

# UZ – nové metody

**Foukal J. a kolektiv**

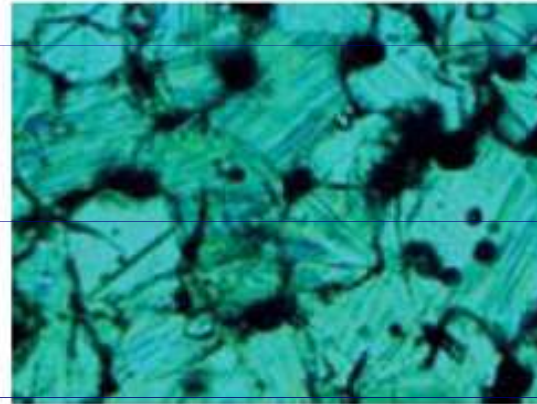
Klinika radiologie a nukleární medicíny  
FN Brno a LF MU



# Technologie výroby piezoelektrických krystalů sond

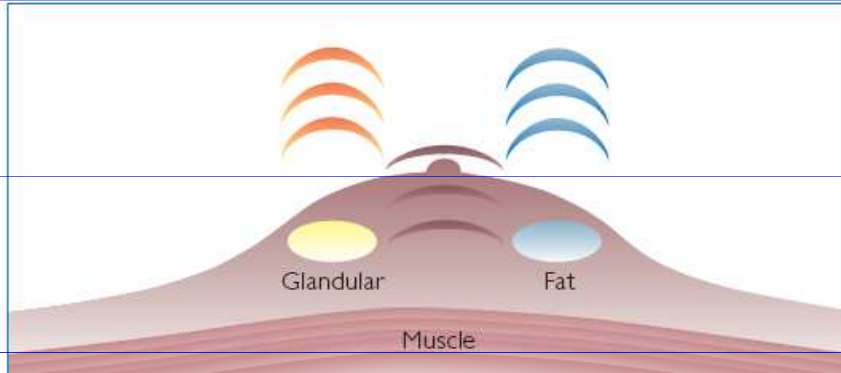
Piezoelektrický materiál použitý v sondě zásadním způsobem ovlivňuje kvalitu UZ zobrazení

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

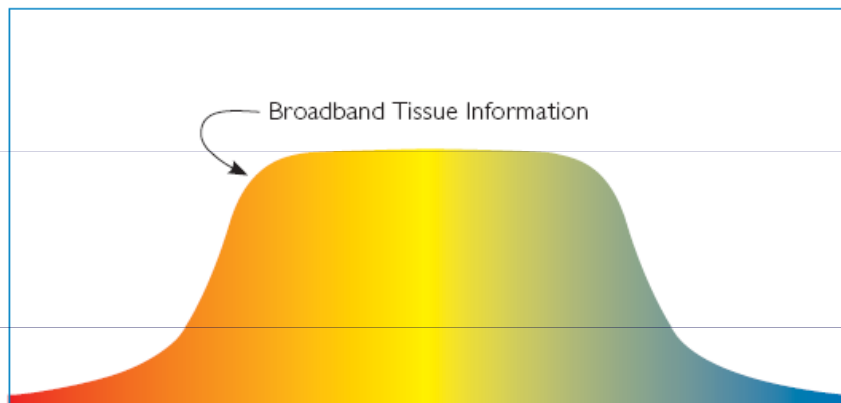


Conventional PZT ceramics (as shown at the top) are made up of randomly oriented grains, while PureWave crystals (shown at the bottom), have a virtually perfect atomic level arrangement and uniform consistency throughout the material.

# Digital broadband beamforming



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

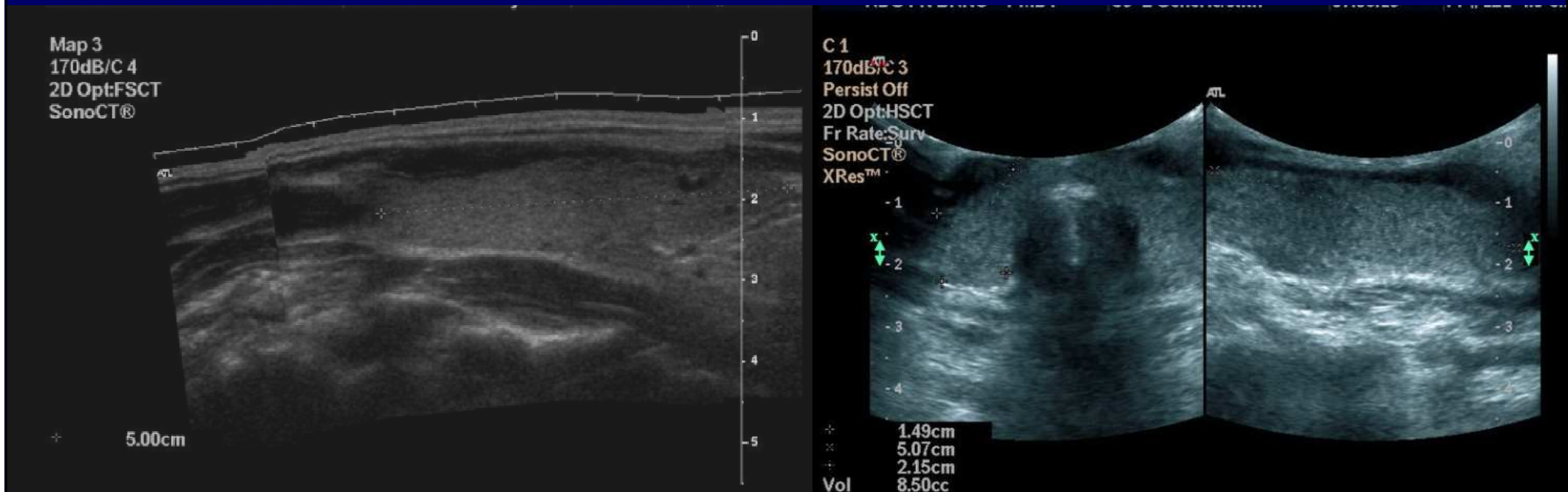


Broadband beamforming transmits a broad signal range and has the ability to capture and process the entire broad band of returning signals.

- 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

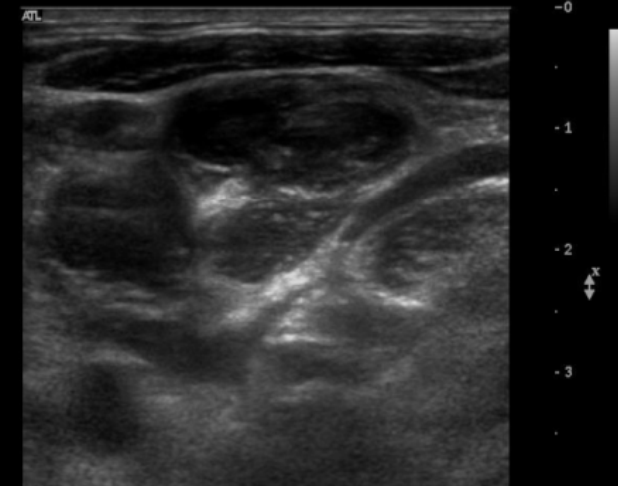
- zlepší topograficko anatomickou **orientaci**
- umožní zobrazení **rozsahu léze**, která přesahuje FOV sondy
- usnadní stanovení **počtu jednotlivých lézí**

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

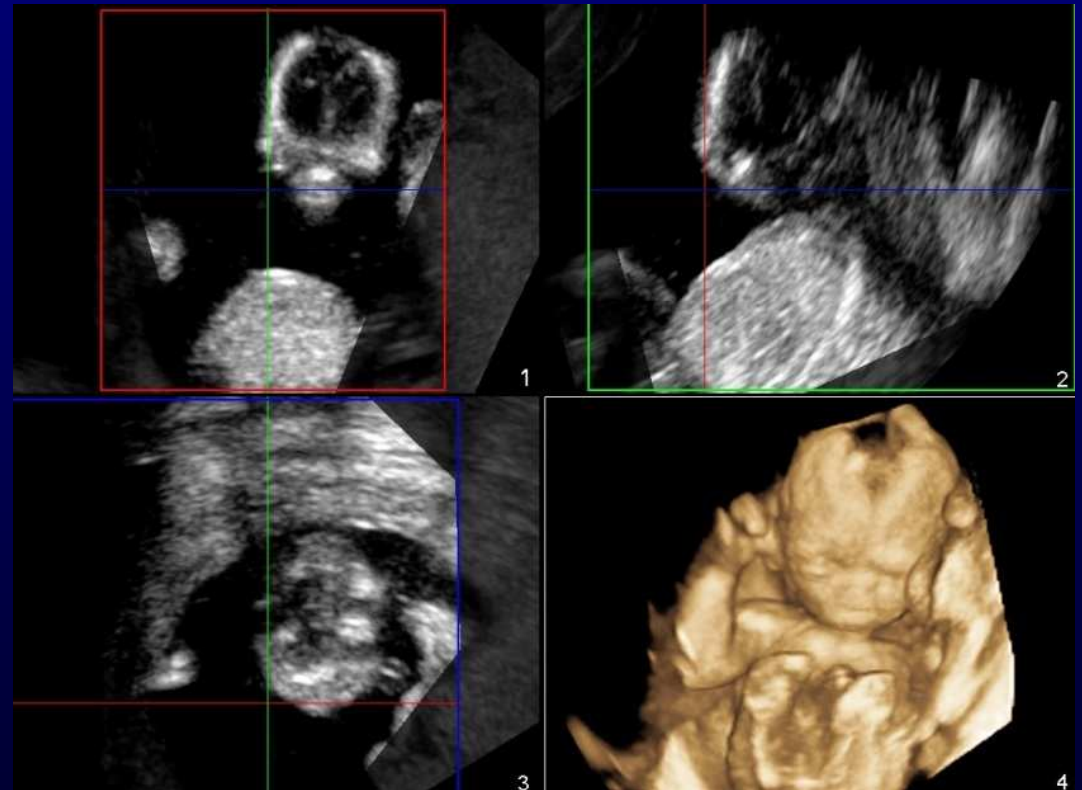
- časově náročnější
- nerovnosti na povrchu těla
- **nepřesné měření** při špatném složení obrazu



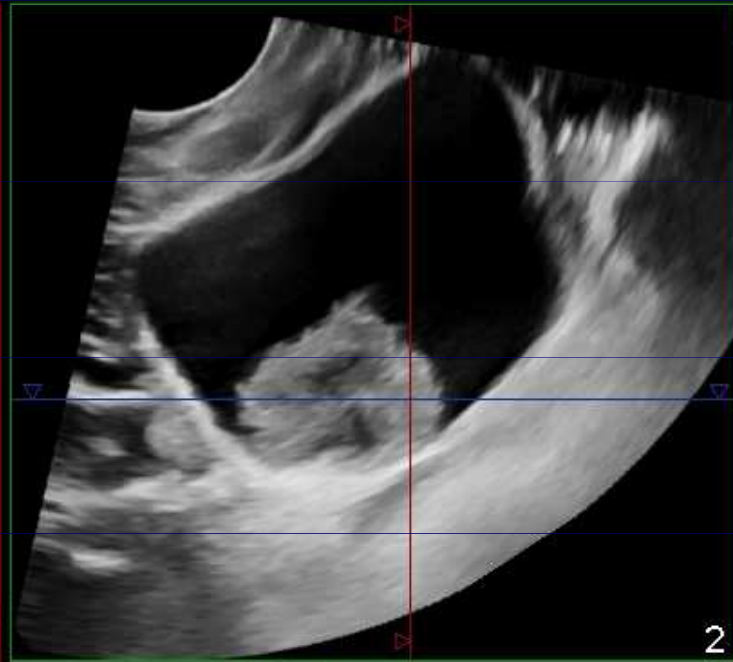
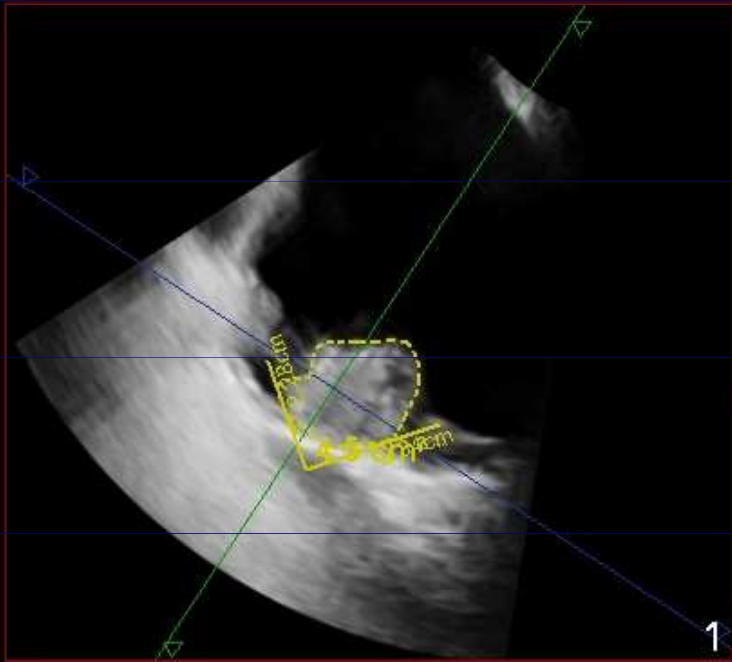
# Trojrozměrné (3D/4D) zobrazení

- 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**

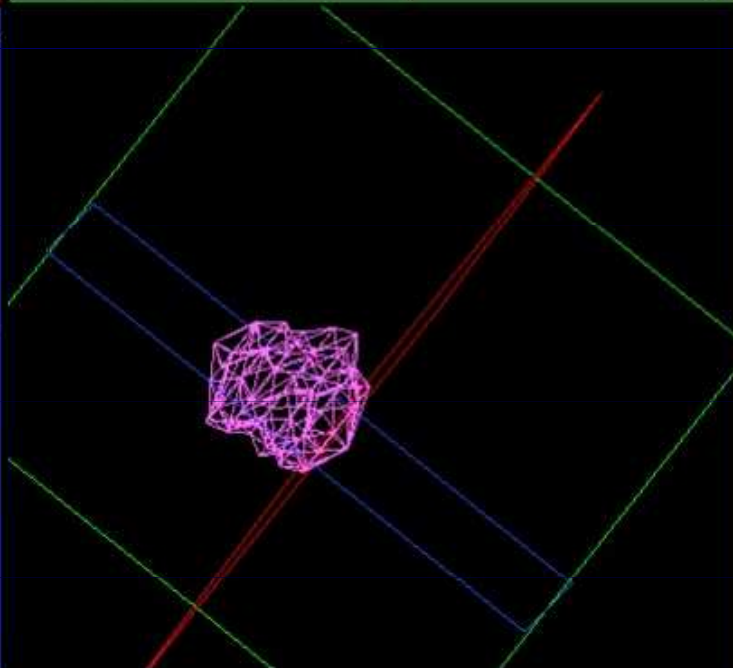
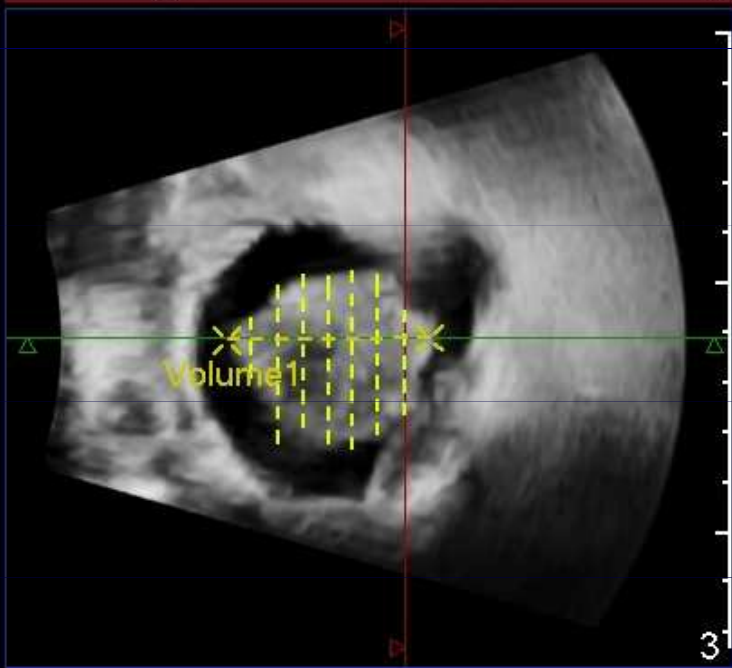
MPR rekonstrukce ve 3 rovinách, VRT rekonstrukce







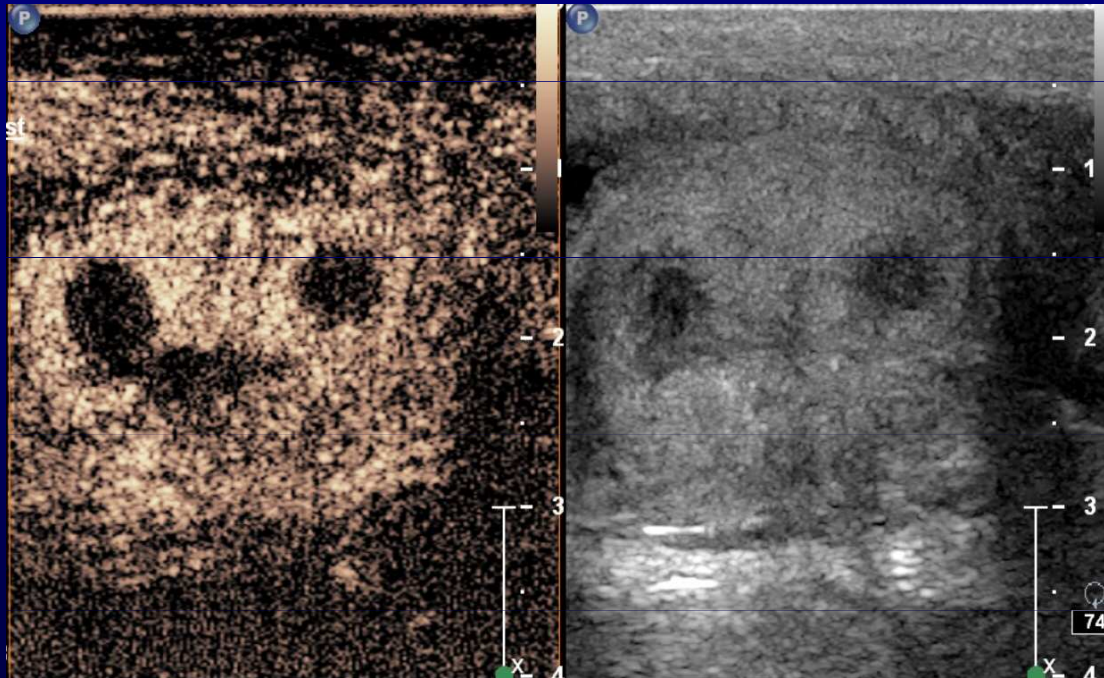
Volume1 = 22.8 ml  
I X



# 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<sup>-1</sup>]



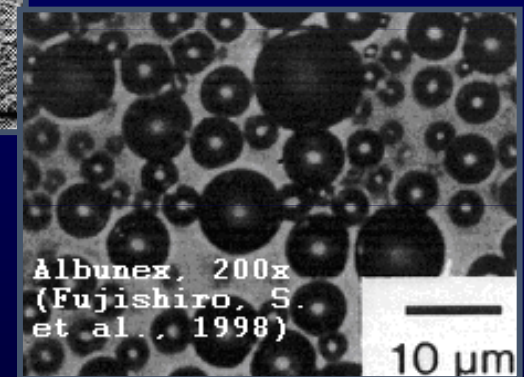
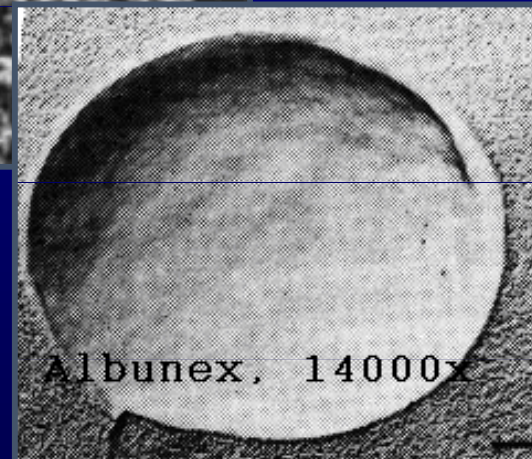
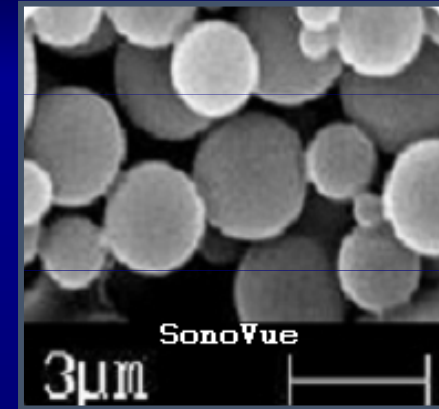
# Jaké částice



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)

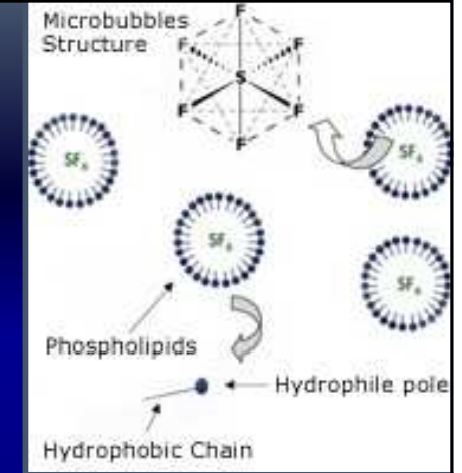


# Důležité aspekty k.l. pro UZ

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

# SonoVue®

- Jediná k.l. **schválená** v EU pro makro a **mikrovaskulární** zobrazování.
- **Fluorid sírový** ( $\text{SF}_6$ ) – neškodný plyn, eliminace plynu cestou plicních kapilár (80% během 2 minut).
- Mikrobubliny stabilizované **fosfolipidy**
- Průměrná **velikost** bublin je **2,5  $\mu\text{m}$**  a více než 90 % bublin je menší než 6  $\mu\text{m}$
- Zvýšení intenzity **signálu 3-8 min.**



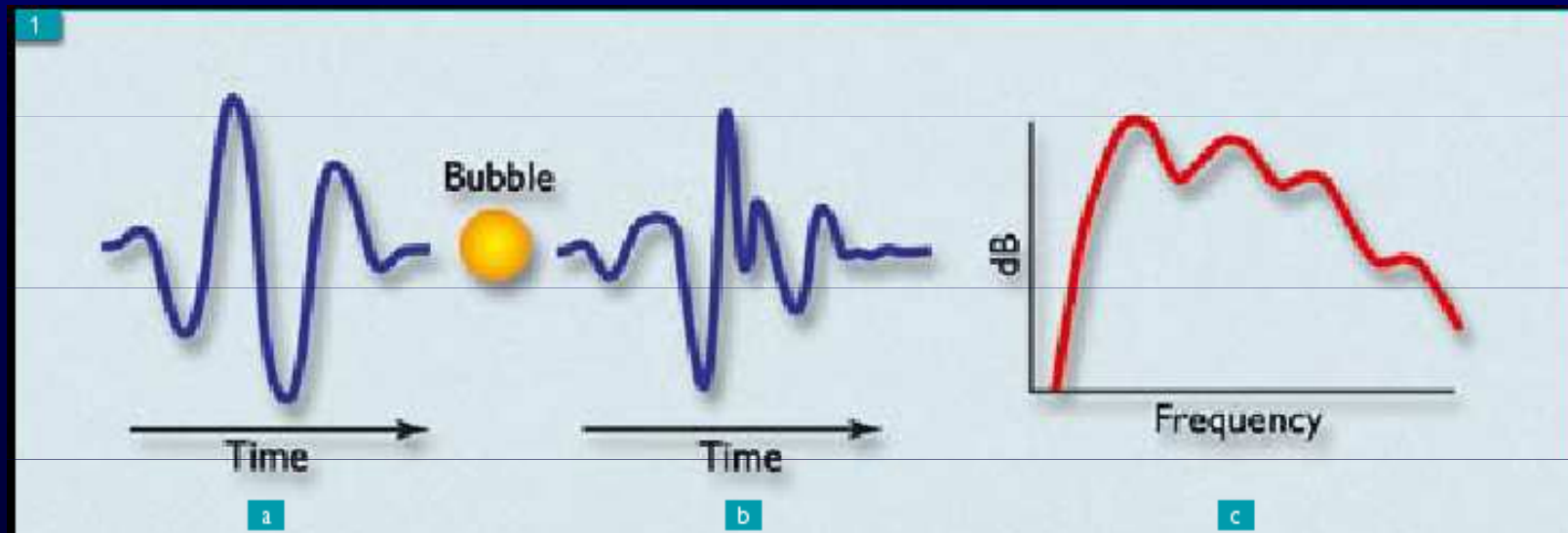
# SonoVue®



- 25 mg lyofilizovaného prášku v atmosféře fluoridu sírového
- 5 ml fyziologického roztoku
- Rozpustit a 20s protřepávat
- Výsledný roztok obsahuje 8  $\mu\text{l/ml}$   $\text{SF}_6$
- Suspenze vykazuje stabilitu cca 6 hodin
- Aplikace bolusově + proplach FR (standardní dávka 2,5ml)

# Chování mikrobublin v UZ vlnění

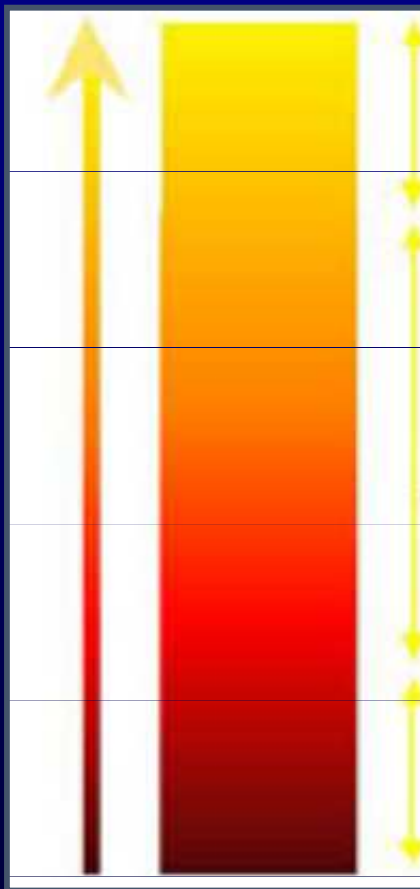
- Při srážce UZ vlny s mikrobublinou dojde střídavě k její kompresi a následné expanzi
- **Stlačení** je díky plynové náplni **limitováno**, naopak **expanze** je mnohem **větší** nežli komprese (poloměr bublin se zvětší až o několik set %)
- Důsledkem je asymetrická **nelineární oscilace** bublin, která 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	→	<b>Destrukce</b> bublin, <b>artefakty</b> (blooming)
Střední ~ 0,6	→	Nelineární oscilace, <b>částečná destrukce</b>
Nízký < 0,3	→	Přibývá lineární oscilace ale <b>chrání bubliny</b>
Příliš nízký < 0,04	→	<b>Lineární</b> oscilace (málo signálu)

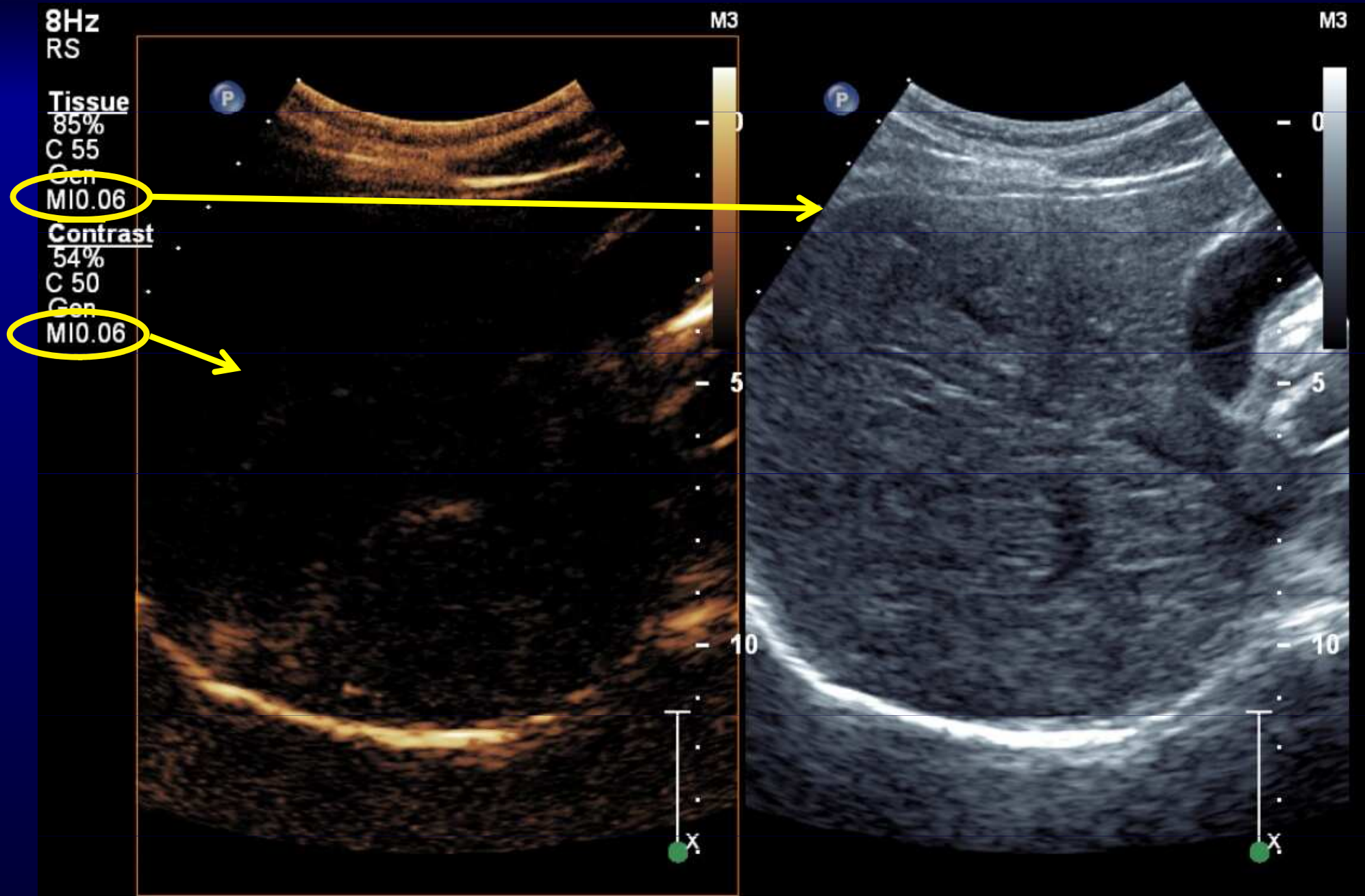
# Low MI imaging

- 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)

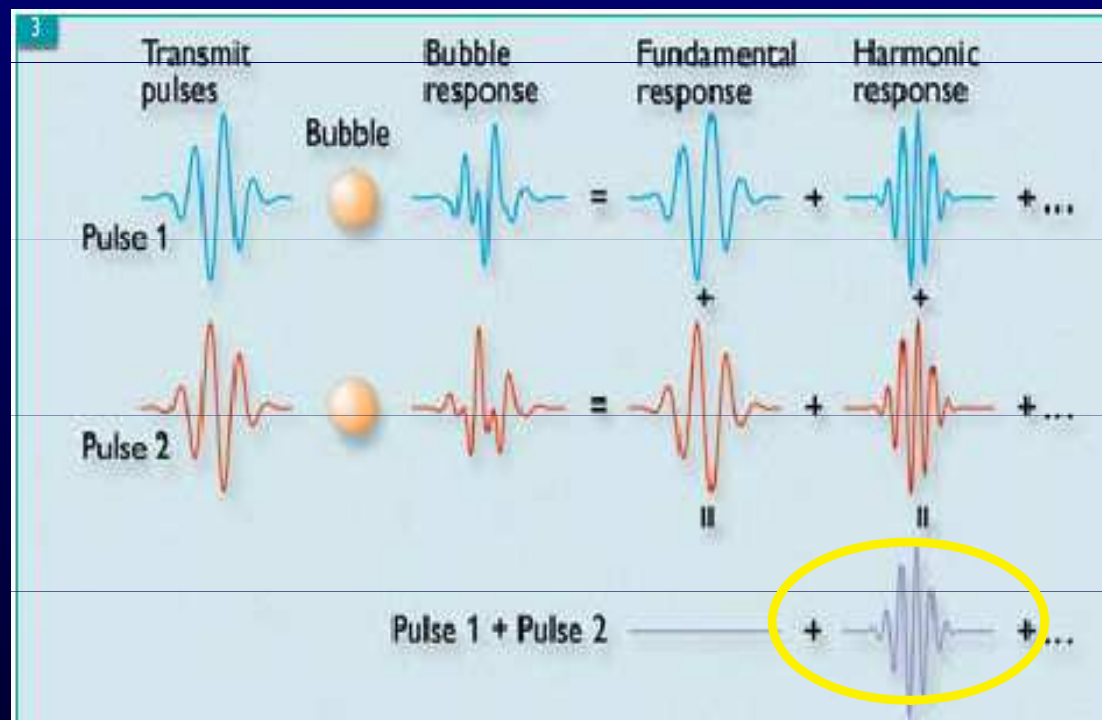
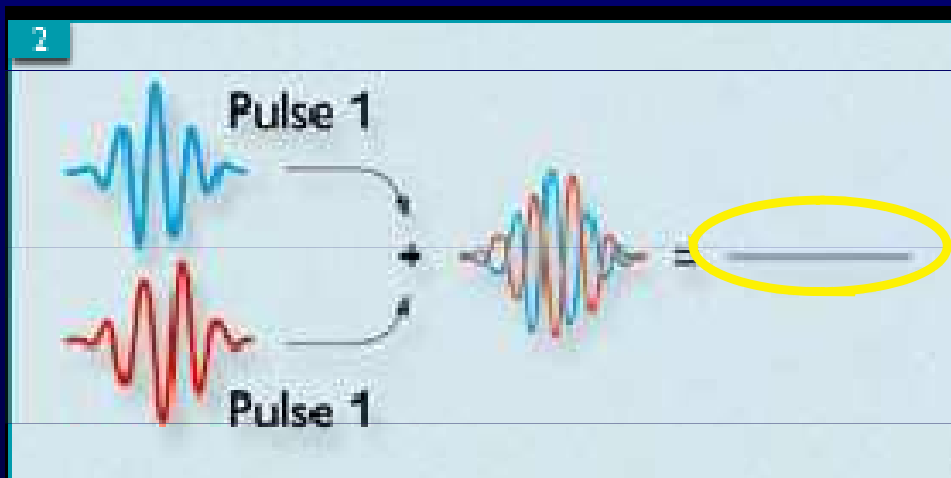
Dva pulsy s opačnou fází vyslány rychle za sebou, přístroj detekuje odražené pulsy a sečte je

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

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

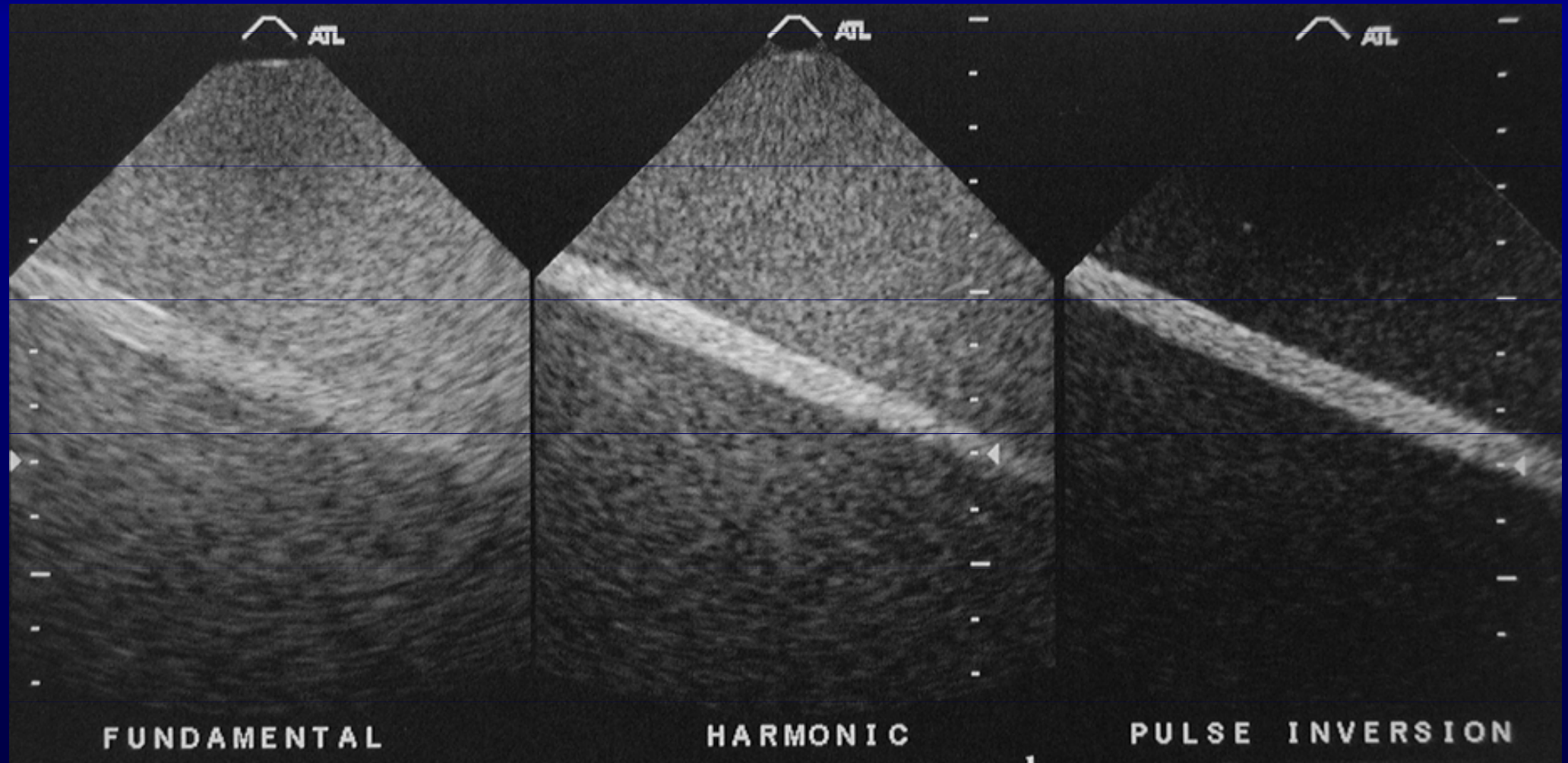
**Mikrobubliny** odrážejí signál asymetricky – **nelineárně**, součet signálů nenulový.

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



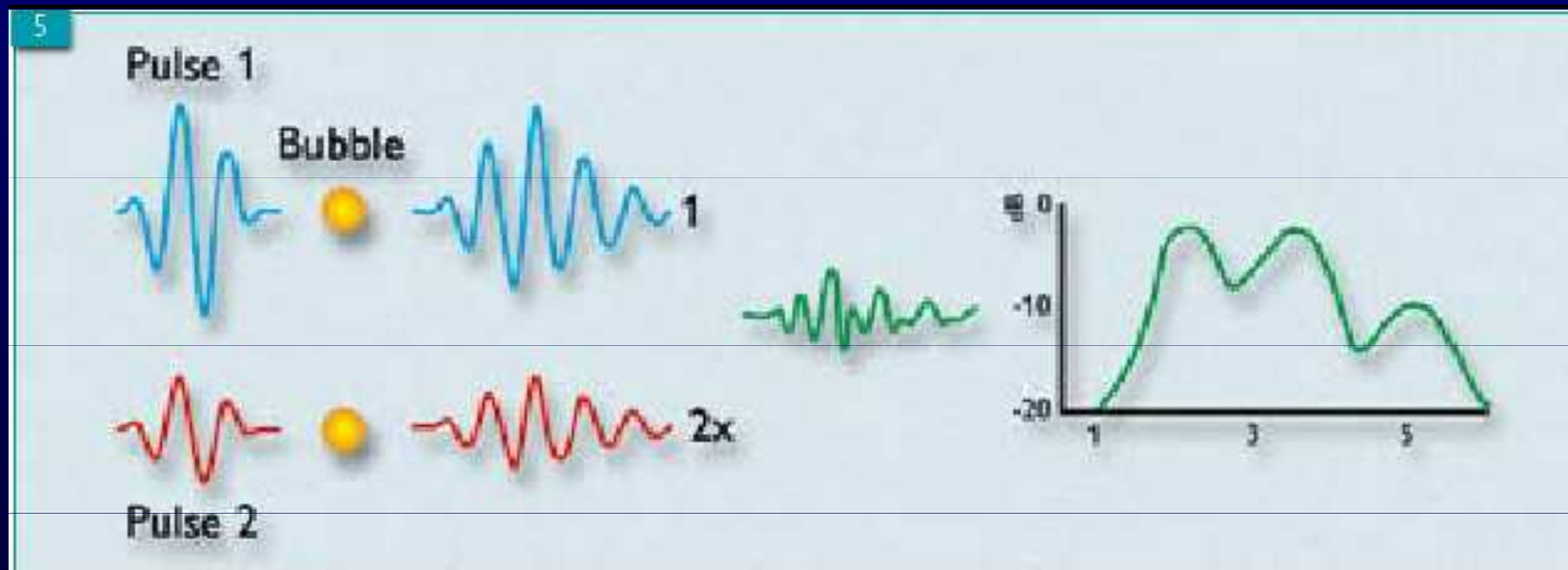


# Pulse inversion (PI)



# Power modulation (PM)

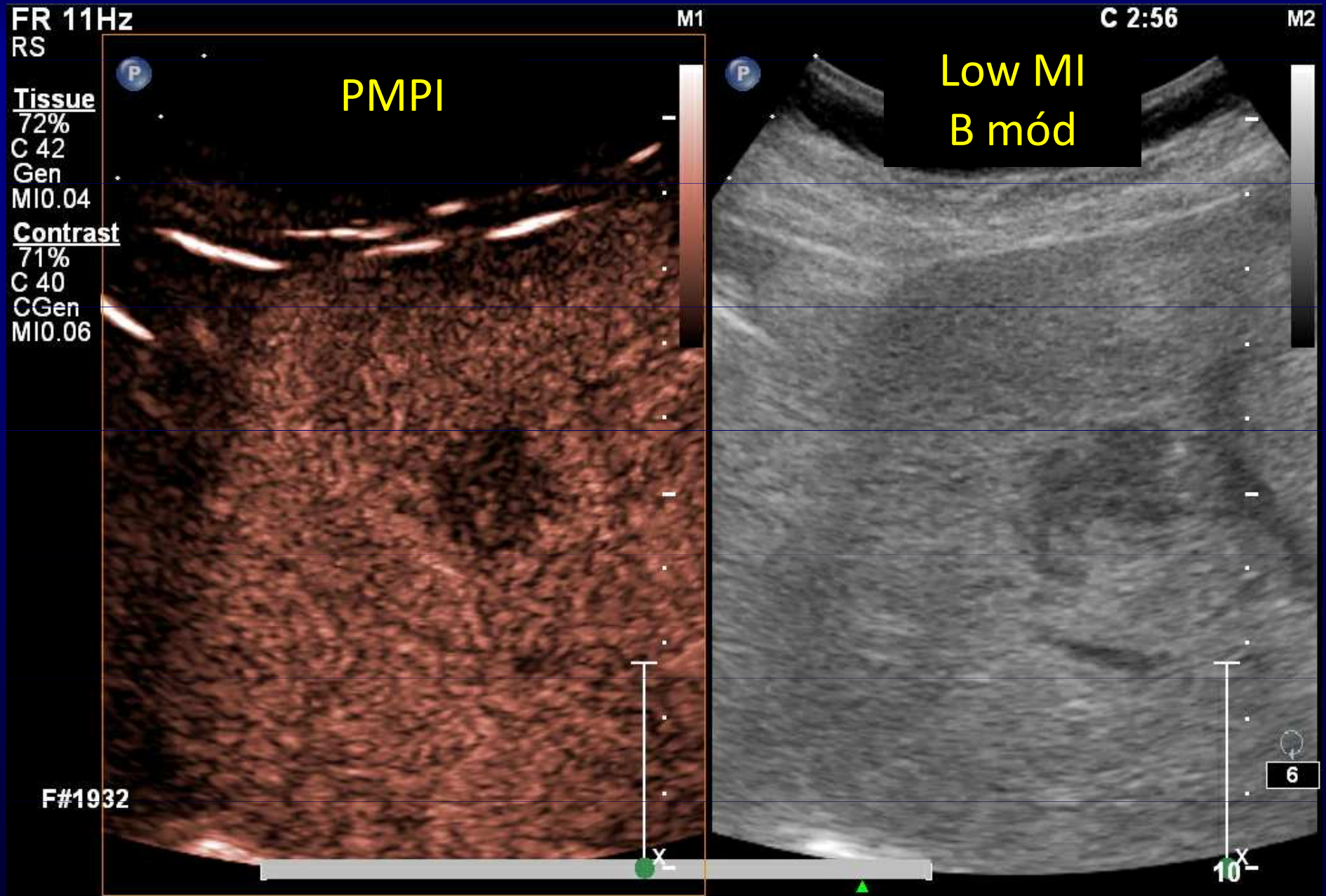
- Alternativou ke změně fáze UZ vlnění je změna jeho **amplitudy**
- Přijatý puls s menší amplitudou je vynásoben poměrem mezi amplitudami vyslaných impulsů
- V subtrahovaném spektru je pak zachycena **nelineární složka základní frekvence i vyšších harmonických**
- Signál pozadí pak není potlačen zcela,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



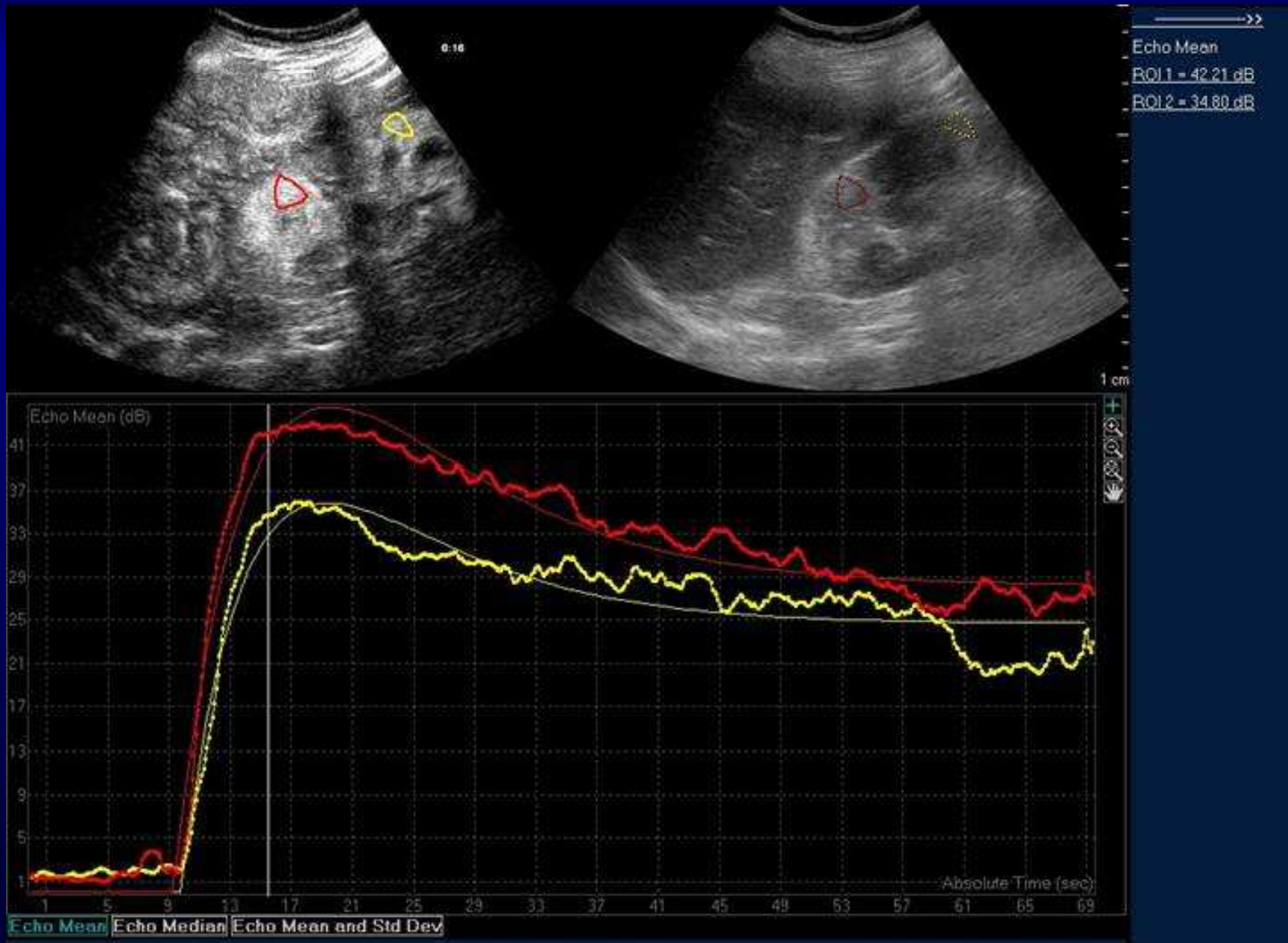
# Power modulated / pulse inversion (PMPI)

- 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

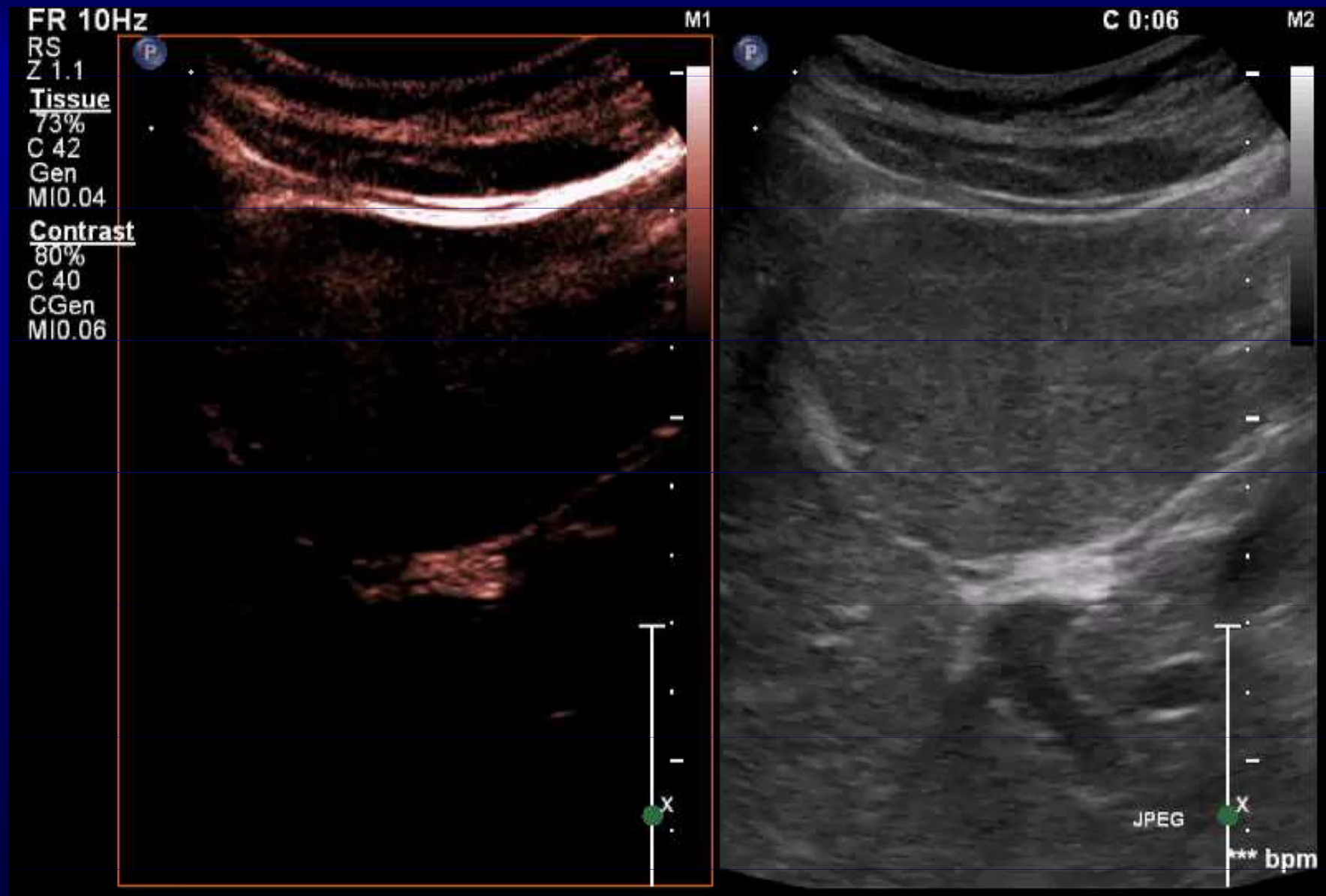


# CEUS (příklad)

Mladá žena, ložisko v levém laloku jater

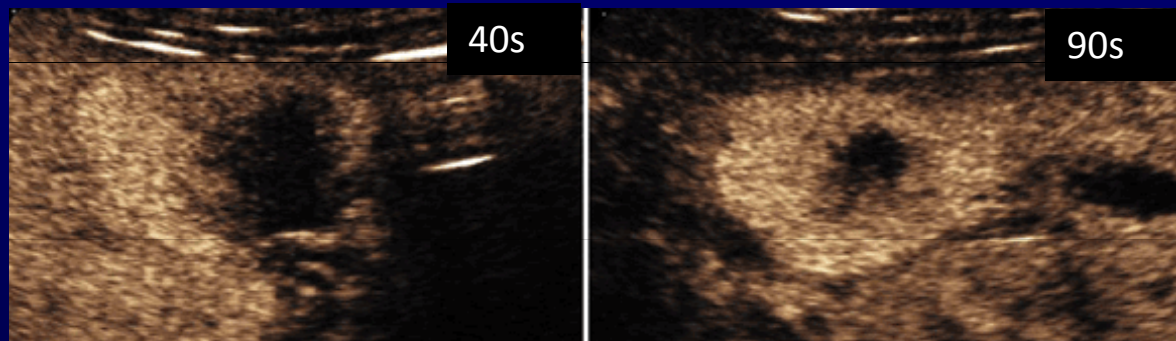
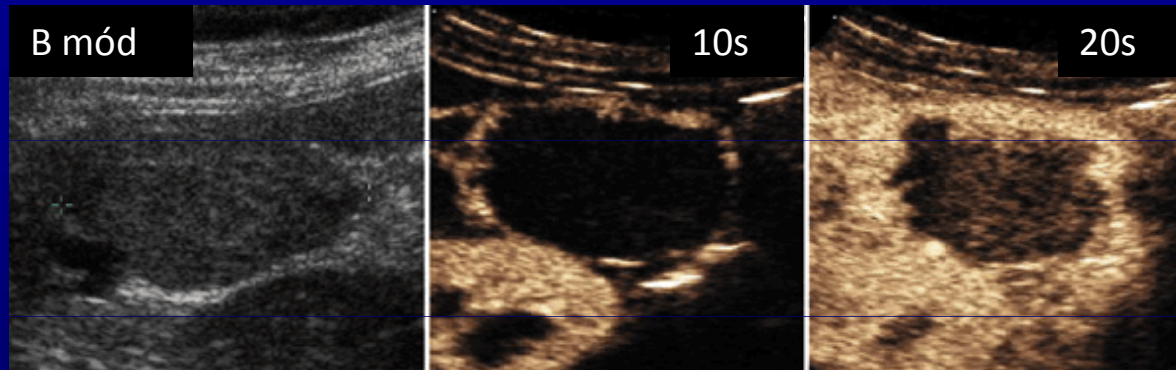


# CEUS (příklad)



Fokální nodulární hyperplazie – nezhoubný útvar

# CEUS jater



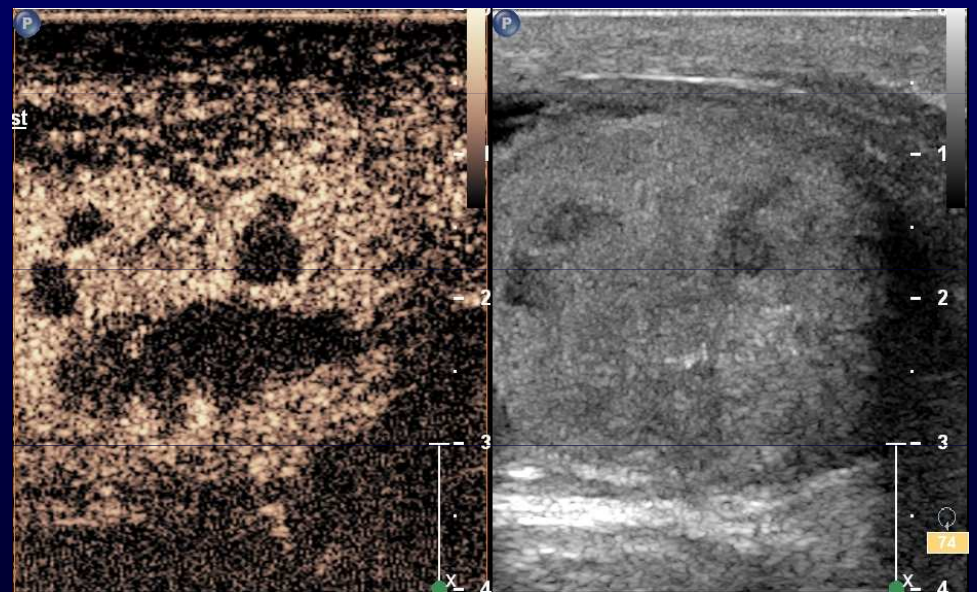
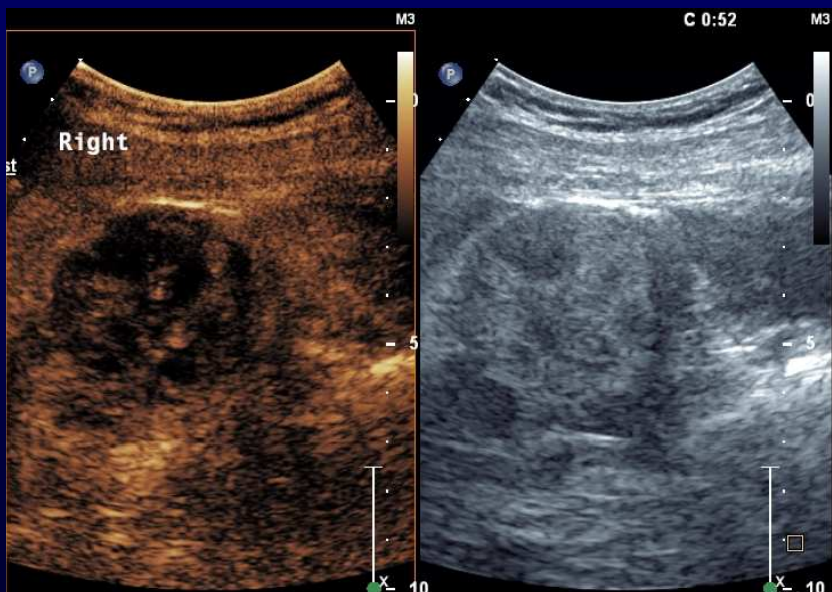
Hemangiom

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

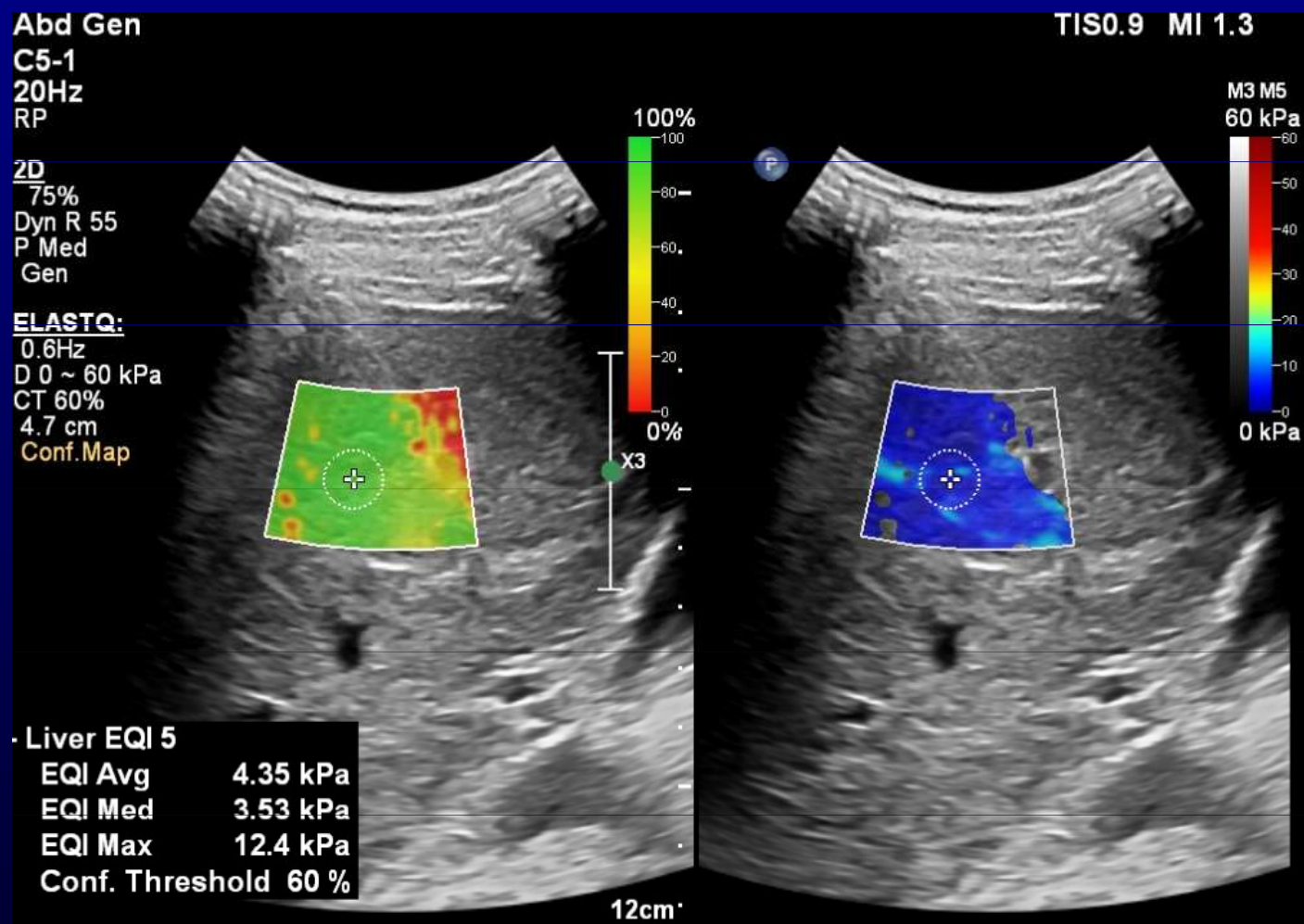


# Další využití CEUS

- 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

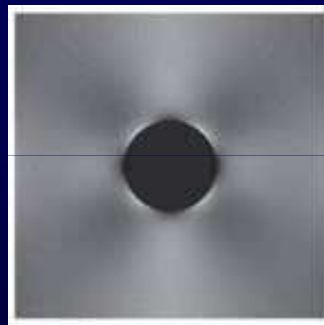
- Podle toho, co zobrazují:
  - **Pnutí tkání** - Strain elastography (SE)
  - **Propagace příčných vln** – Shear-Wave Elastography (SWE)
    - Lokální hodnota rychlosti - Transient Elastography (TE), Point Shear-wave Elastography (pSWE)
    - Mapa rychlostí příčných vln – 2D/3D Shear-Wave elastography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

# Strain elastografie

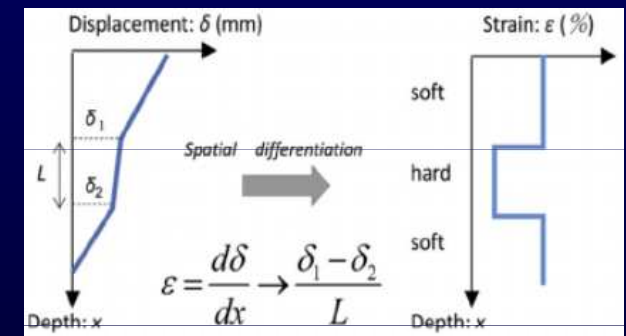
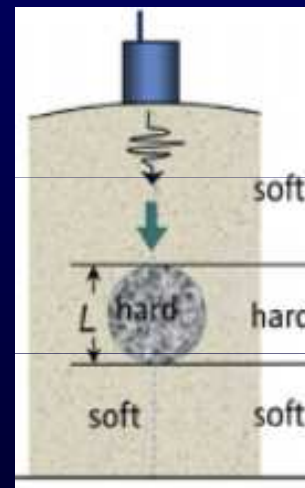
- Komprese tkání
  - Aktivně - rytmickým tlakem sondy
  - Pasivně - vnitřní pulzace (cévy, srdce, dýchání, svalové kontrakce)
- UZ přístroj porovnává sekvence obrazů a vypočítá rozdíl polohy jednotlivých ech
- Zahrnutý pouze **axiální posuny**, ne laterální
- Každý posun se převede do obrazu pnutí –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



displacement image  
(posun klesá s hloubkou)



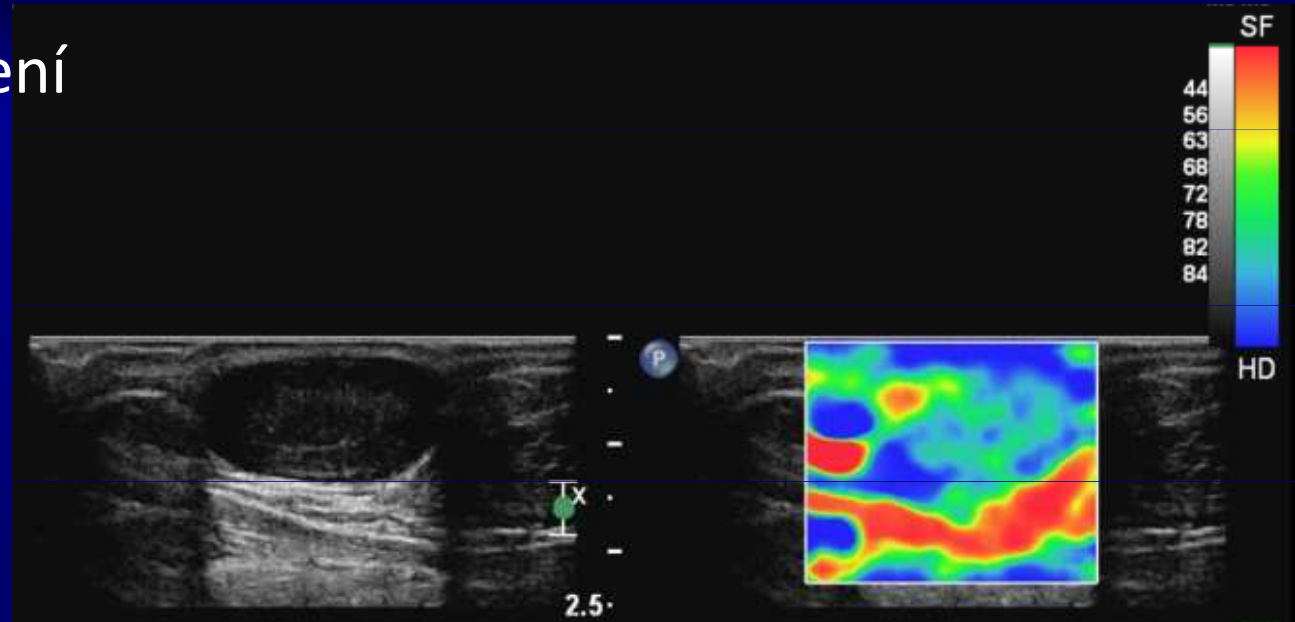
strain image  
(stejný útvar)



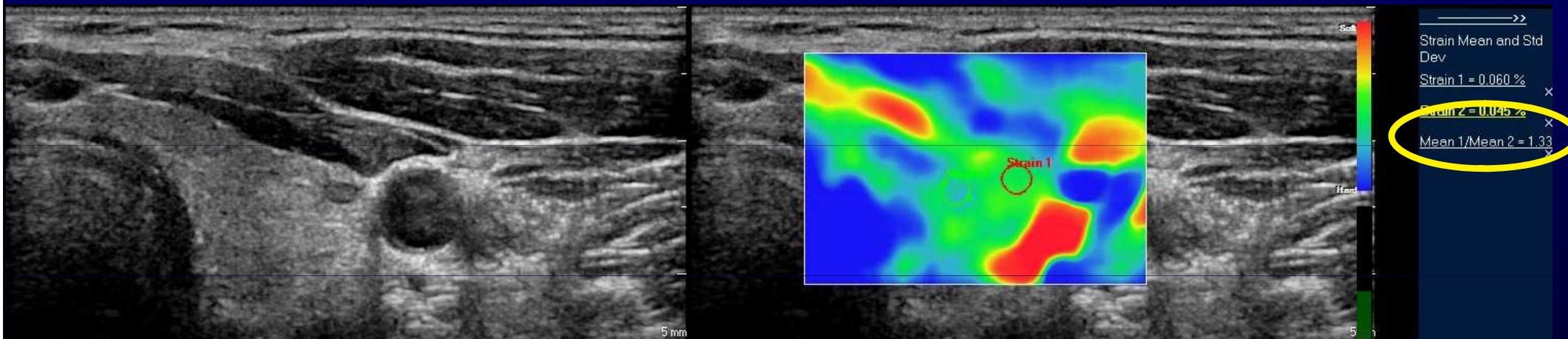
*WFUMB guidelines and recommendations for clinical use of ultrasound elastography: Part 1: basic principles and terminology*

# Strain elastografie

- Kvalitativní hodnocení



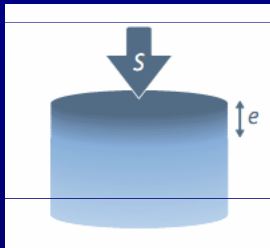
- Semikvantitativní
  - Poměr pnutí (strain ratio) mezi lézí a referenční tkání



# 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 <sup>3</sup> )
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]

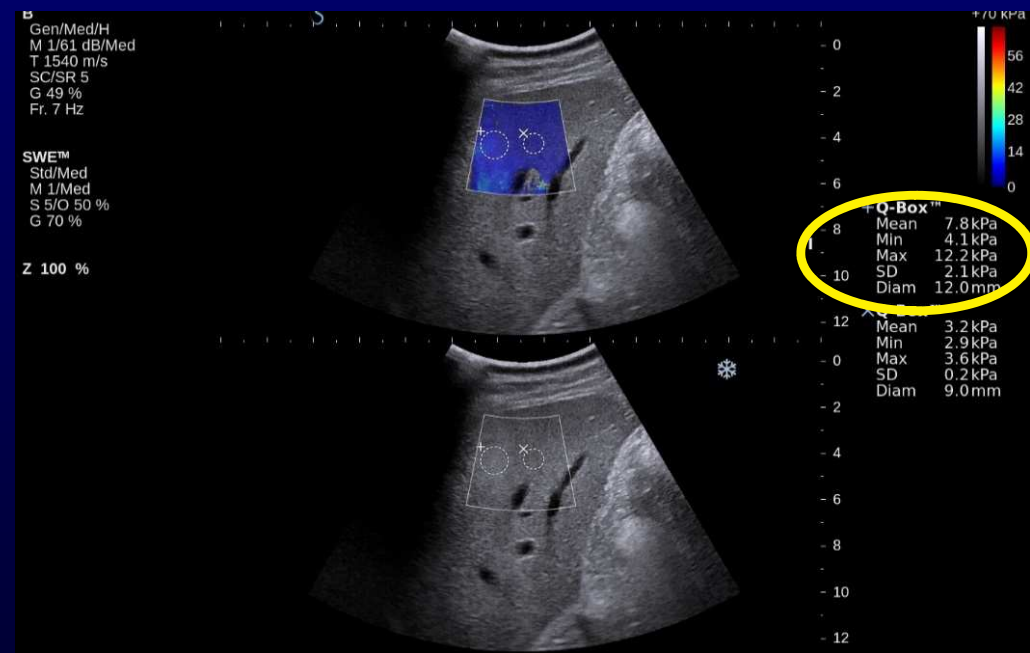
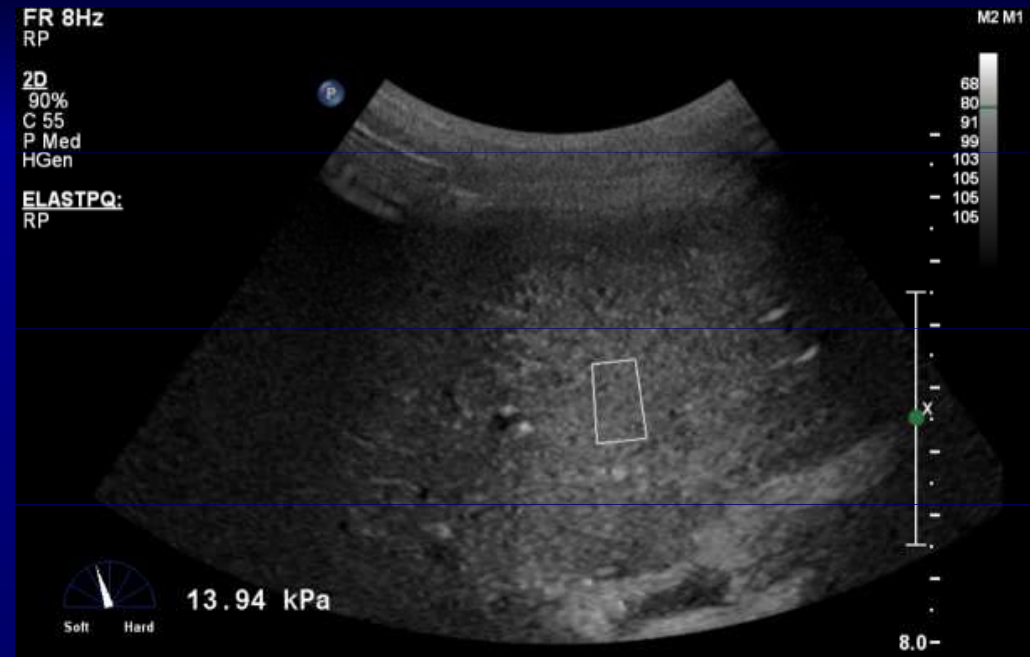
$\rho$  ... hustota prostředí [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]

$c$  ... 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.



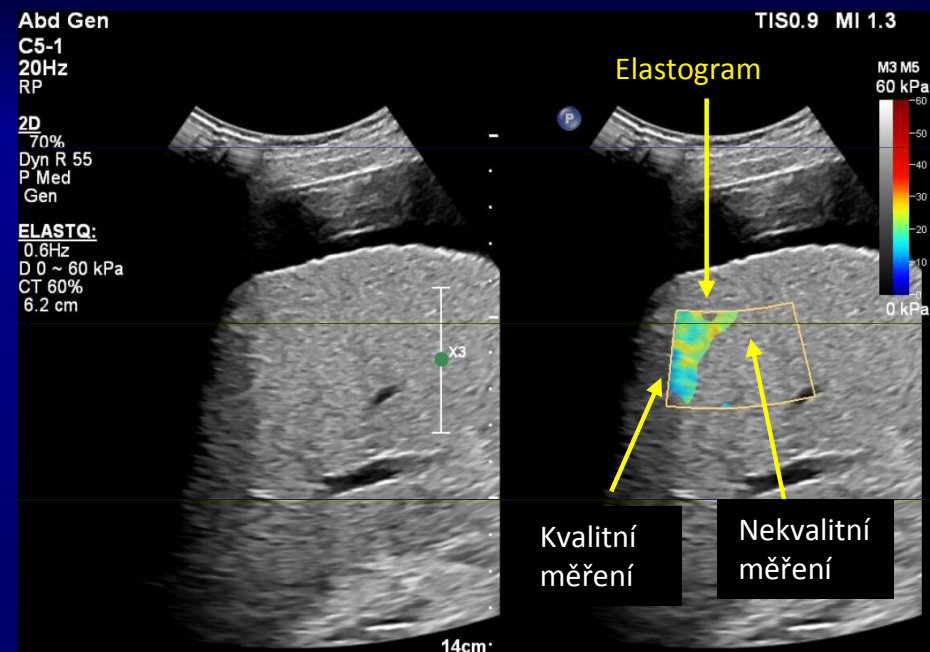
# Klinické využití elastografie

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

# 2D SWE

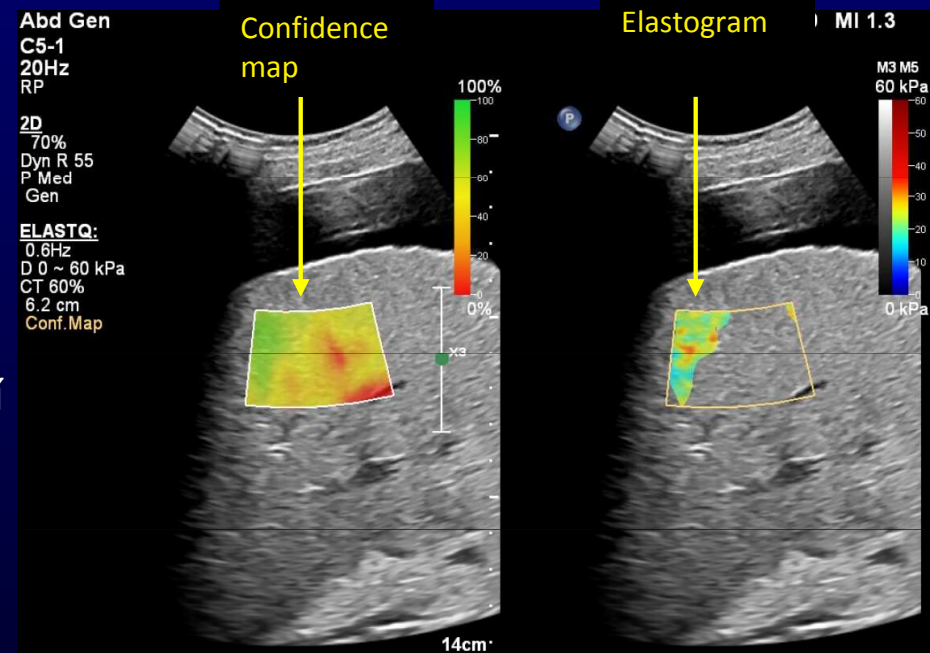
- SWE

- 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



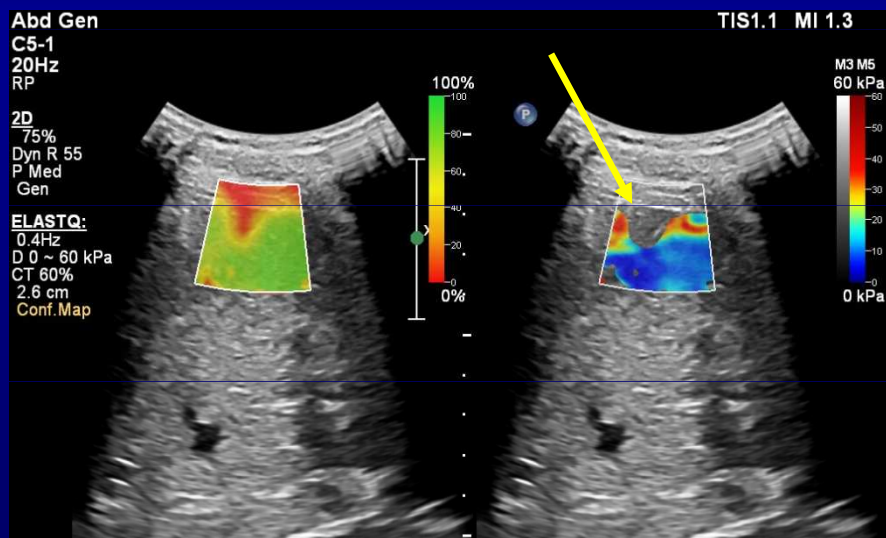
# Elastografie jater 2D SWE

- 5 měření, výsledný medián měření a IQR

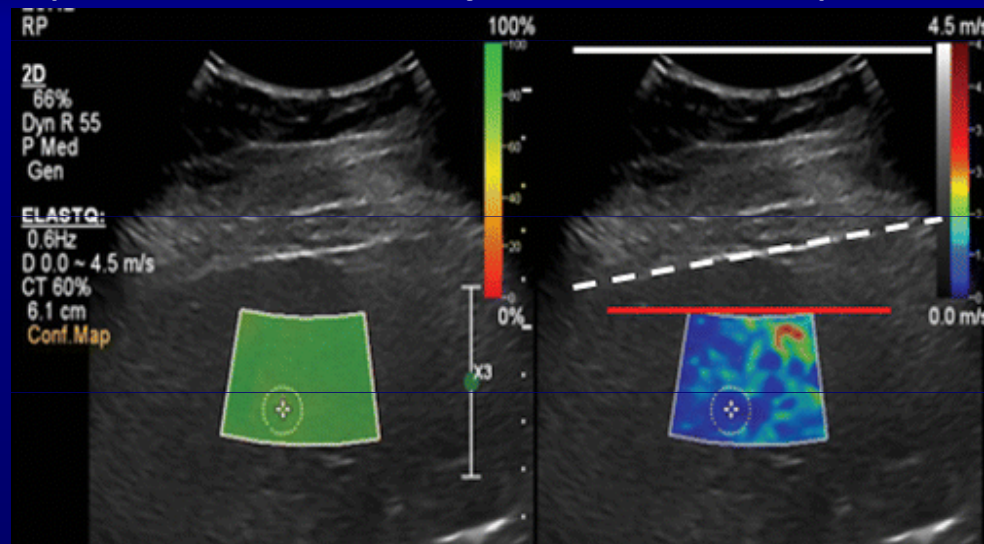


# Artefakty

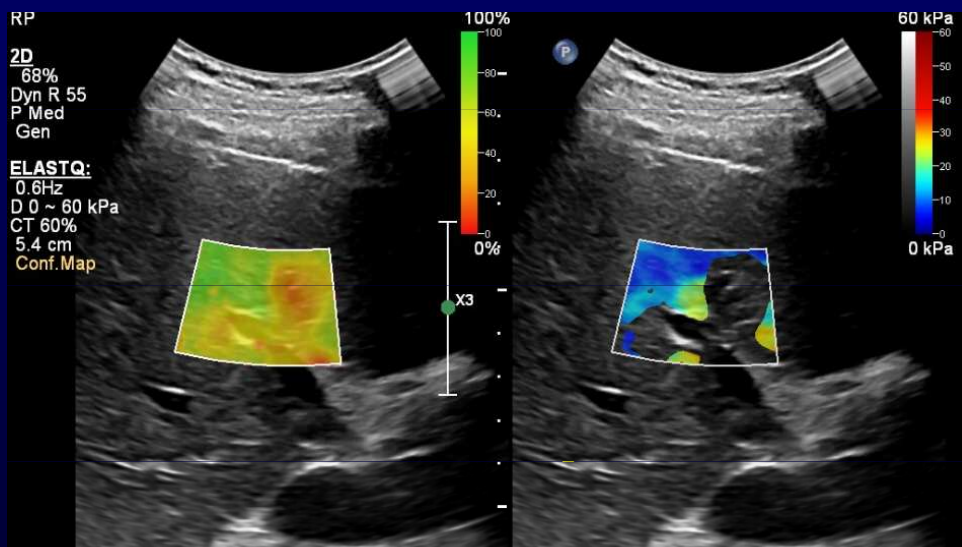
- Kapsula jater – reverberace



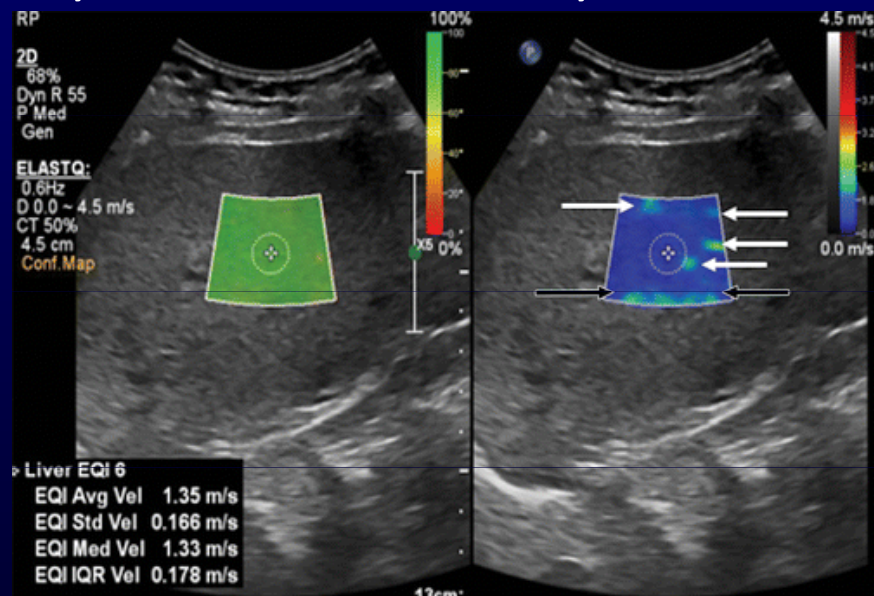
- Kapsula - ARFI musí jít kolmo na kapsulu



- Cévy – v rovině



- Cévy - mimo rovinu sondy



# Další možnosti v hodnocení jater

- Rychlost SW vln (u všech výrobců)

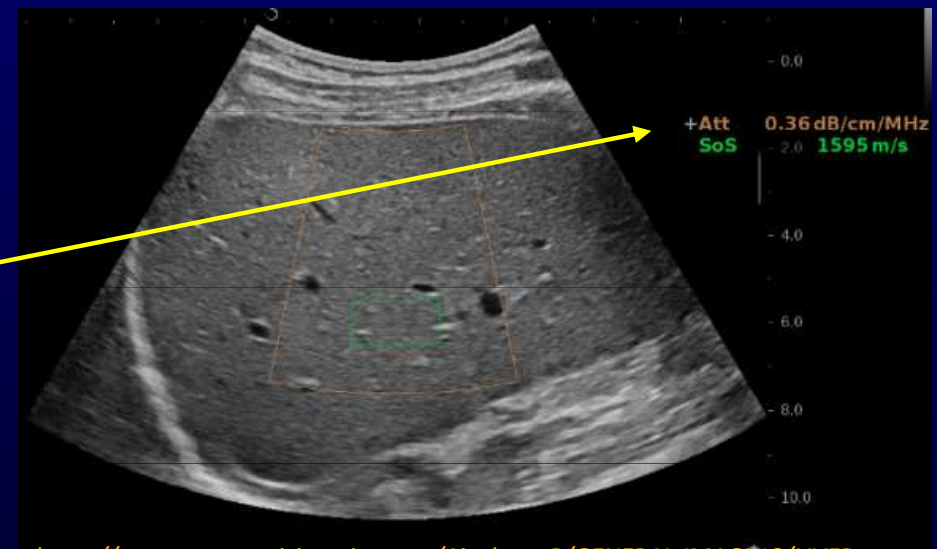
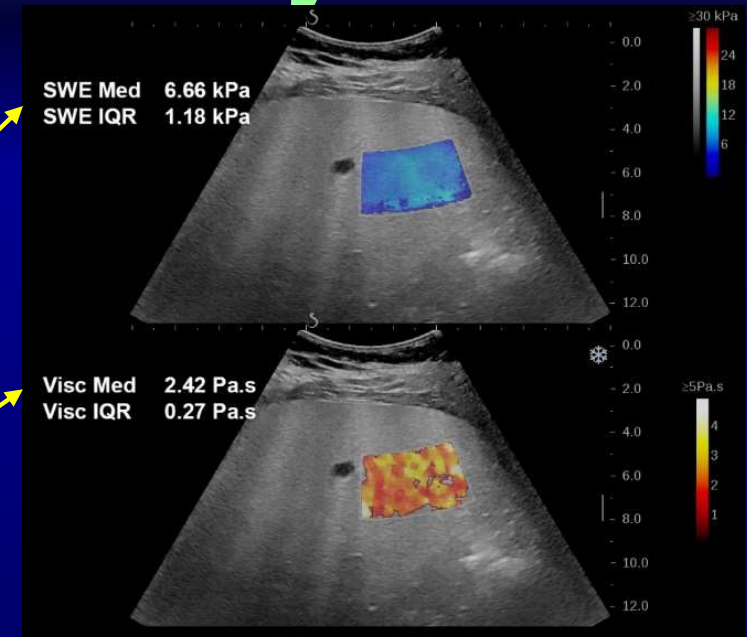
- Vztah k tuhosti a fibróze
- Přepočet na kPa

- Disperzní mapa

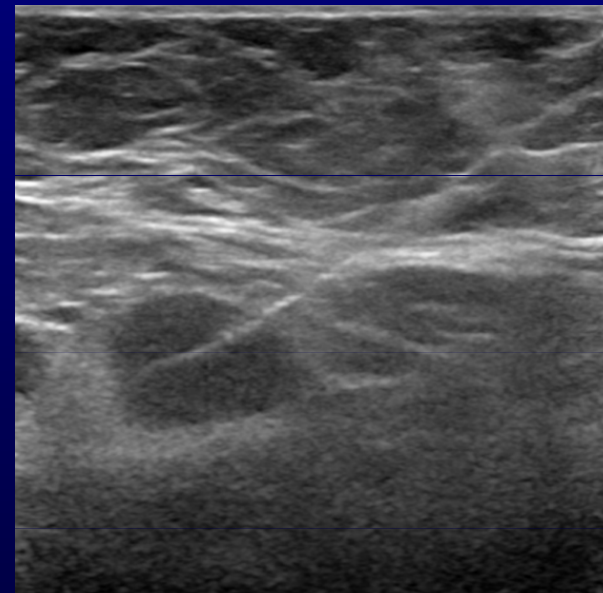
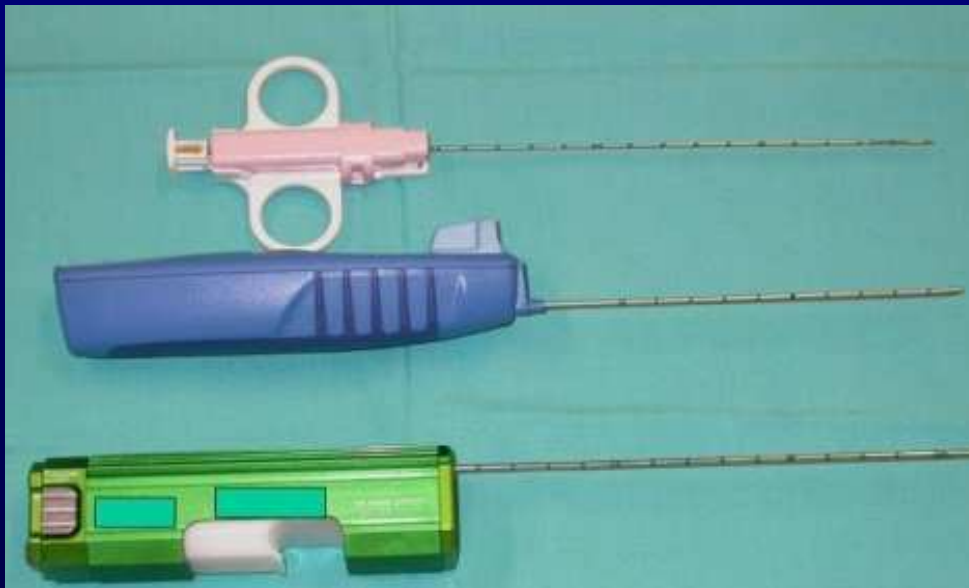
- Se zvyšující se frekvencí roste u viskoznější tkáně více rychlost SW vln
- Odpovídá viskozitě
- Vztah k **zánětlivým změnám**

- **Attenuace** (dB/cm/Hz)

- Útlum signálu
- Kvantifikace **steatózy**



# Intervence pod UZ



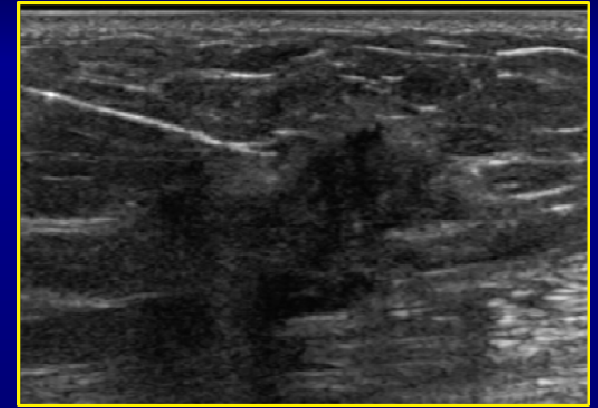
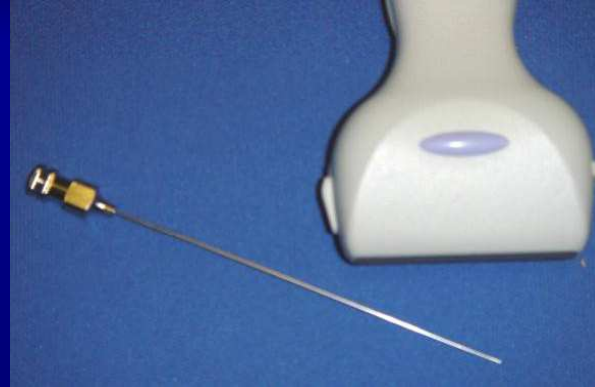


# Co lze provádět pod UZ kontrolou

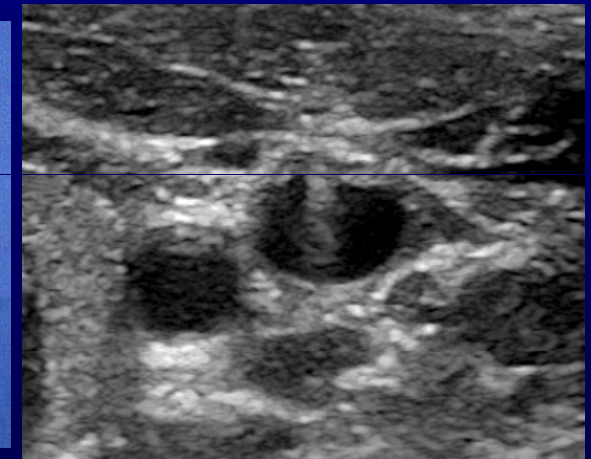
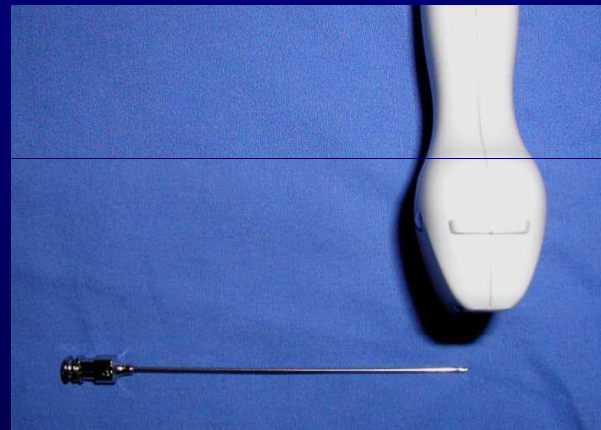
- Punkce
- Biopsie
- Lokalizace – zavedení lokalizačního drátu/značky
- Drenáže – zavedné drénu
- Instilace léčiv
- Abláční výkony – např. radiofrekvenční ablace tumoru jater

# Technika UZ navigace

- Volnou rukou
  - Sklon jehly
    - v rovině sondy



- kolmo na sondu

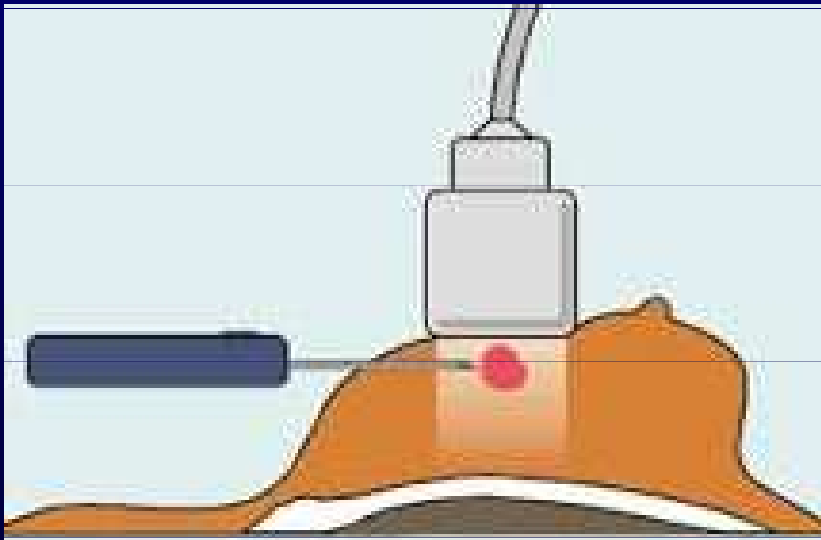


- Bioptické nástavce

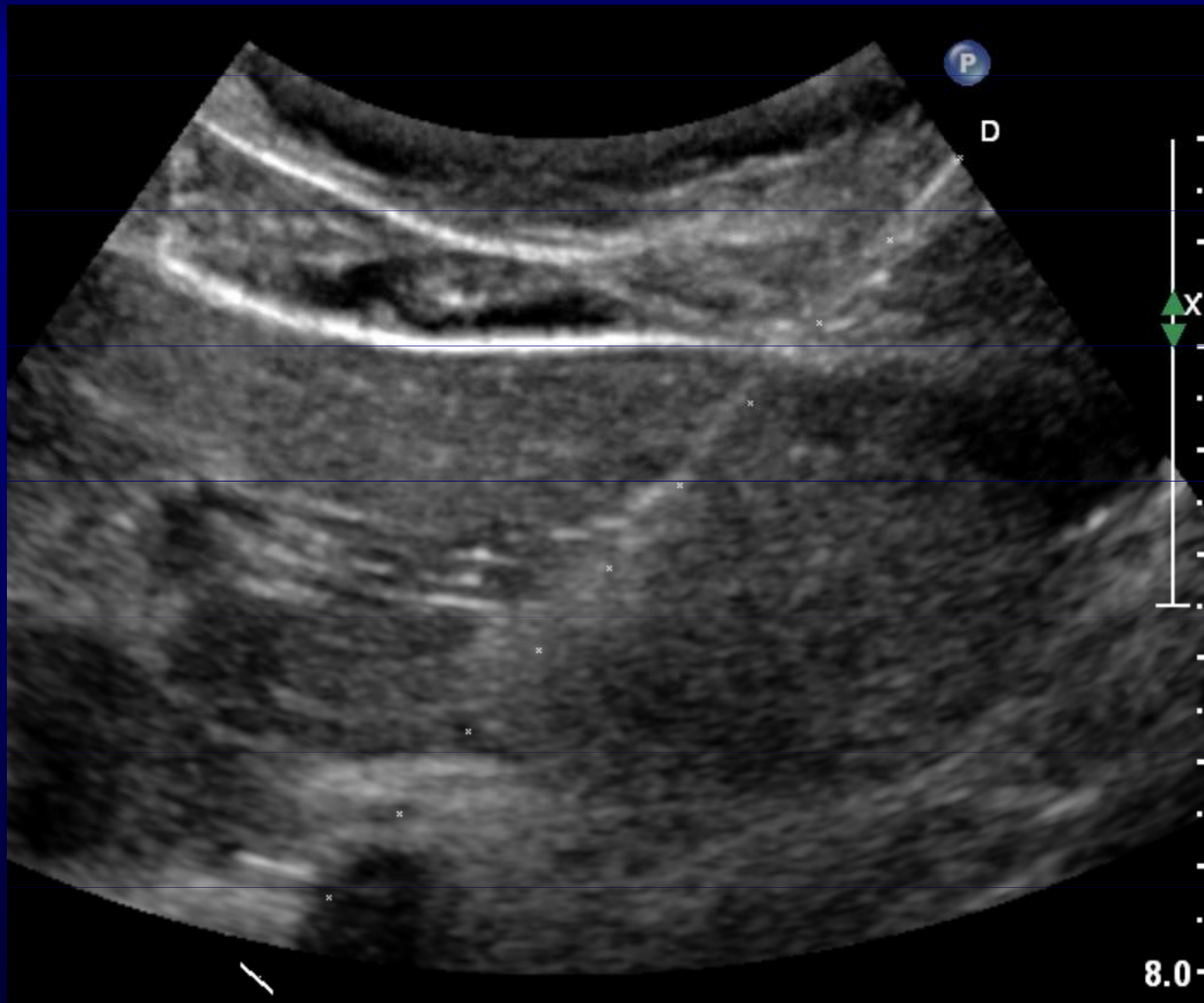


# Core biopsie prsu

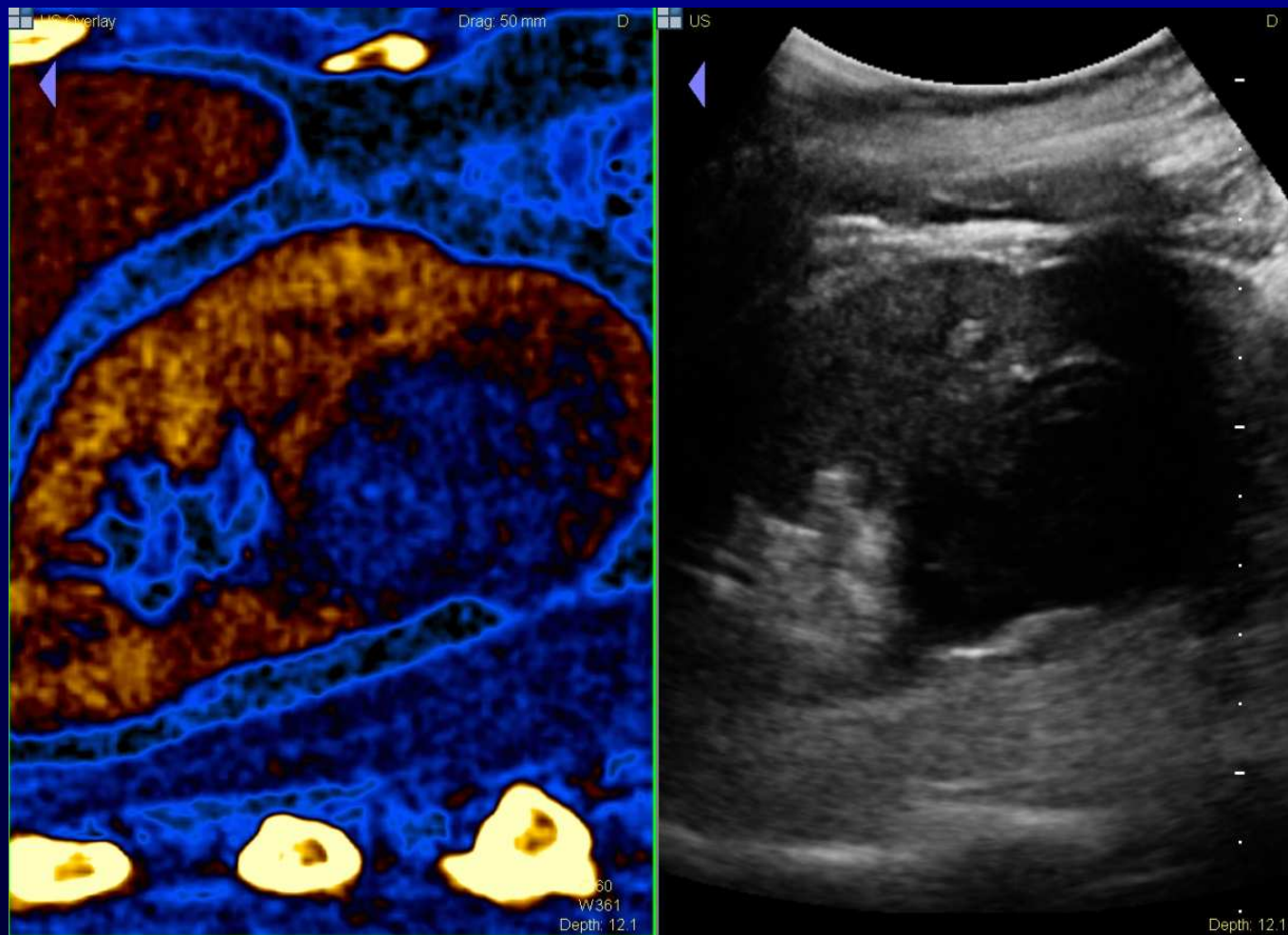
- Nejčastěji 14G jehla
- Technika volnou rukou – v rovině sondy
- Obvykle 2 vzorky



# Biopsie jater - guide

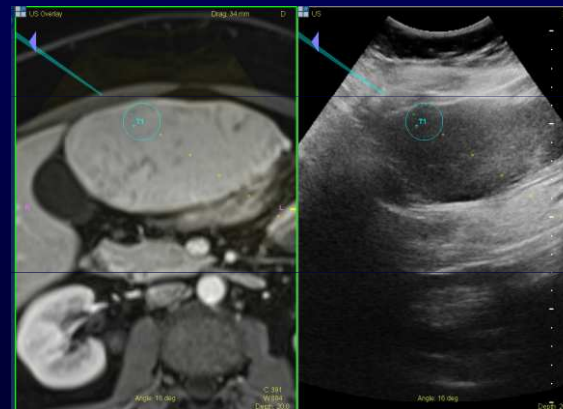


# Fúze UZ s další modalitou



# 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

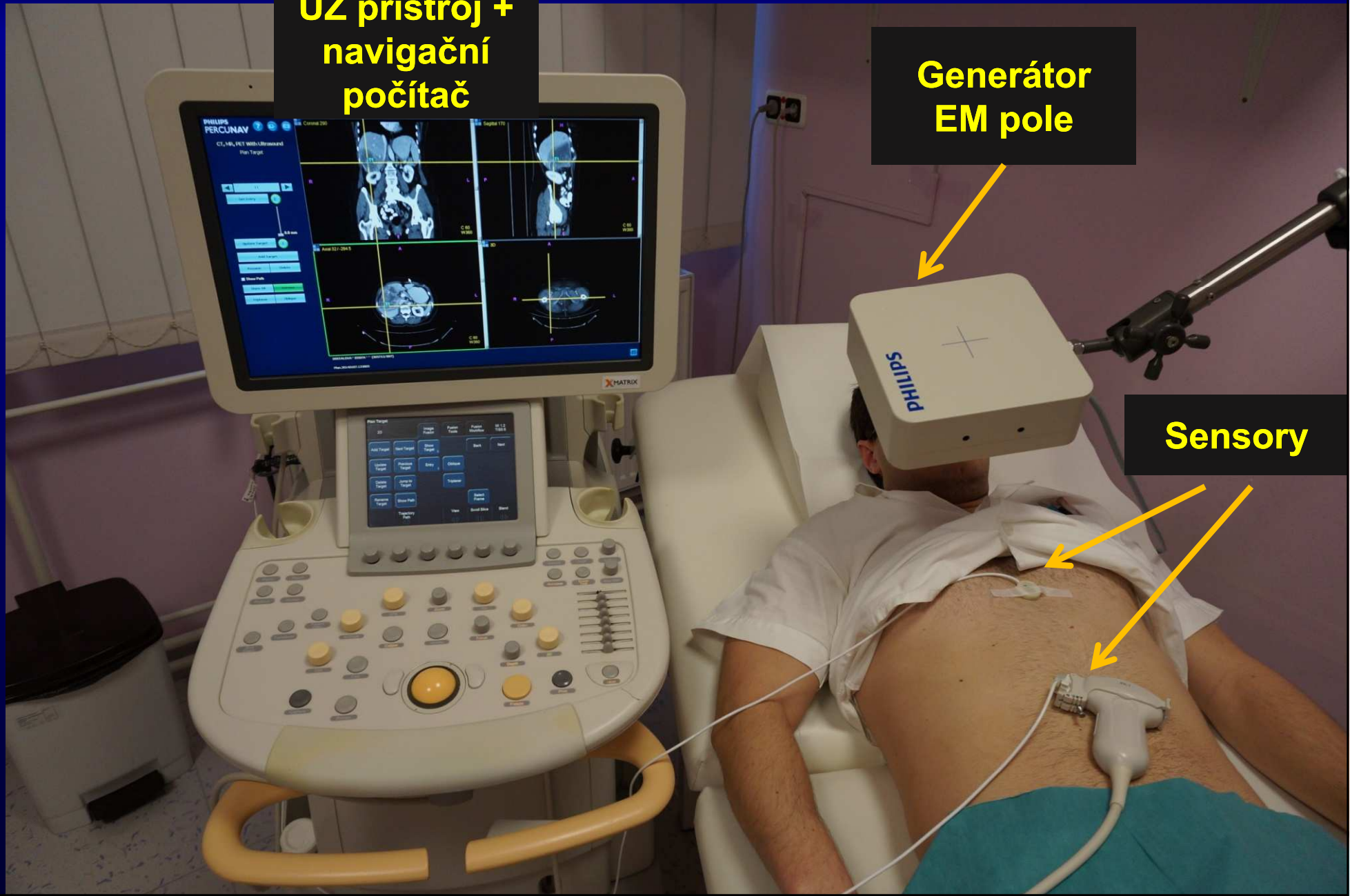


# Součásti systému

UZ přístroj +  
navigační  
počítač

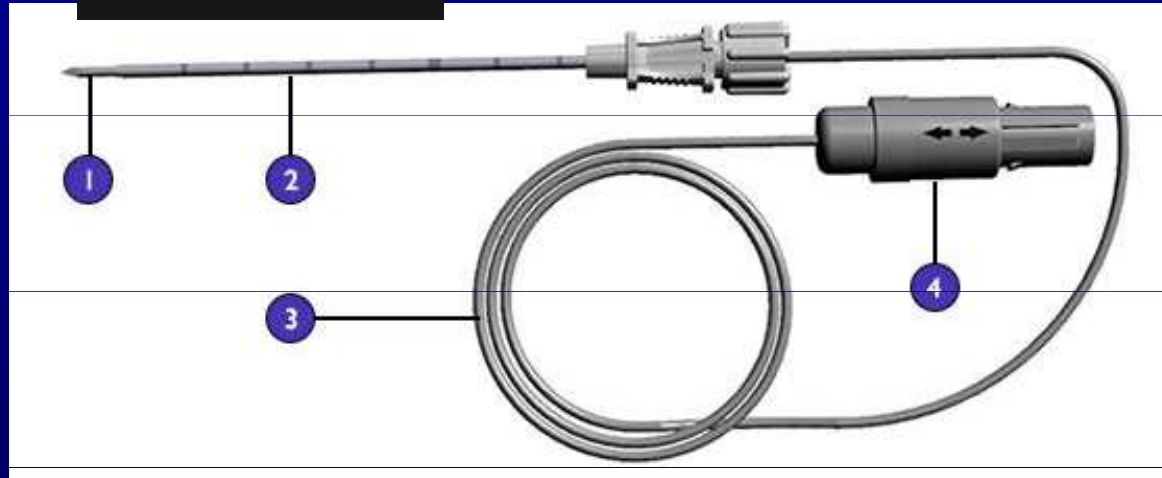
Generátor  
EM pole

Sensory

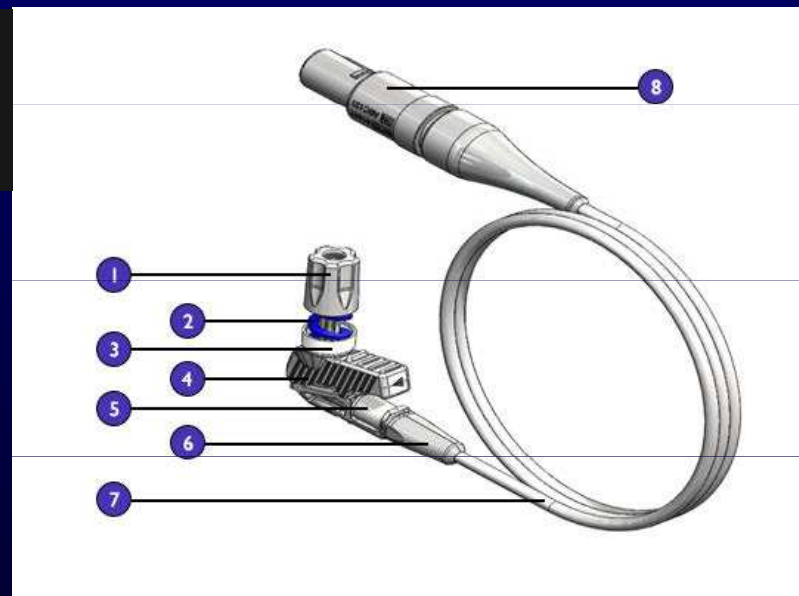


# Součásti systému (intervence)

**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%)

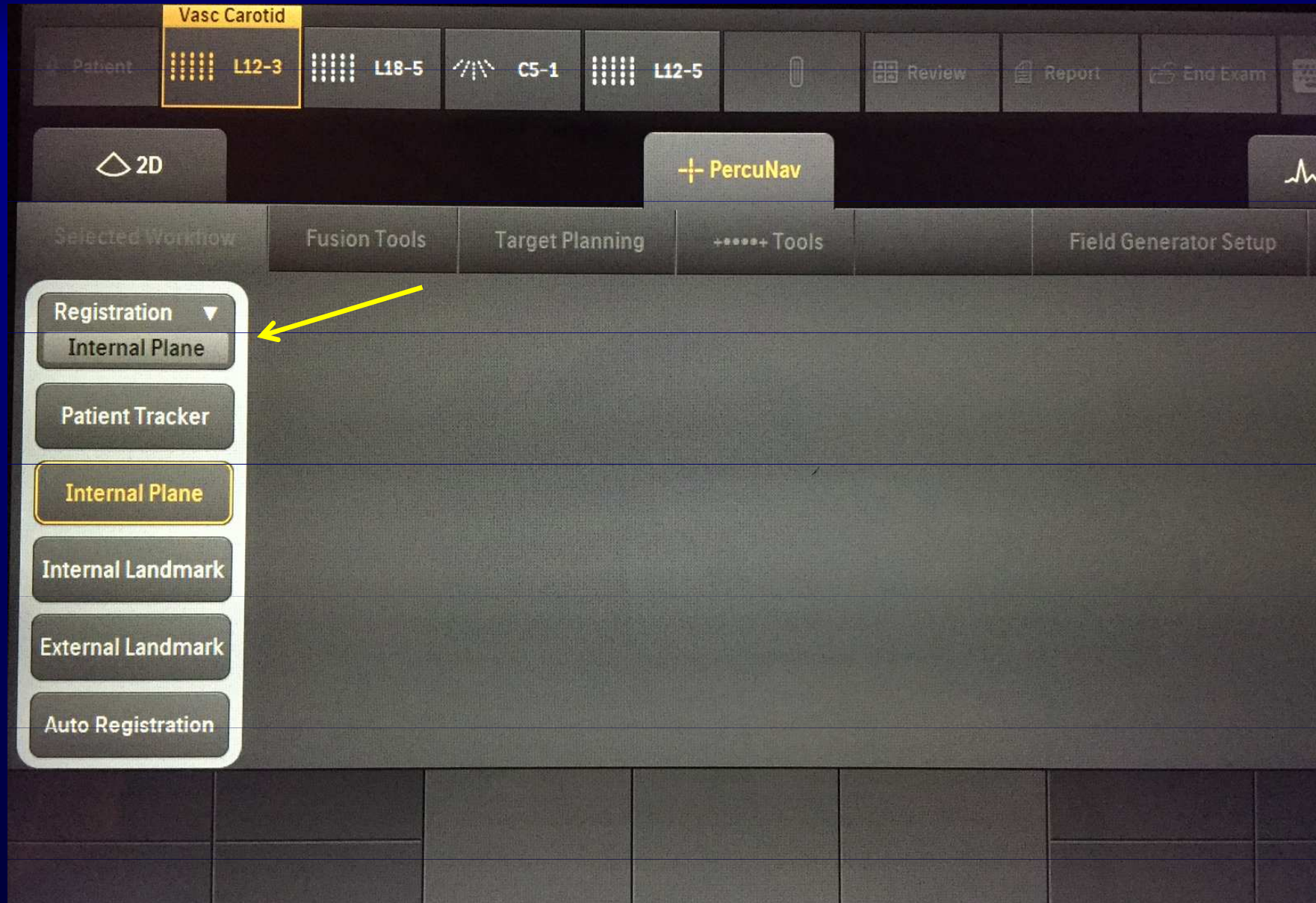
By Patient Name

Patient Name	Patient ID	Accession #	Exam Date/Time	Study Type	Modality	Images	Status	
			30/03/2016 10:00		CT	377	Imported	
<input 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

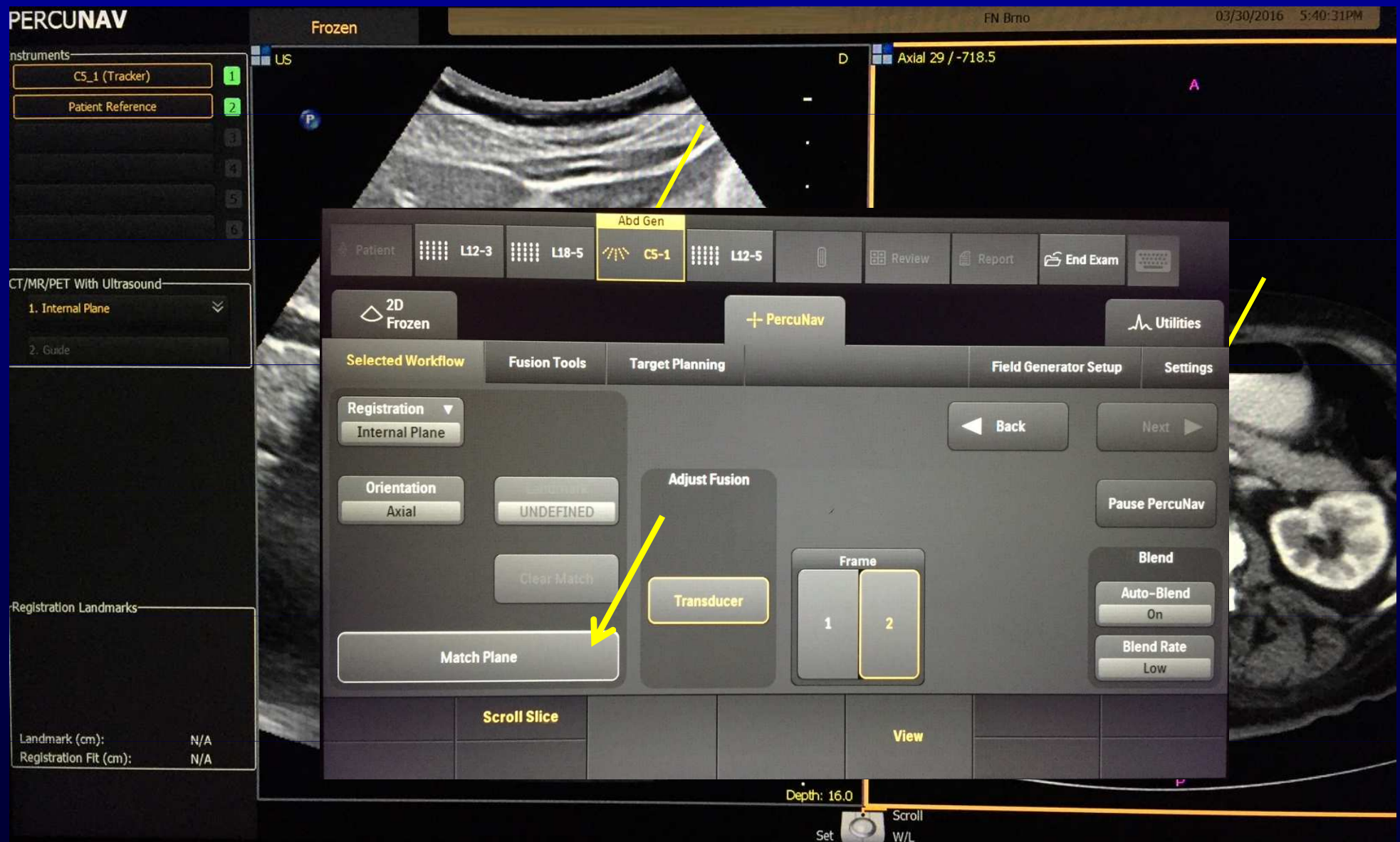
Open Unselect All Delete Append Send To... CT Only Fusion Done

# Registrace



# Registrate

- Registrate pomocí roviny – Internal plane



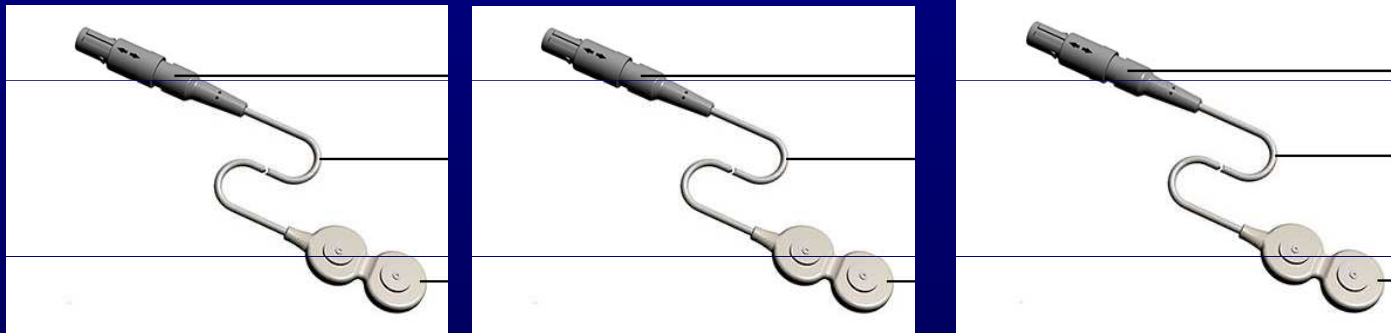
# Registrace

- Registrace 3 a více bodů – Internal Landmark



# Registrace

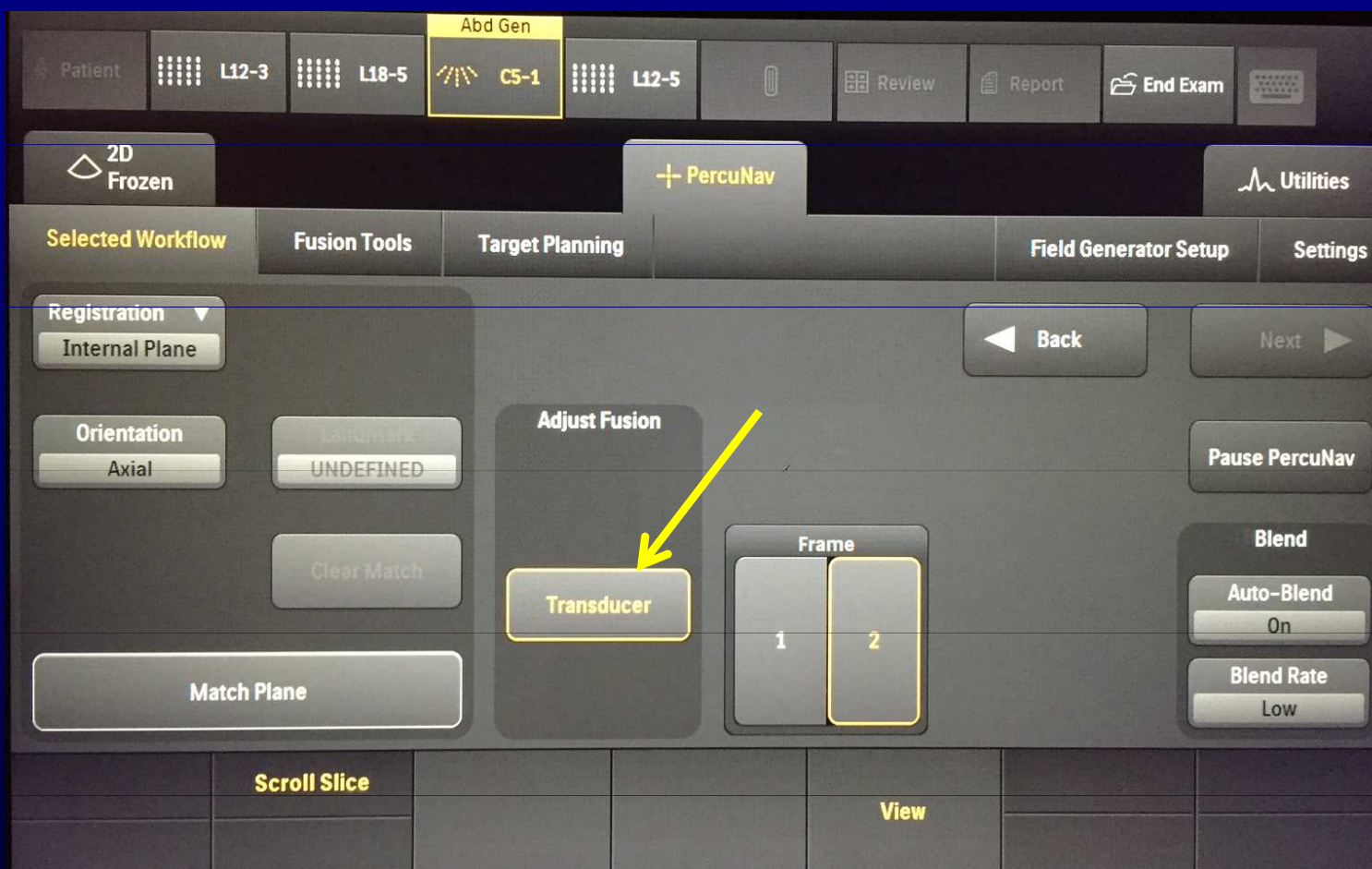
- Registrace automaticky hned po CT (3 trackery) – **Patient tracker**
  - Nutné provedení nového CT těsně před výkonem



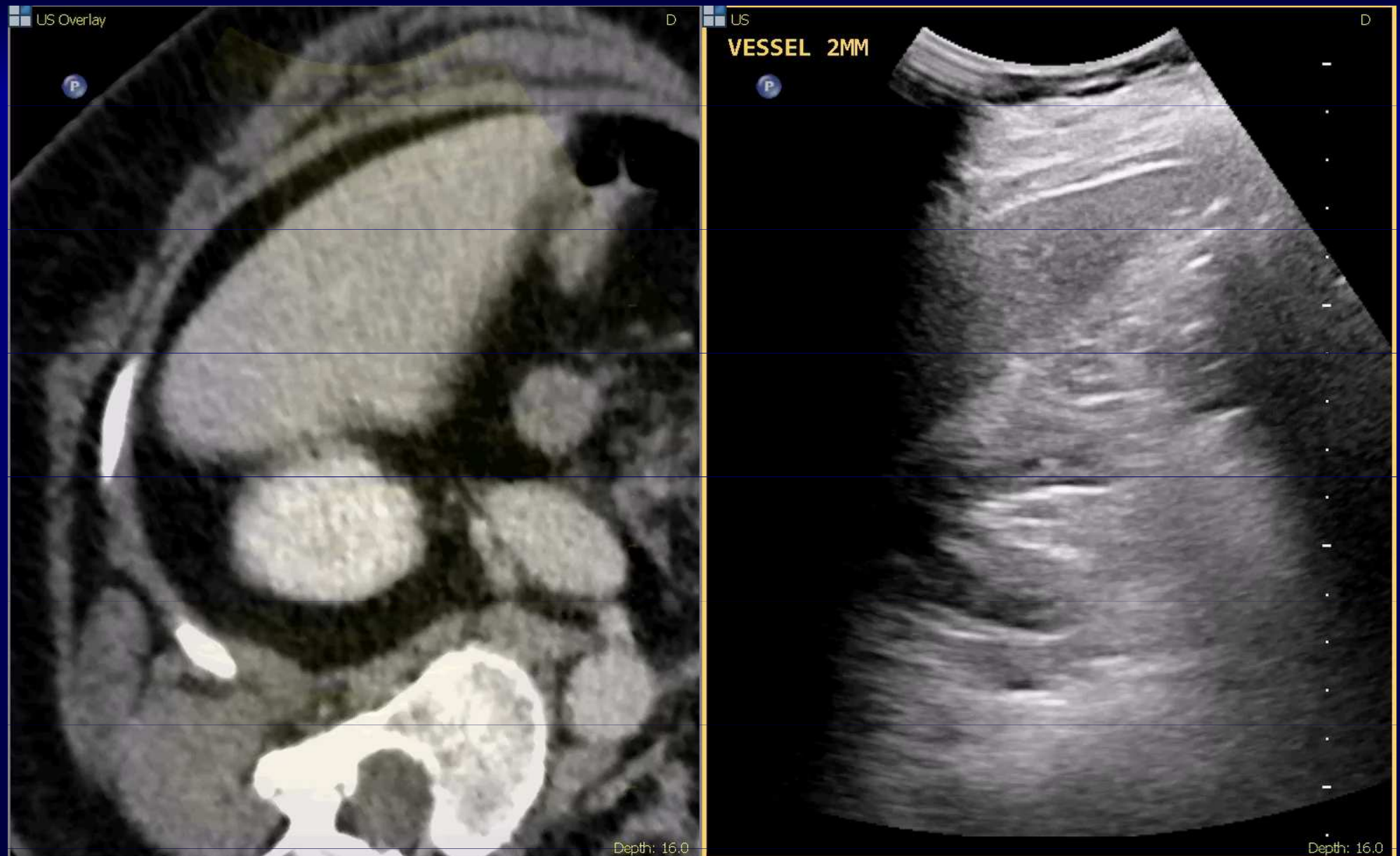
- Registrace automaticky z předchozího CT jater
  - **Vessel based**
  - **Surface**

# Registrace - úpravy

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

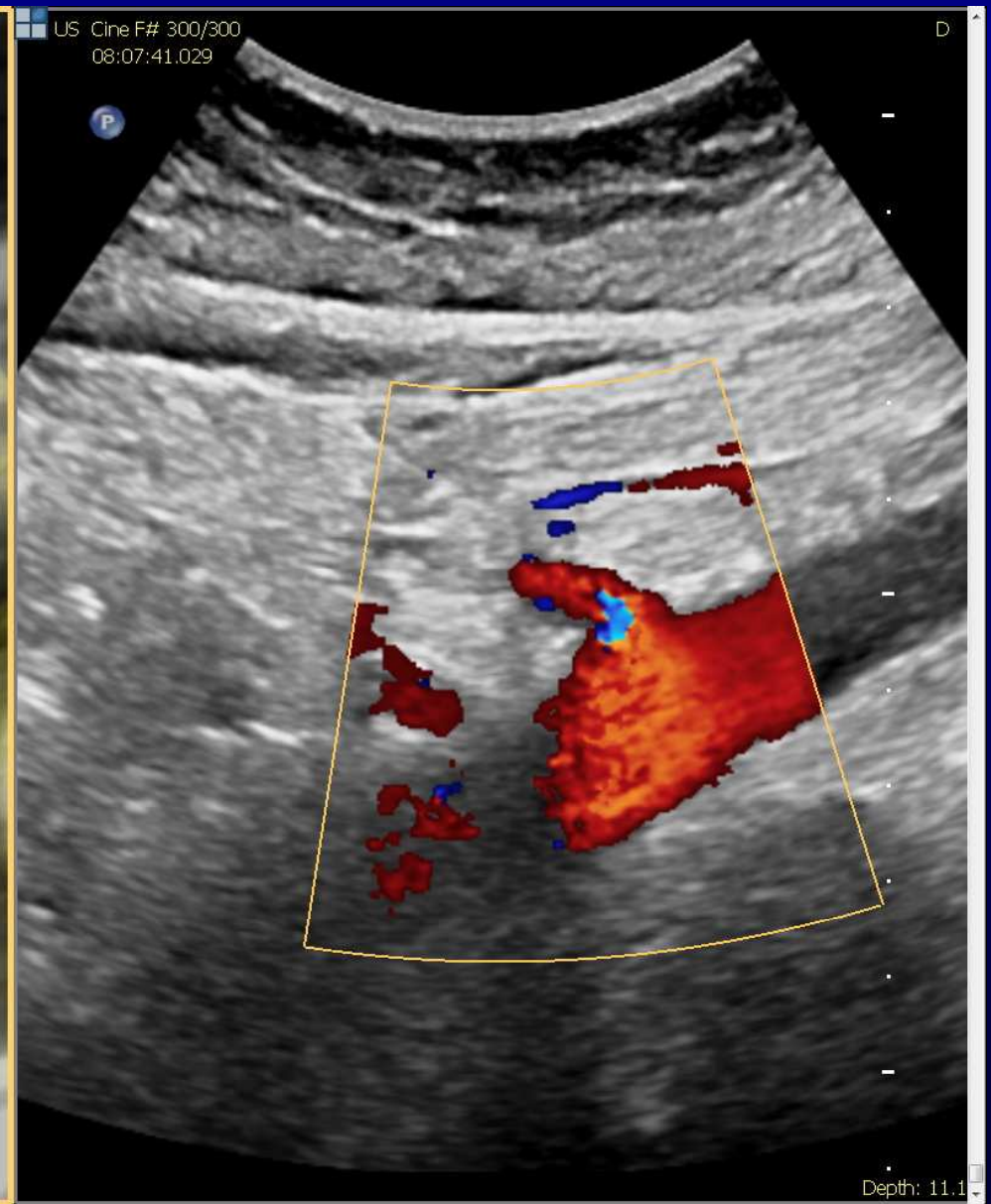
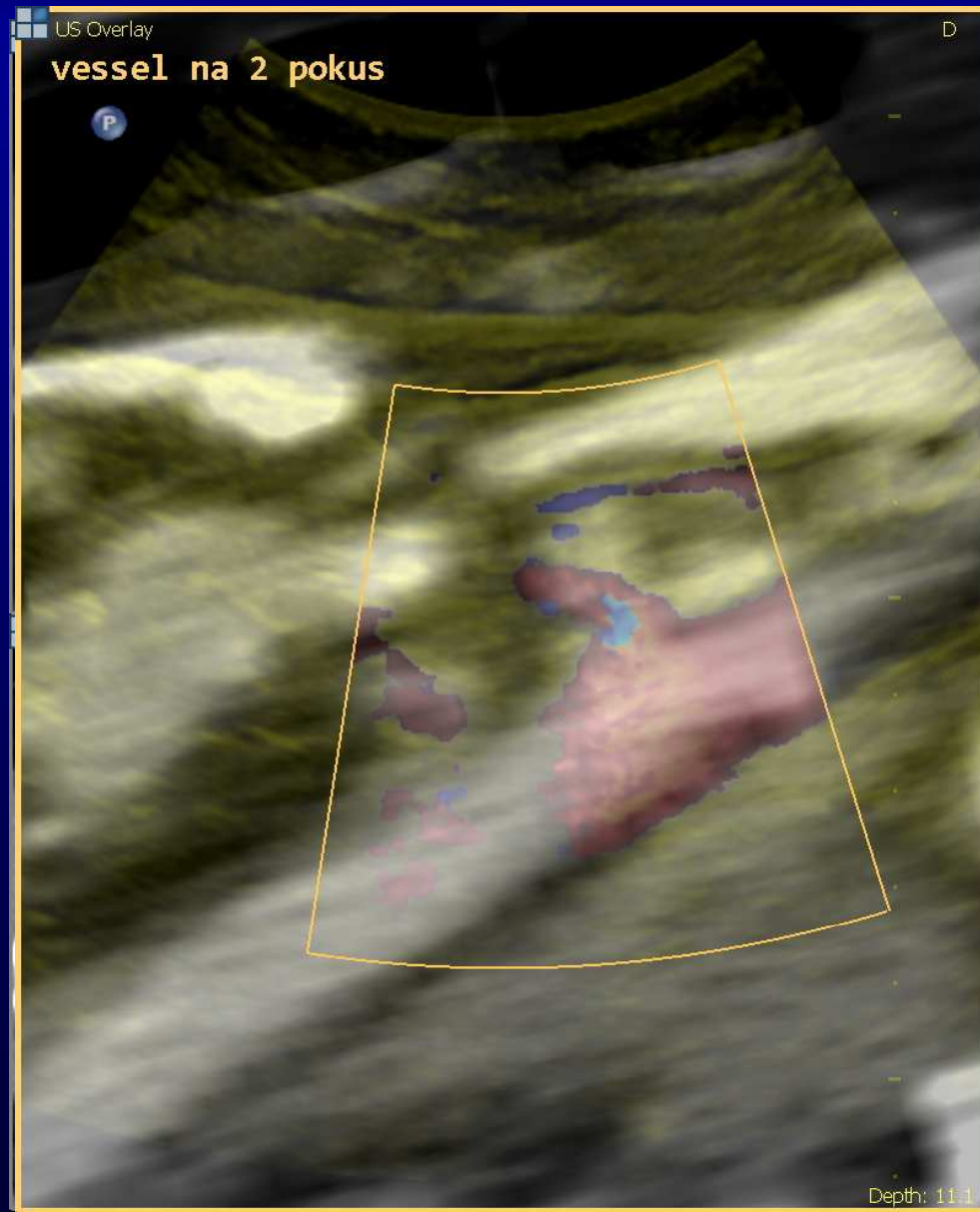


# Fúze CT +UZ (video)



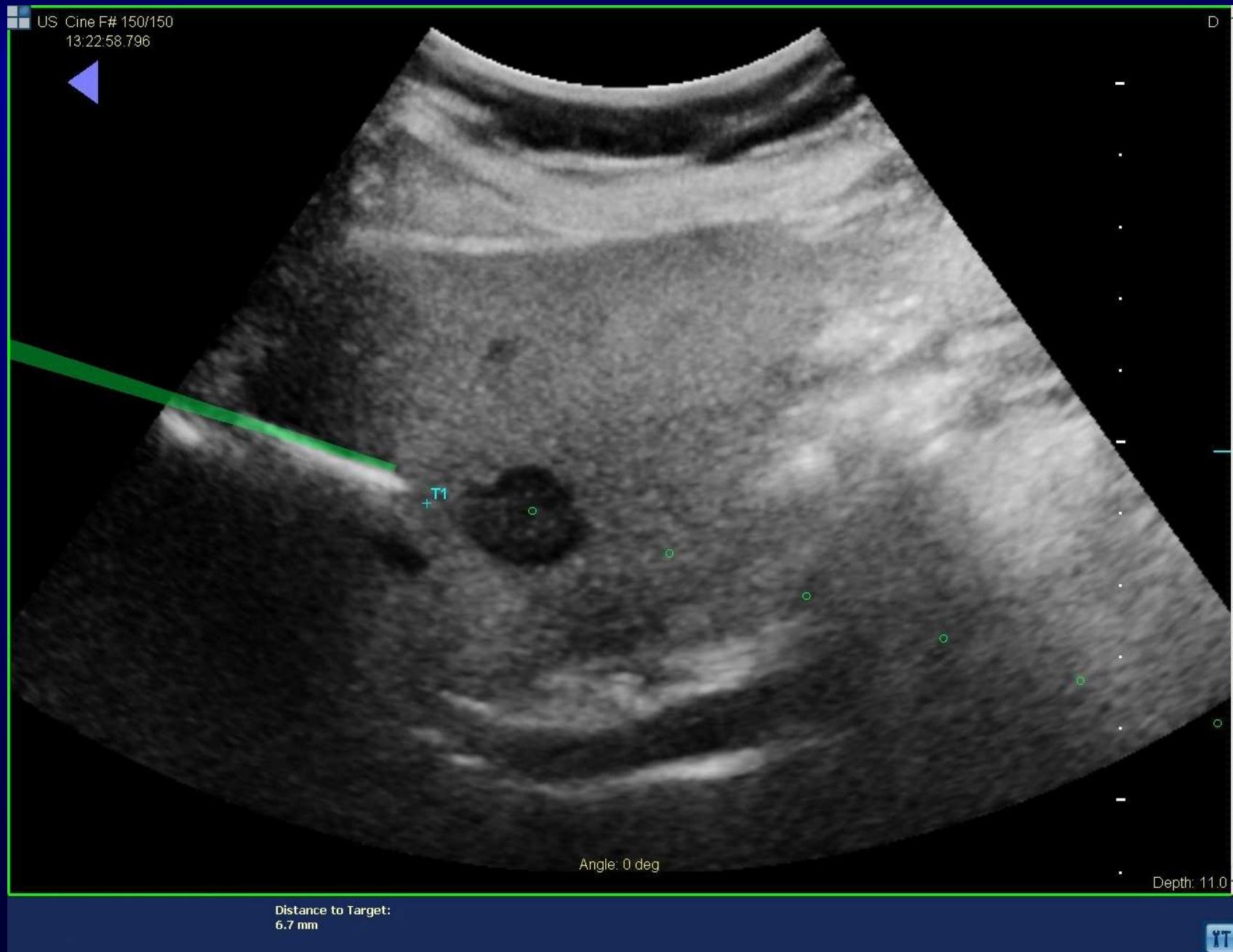
# Fúze CT +UZ

- Vessel

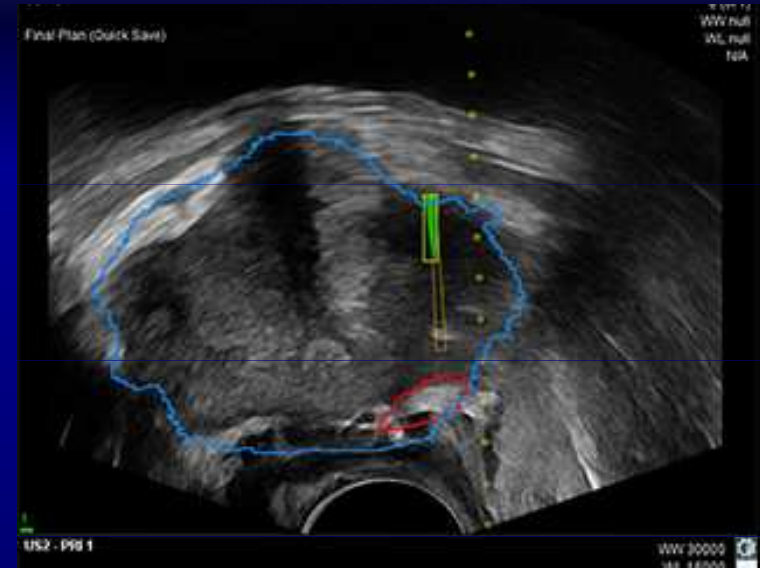
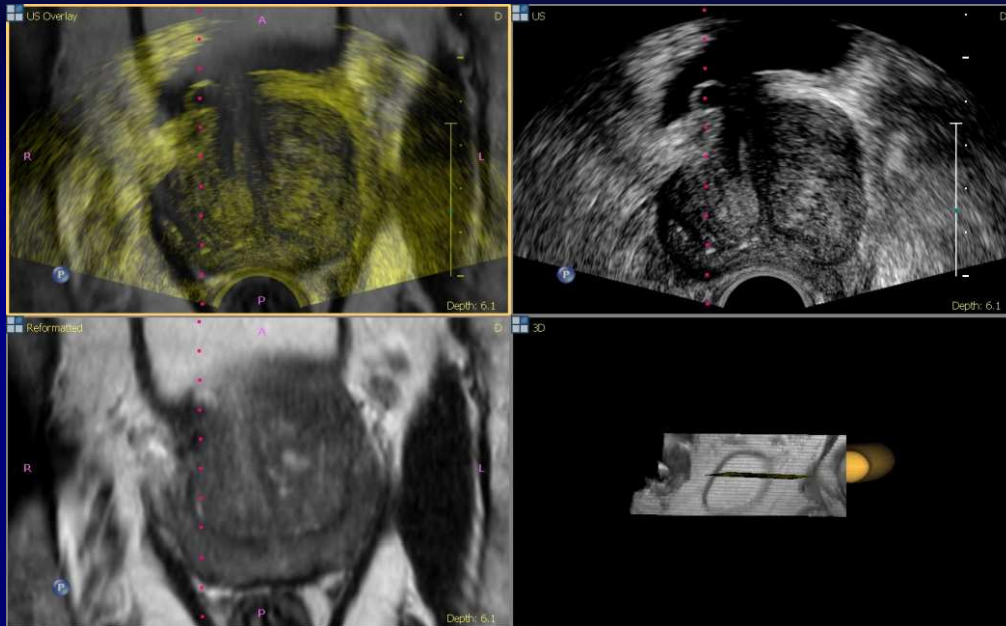




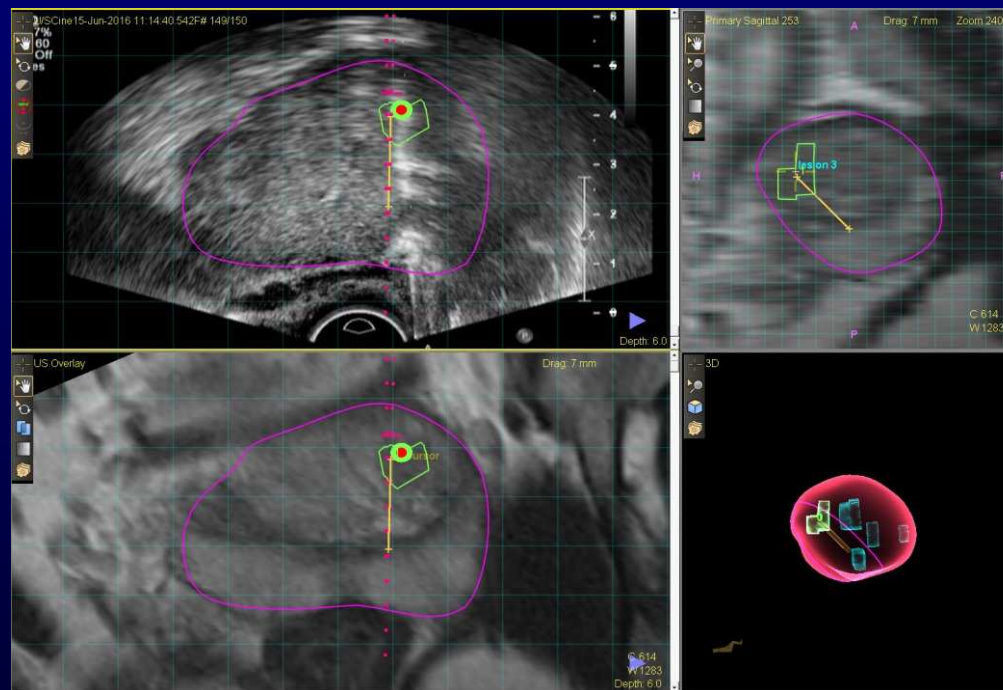
# Navigace (bez fúze)



# Prostata - fúze MR + UZ



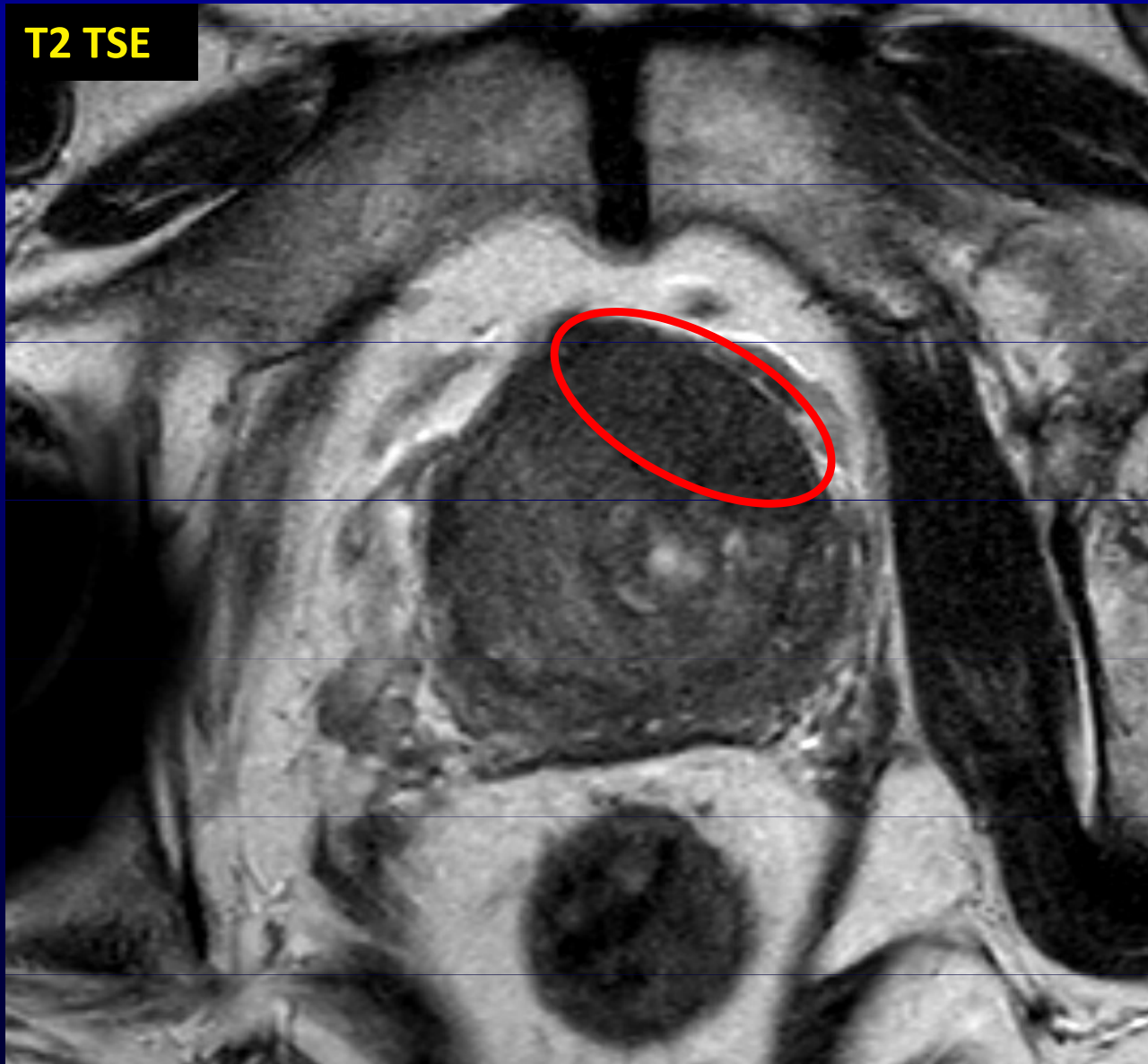
[http://dktech.de/?page\\_id=21](http://dktech.de/?page_id=21)



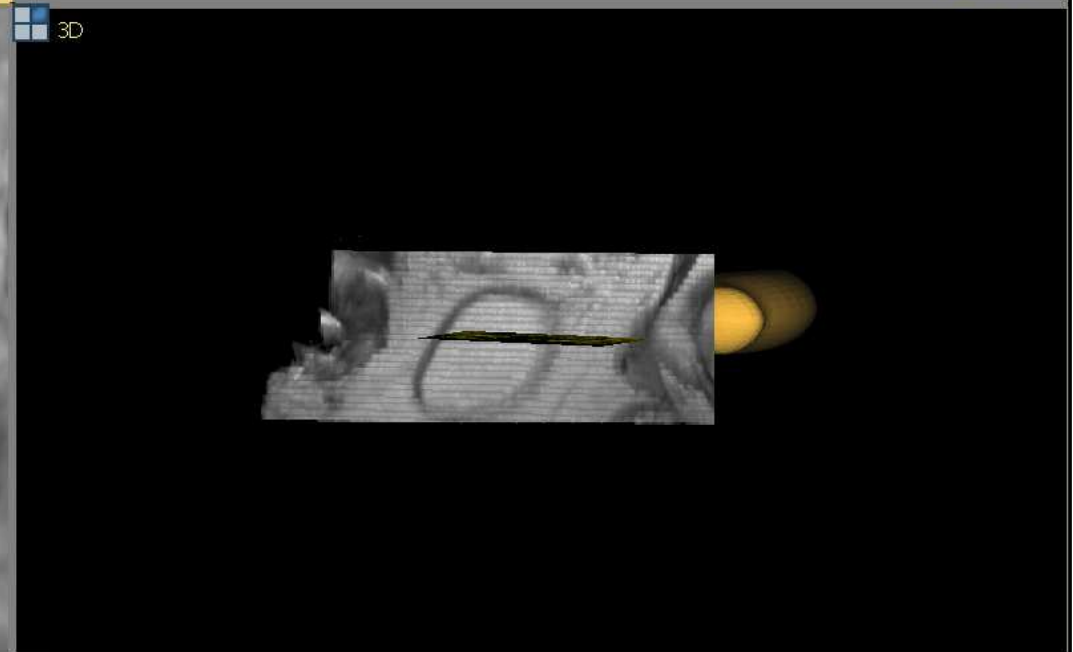
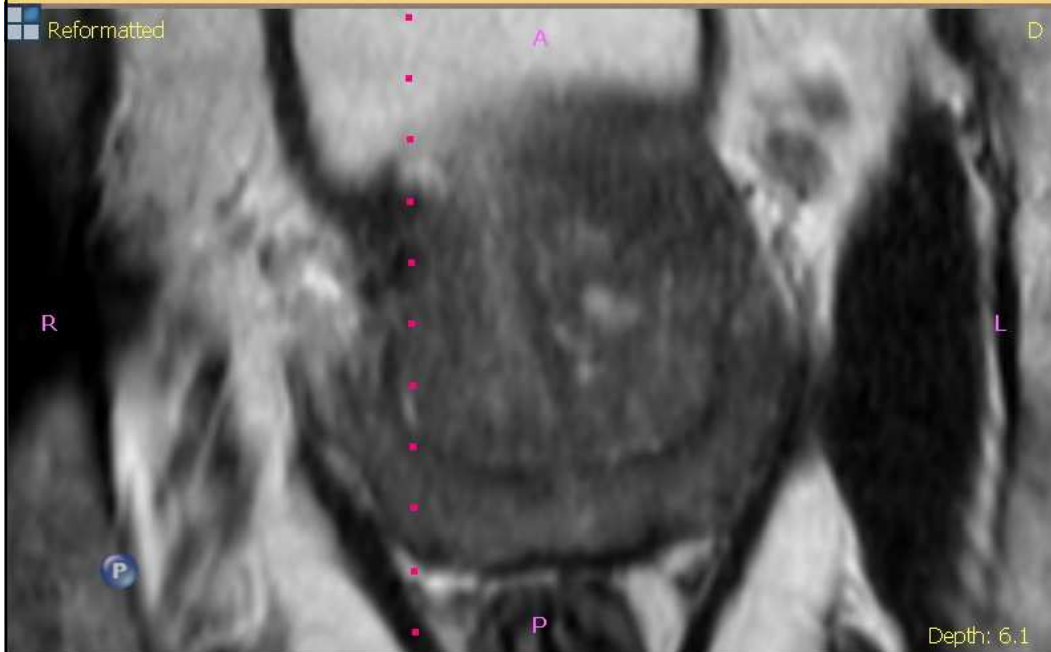
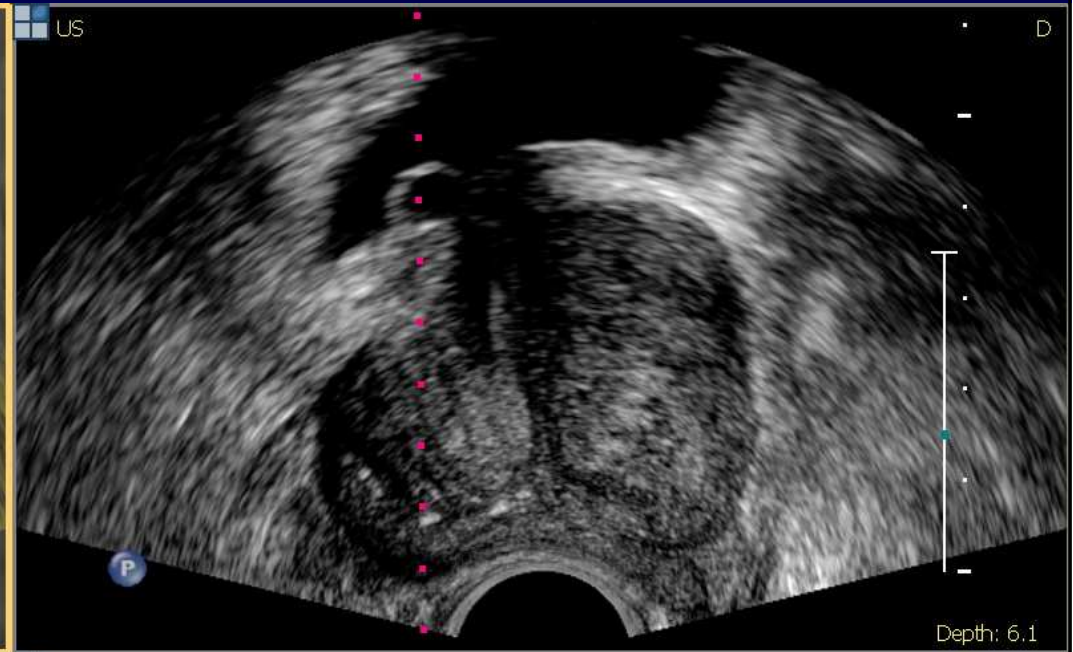
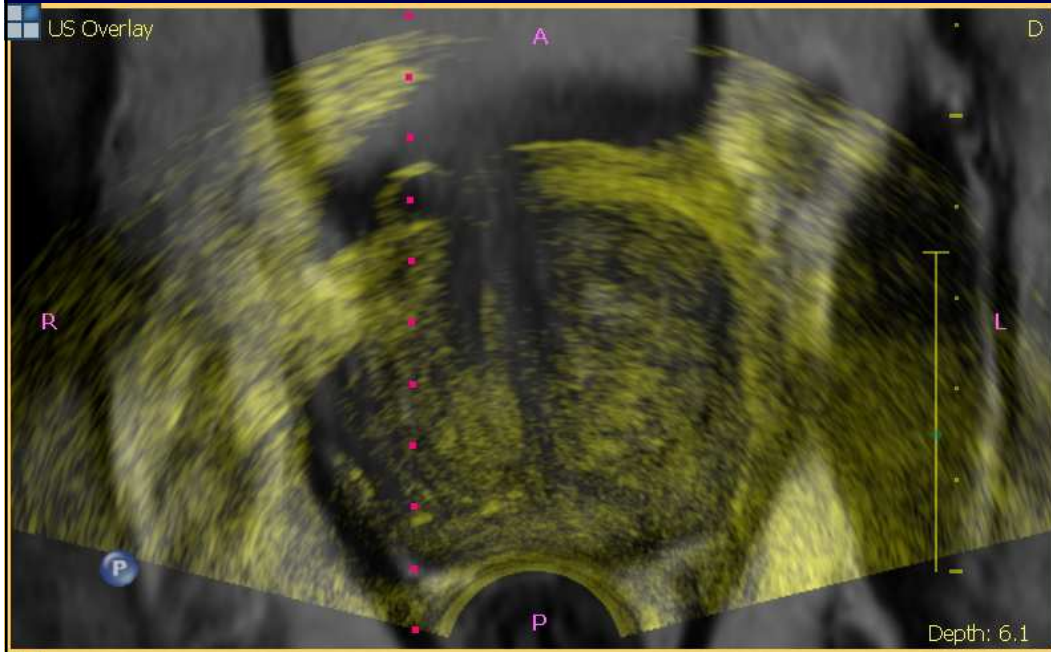
<https://www.urospecialist.com.sg/article/mri-us-fusion-guided-biopsy-of-the-prostate-a-better-way-to-biopsy-the-prostate/>

# mpMR prostaty – PIRADS 5

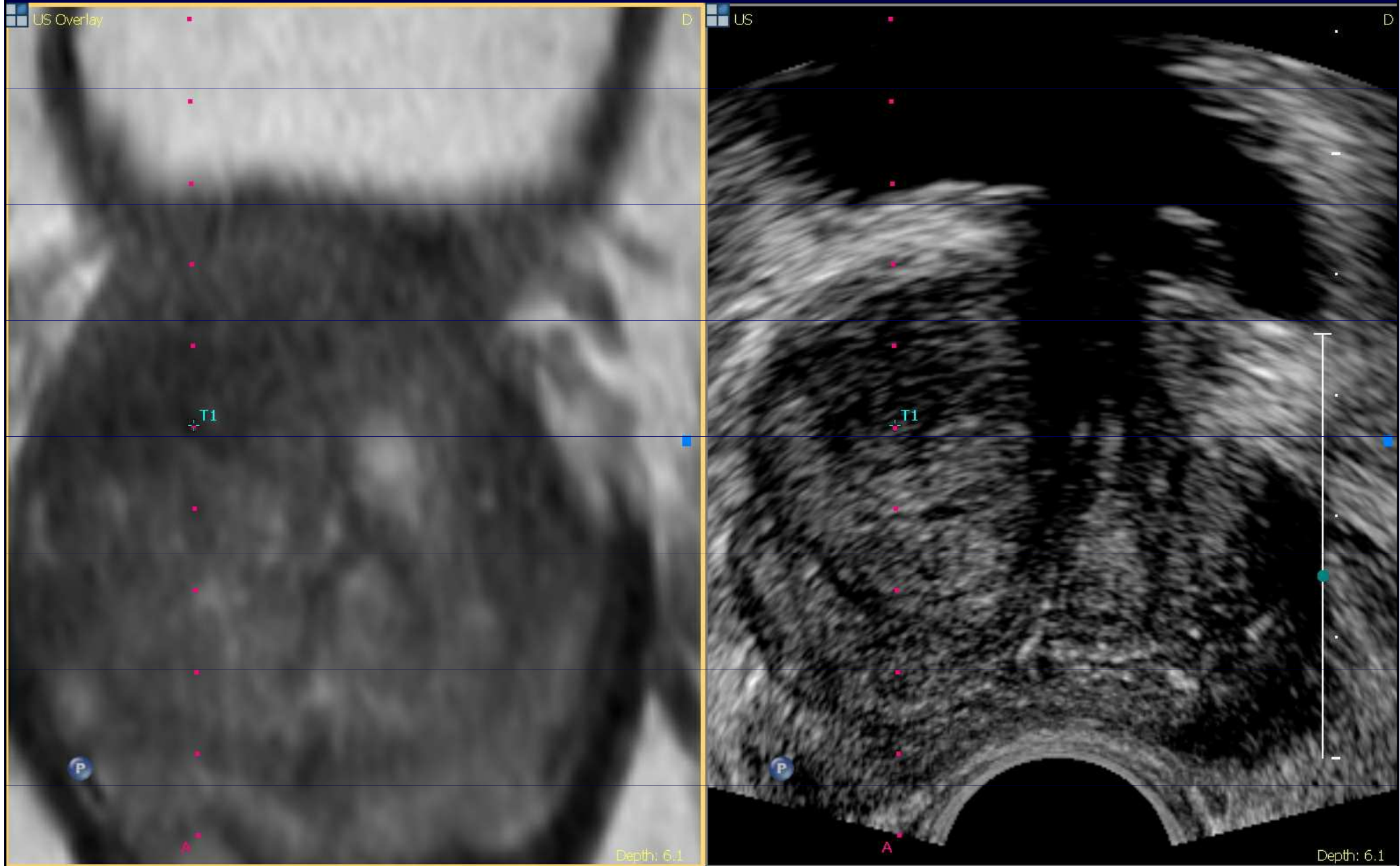
Stoupající PSA (15...22), 3 x negat. biopsie – 2x syst. 1x saturační



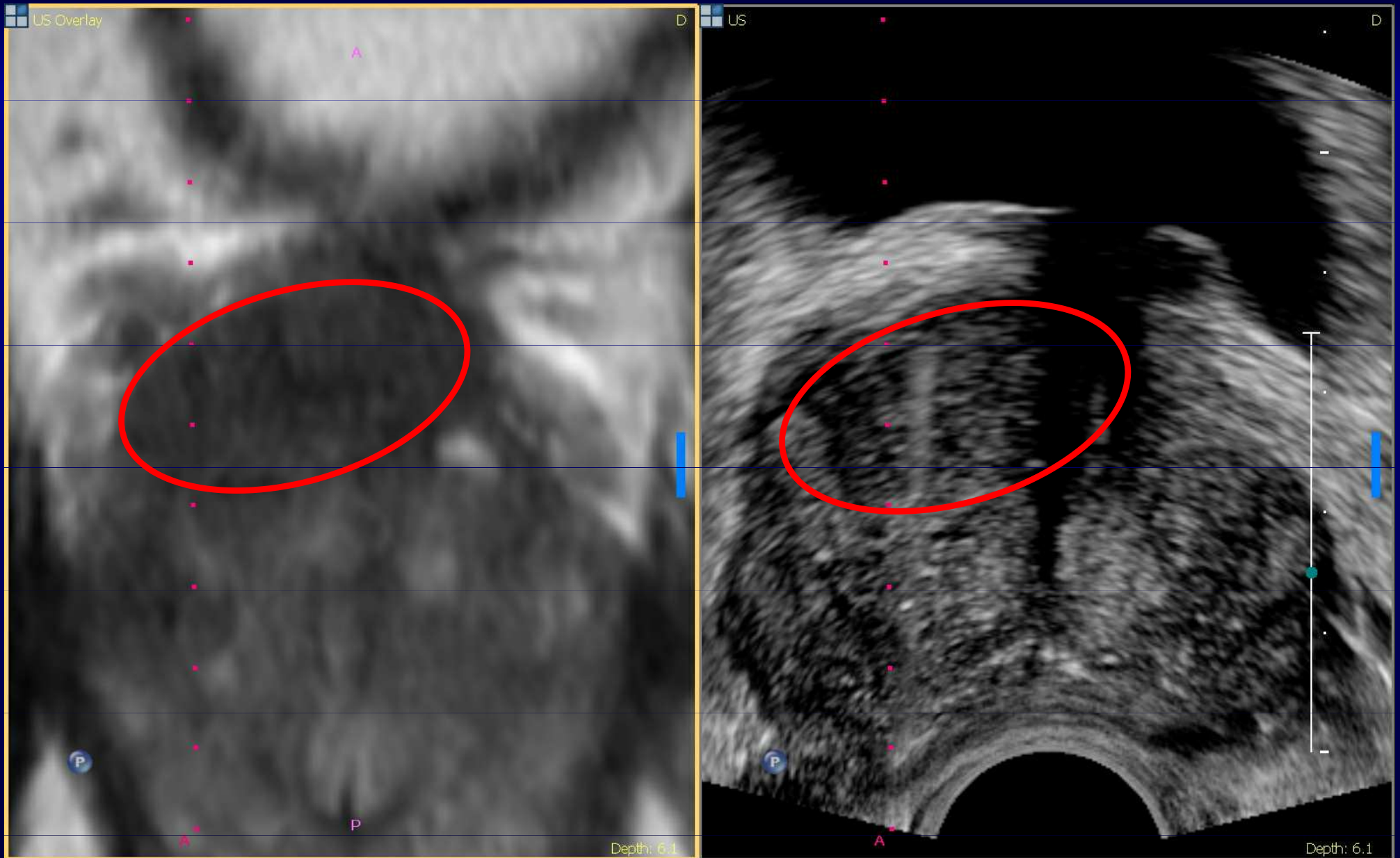
# Biopsie s MR-UZ fúzí (1)



# Biopsie s MR-UZ fúzí (2)

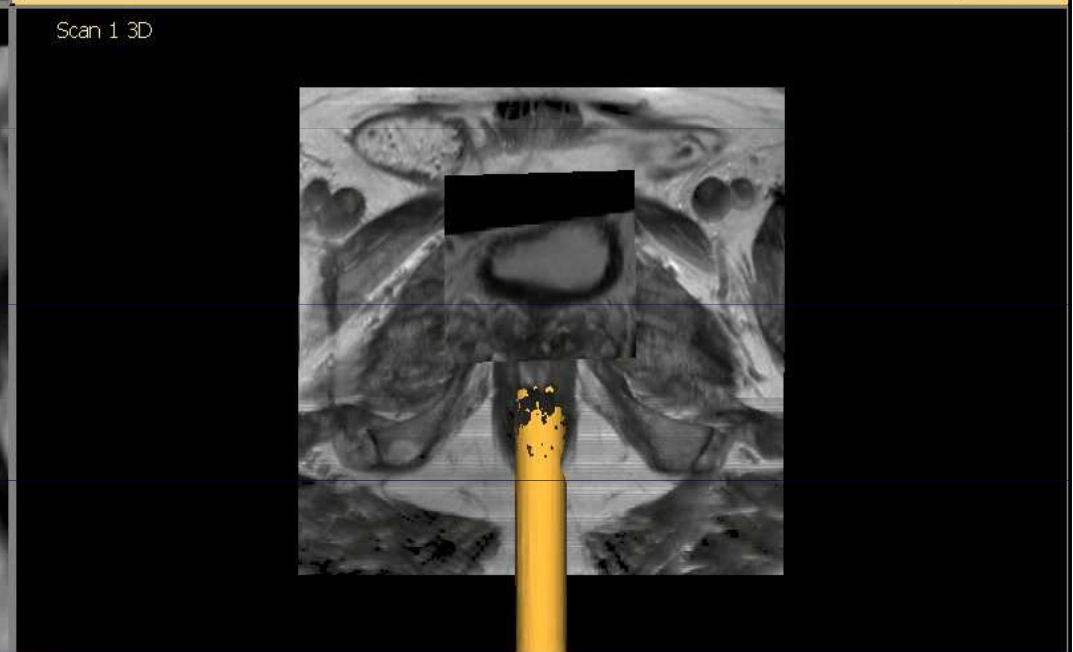
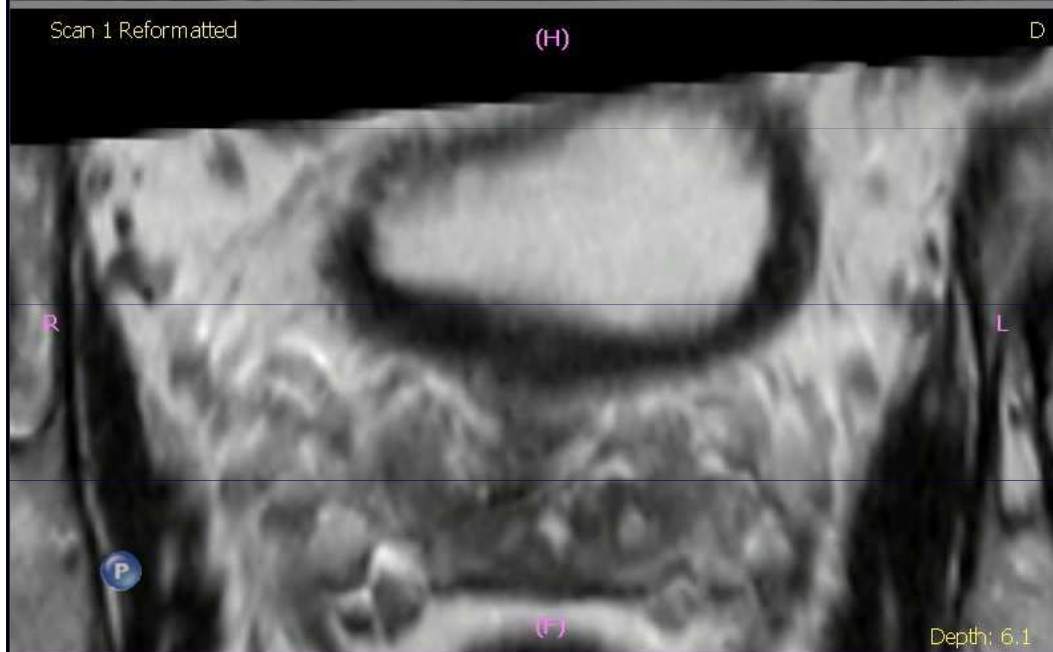
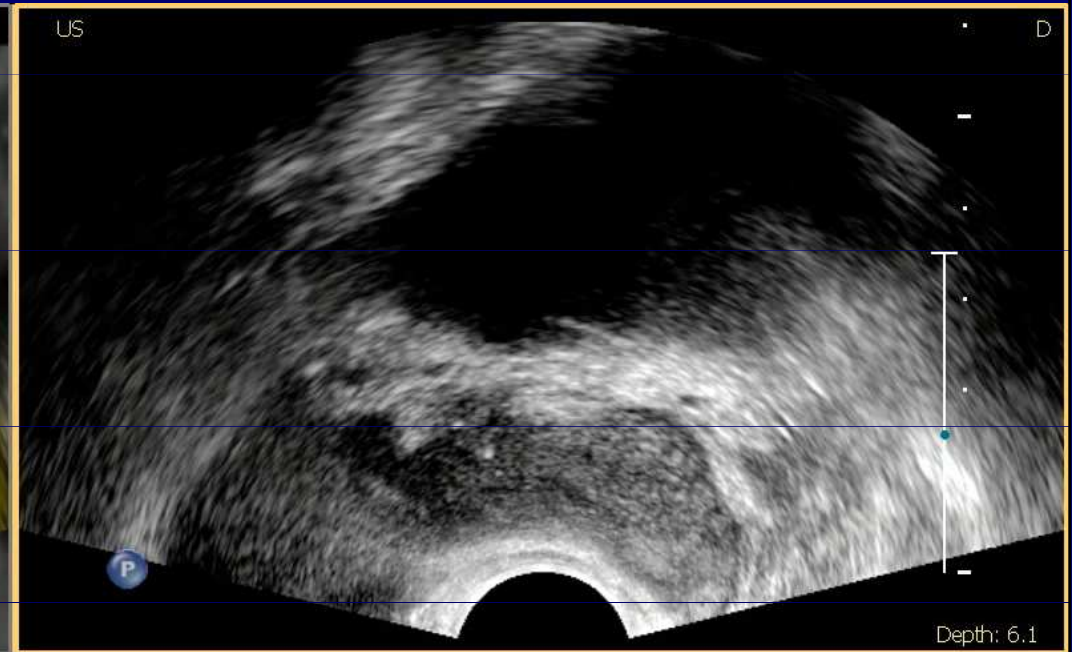
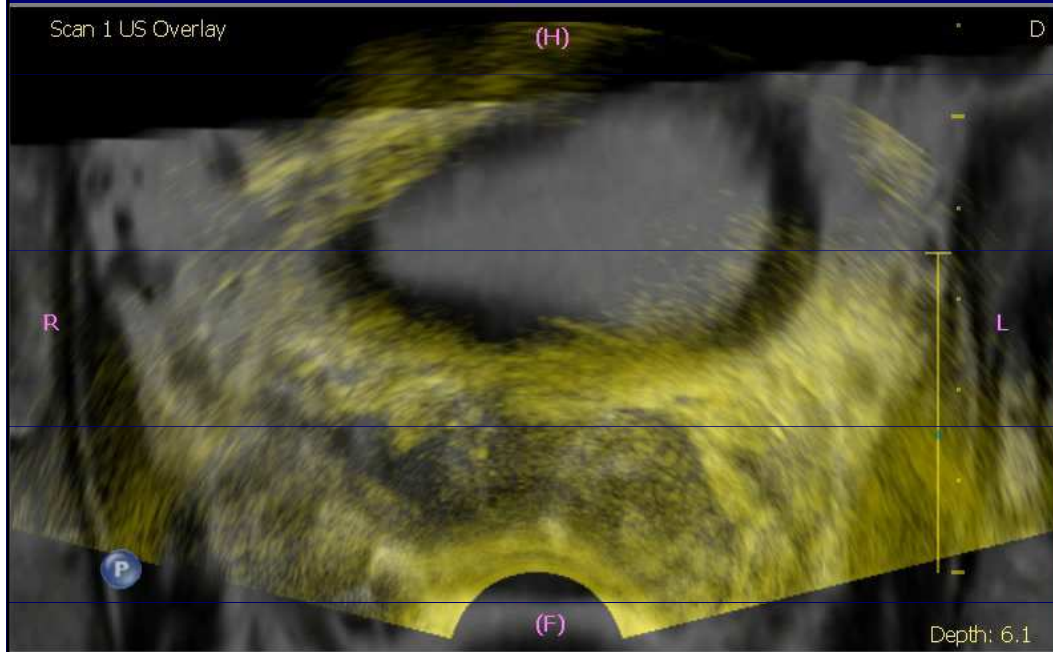


# Biopsie pod UZ s fúzí MR obrazu



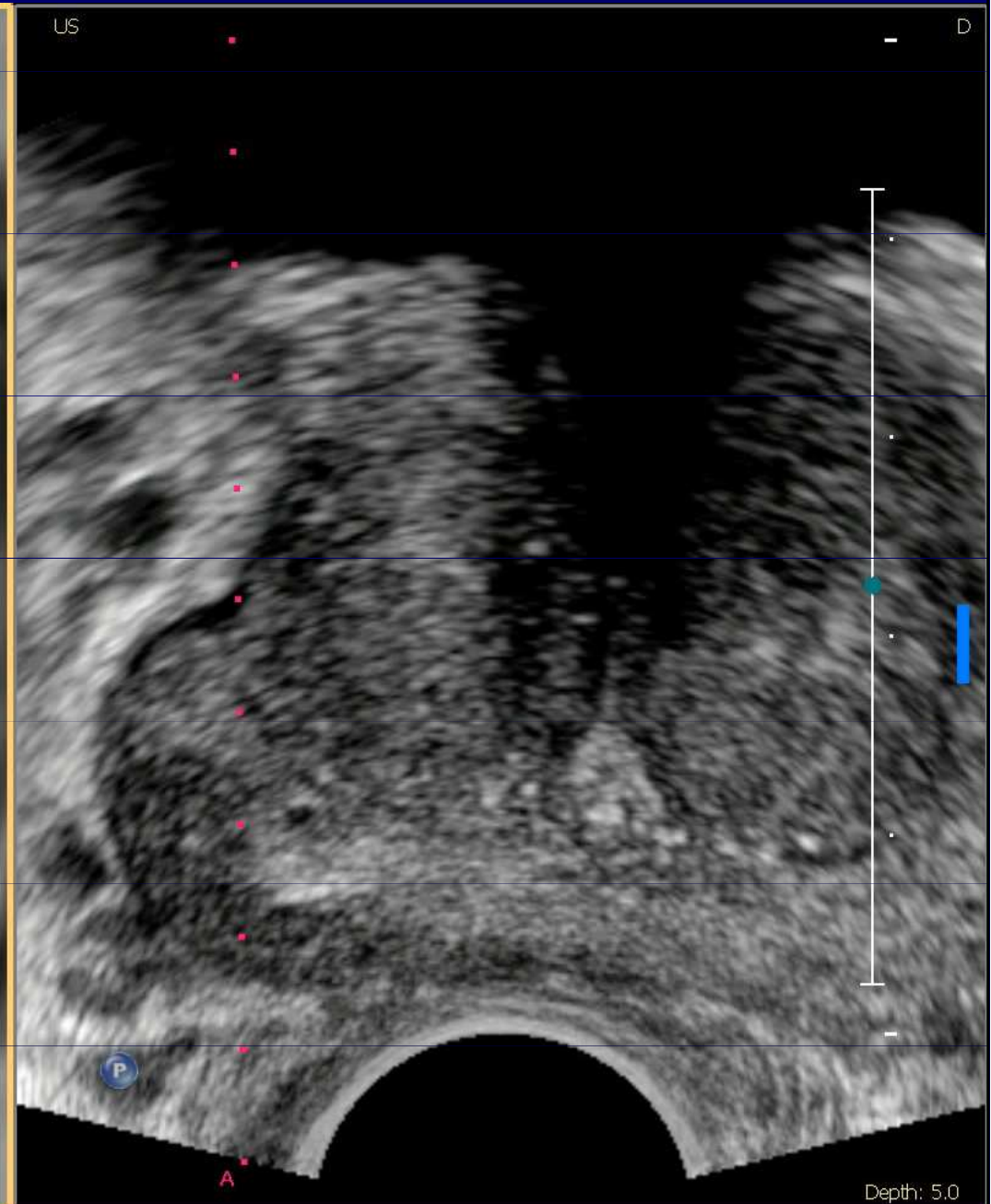
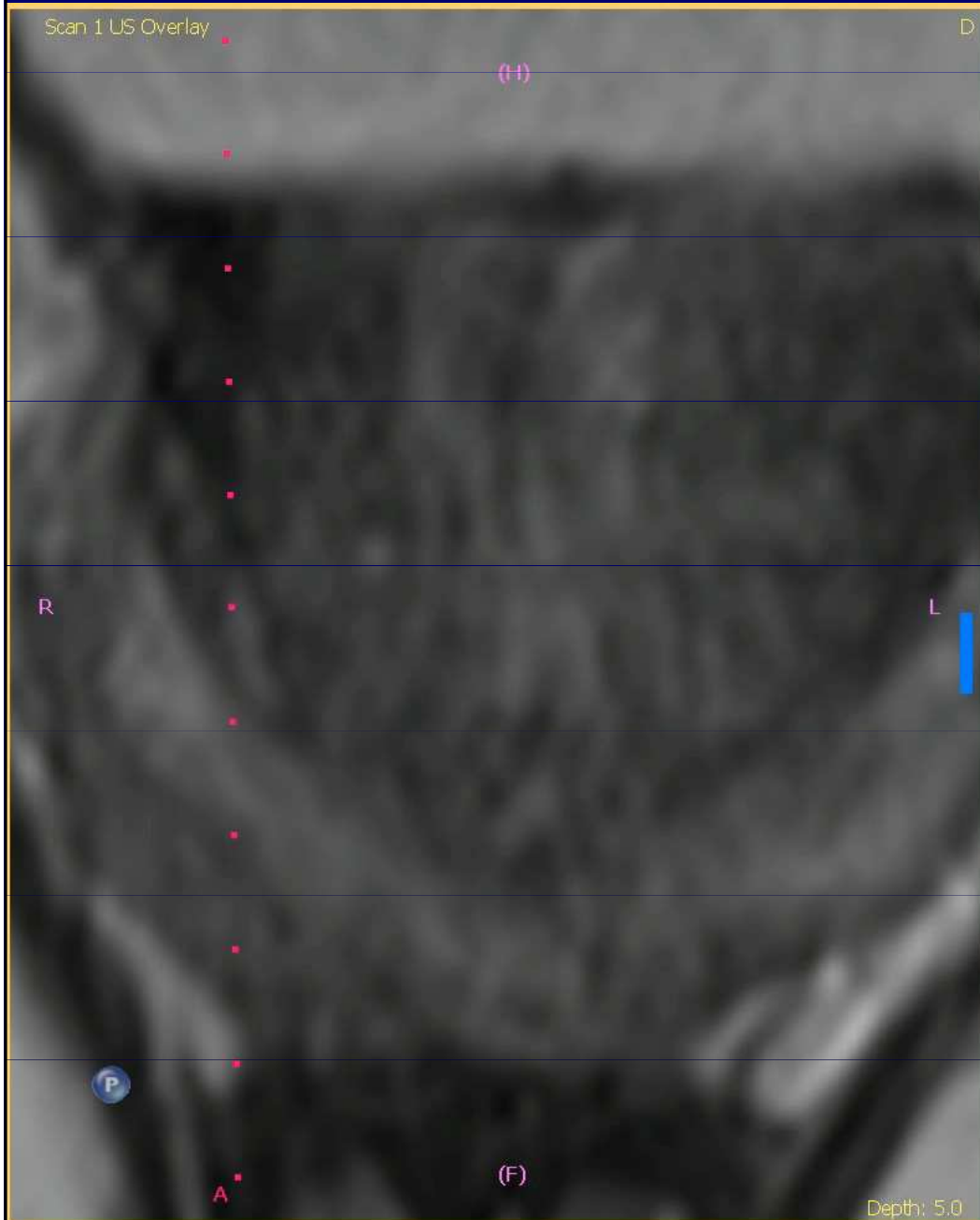
Karcinom - Gleason score 3+4

# MR-UZ fúze 2x2 (video)



# MR-UZ fúze (biopsie)

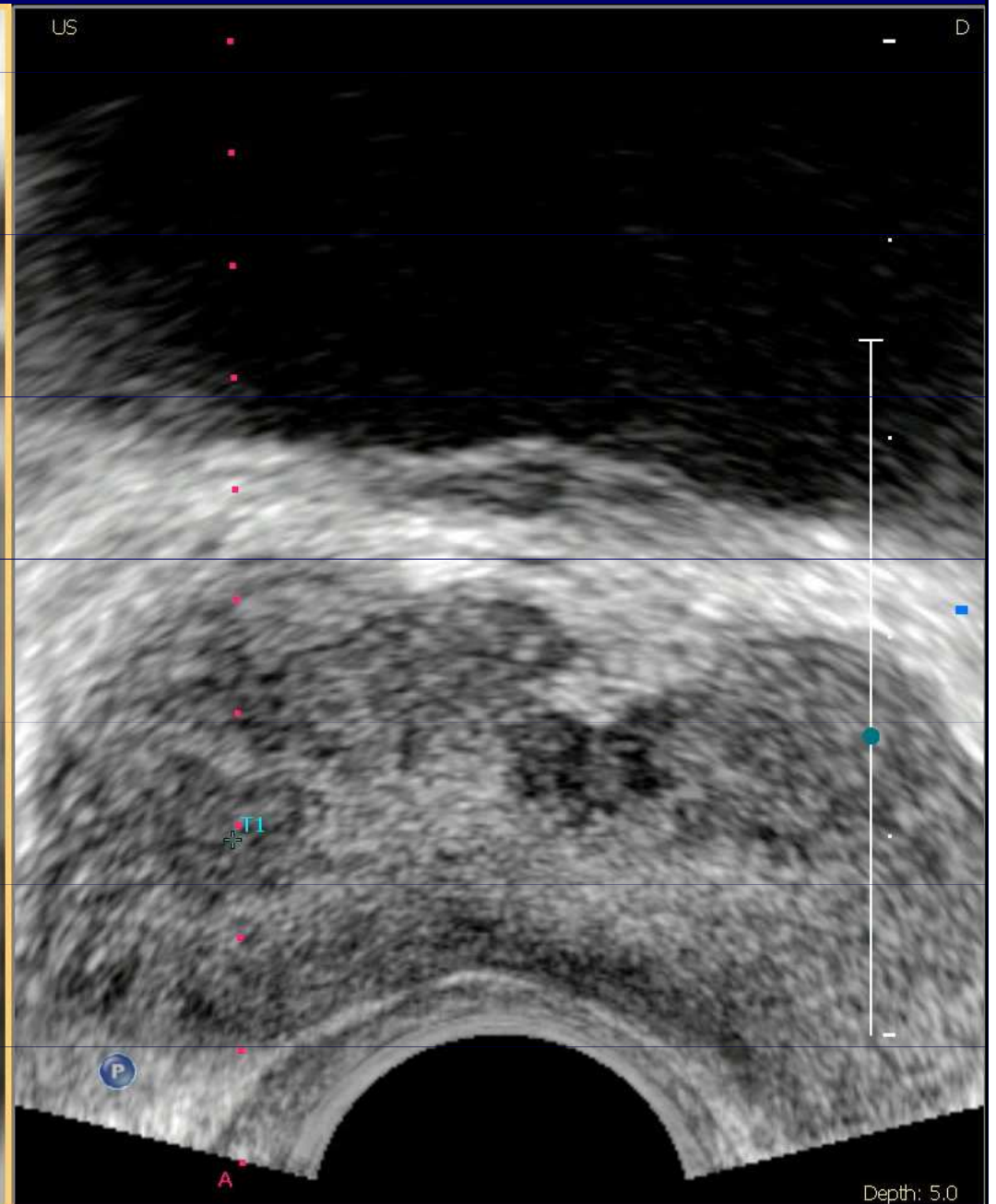
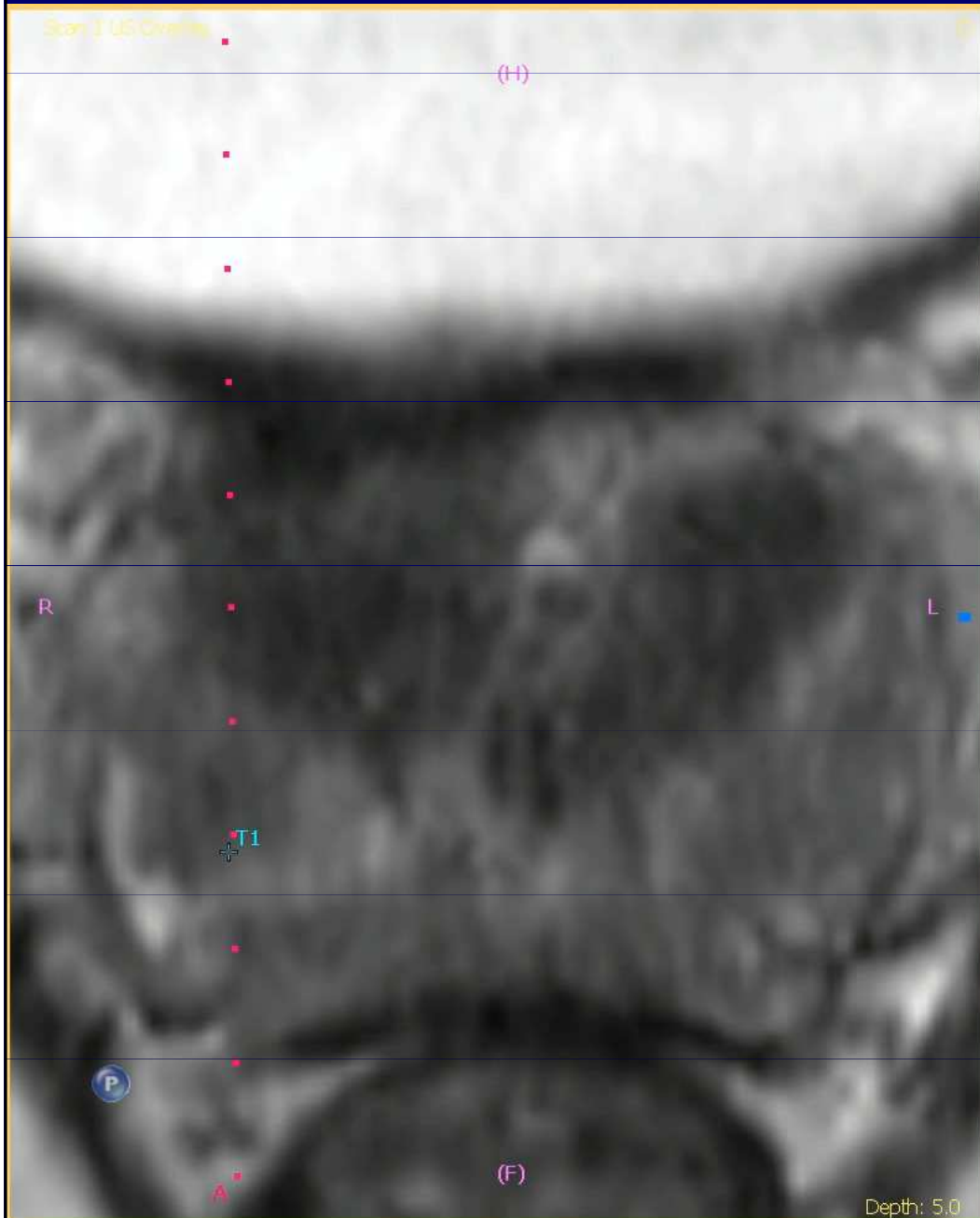
Ca - Gleason 4+3





# MR-UZ fúze (biopsie)

Ca - Gleason 4+4



**Děkuji za pozornost**