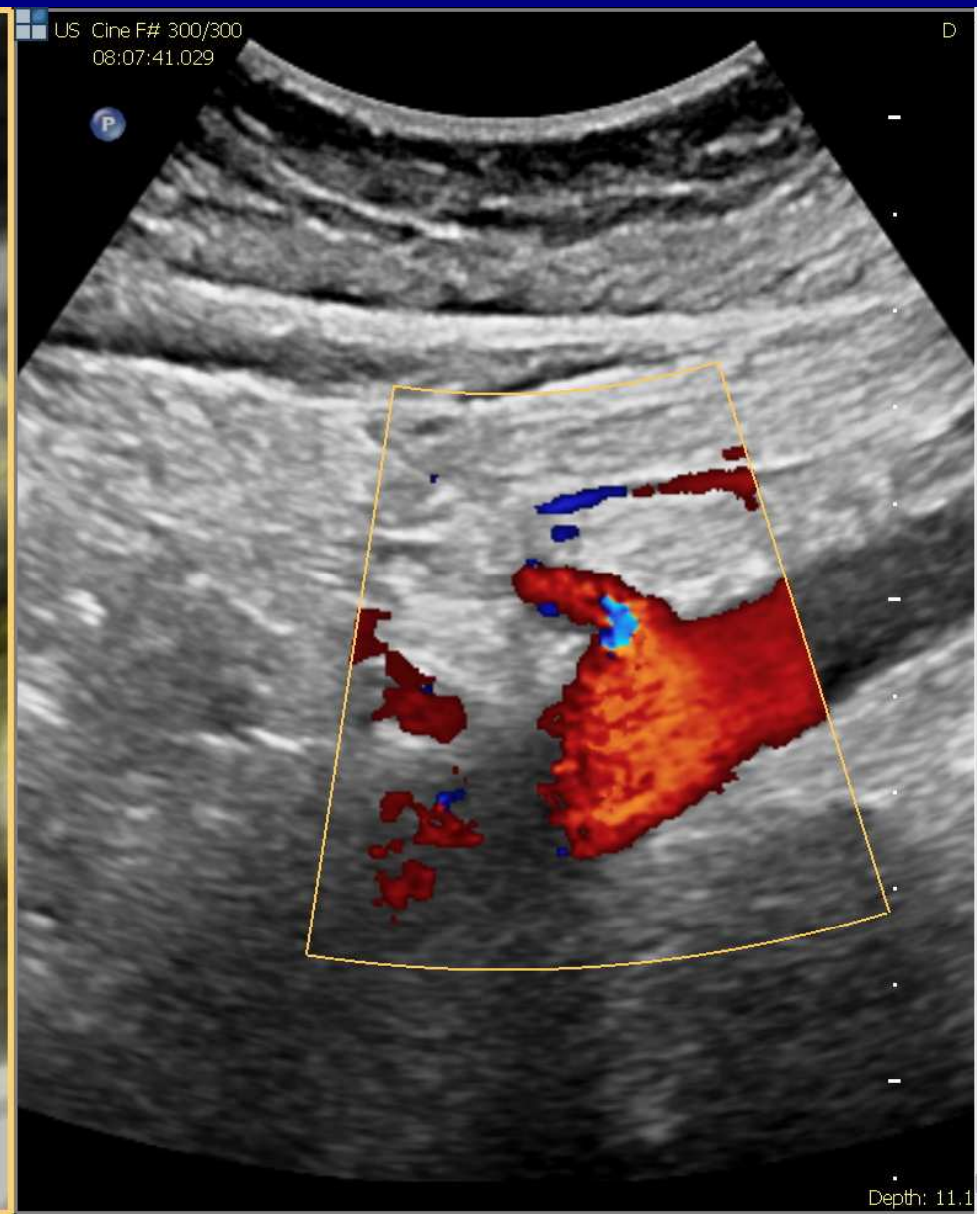
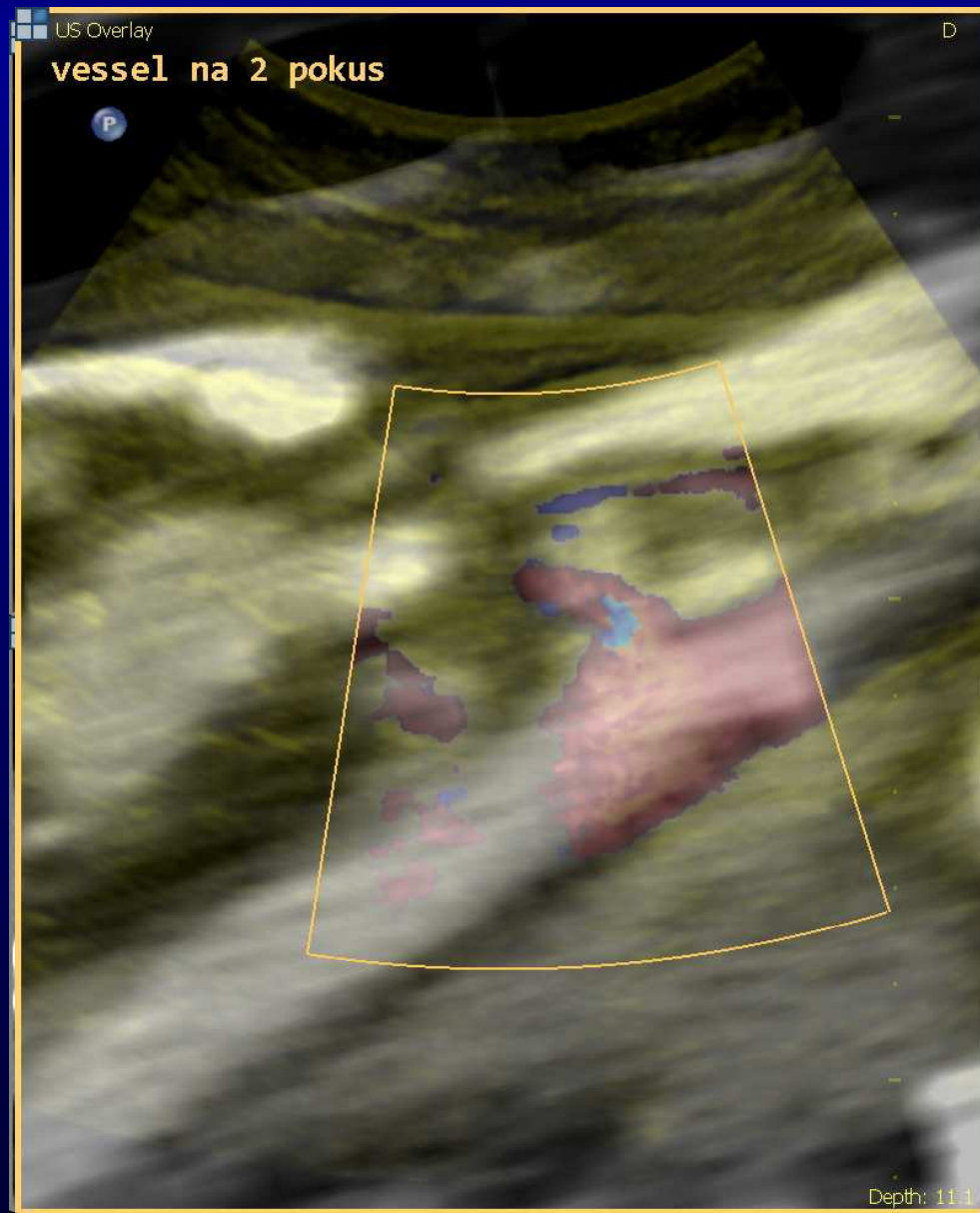


Fúze CT +UZ (video)

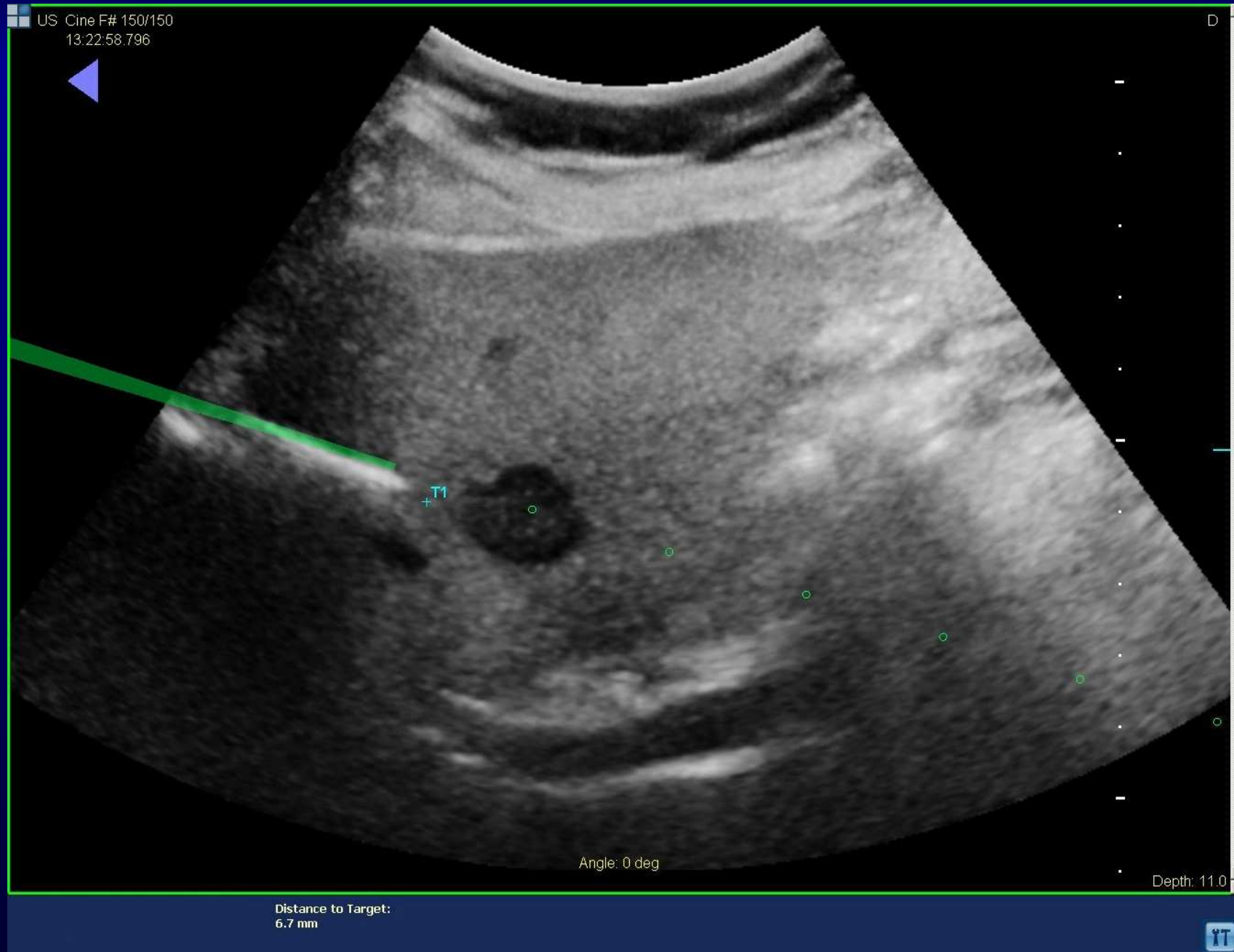


Fúze CT +UZ

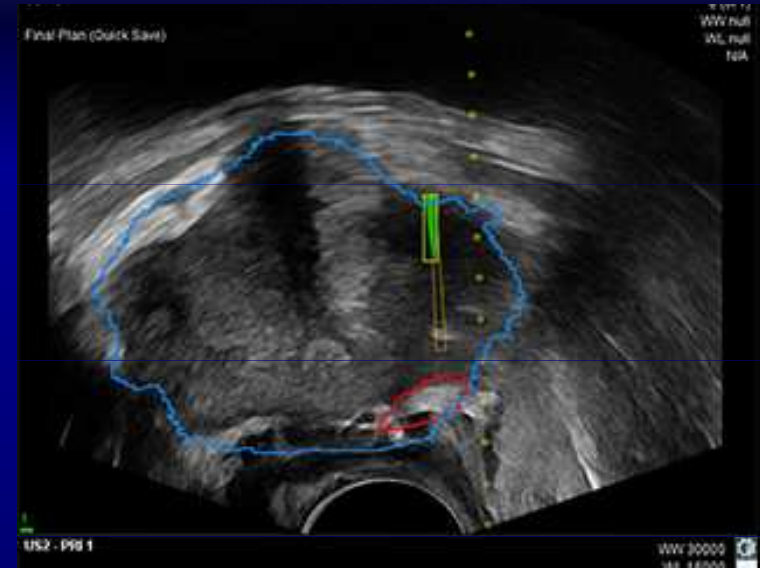
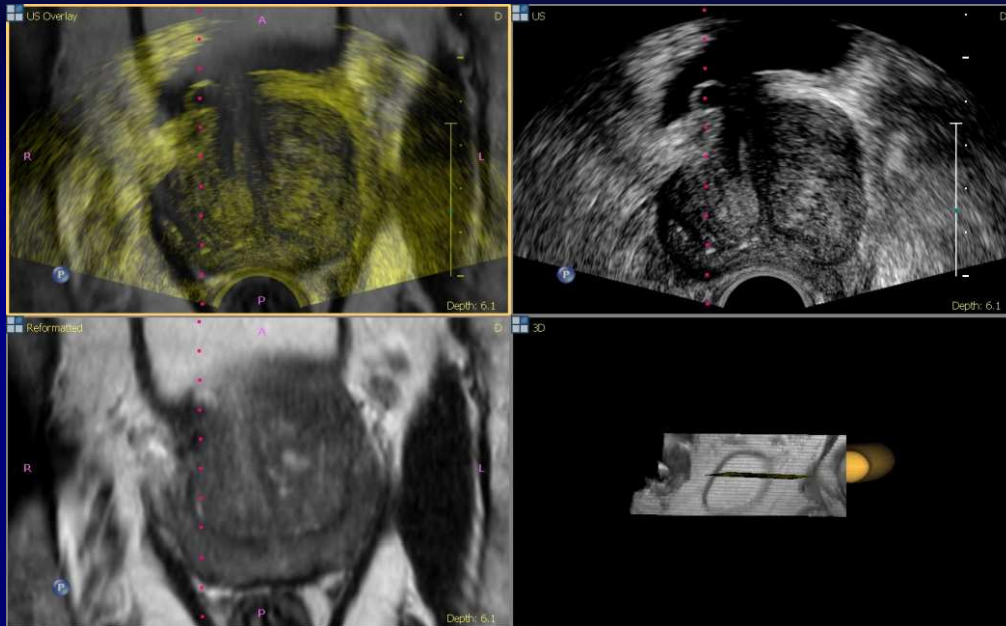
- Vessel



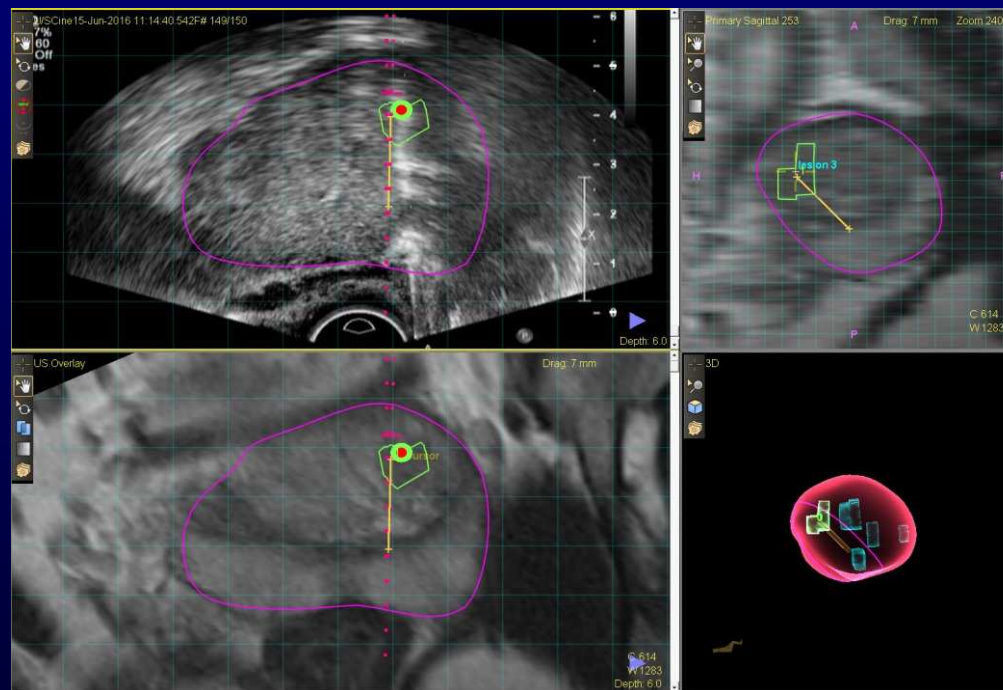
Navigace (bez fúze)



Prostata - fúze MR + UZ



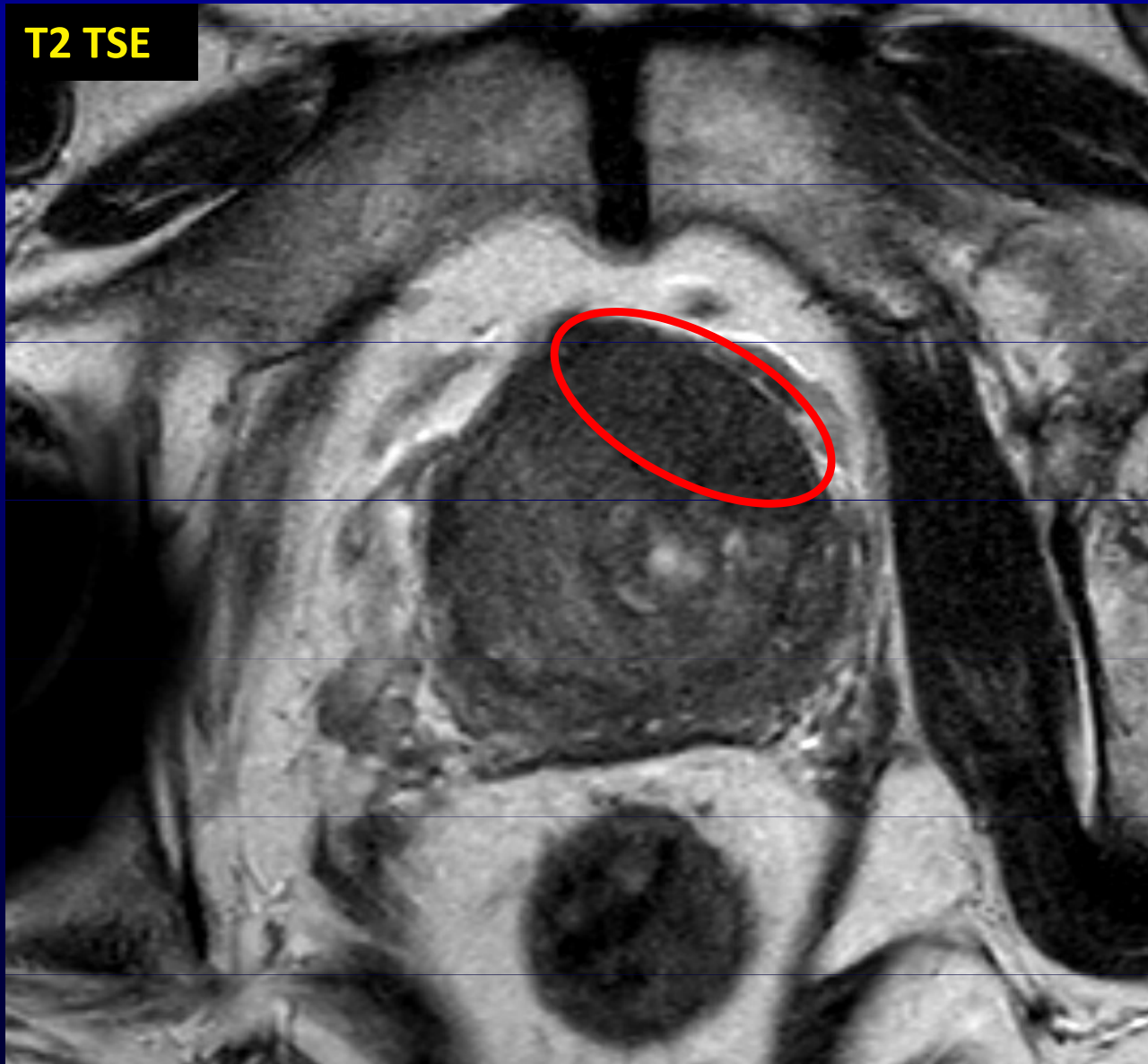
http://dktech.de/?page_id=21



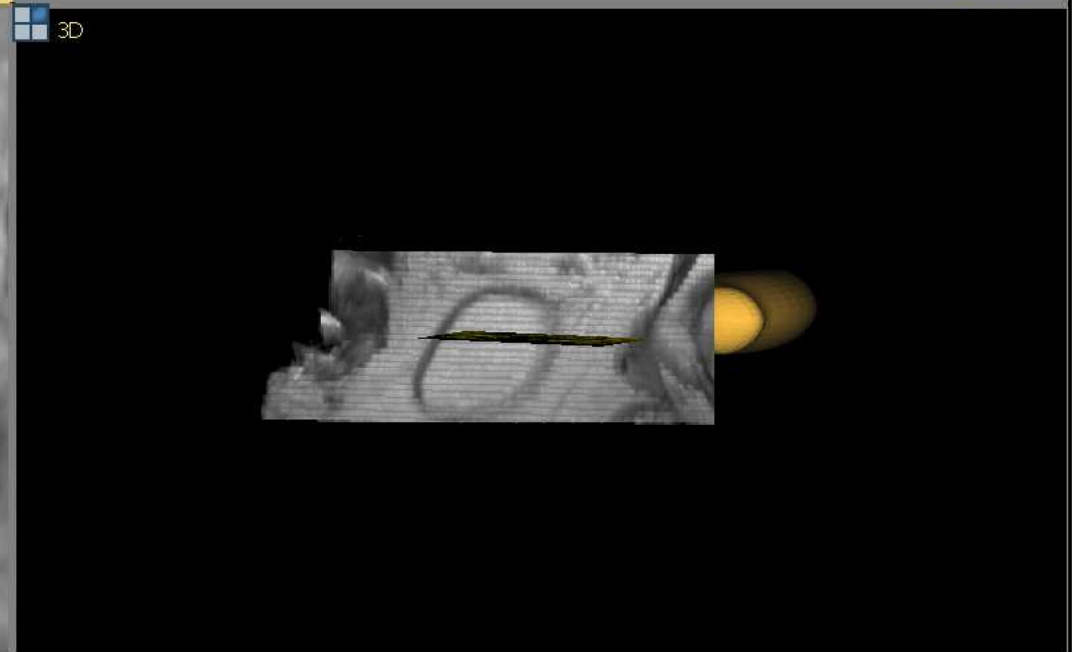
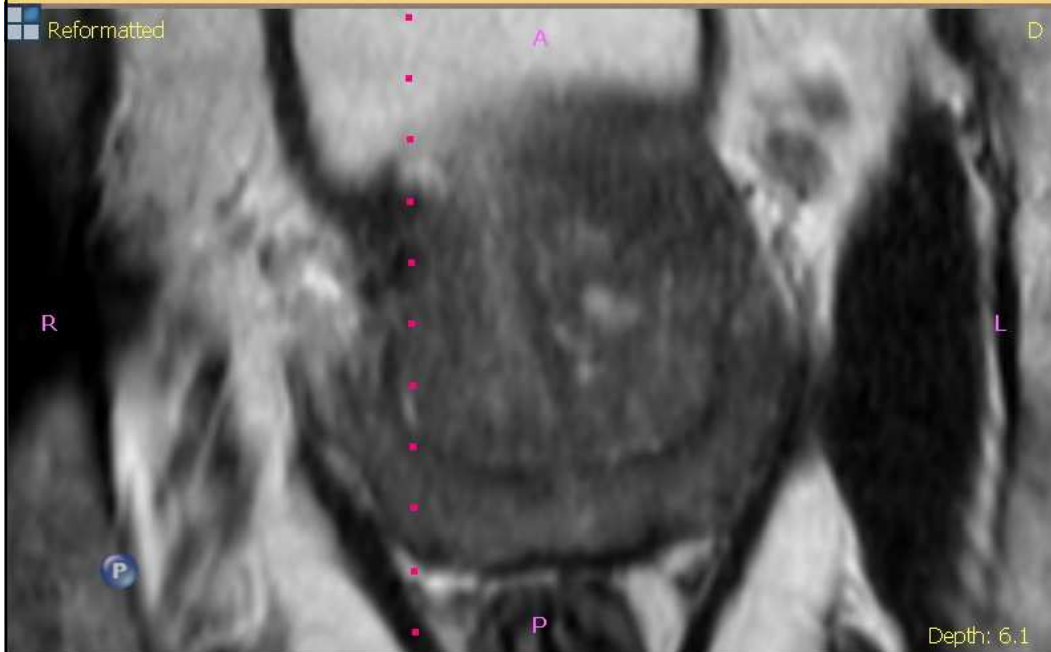
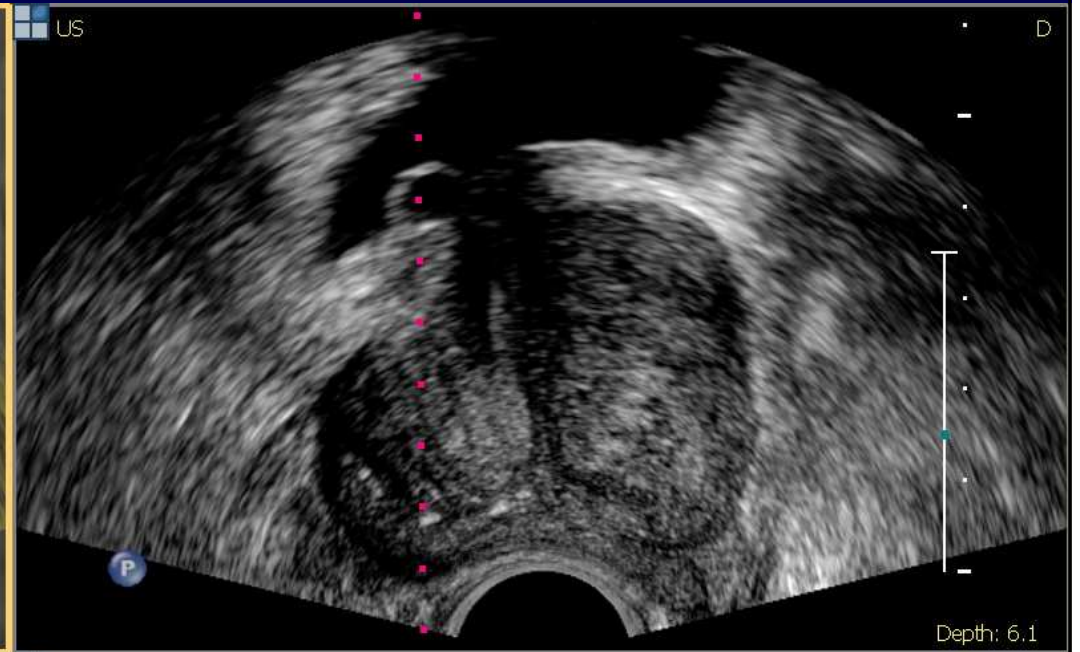
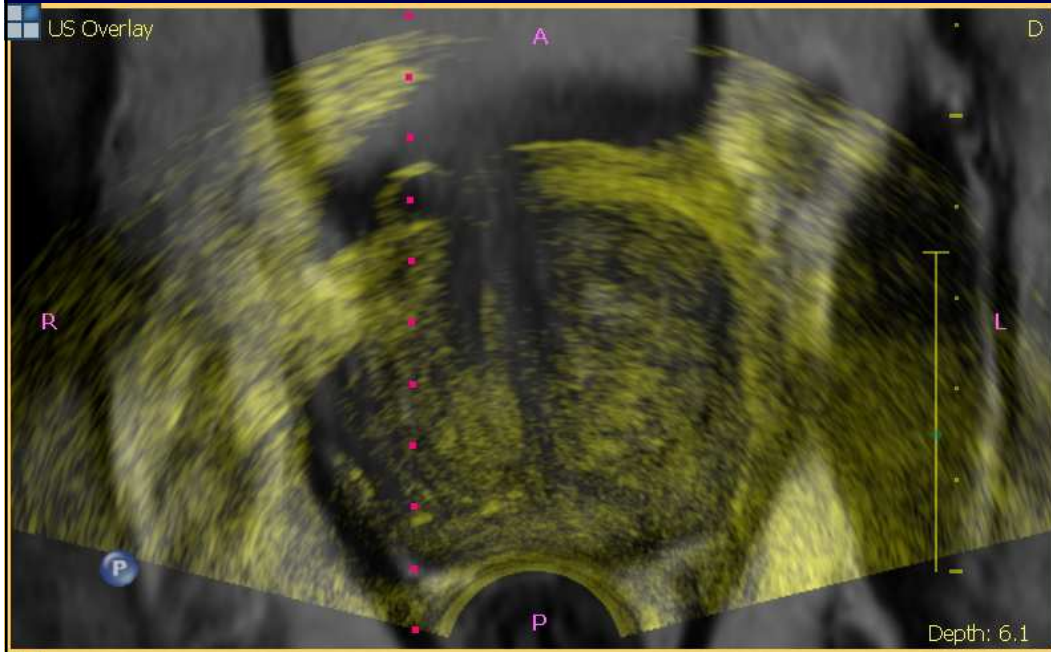
<https://www.urospecialist.com.sg/article/mri-us-fusion-guided-biopsy-of-the-prostate-a-better-way-to-biopsy-the-prostate/>

mpMR prostaty – PIRADS 5

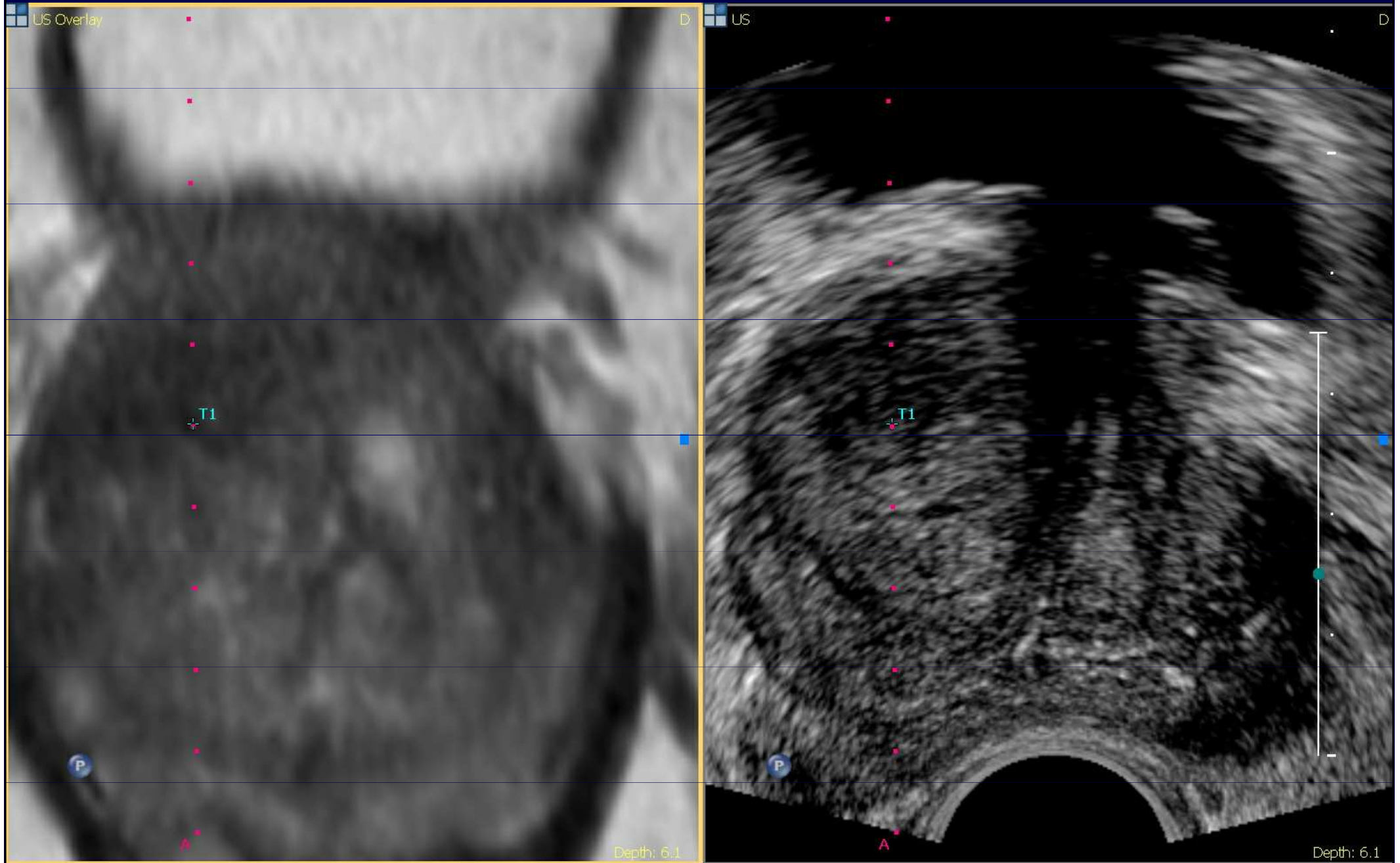
Stoupající PSA (15...22), 3 x negat. biopsie – 2x syst. 1x saturační



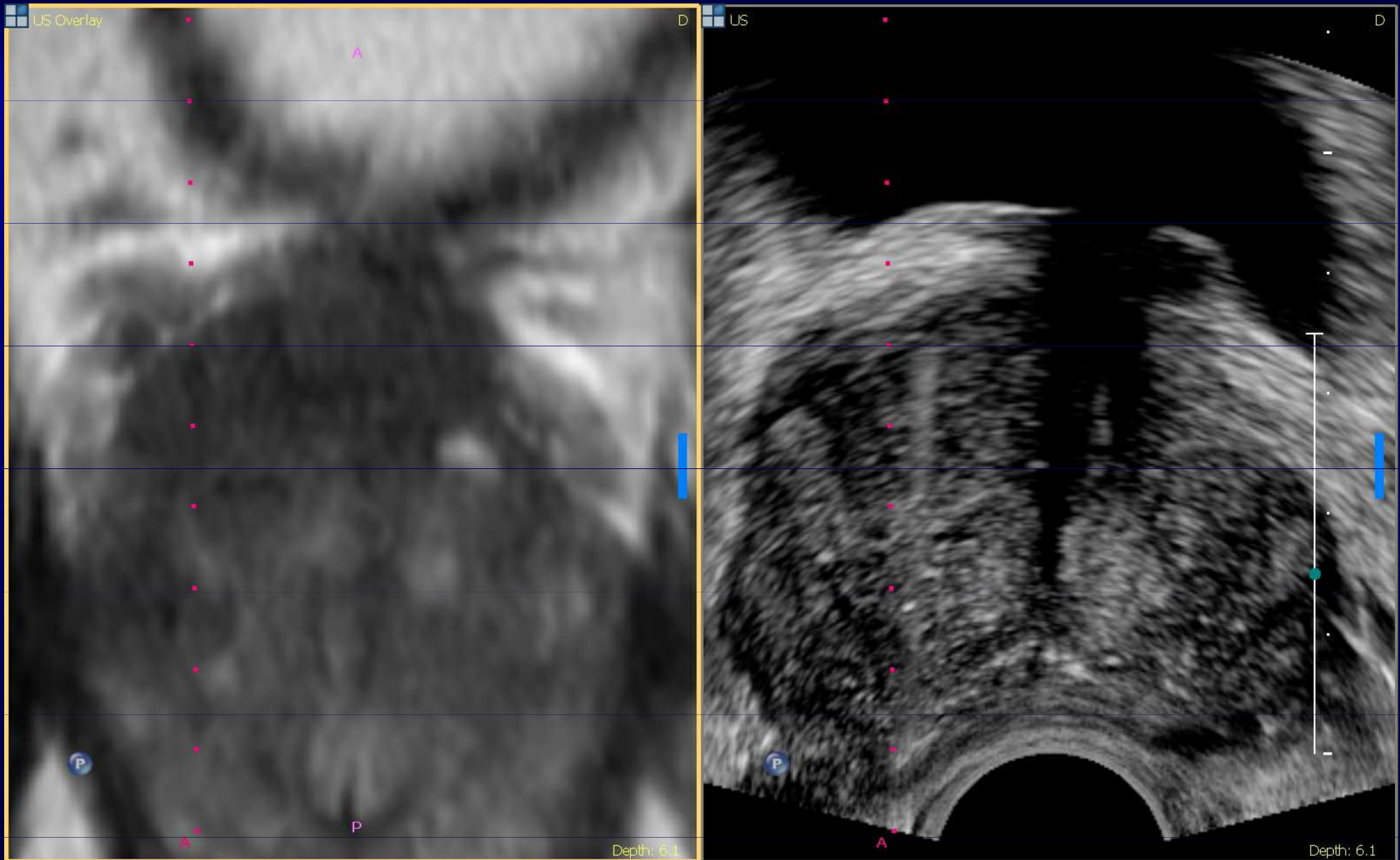
Biopsie s MR-UZ fúzí (1)



Biopsie s MR-UZ fúzí (2)

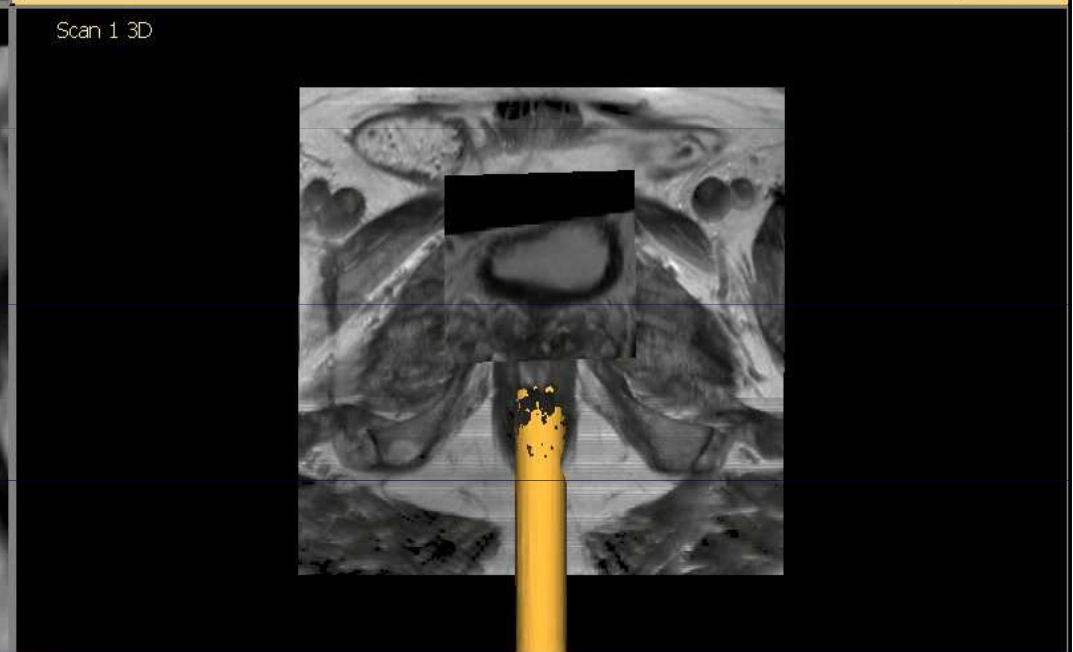
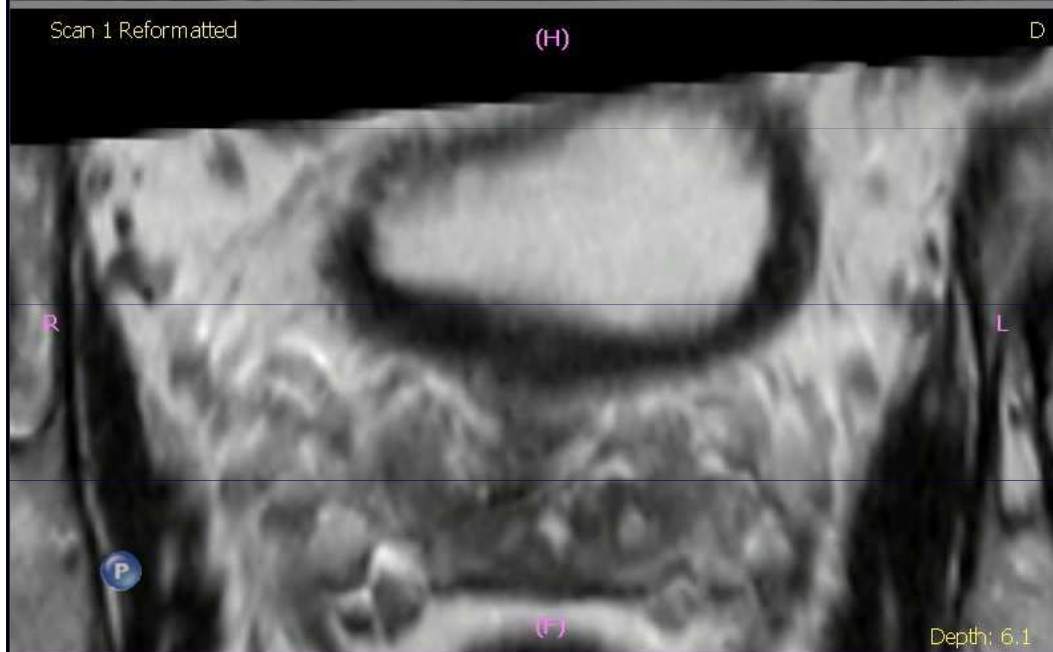
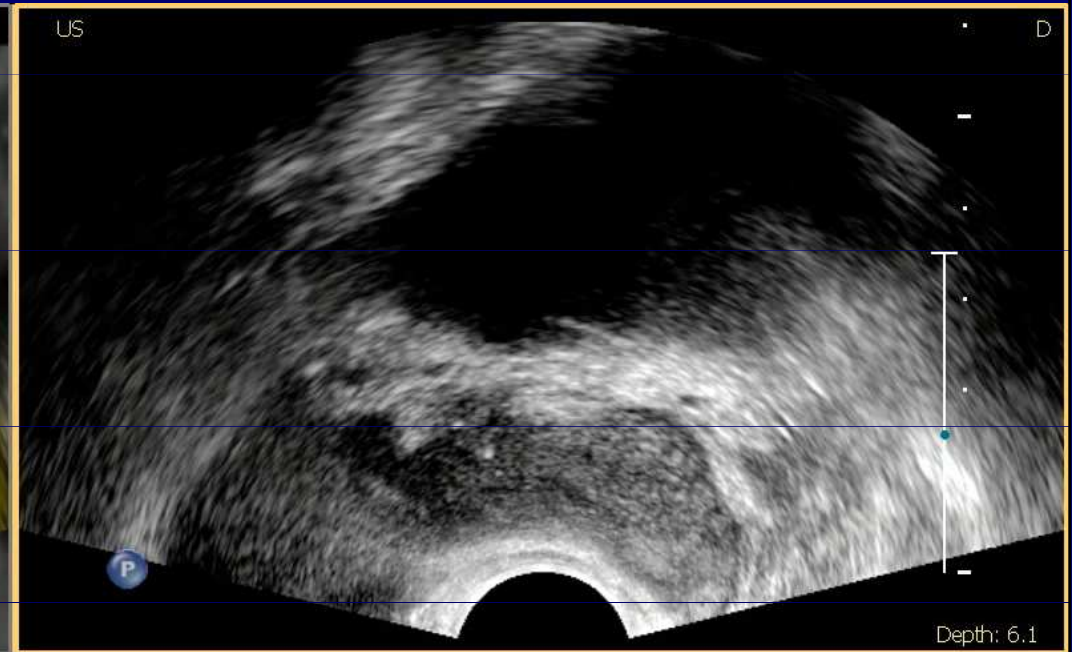
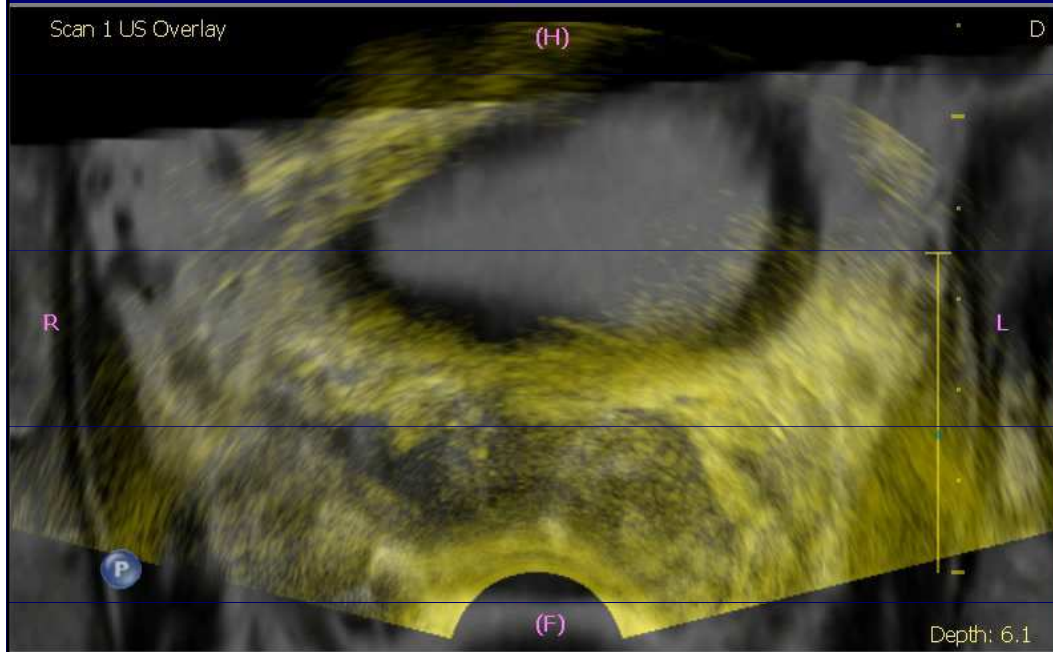


Biopsie s MR-UZ fúzí (3)



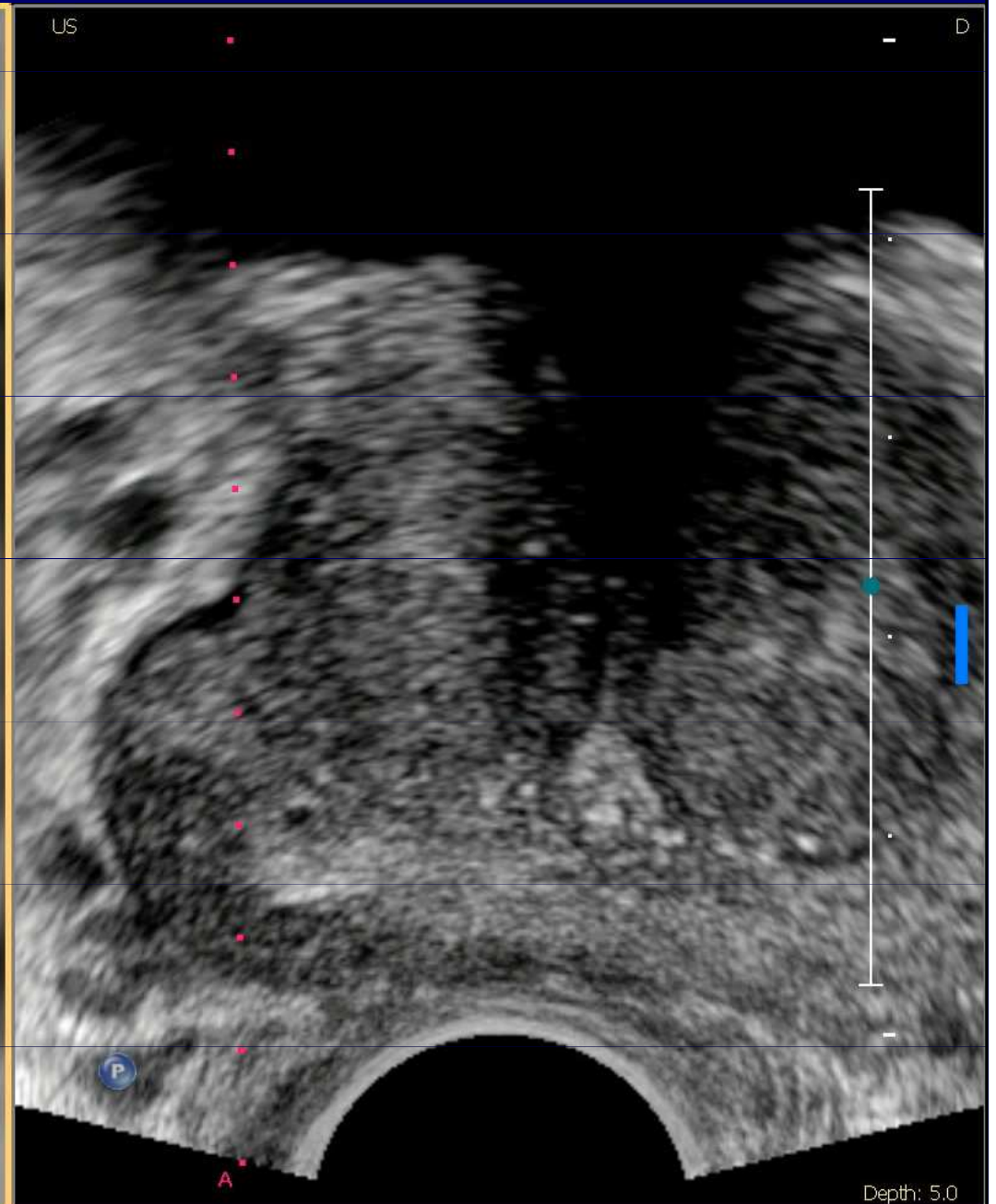
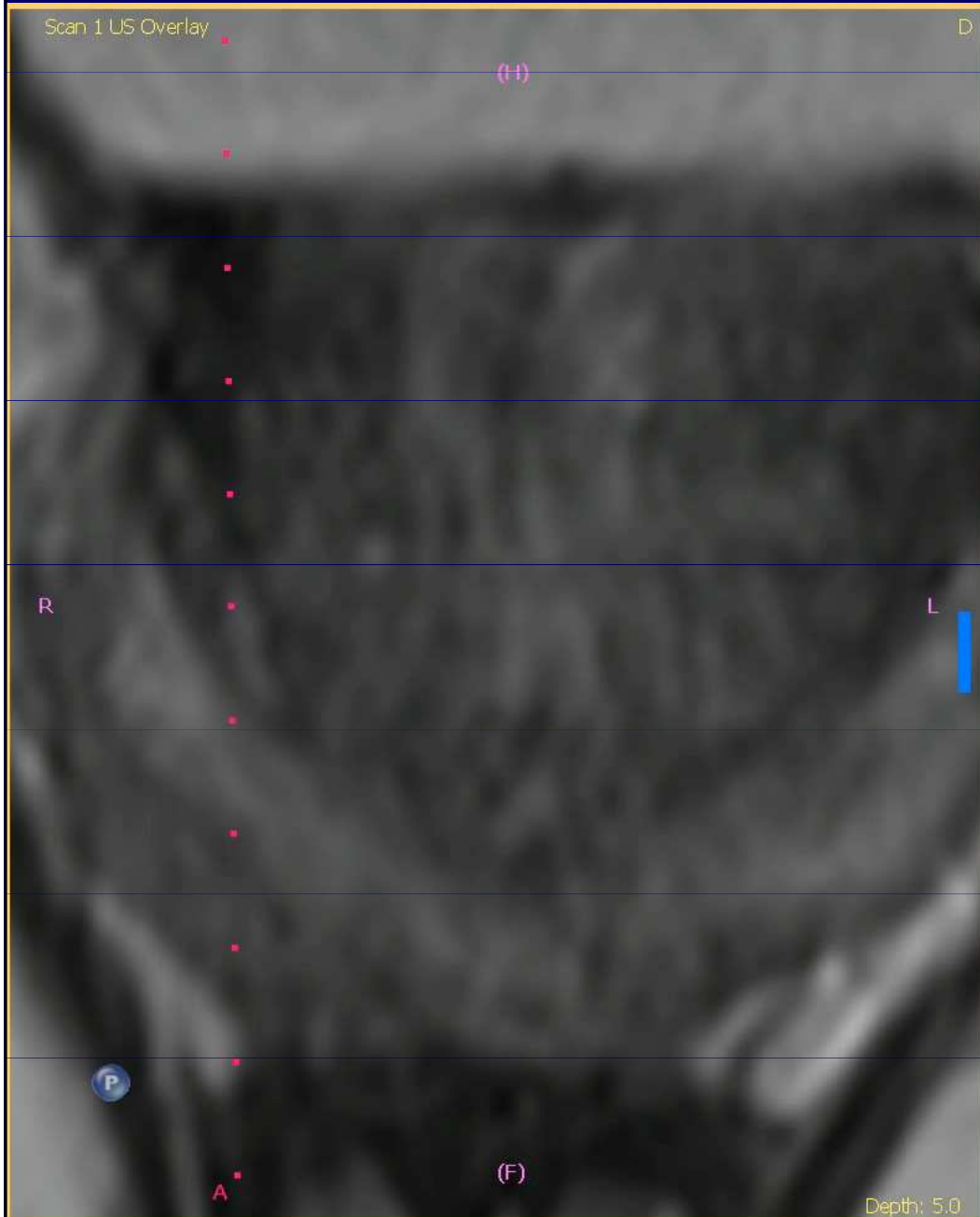
Karcinom - Gleason score 7

MR-UZ fúze 2x2 (video)



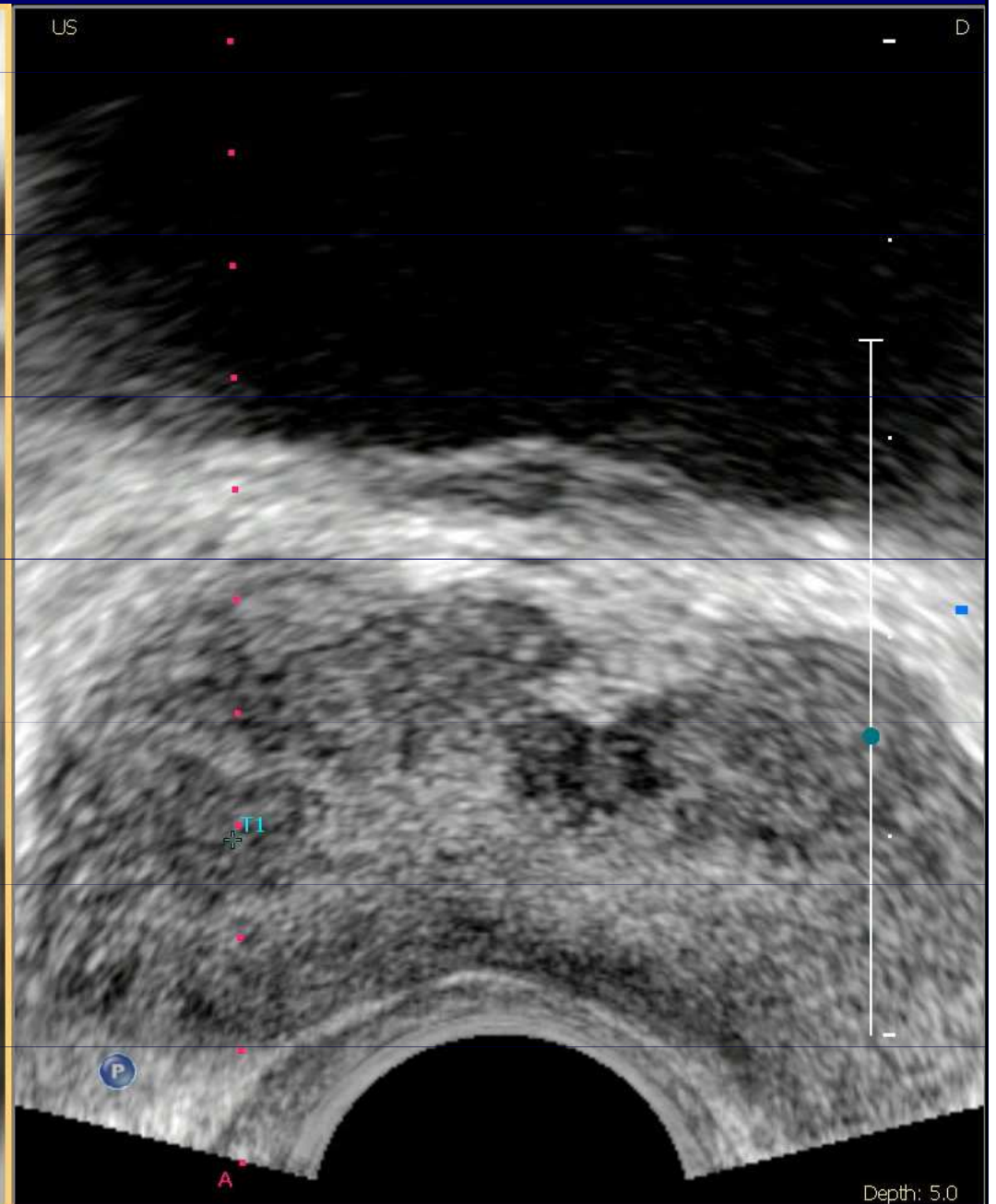
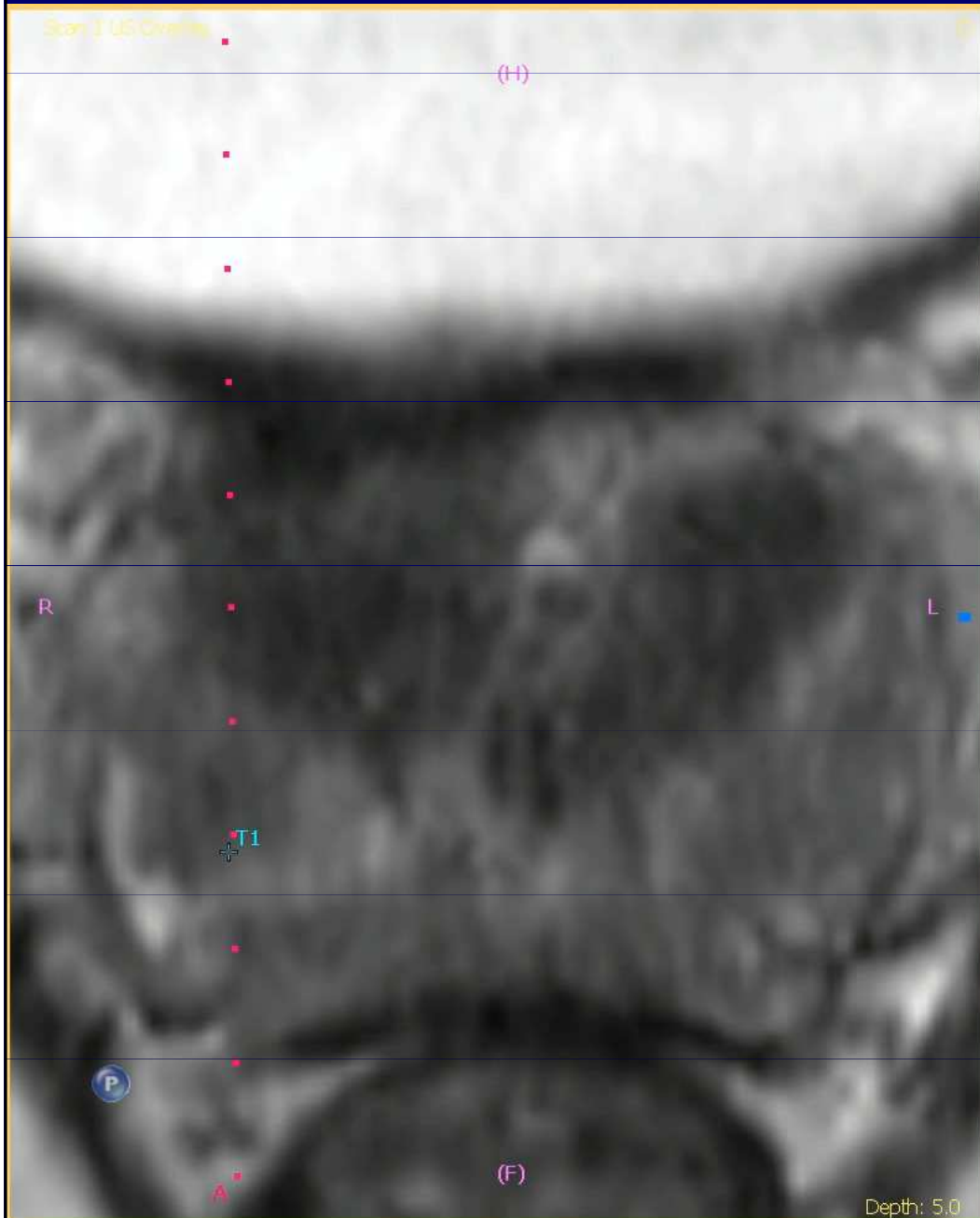
MR-UZ fúze (biopsie)

Ca - Gleason 4+3



MR-UZ fúze (biopsie)

Ca - Gleason 4+4



Děkuji za pozornost