



Novinky v zobrazovacích metodách (MRI, CT, nukleární kardiologie), které v knihách nejsou a přesto se zkouší u atestace

Tomáš Paleček, Milan Kamínek, Theodor Adla, Martin Pleva,
Antonín Fikrle, Petr Kuchynka, Zuzana Hlubocká, David Zemánek
Česká asociace kardiovaskulárních zobrazovacích metod při ČKS



MRI: nové možnosti tkáňové charakteristiky

Nejčastěji užívané klasické ~ kvalitativní hodnocení:

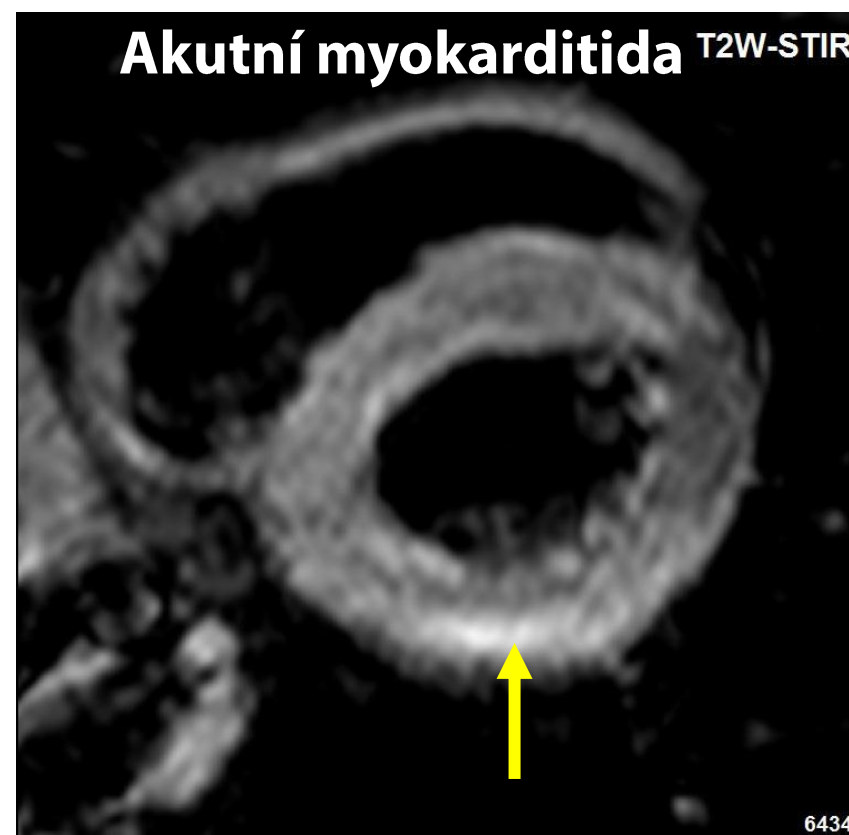
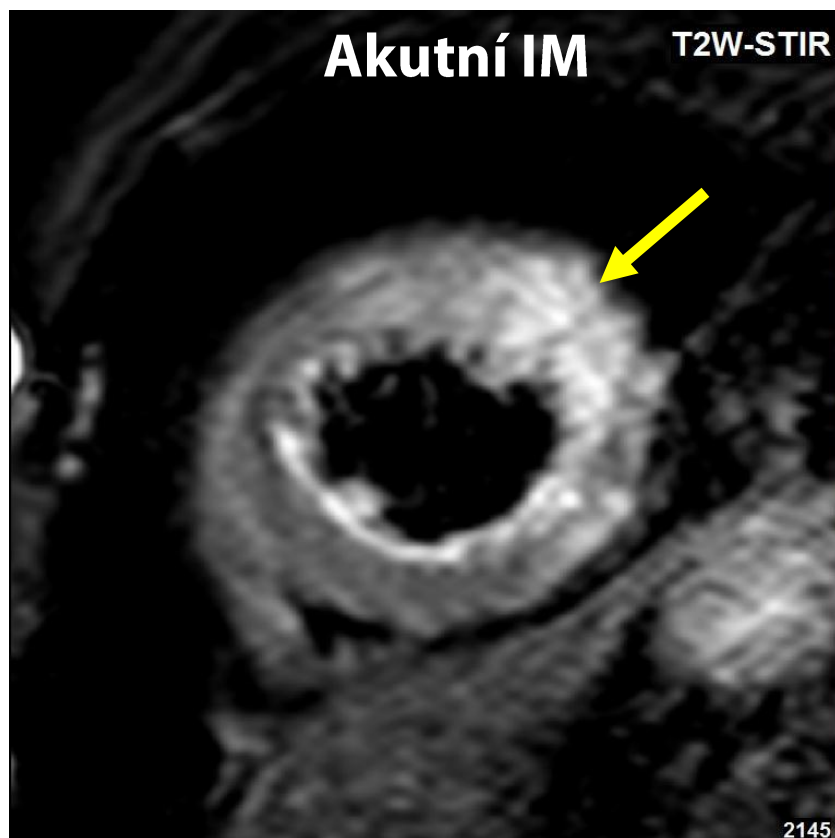
- ✓ T2 vážené sekvence
- ✓ Pozdní sycení kontrastní látkou (LGE, DGE)
v T1 vážených sekvencích s inverzním prepulzem

Nové ~ parametrické, kvantitativní hodnocení:

- ✓ **T2 mapování**
- ✓ **T1 mapování: nativní a postkontrastní**

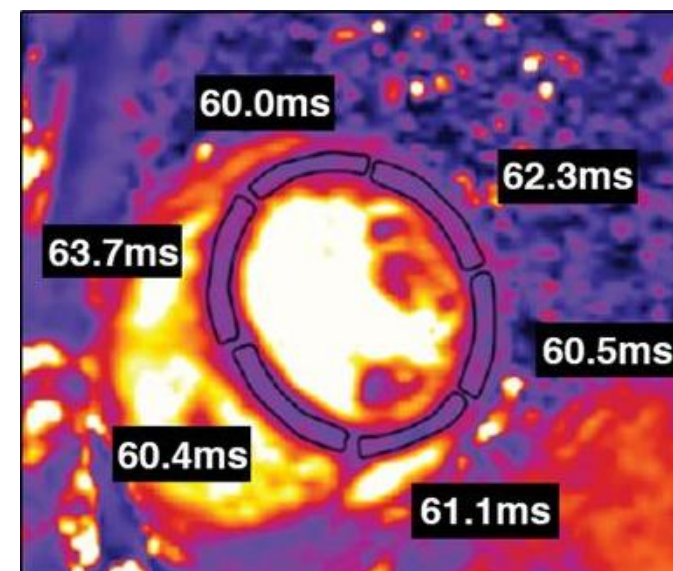
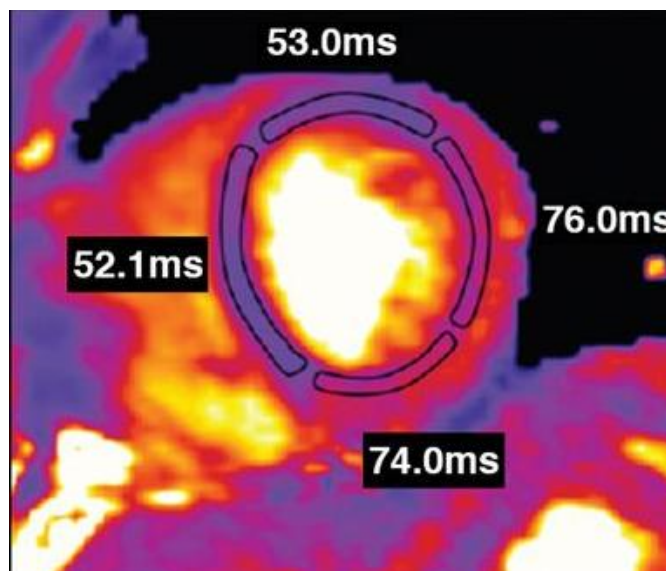
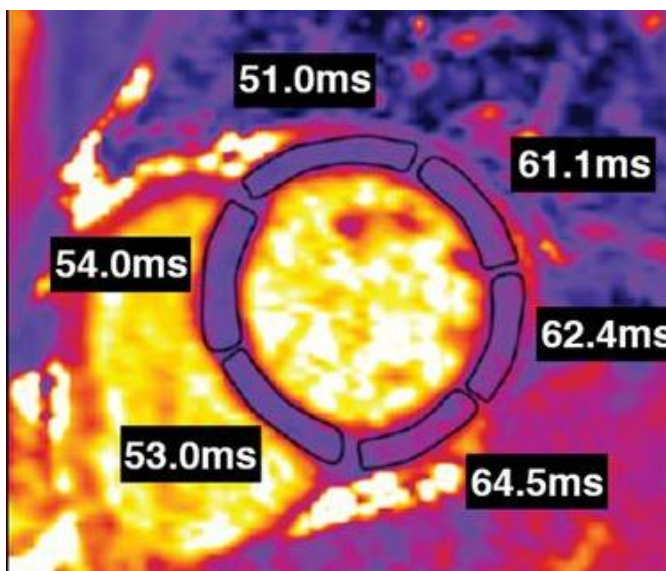
MRI: T2 vážené sekvence

edém myokardu \Rightarrow \uparrow T2 relaxačního času \Rightarrow hypersignální (bílá) oblast
 \sim **akutní postižení myokardu**



MRI: T2 mapování

- parametrická mapa, **přesný T2 relaxační čas v každém pixelu**
- analýza: vizuální (kvalitativní), ale především kvantitativní



klinické využití: především myokarditis

MRI: pozdní sycení kontrastní látkou (LGE)

Gd-kontrastní látka neprochází membránou kardiomyocytu

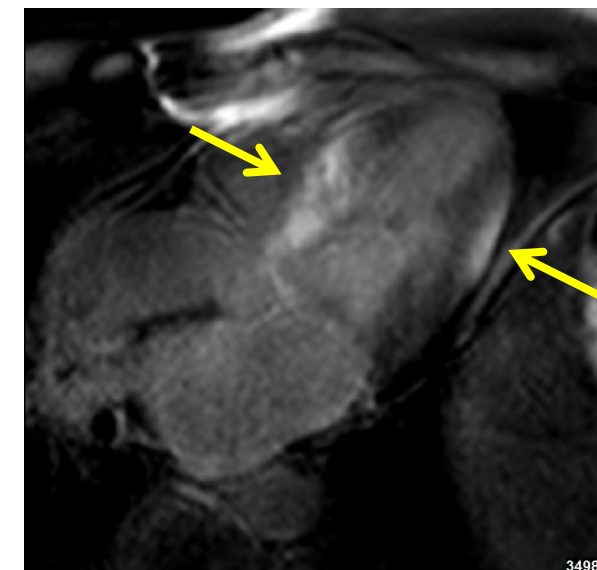
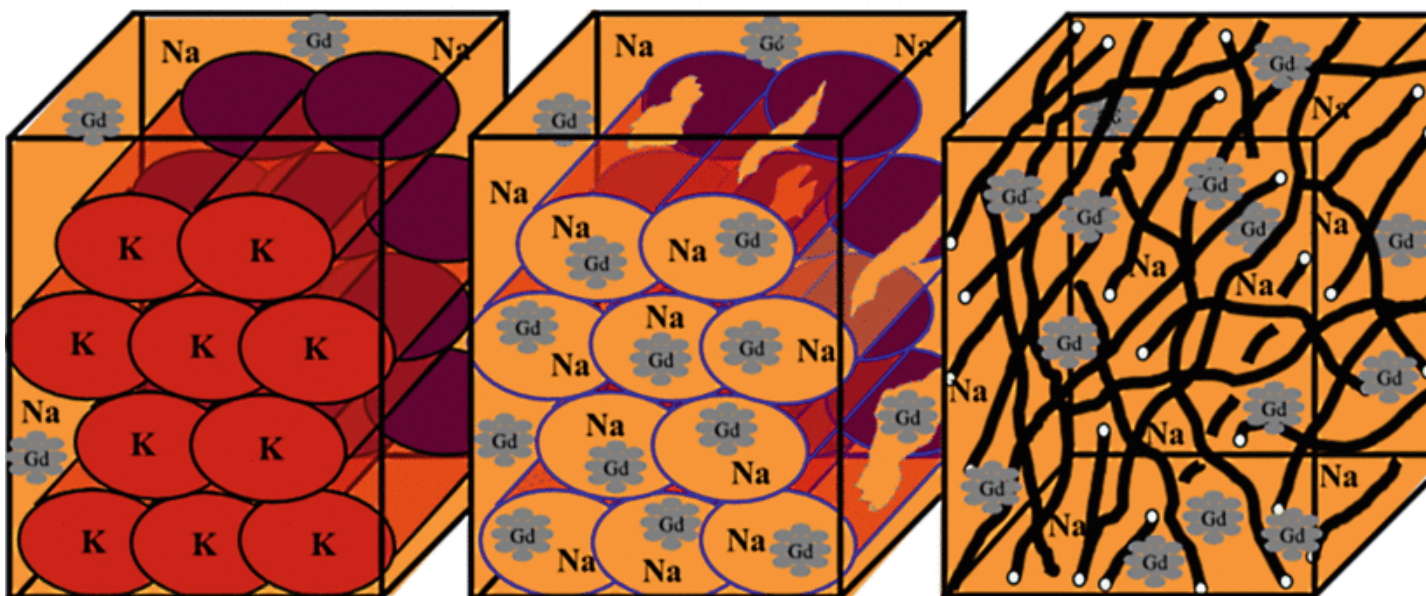
↑ extracelulárního prostoru zánikem kardiomyocytů (akutně či chronicky)

~ zpomalené vyplavování Gd

normální myokard

akutní nekróza → fibróza (jizva), infiltrace

hypersignální
okrsek

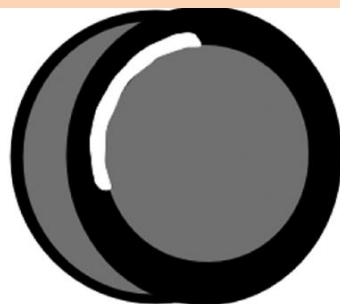


Pozdní sycení kontrastní látkou (LGE)

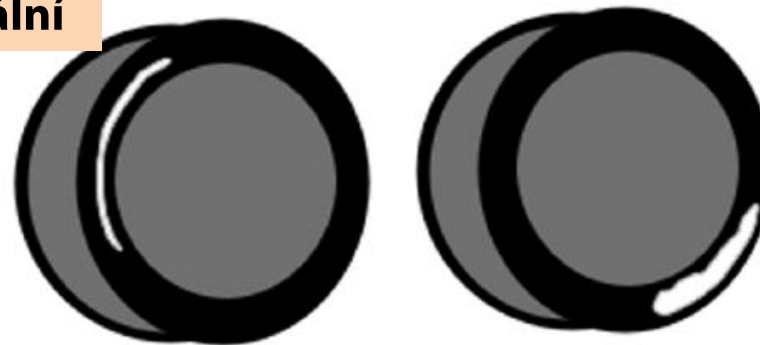
Ischemický typ LGE

Neischemický typ LGE

subendokardiální



midmyokardiální



transmurální



sub-epikardiální



sleduje ischemickou vlnu od endokardu

ne subendokardiálně

Pozdní syčení kontrastní látkou (LGE)

Transmural LGE



Ischemic DCM (transmural infarct);
Sarcoidosis; Amyloidosis; Myocarditis

Subendocardial LGE



Ischemic DCM (subendocardial infarct);
Sarcoidosis; Chagas disease;
Sarcoidosis; Idiopathic DCM*

Global Subendocardial LGE



Amyloidosis

ICHS ~ LGE v koronárním teritoriu

Epicardial LGE



Myocarditis; Sarcoidosis;
Chagas Disease; Postchemotherapy
cardiomyopathy

Midwall LGE



Myocarditis; Idiopathic DCM; HCM*

No LGE



Takotsubo cardiomyopathy; Peripartum
cardiomyopathy;
Idiopathic DCM; Myocarditis

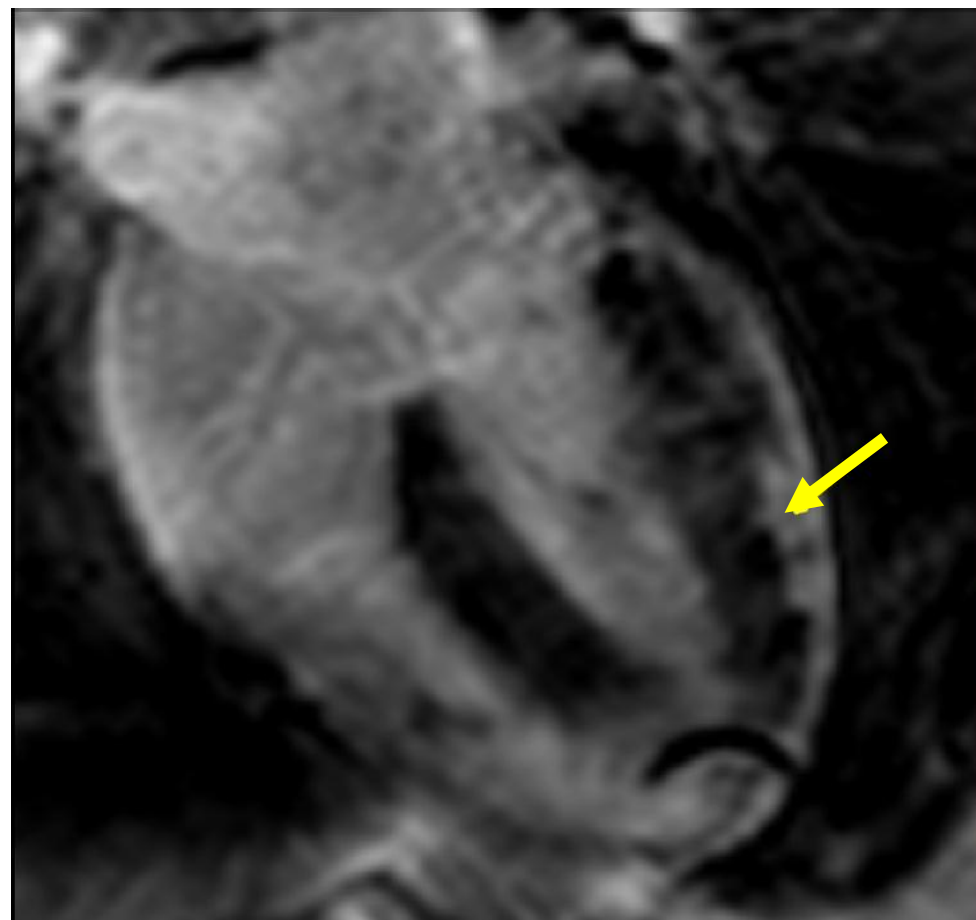


Ischemický vs. neischemický typ LGE

Ischemický



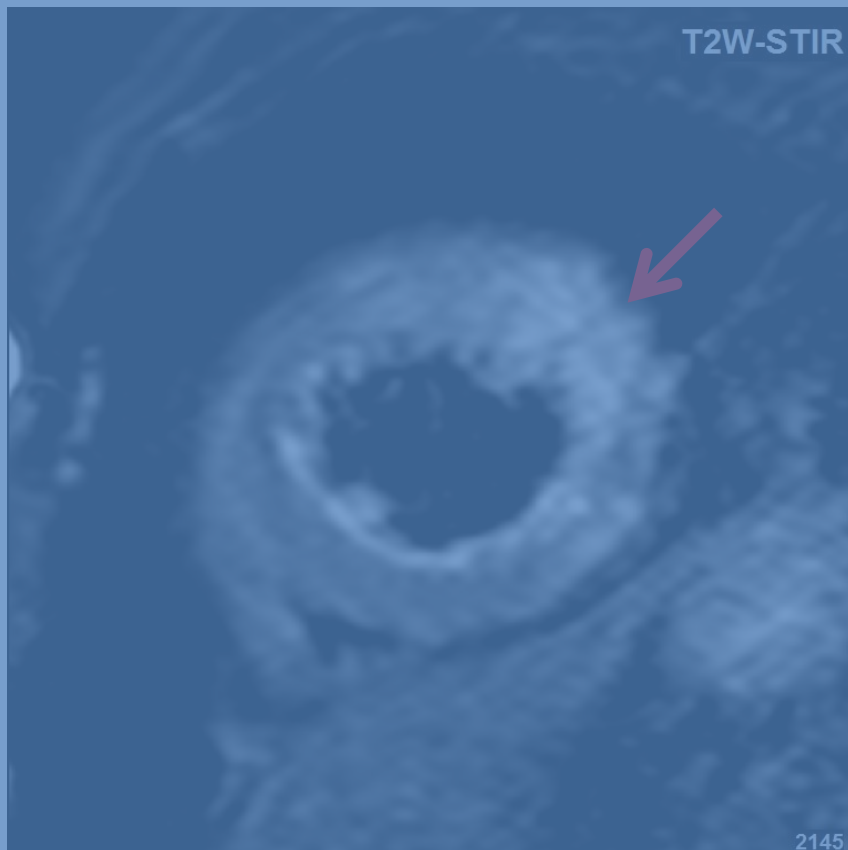
Neischemický



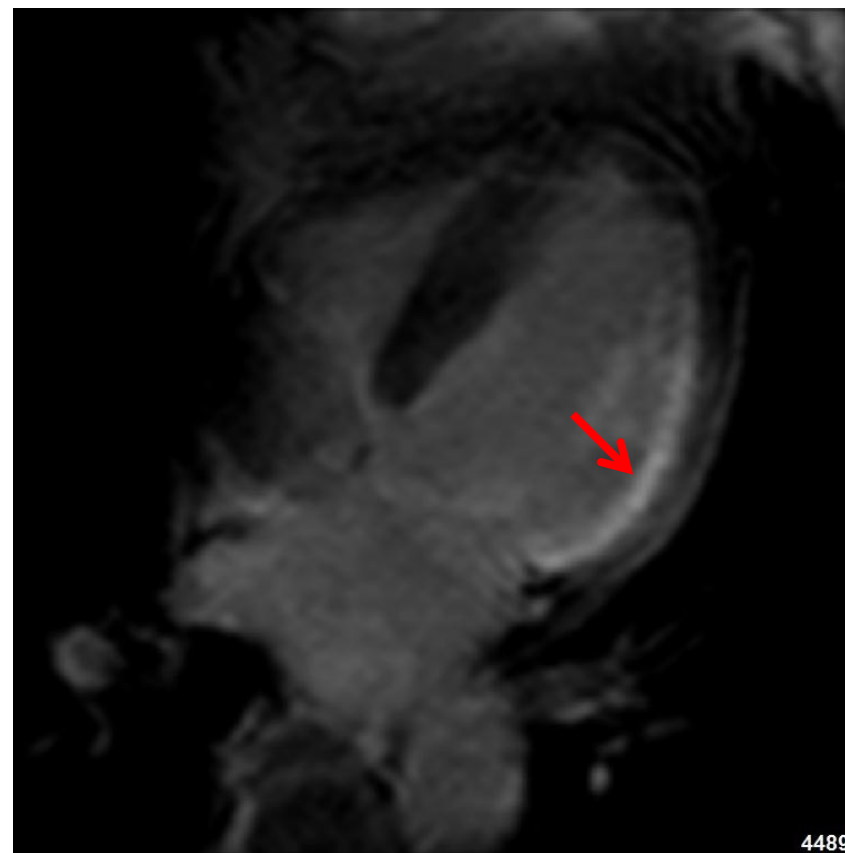
Statyí infarkt myokardu

Edém v T2 vážení

T2W-STIR



Nekróza = Fibrozis = subendokardiální typ LGE



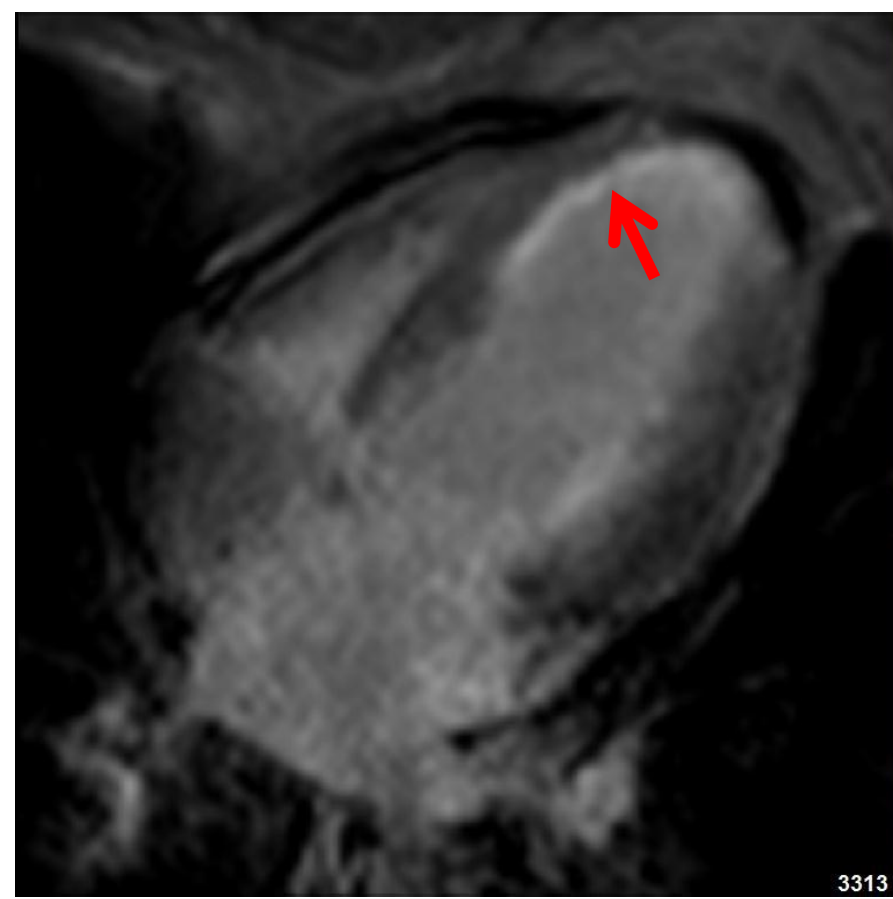
MRI-LGE: hodnocení viability myokardu

Neviabilní
LGE > 50% síly stěny

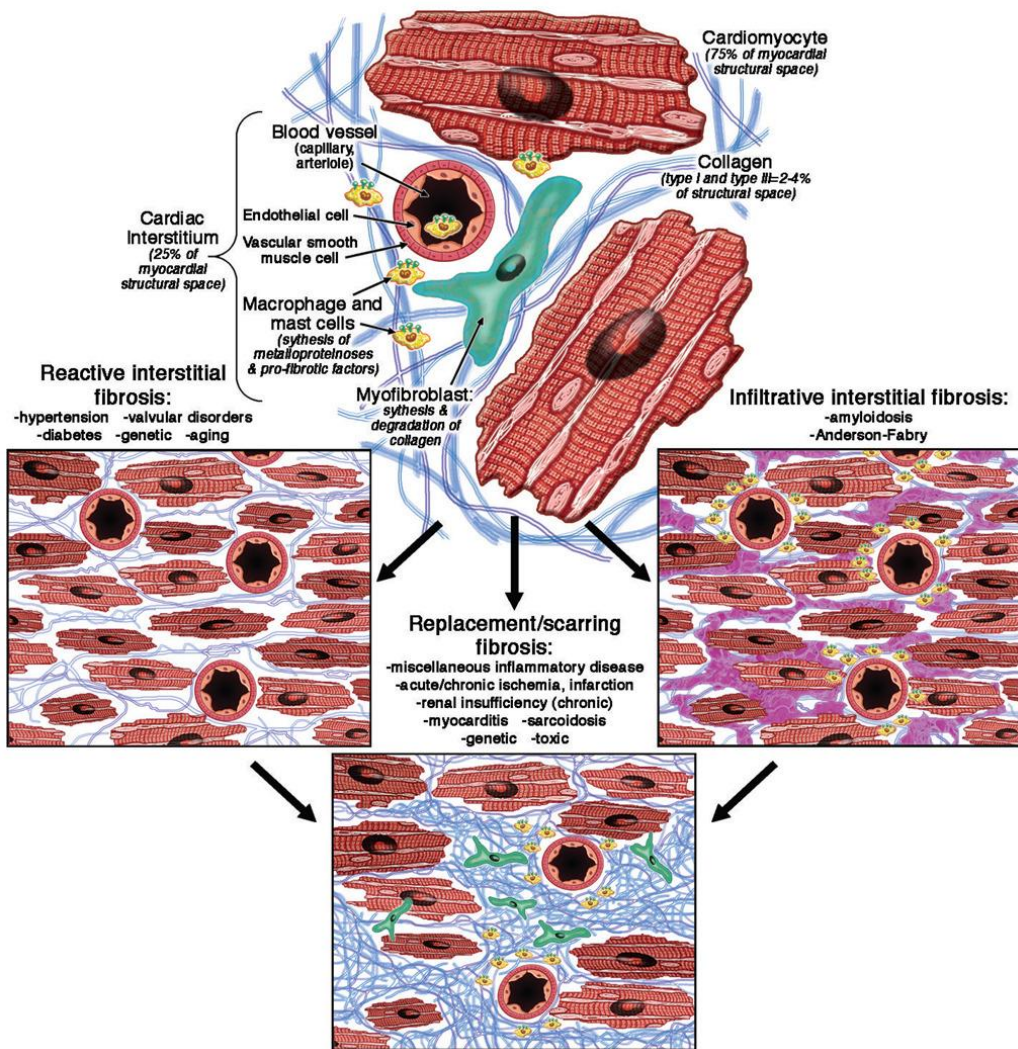


MRI-LGE: hodnocení viability myokardu

Viabilní
LGE < 50% síly stěny



Fibróza myokardu



Nahrazující (replacement) fibróza = jizva myokardu
lokalizovaná, zánik myocytů →
náhrada jizvením

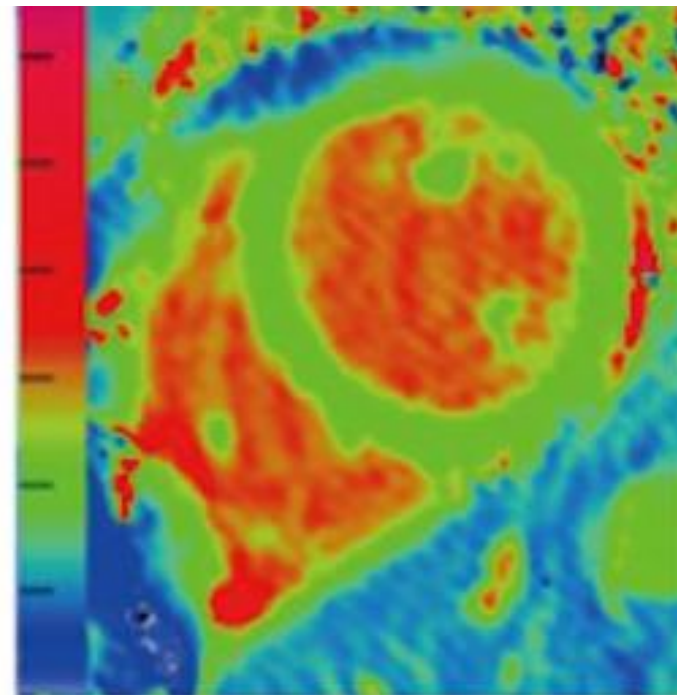
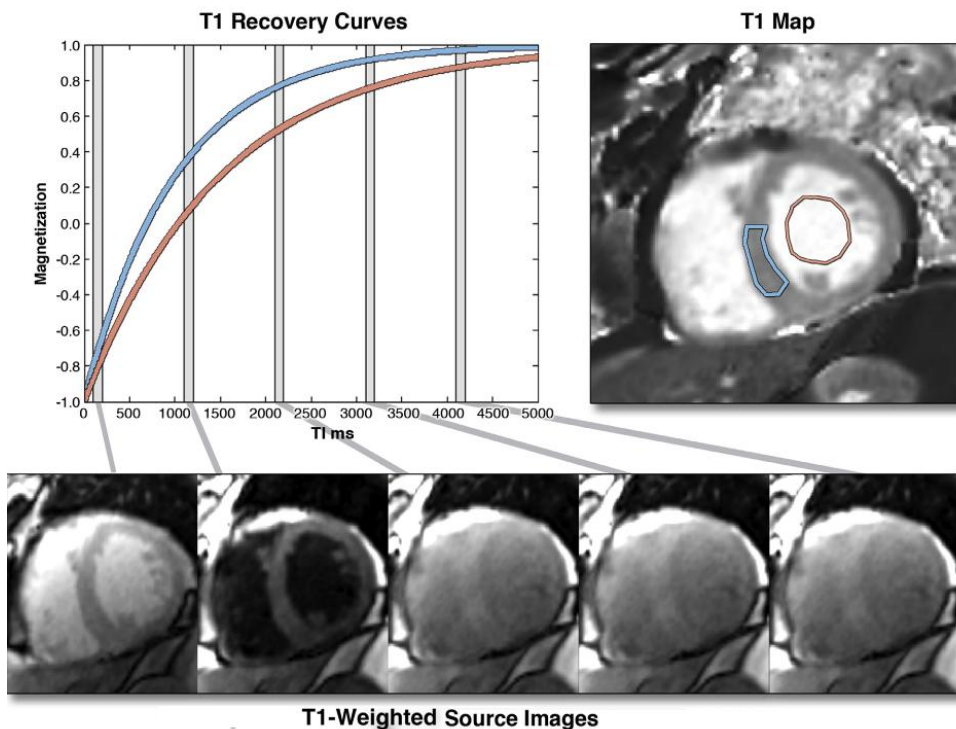
LGE

Reaktivní, intersticiální fibróza
difuzní, expanze intersticia → bez
zániku kardiomyocytů

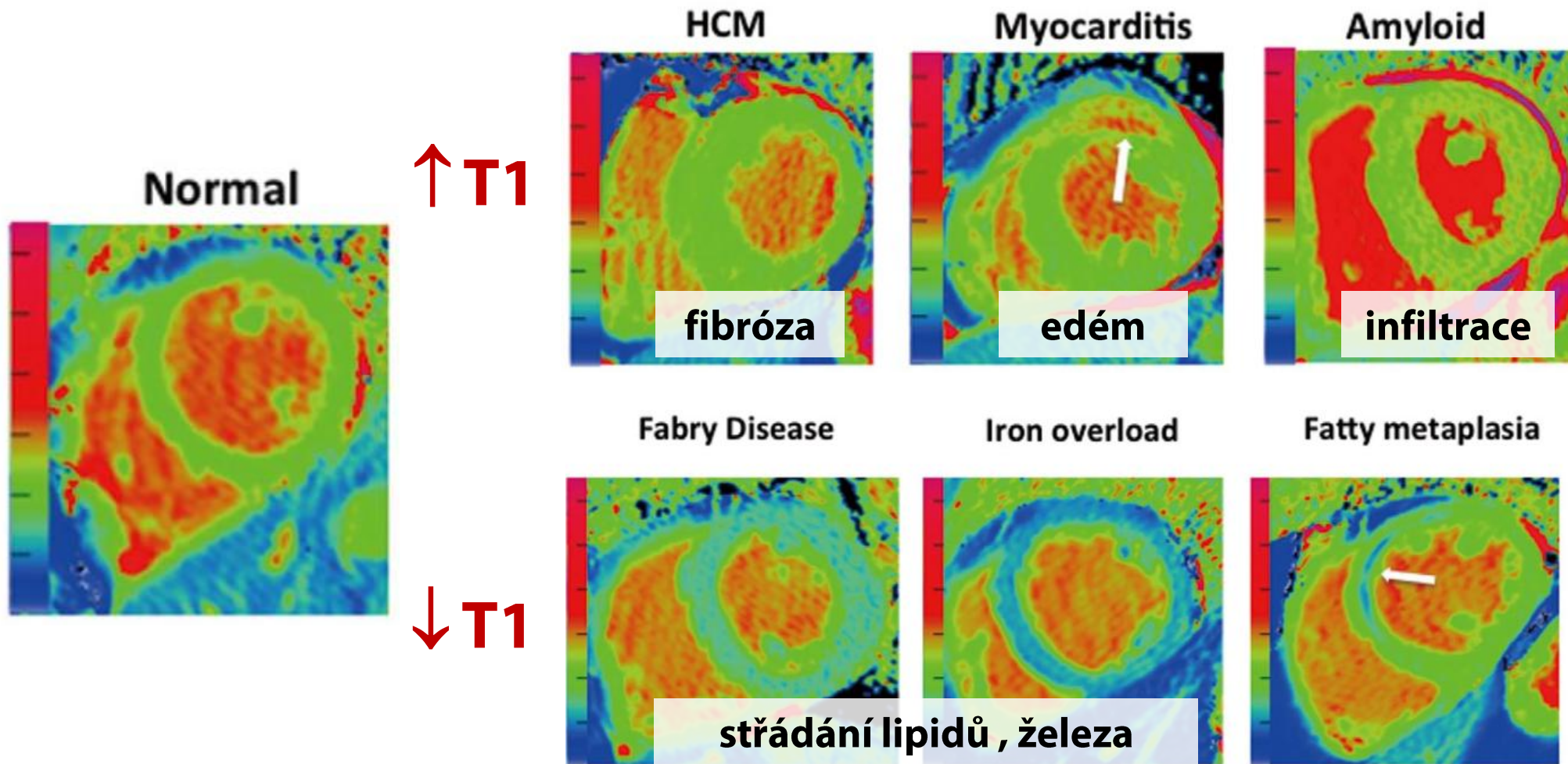
T1 mapování

MRI: nativní T1 mapování

- přesná kvantifikace T1 relaxačního času dané tkáně
- **difuzní myokardiální procesy: intra- i extracelulární (fibróza, edém, infiltrace, strádání)**



MRI: nativní T1 mapování



MRI: postkontrastní T1 mapování

poměr mezi změnami pre- a postkontrastního T1 myokardu a krve
~ relativní ECV krve a myokardu

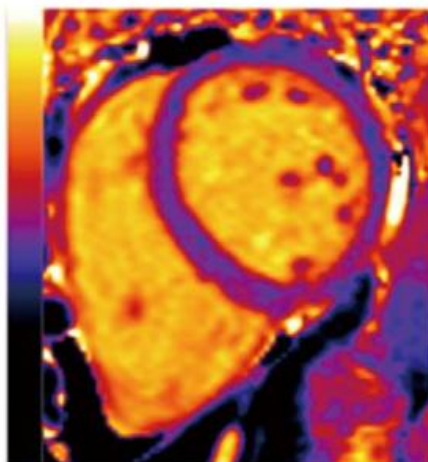
$ECV_{\text{myokardu}} = (1 - \text{hematocrit}) \times \Delta R1_{\text{myokard}} / \Delta R1_{\text{krev}}$

ECV myokardu ~ extracelulární matrix myokardu

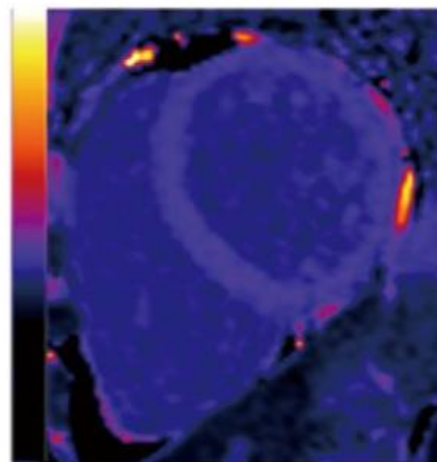
$ECV_{\text{blood}} = 1 - HCT$



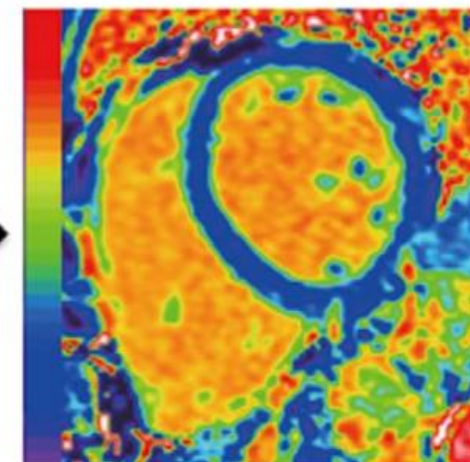
Native T1



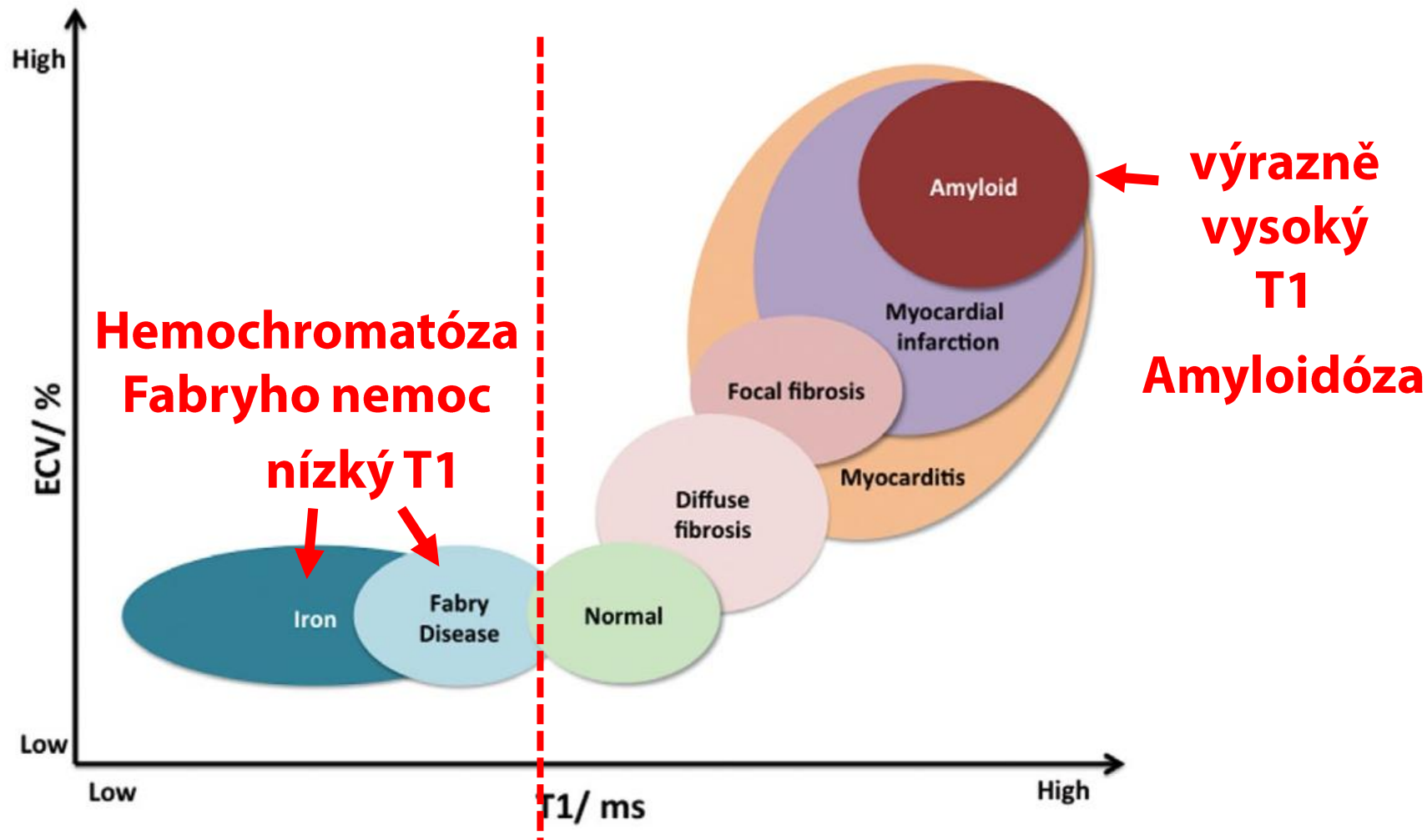
Post-contrast T1



ECV map

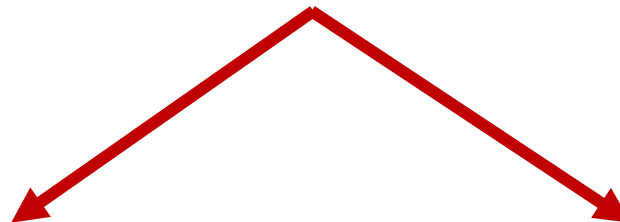


MRI: T1 mapování - současné klinické využití





Novinky: CT a nukleární techniky

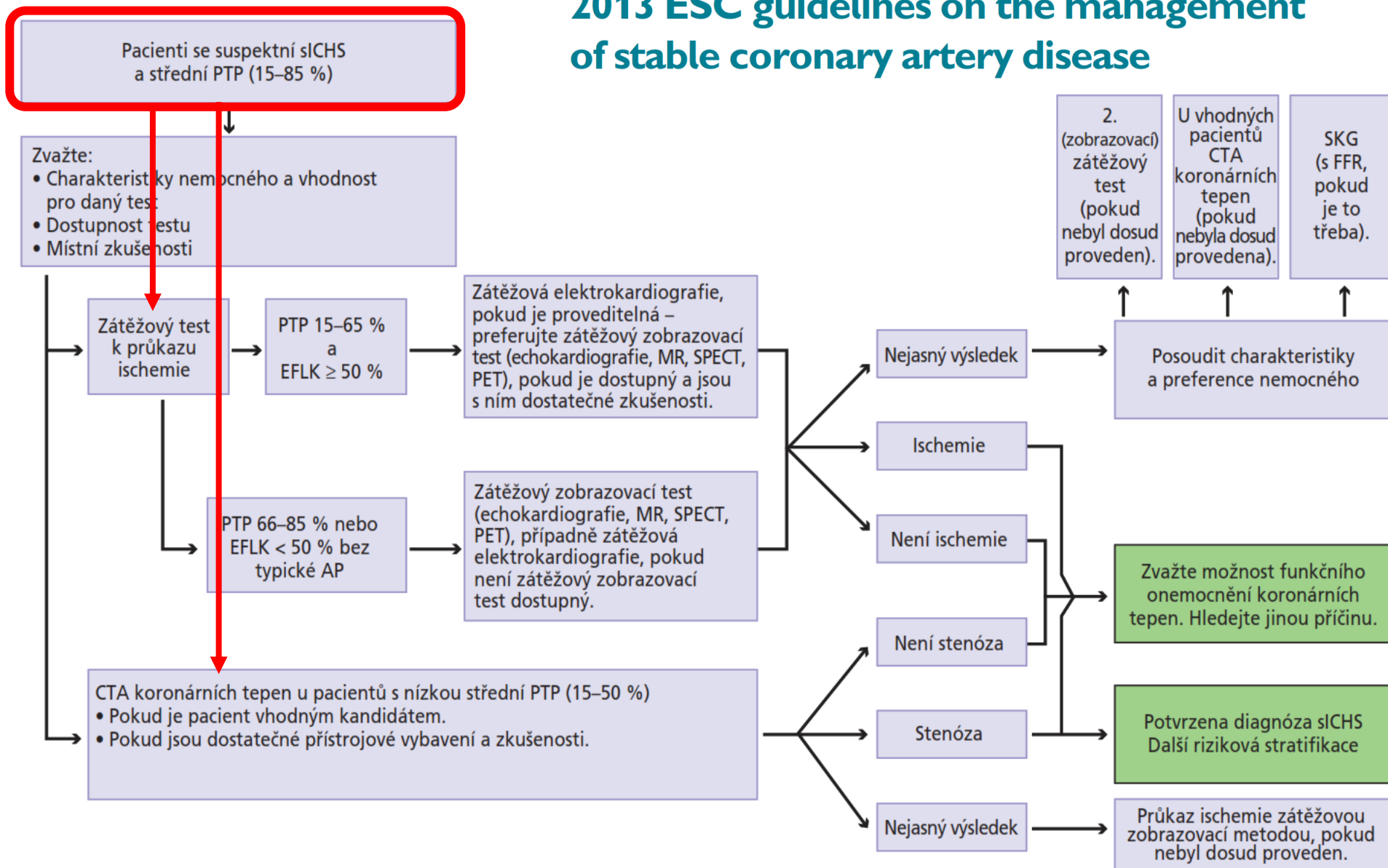


Diagnostika ICHS,
resp. koronární choroby
a ischémie myokardu

Diagnostika nekoronárních onemocnění:
- chlopenní vady
- kardiomyopatie, myokarditis



2013 ESC guidelines on the management of stable coronary artery disease

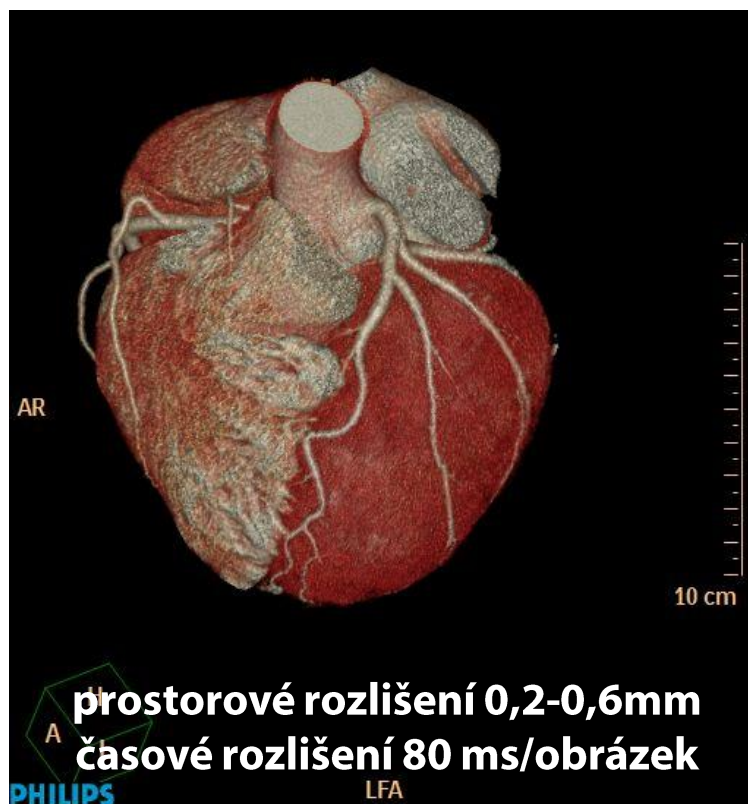




CT koronarografie

Prakticky 100% negativní prediktivní hodnota

☹️ **pozitivní prediktivní hodnota 44-90%**

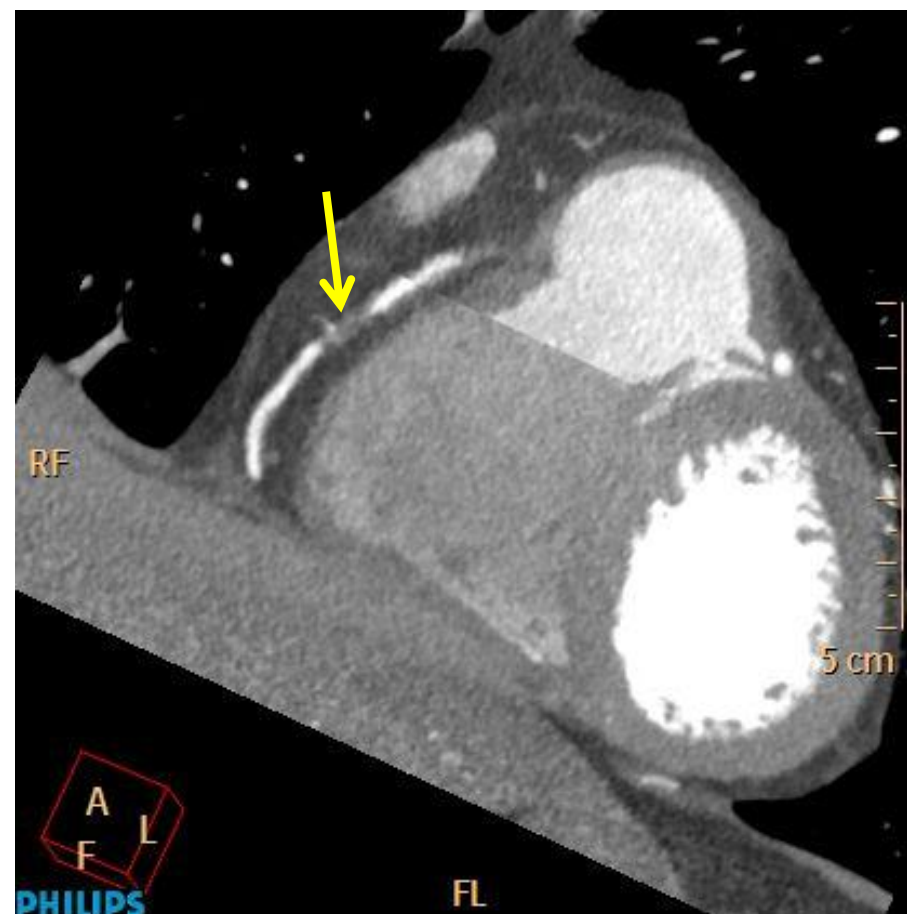


CT koronarografie: jasné situace

Normální nález

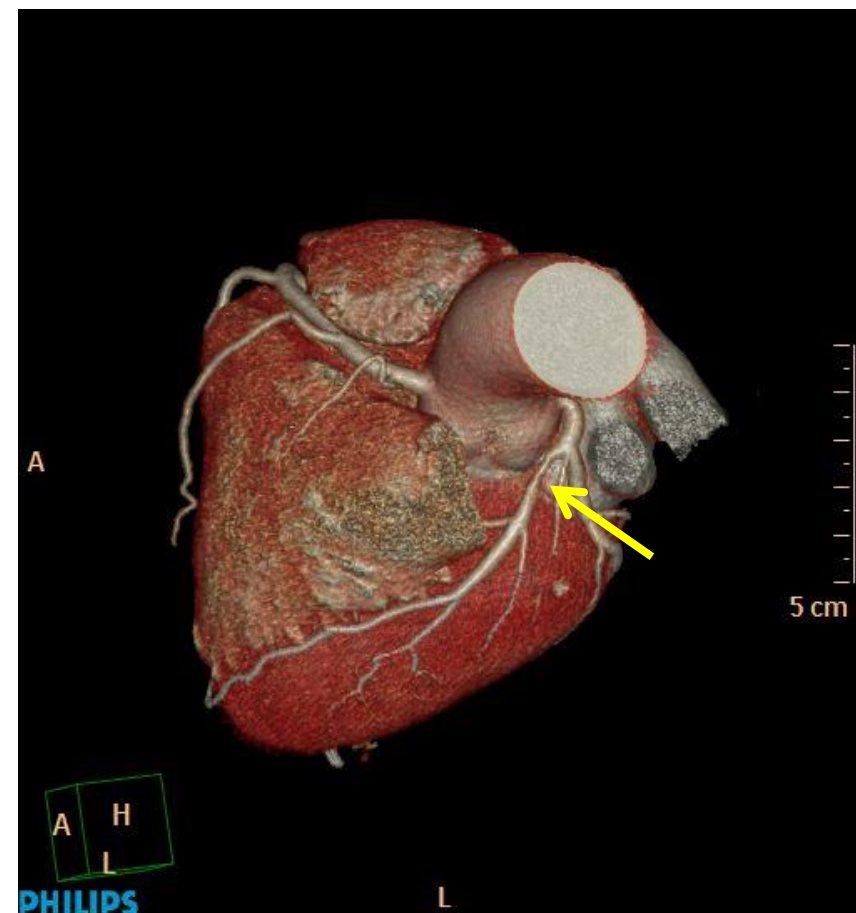
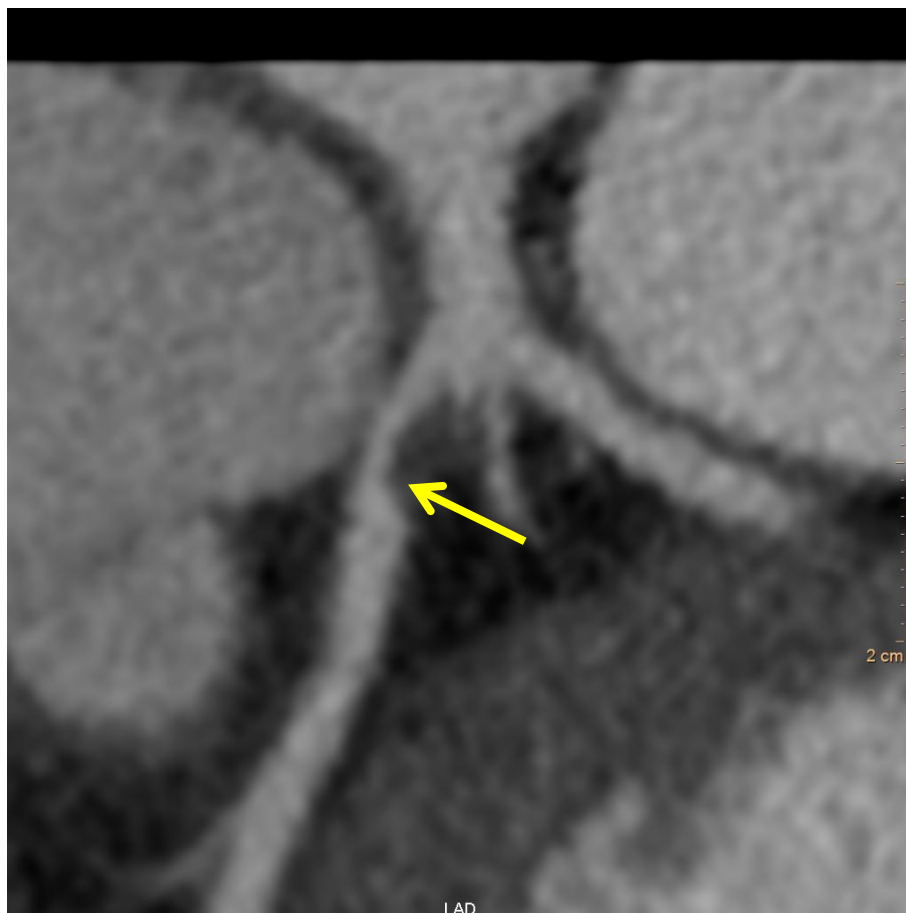


Těsná stenóza





CT koronarografie: významná léze ?





CT: morfologické → funkční vyšetření

CT koronarografie

+

- CT FFR

- CT perfúze

FFR (frakční průtoková rezerva):

poměr průtoku krve ve stenotické tepně vůči průtoku při hypotetické absenci stenózy

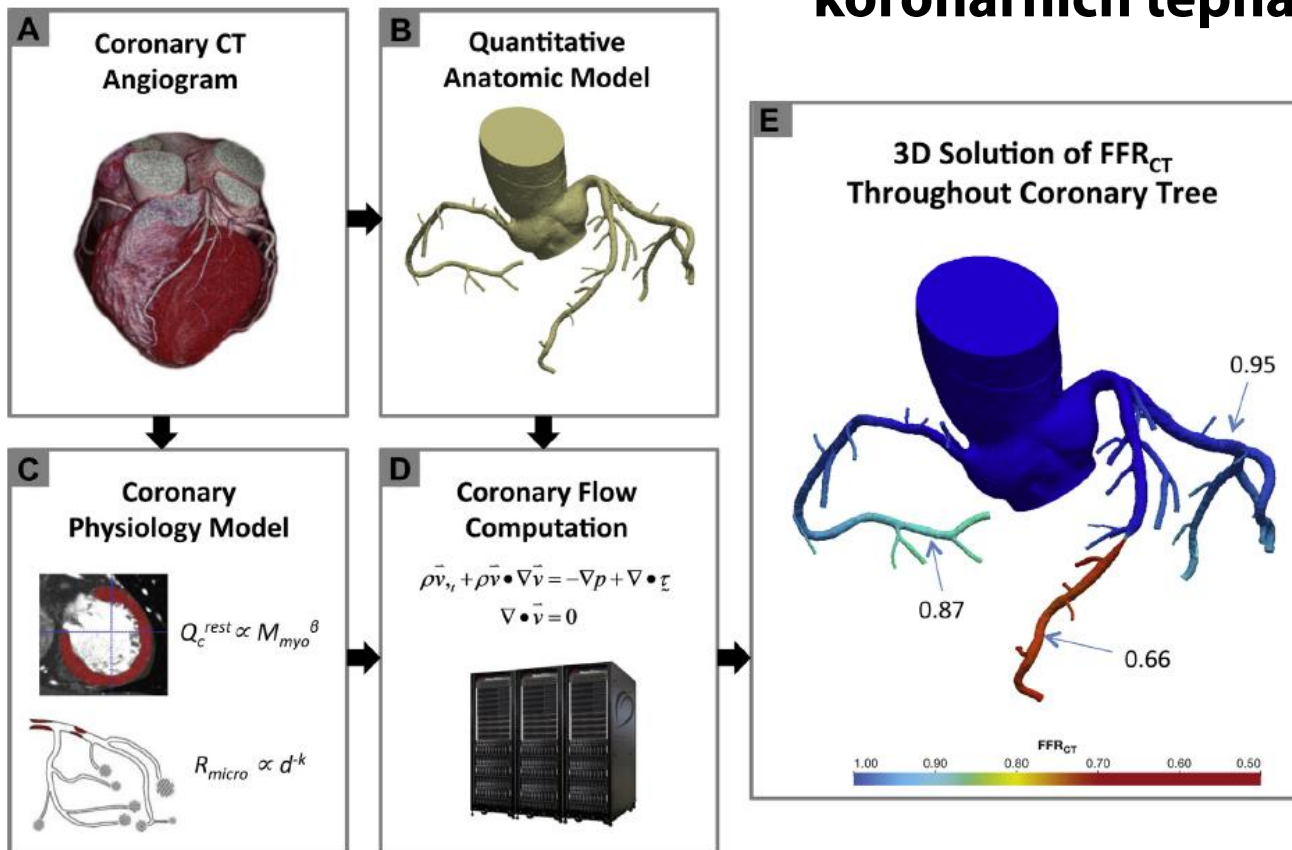
/invazivně: poměr středních tlaků distálně a proximálně ve stenotické tepně při maximální hyperémii/

CT FFR

Superpočítačový processing dynamiky proudění

**simulace rezistence k průtoku
koronárních tepnách při simulované hyperémii**

v



3 základní principy:

- celkový koronární průtok v klidu
~ hmotnost LK
- rezistence mikrocirkulace v klidu
~ velikost zásobující tepny
- prediktabilní reakce mikrocirkulace
při maximální hyperémii
za podmínek normálního
koronárního průtoku



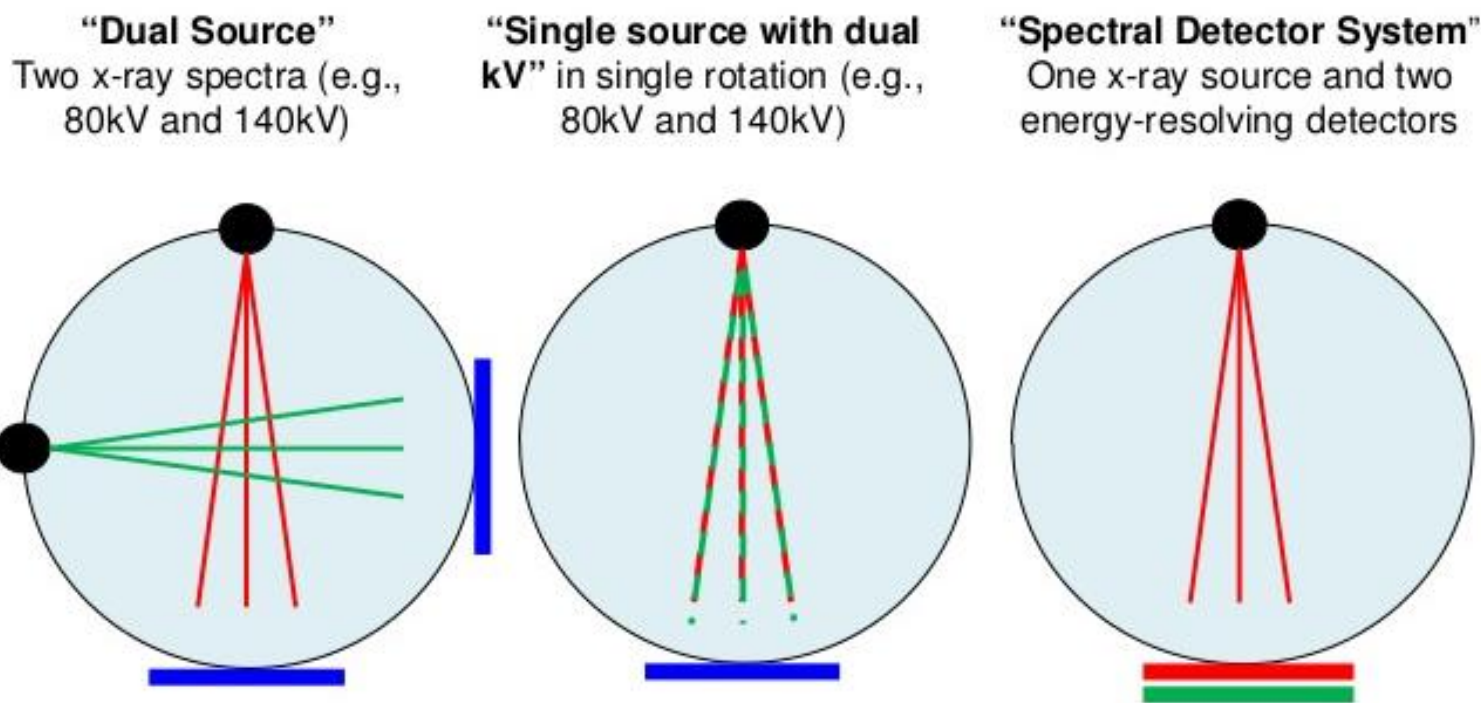
CT FFR

⊖ dlouhý postprocessing, nutná dobrá definice lumen, jen simulace hyperémie, absence klinických studií

	N (Patients)	Accuracy	Sensitivity	Specificity	NPV	PPV
DISCOVER-FLOW Koo et al ³³ HeartFlow laboratory	103	87.4% (79.4-93.1)	92.6% (82.1-97.9)	81.6% (68.0-91.2)	90.9% (78.3-97.5)	84.7% (73.0-92.8)
De-FACTO Min et al ³⁴ HeartFlow laboratory	252	73% (67-78)	90% (84-95)	54% (46-83)	84% (74-90)	67% (74-90)
NXT Norgaard et al ³⁵ HeartFlow laboratory	254	81% (76-85)	86% (77-92)	79% (72-84)	93% (87-96)	65% (56-74)
Coenen et al ³⁰ On-site clinician-operated research only computational algorithm (cFFR)	106	—	—	—	—	—
Renker et al ²⁸ On-site clinician-operated research only computational algorithm (cFFR)	53	—	94% (70-99)	84% (68-94)	97% (84-99)	71% (48-89)
Kruk et al ³² On-site clinician-operated research only computational algorithm (cFFR)	90	73% (NA)	76% (NA)	71% (NA)	79% (NA)	69% (NA)

CT perfúze

Multidetektorový CT scanner, ideálně využívající duální energie
⇒ ↑ časová a prostorová rezoluce, ↓ vyšetřovacího času, radiační dávky a množství kontrastní látky





CT perfúze

vysoká senzitivita, střední specificita

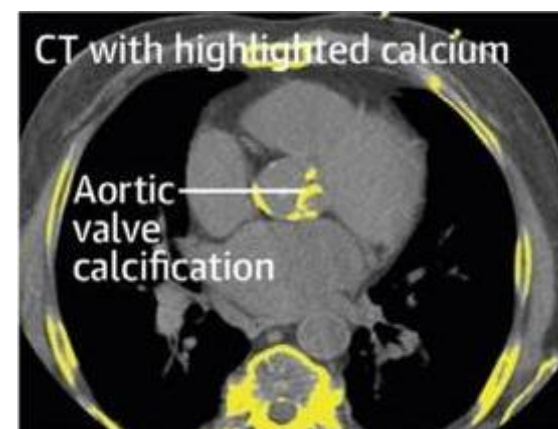
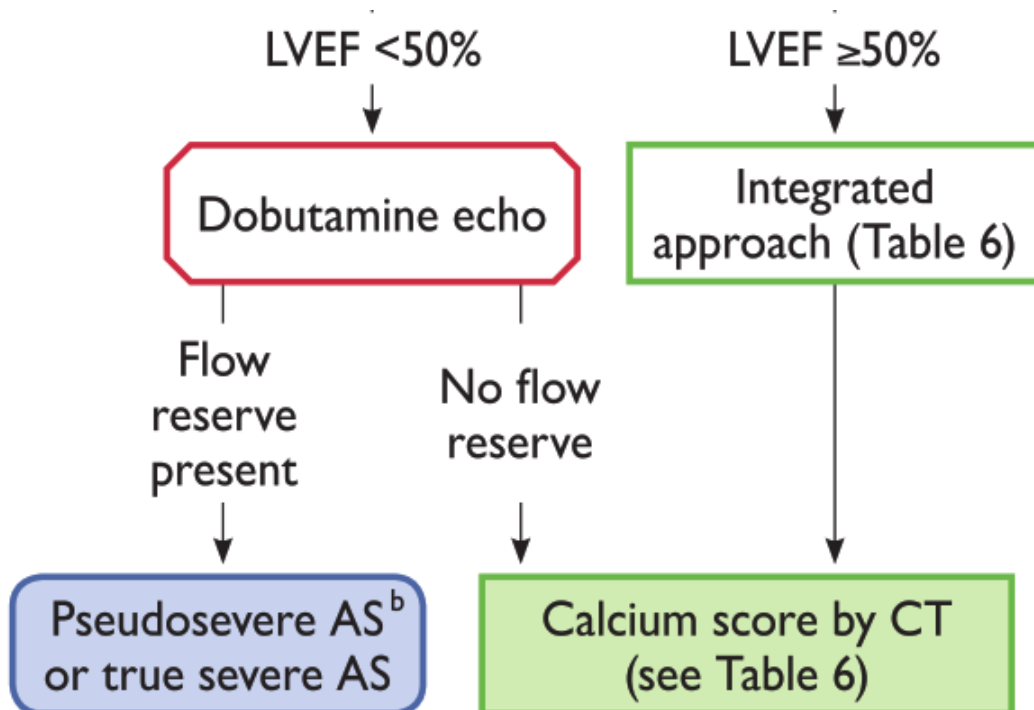
☹️ dlouhý postprocessing, nutná vysoká kvalita CT obrazu, žádné klinické studie

Study	Number of Patients	Reference standard		Sensitivity (% per segment)	Specificity (% per segment)	Radiation dose
Meinel <i>et al.</i> (67)	55	SPECT		99.0	97.0	Rest: 5.6 mSv; stress: 7.1 mSv; LE: 4.7 mSv
Ko <i>et al.</i> (68)	45	Invasive	CTA	91.8	67.7	Stress: 10.8±2.5 mSv
		Angiography	CTA + CTP	93.2	85.5	Rest: 5.7±0.5 mSv
Kido <i>et al.</i> (69)	25	Invasive	CTA	83.3	74.4	Stress-Rest: 7.7±2.8 mSv
		Angiography	CTA + CTP	66.7	92.3	–
De Cecco <i>et al.</i> (70)	29	SPECT	CTA	95.0	50.0	Rest: 5.8 mSv
		Invasive	CTP	95.0	50.0	Stress: 6.6 mSv
		Angiography	CTA + CTP	90.0	67.0	LE: 4.5 mSv
Carrascosa <i>et al.</i> (71)	25	SPECT	CTA	66.7	72.4	Rest: 3.2±0.4 mSv
			CTP	73.7	94.7	Stress: 4.3±1.1 mSv
			CTA + CTP	56.0	97.0	Total: 7.5±1.2 mSv

CT-kalciové skóre: aortální stenóza

Aortální stenóza s nízkým gradientem

(PGmean < 40mmHg a AVA ≤ 1,0 cm²)



Severe aortic stenosis very likely: men ≥3000; women ≥1600

Severe aortic stenosis likely: men ≥2000; women ≥1200

Severe aortic stenosis unlikely: men <1600; women <800



CT-kalciové skóre: aortální stenóza

Indikace k intervenci SAVR/TAVI:

- symptomatictí jedinci s low-gradient aortální stenózou a normální EF LK po pečlivém potvrzení tíže stenózy
- symptomatictí jedinci s low-gradient aortální stenózou a sníženou EF LK, bez kontraktilní rezervy, po pečlivém potvrzení tíže stenózy, zvláště v případě CT kalciového skóre těsné stenózy
- SAVR u asymptomatických s normální EF LK a těžkými kalcifikacemi chlopně a progresí $V_{max} \geq 0,3\text{m/s/rok}$

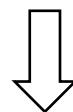
Ila

C

CT: plánování TAVI

zásadní metoda v preprocedurálním plánování

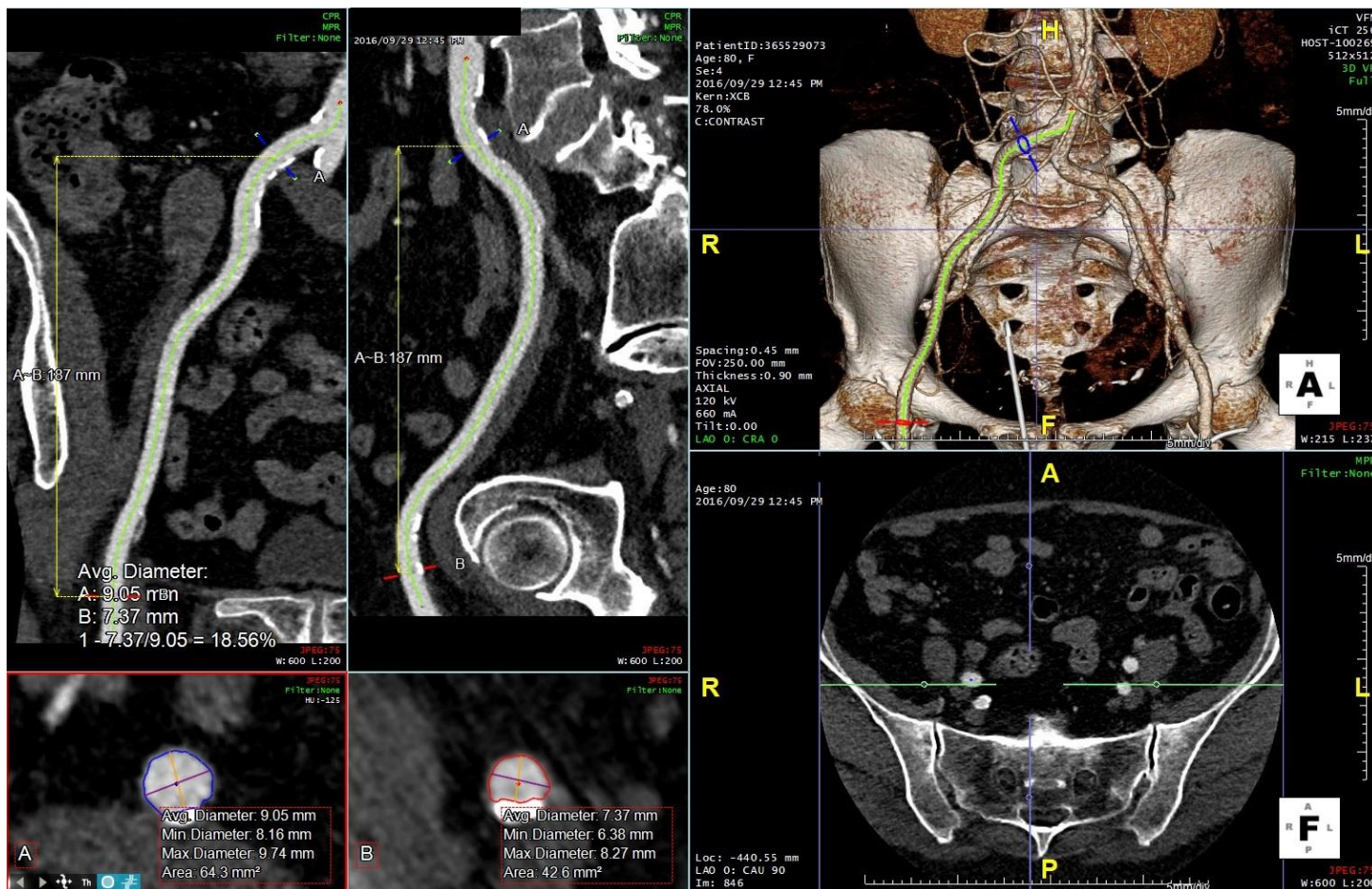
současné vyšetření srdce, hrudní, břišní aorty a pánevního řečiště
s podáním kontrastní látky



- ✓ přístupová cesta
- ✓ dimenzování, „sizing“ chlopně



CT: plánování TAVI - přístup

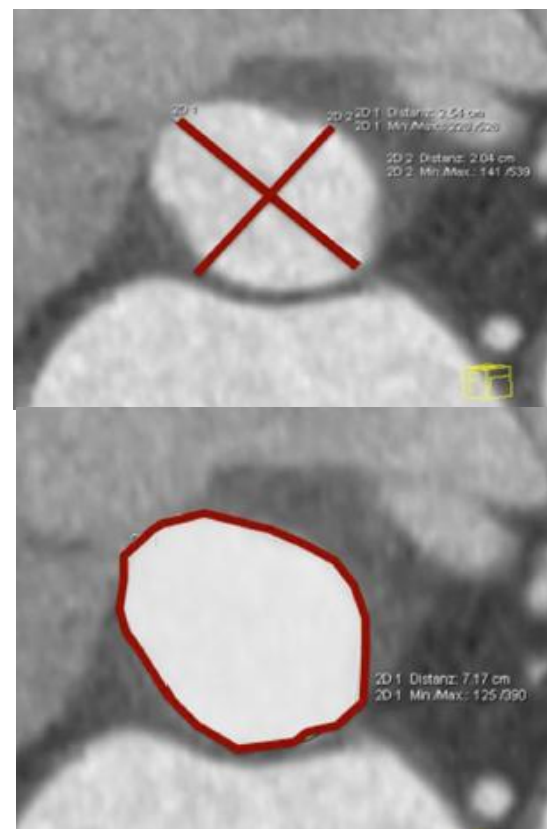
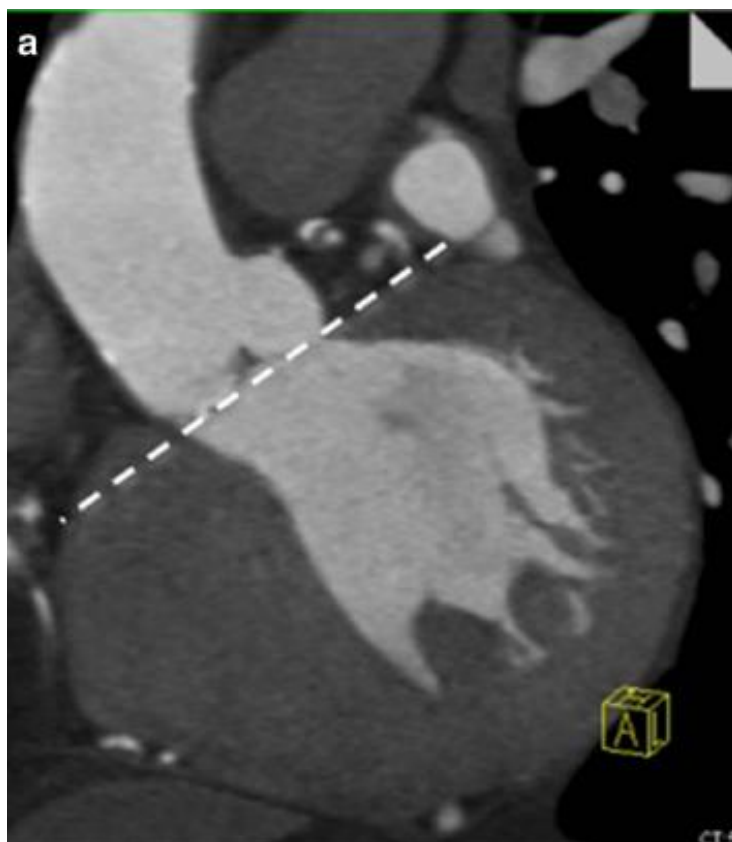


diametr lumen, kalcifikace, tortuozita, výška bifurkace

Zdroj: Radiodiagnostická klinika VFN

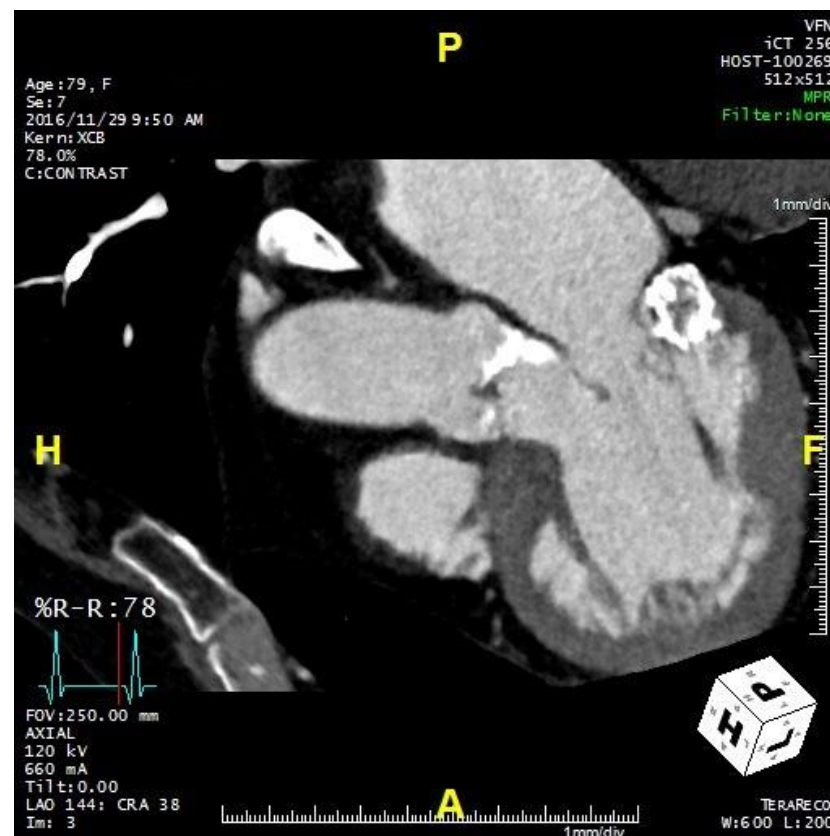
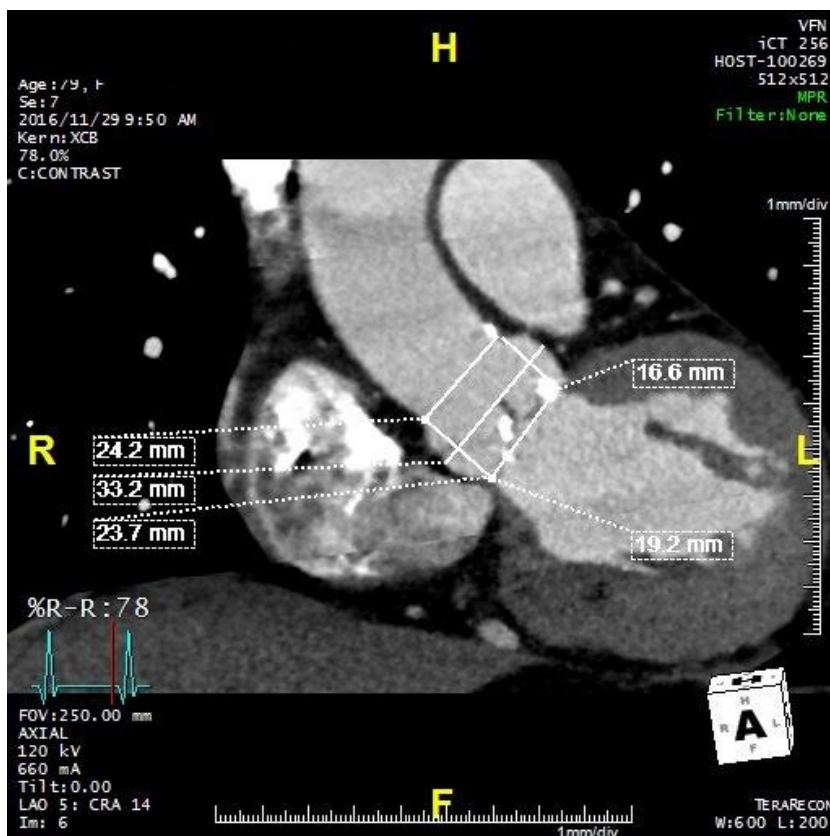
CT: plánování TAVI – sizing chlopně

aortální anulus ~ rozhodující parametr pro „sizing“ chlopně
(perimetr, rozměry, plocha)



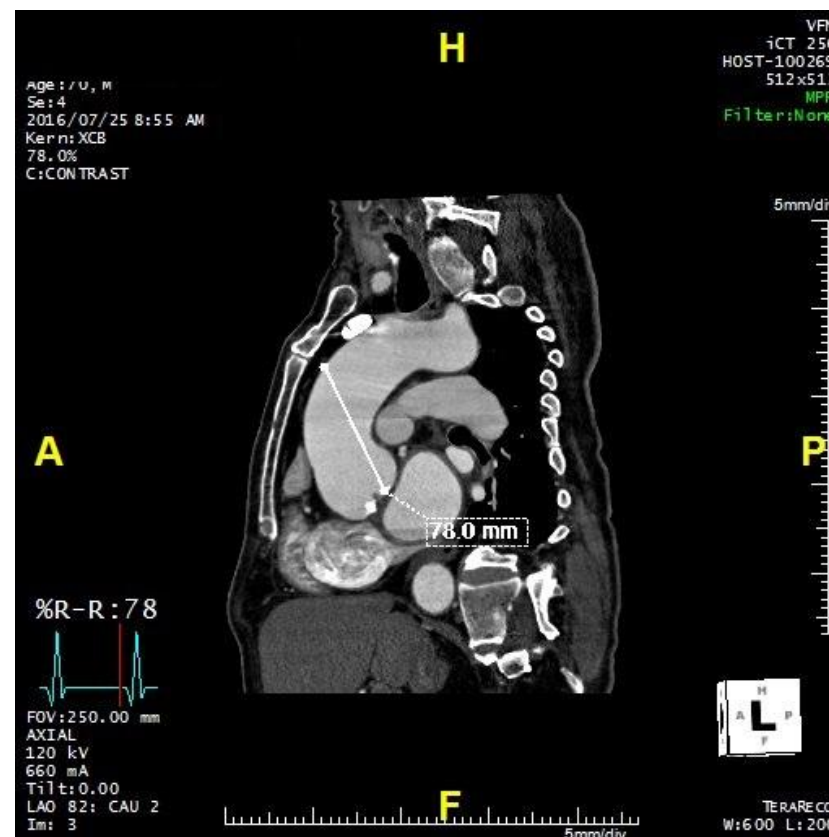
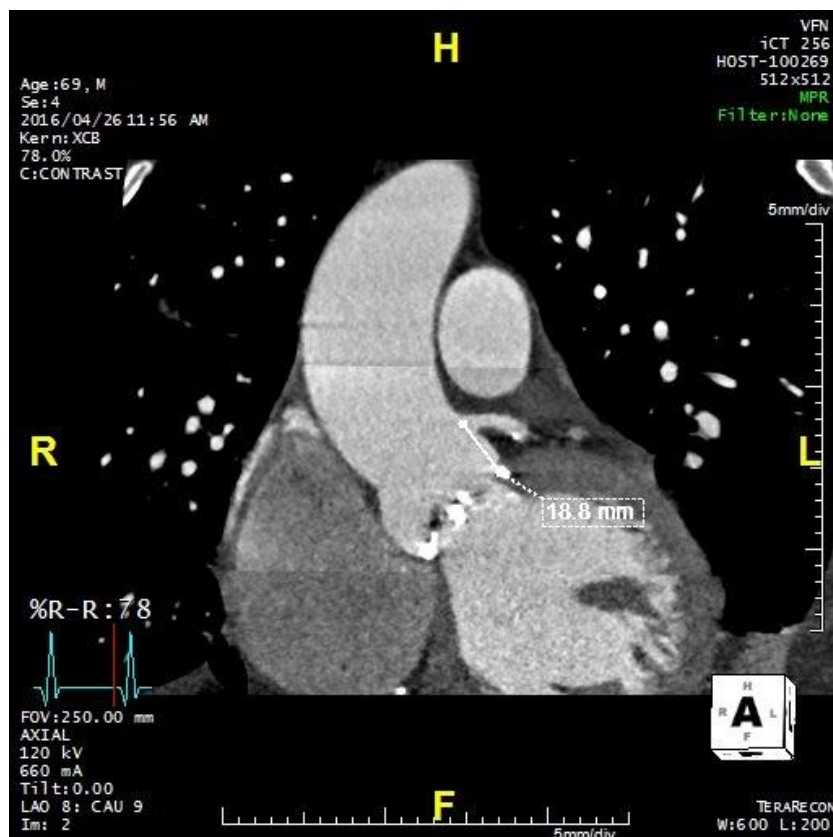
CT: plánování TAVI – sizing chlopně

- rozměry LVOT, rozměry kořene a ascendentní aorty
- kalcifikace chlopně, anulu, LVOT (masivní kalcifikace ~ riziko ruptury)



CT: plánování TAVI – sizing chlopně

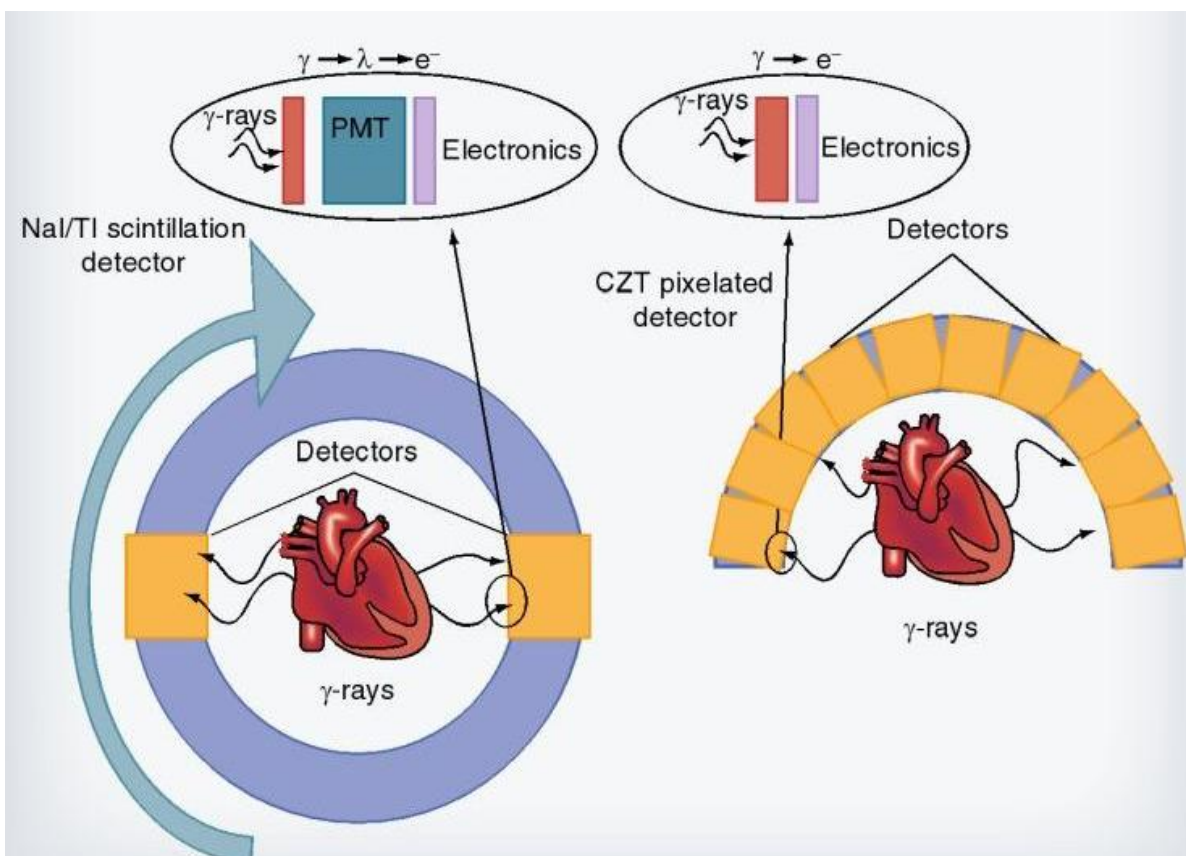
- výše odstupů koronárních arterií
- angulace kořene aorty



Nukleární kardiologie: pokrok SPECT kamer

CZT kamery využívající kadmium-zinek-tellurid (místo NaI/Th)

⇒ **přímá konverze gamma záření na elektrický signál**



Traditional SPECT camera

- Dual detectors 90 or 180° apart
- Rotate around patient
- Uses NaI/thallium scintillation detectors
- Requires PMT to amplify electronic signal

CZT SPECT camera

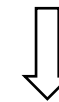
- 180° arc of CZT detectors
- Do not rotate around patient
- CZT pixelated detectors directly convert γ -photon into electric signal
- Precision of energy transmission is improved
- Improved energy and spatial resolution
- Rapid imaging times

Dynamický SPECT myokardu

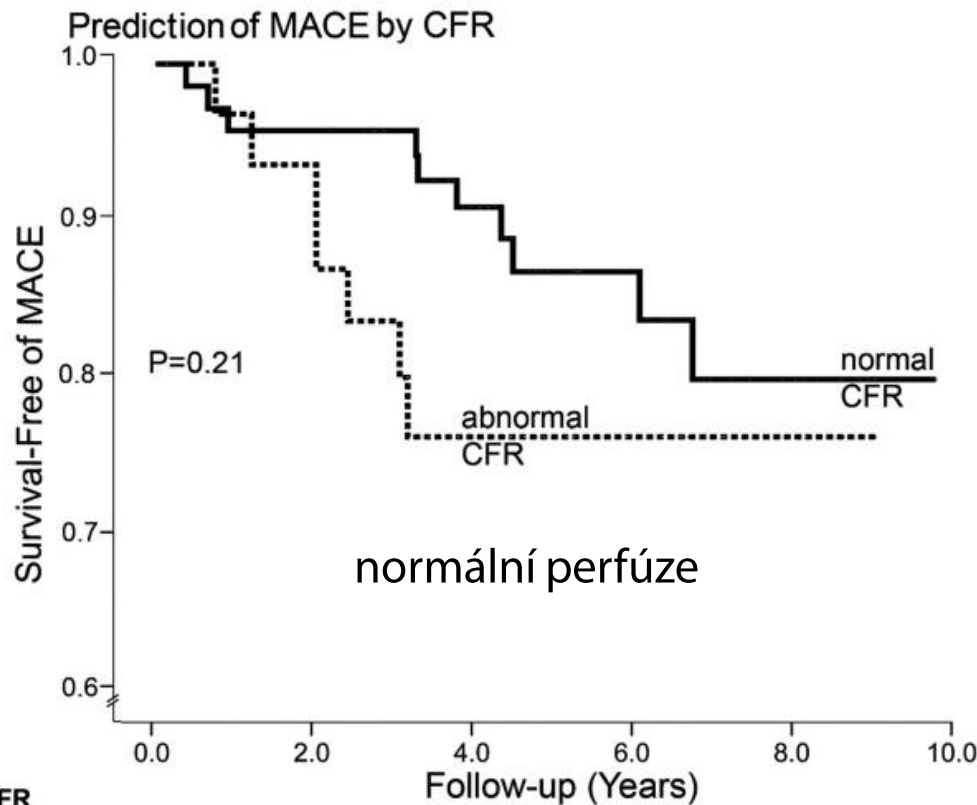


Myokardiální průtoková rezerva:

$$\frac{\text{myokardiální průtok při zátěži}}{\text{myokardiální průtok v klidu}}$$



- zlepšení diagnostiky ICHS
- aditivní prognostický význam



CFR	0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0
normal (n)	71	68	65	63	61	61
abnormal (n)	32	30	25	25	25	25



PET/CT: Infekční endokarditida

ESC 2015 modifikovaná kritéria pro diagnostiku infekční endokarditidy

Major criteria

1. Blood cultures positive for IE

2. Imaging positive for IE

a. Echocardiogram positive for IE:

- Vegetation;
- Abscess, pseudoaneurysm, intracardiac fistula;
- Valvular perforation or aneurysm;
- New partial dehiscence of prosthetic valve.

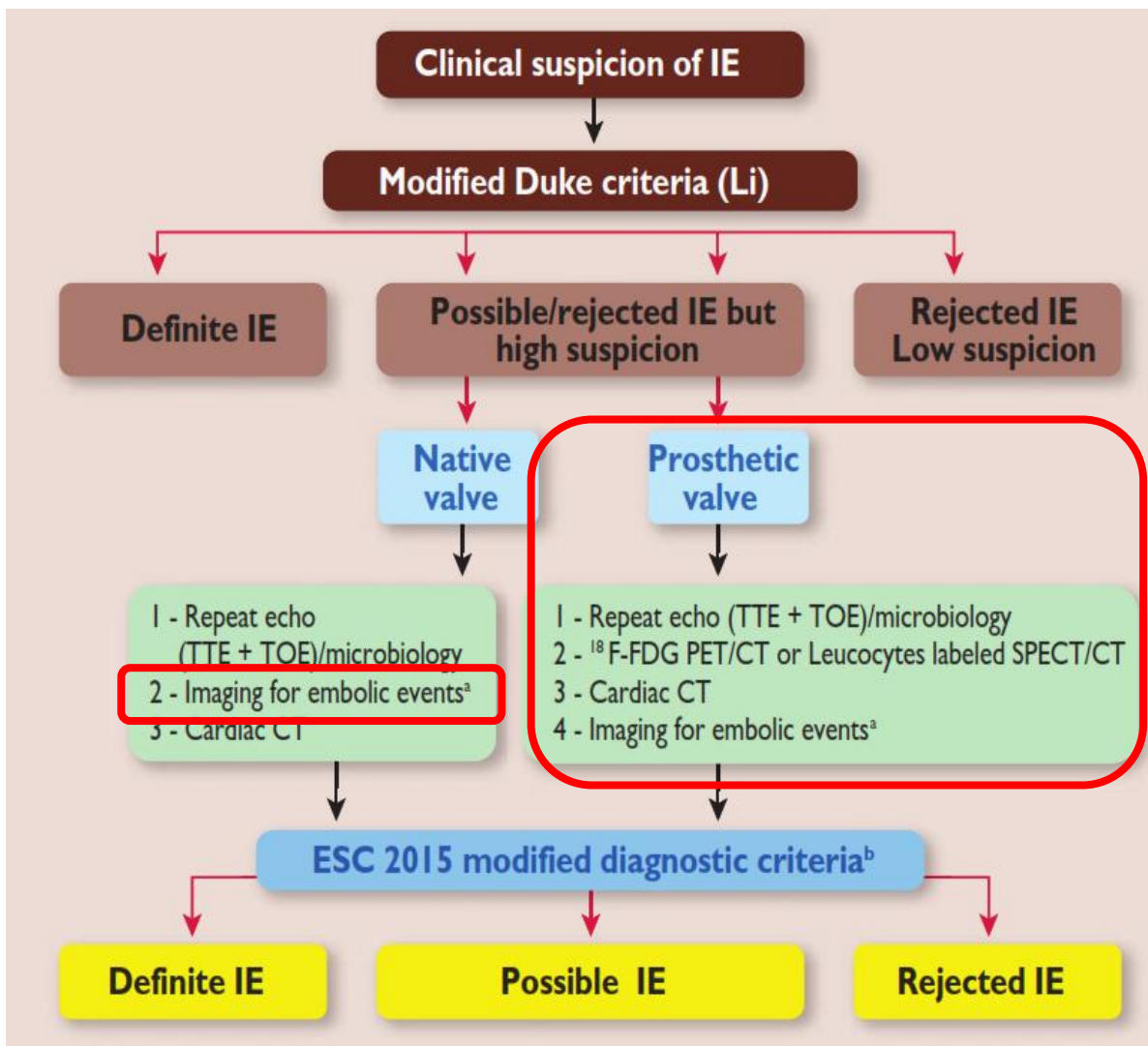
b. Abnormal activity around the site of prosthetic valve implantation detected by ^{18}F -FDG PET/CT (only if the prosthesis was implanted for >3 months) or radiolabelled leukocytes SPECT/CT.

c. Definite paravalvular lesions by cardiac CT.

Minor criteria

1. Predisposition such as predisposing heart condition, or injection drug use.
2. Fever defined as temperature $>38^{\circ}\text{C}$.
3. **Vascular phenomena** (including those detected by imaging only): major arterial emboli, septic pulmonary infarcts, infectious (mycotic) aneurysm, intracranial haemorrhage, conjunctival haemorrhages, and Janeway's lesions.
4. Immunological phenomena: glomerulonephritis, Osler's nodes, Roth's spots, and rheumatoid factor.
5. Microbiological evidence: positive blood culture but does not meet a major criterion as noted above or serological evidence of active infection with organism consistent with IE.

PET/CT: Infekční endokarditida



**Podezření na
protézovou endokarditidu**

> 3 měsíce po operaci
(nejasný echokg nález)

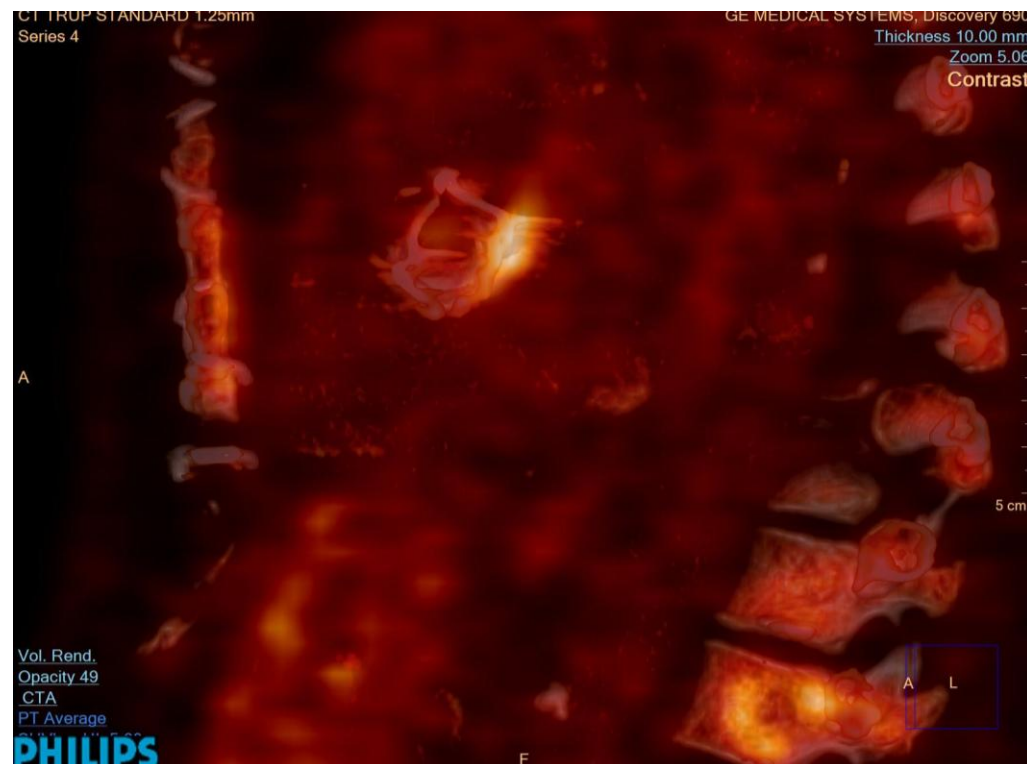
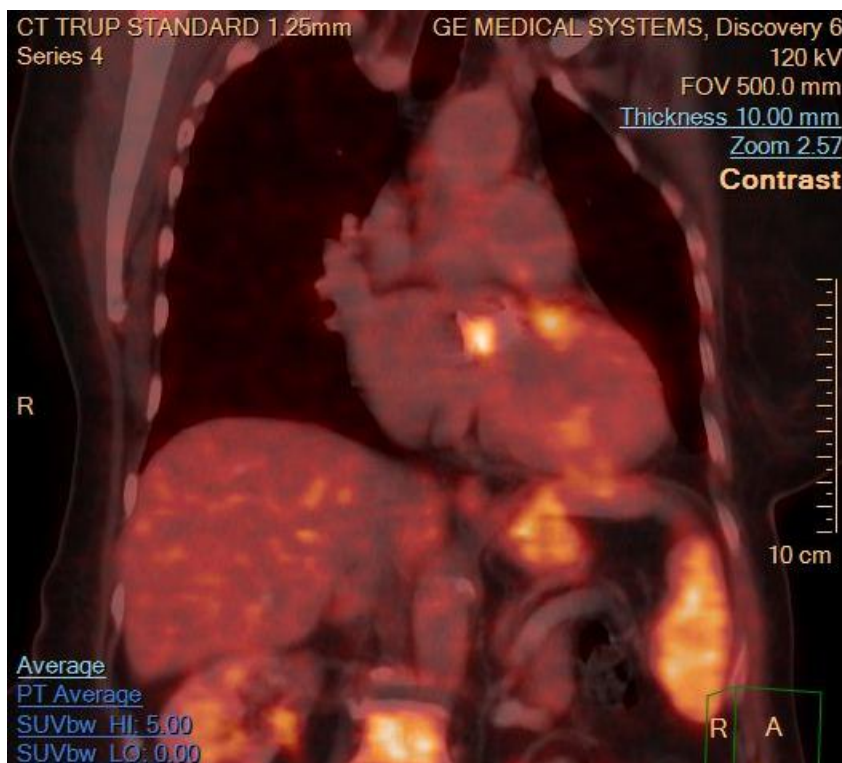
**Pátrání po periferních
embolizacích**

(limitace- septické embolizace v mozku)

PET/CT: Protézová endokarditida

Hlavní diagnostické kritérium:

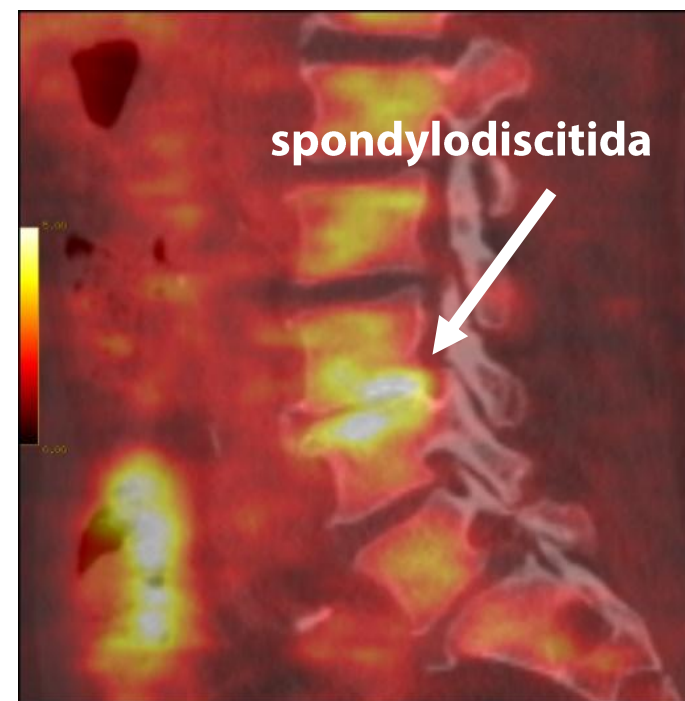
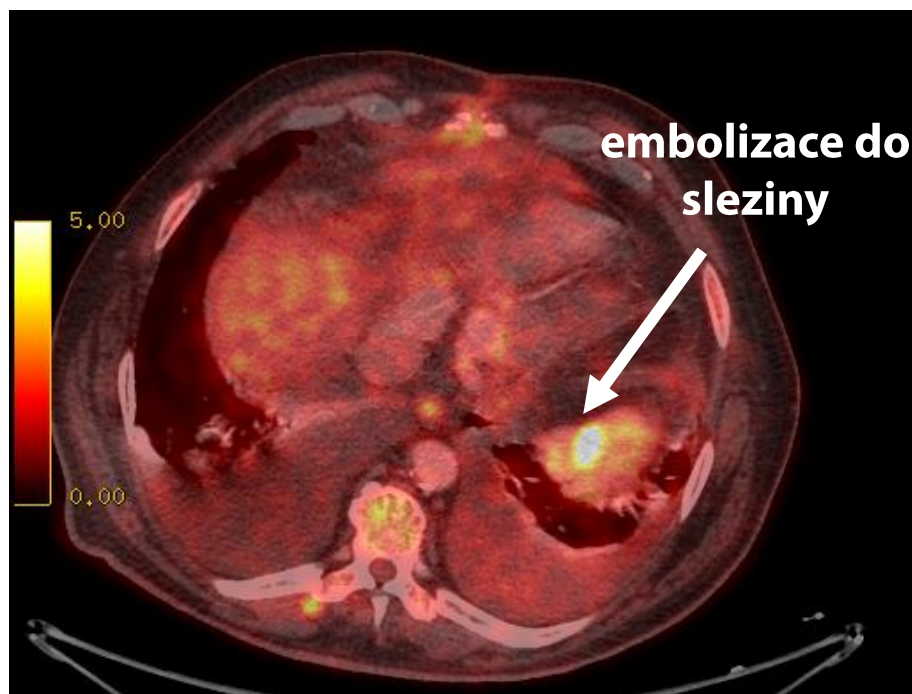
průkaz zvýšené metabolické aktivity (\uparrow vychytávání ^{18}F -FDG) v okolí protézy



PET/CT: Infekční endokarditida

Vedlejší diagnostické kritérium:
průkaz periferní embolizace

Průkaz alternativního zdroje infekce



PET/CT: sarkoidóza myokardu

Cardiac Sarcoidosis and Giant Cell Myocarditis of Atrioventricular Block in Young and Middle-aged Patients

Riina Kandolin, MD; Jukka Lehtonen, MD, PhD; Markku K...
et al. *Circulation*. 2011;124:1111-1118.

Background—Cardiac
block (AVB), but
of biopsy-verified

Methods and Results

years who underwe

In total, 133 patient

AVB, and they we

biopsy-verified CS

Among the adult pa

whole AVB populat

of follow-up, 7 (39%) of 18 patients with CS or GCM versus 1 of the 54 patients in whom A

either cardiac death, cardiac transplantation, ventricular fibrillation, or treated sustained vent

Conclusions—CS and GCM explain $\geq 25\%$ of initially unexplained AVB in young and

are at high risk for adverse cardiac events. (*Circ Arrhythm Electrophysiol.* 2011;5:1111-1118)



postižení myokardu

+

extrakardiální postižení \Rightarrow

extrakardiální bioptický průkaz



PET/CT: sarkoidóza myokardu

Hodnocení perfúze myokardu (^{99m}Tc) + metabolismu (^{18}F FDG)

Odlišení:

aktivního zánětu myokardu

(\uparrow FDG uptake, perfúzní defekt)

od jizvy

(\downarrow FDG uptake, těžký perfúzní defekt)



efekt léčby
prognóza pacienta

STAGES	Perfusion/FDG Patterns			
	Perfusion Defect	FDG-Uptake		
Normal	None		No/ Low	
Early	None		FDG uptake high	
Progressive	Mild			
Peak active	Moderate			
Progressive myocardial impairment	Severe			
Fibrosis	Severe		Low	



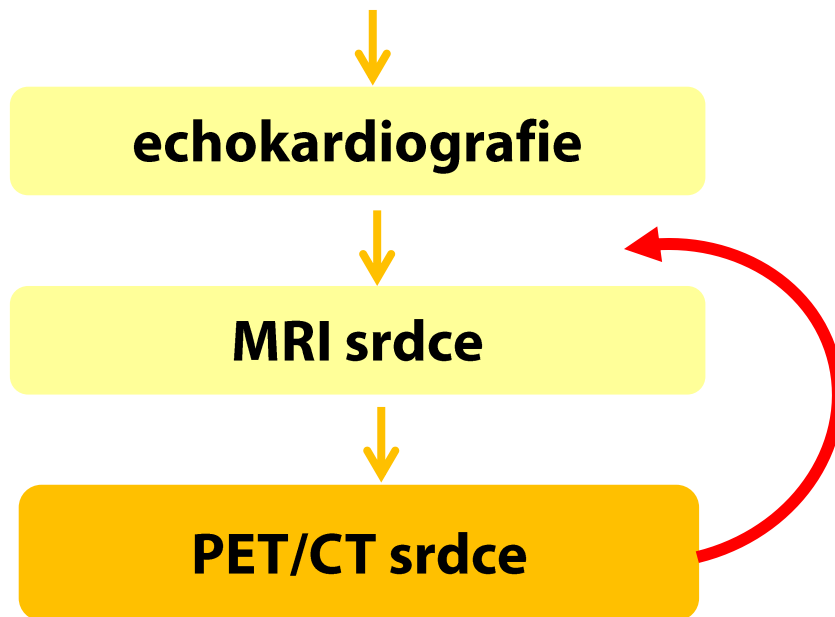
Diagnostika sarkoidózy srdce

Klinický obraz / EKG suspektní ze sarkoidózy srdce

echokardiografie

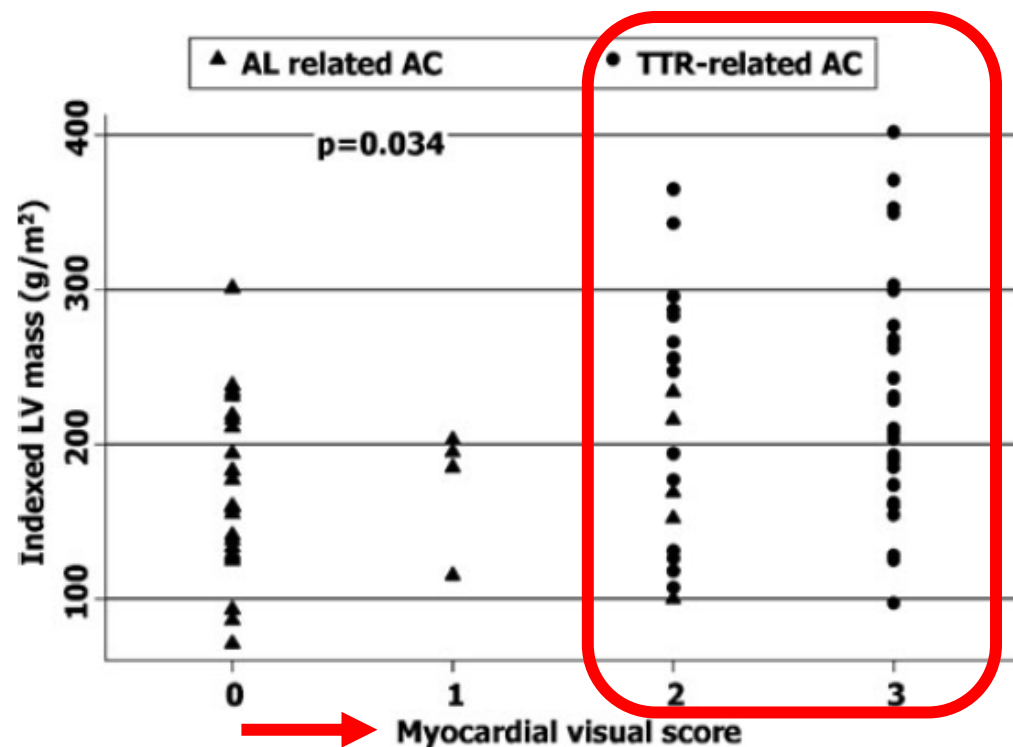
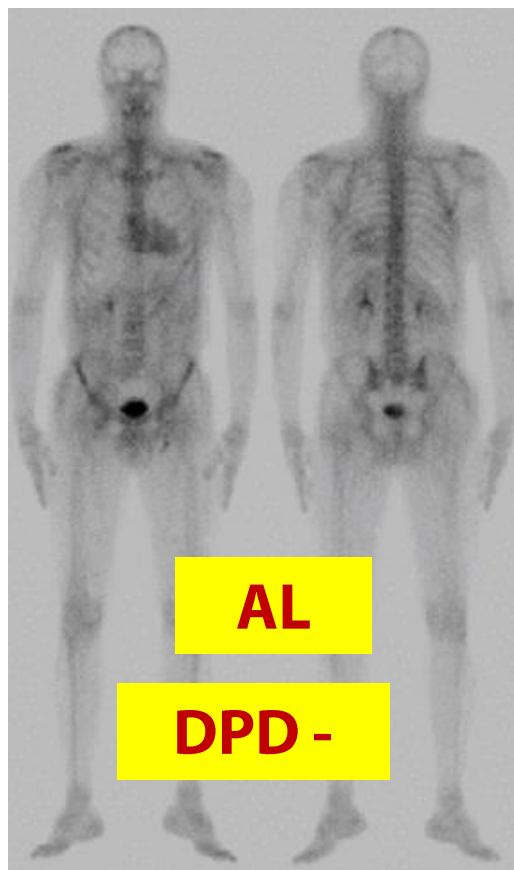
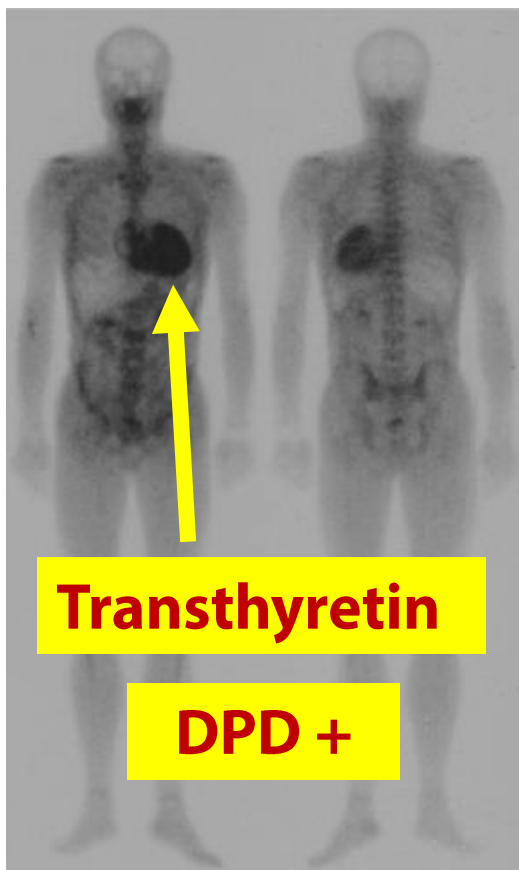
MRI srdce

PET/CT srdce

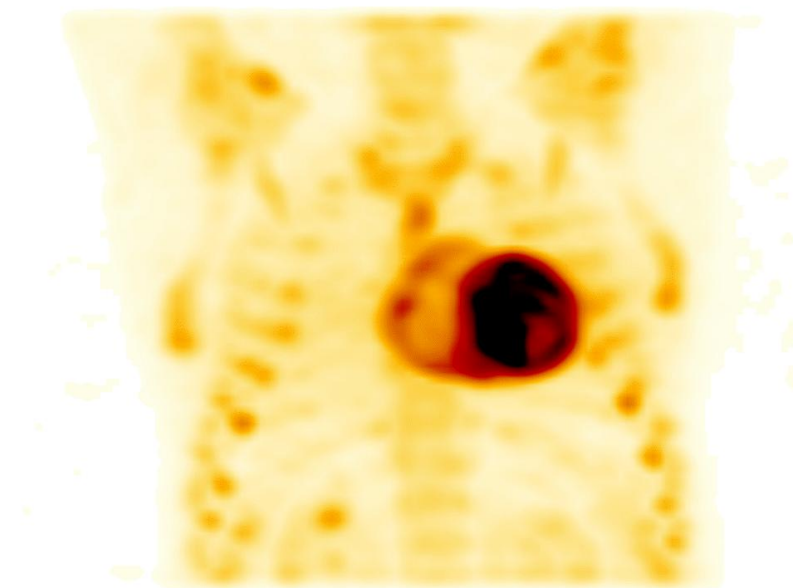
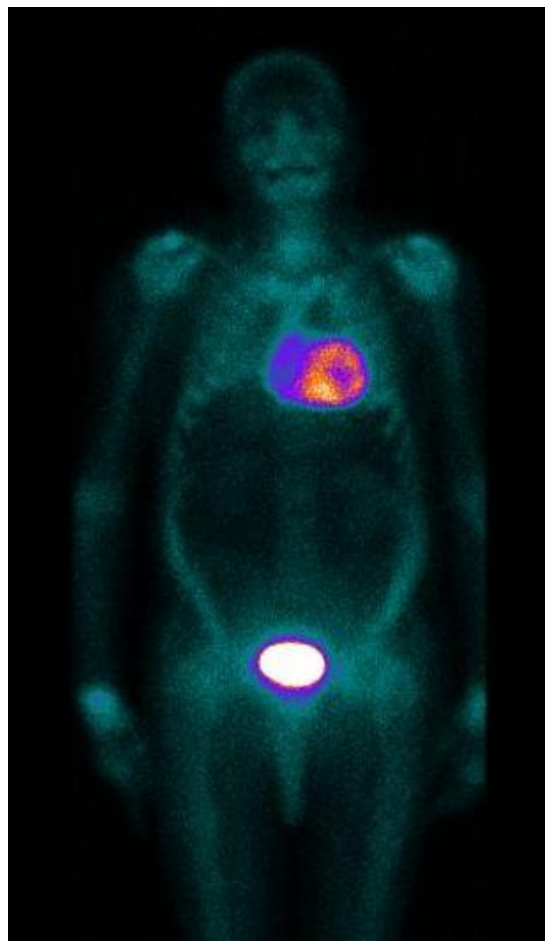


DPD scan: transthyretinová amyloidóza

DPD = ^{99m}Tc -3,3-diphosphono-1,2-propanodicarboxylová kyselina



Pozitivní DPD scan u transthyretinové amyloidózy





Diagnostika srdeční amyloidózy

Echokg, EKG, klinický obraz suspektní z amyloidové kardiomyopatie

normální poměr FLC κ/λ , negativní IELFO → AL amyloidóza prakticky vyloučena

Transthyretinová amyloidóza ?

DPD scan

bioptická verifikace, genetické testování k vyloučení mTTR



1. LÉKAŘSKÁ FAKULTA
UNIVERZITY KARLOVY V PRAZE



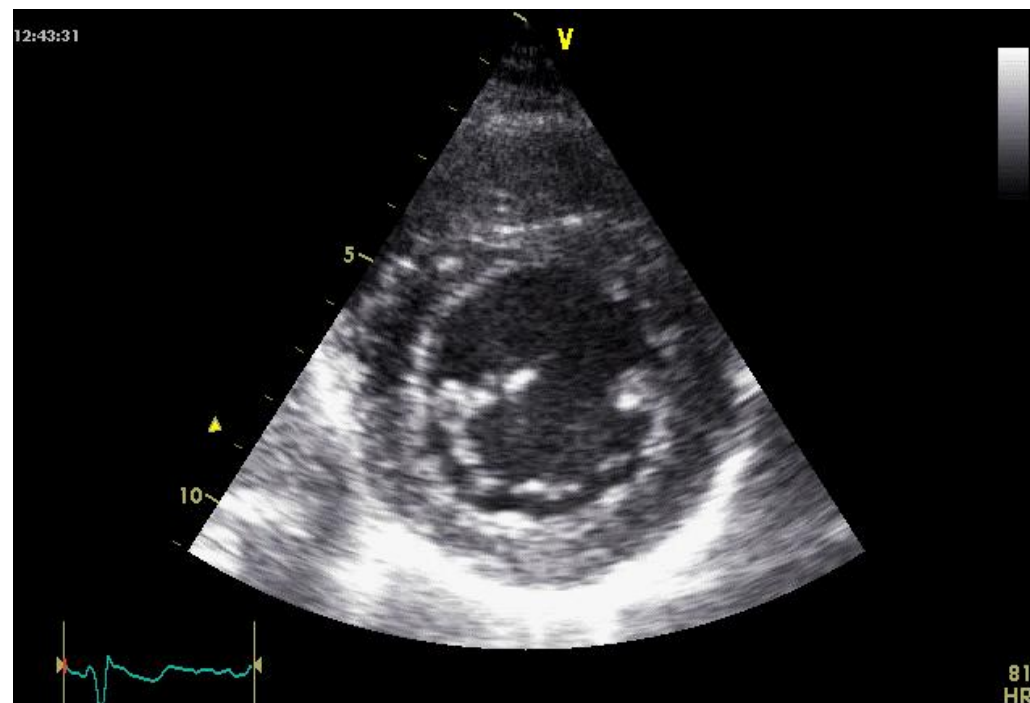
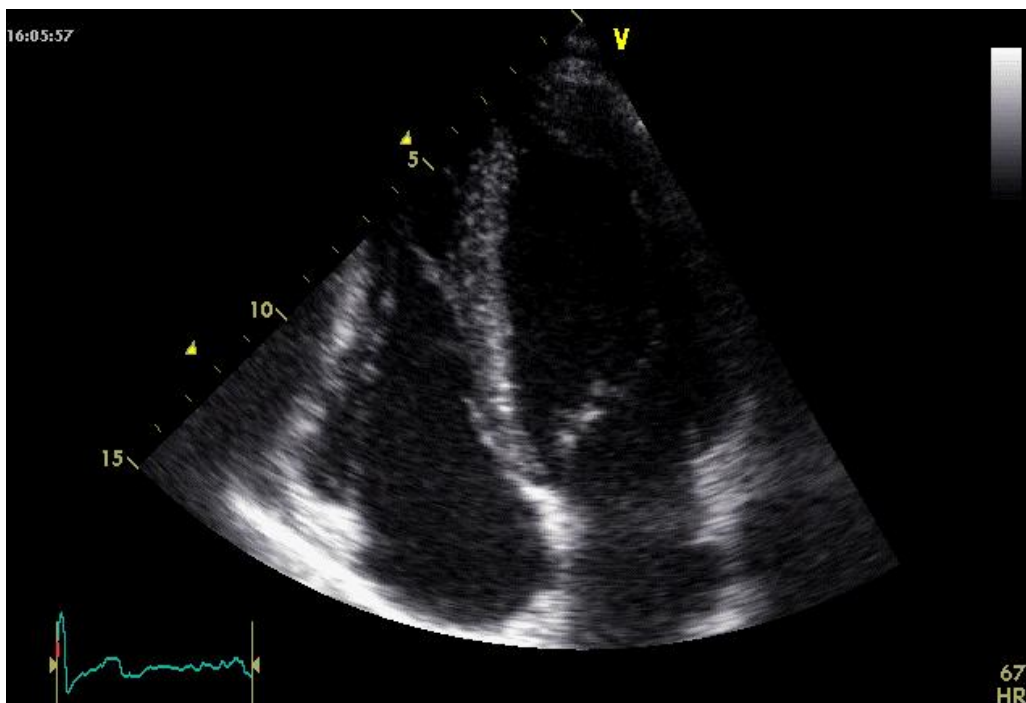
Děkuji za pozornost !

Strain imaging

= analýza deformace myokardu během srdečního cyklu

Longitudinální systolická deformace
(zkrácení myokardu)

Radiální / cirkumferenciální
systolická deformace
(ztluštění / zkrácení myokardu)





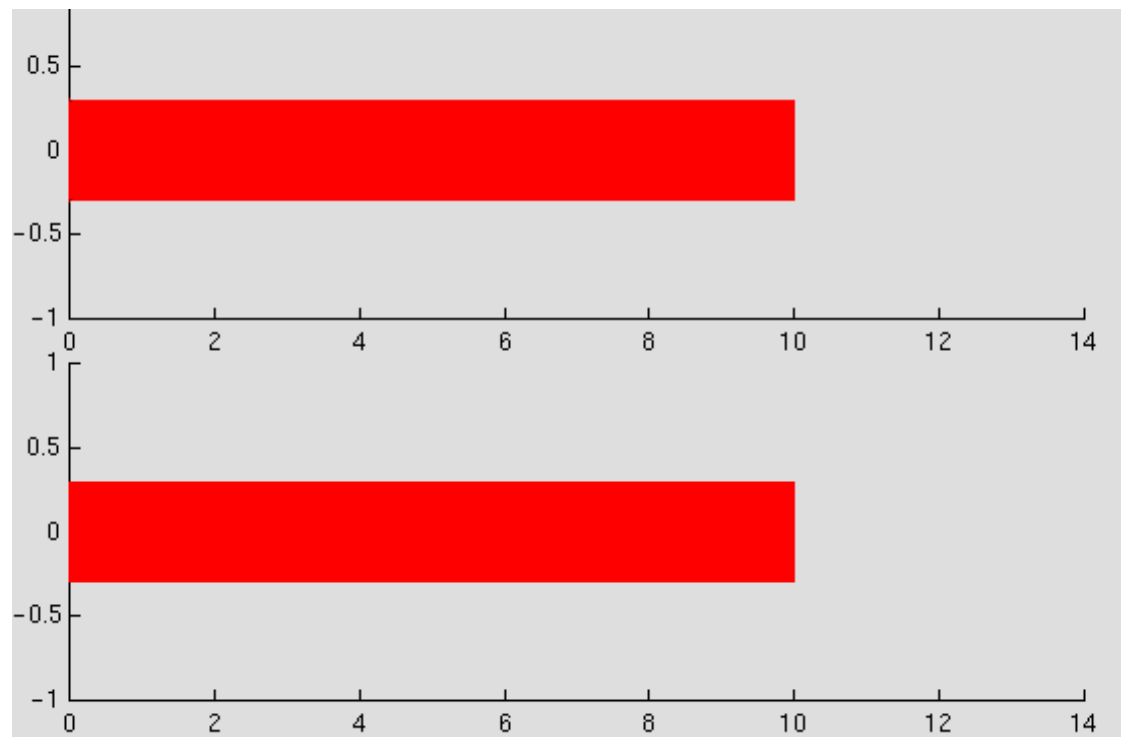
Strain a strain rate

Strain

= % o kolik se myokard
v systole zkrátí / zesílí

Strain rate

= rychlost (s^{-1}), s jakou se myokard
v systole zkrátí / zesílí



40% strain
1 s

40% strain
2 s

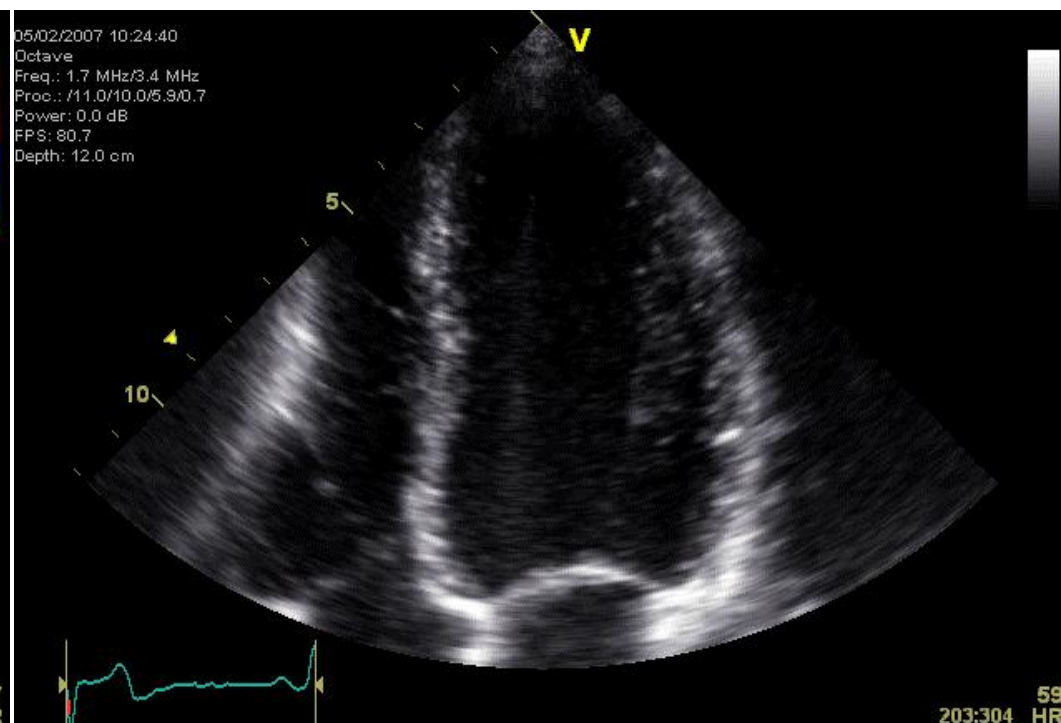
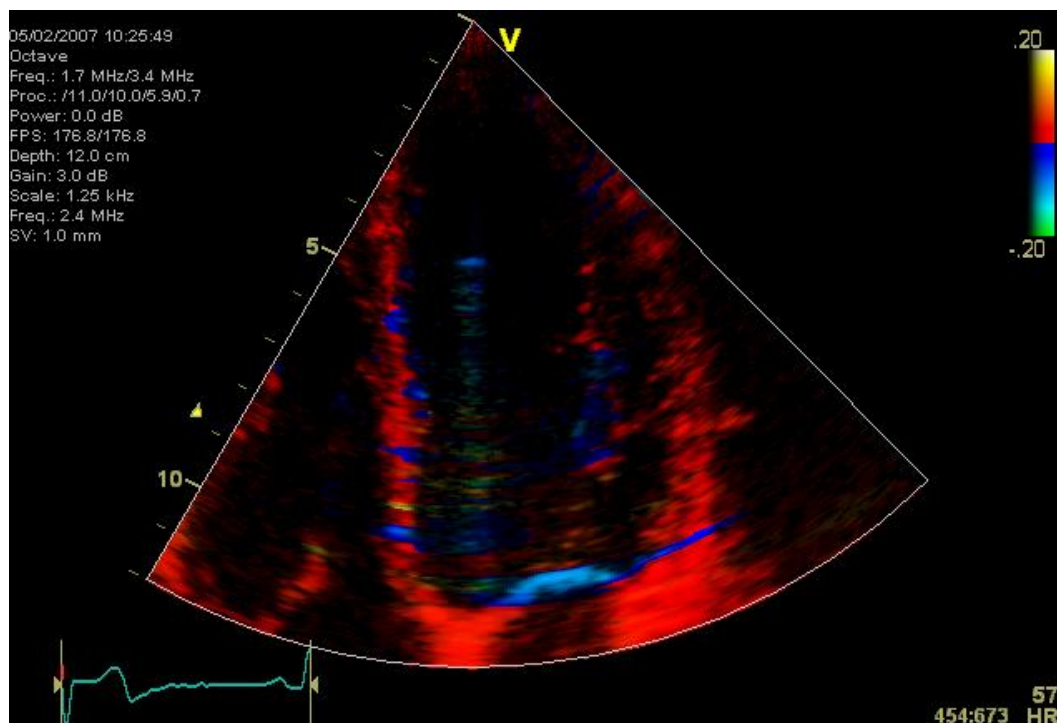
Strain imaging

záložený na barevné tkáňové dopplerovské
echokg

☹ úhlová závislost

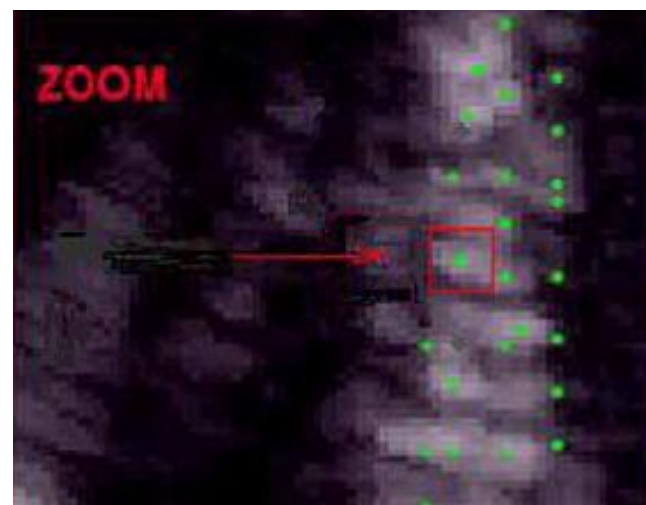
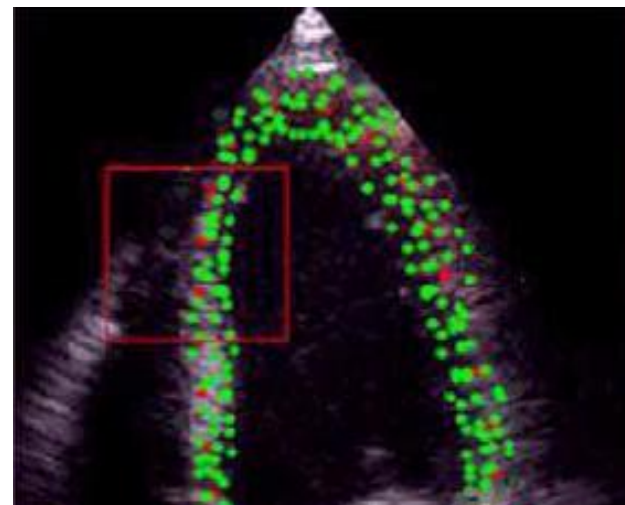
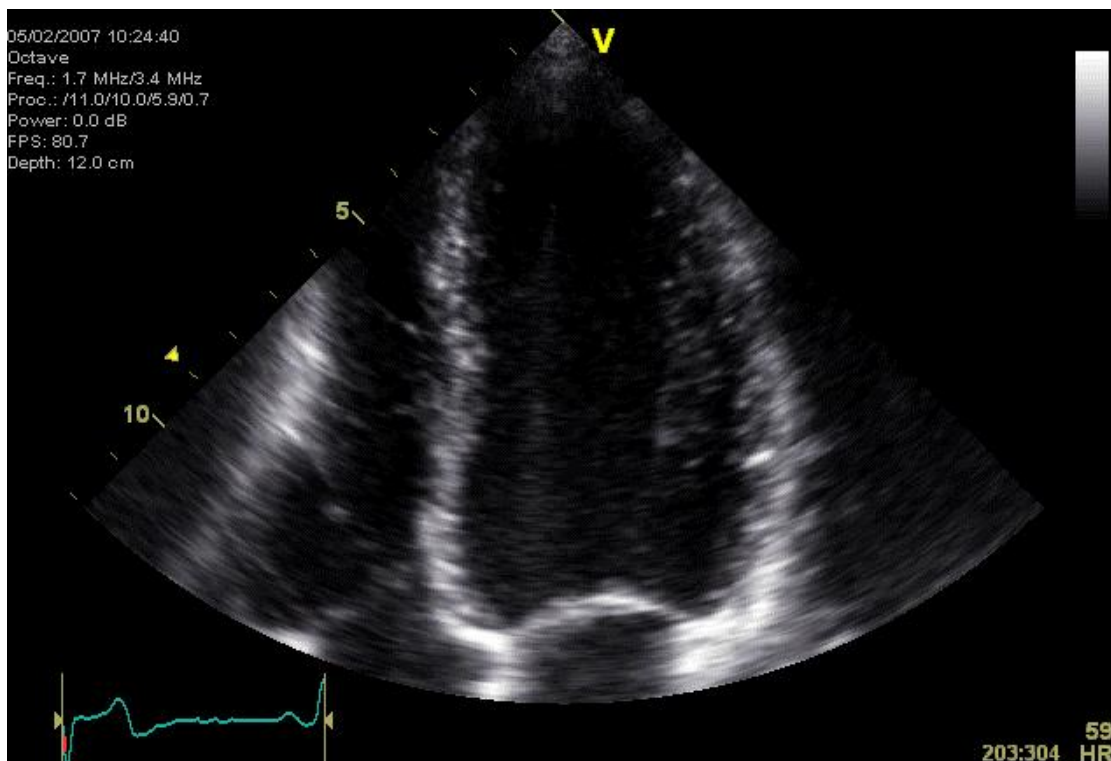
2D strain, speckle tracking

☺ není problém s úhlovou závislostí

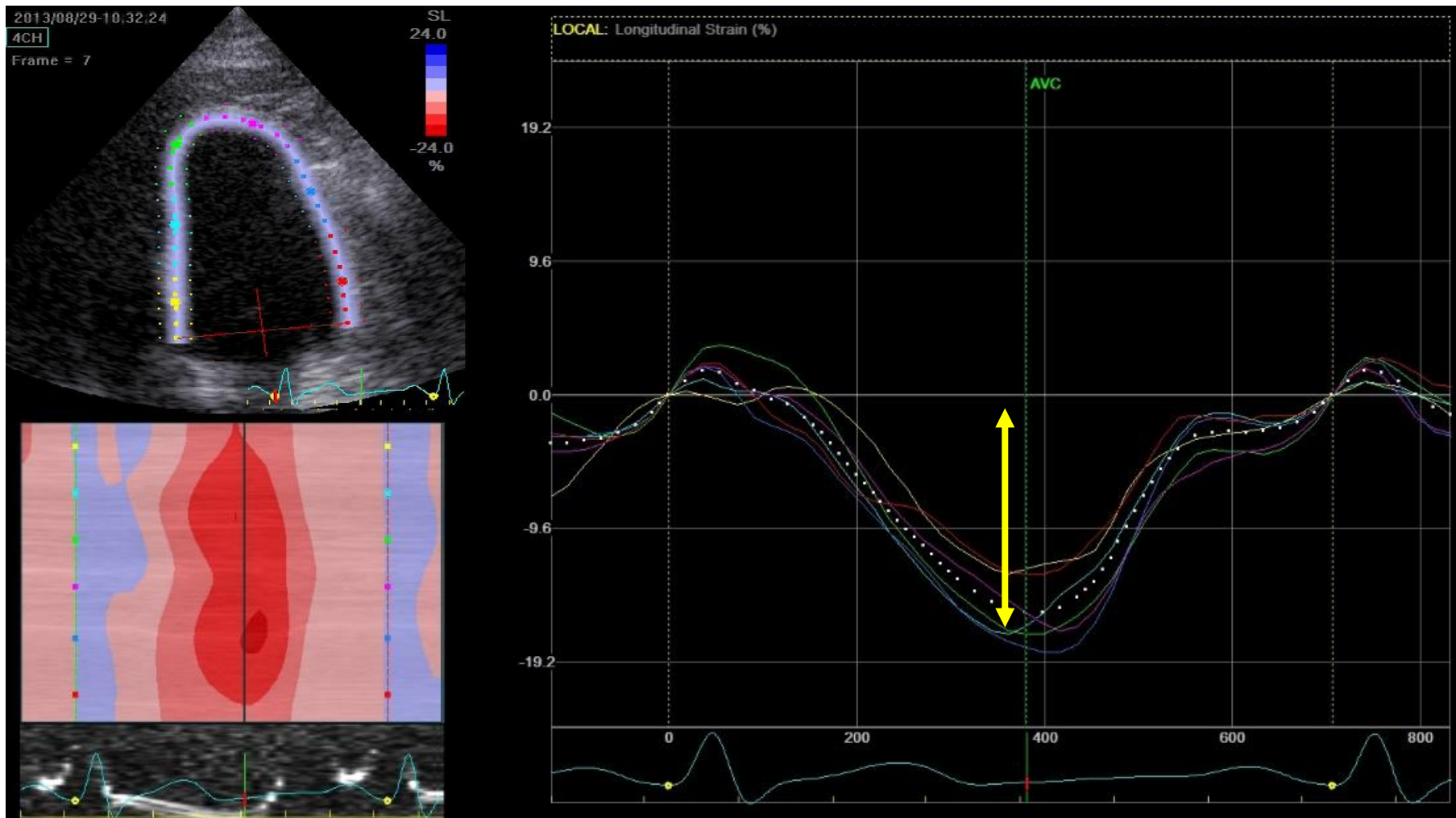


2D-strain: princip

Speckle tracking



Longitudinální strain



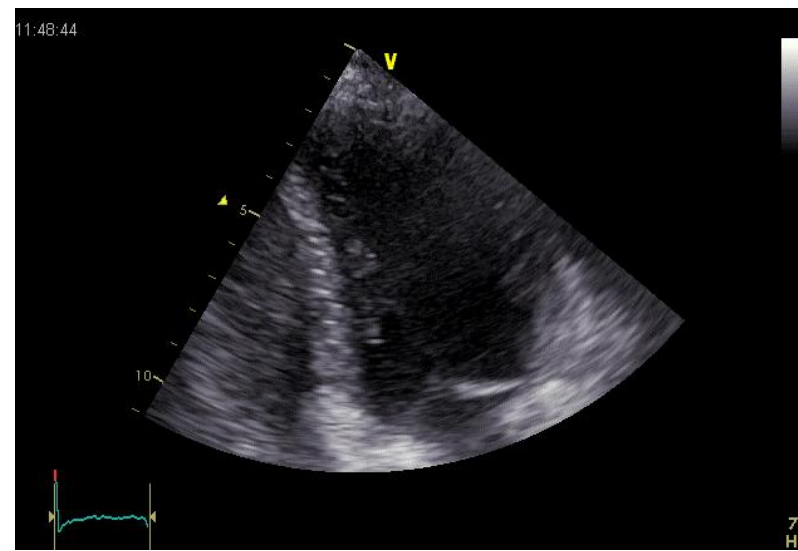
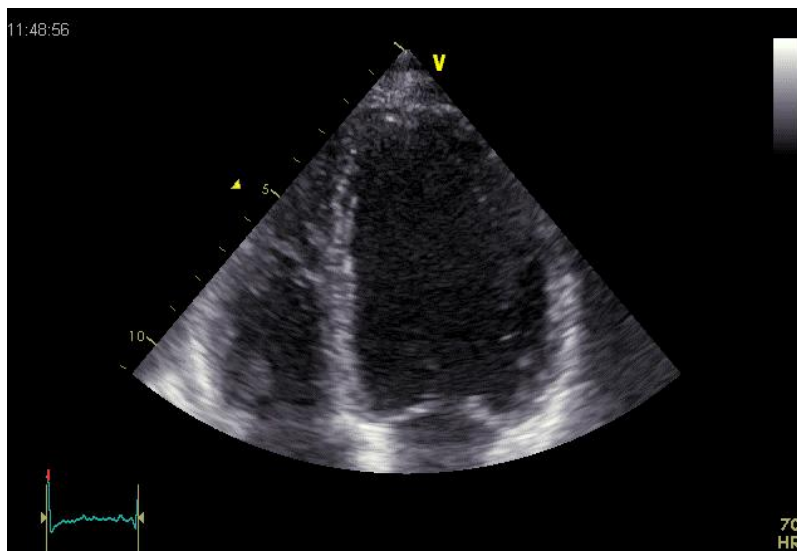


1. LÉKAŘSKÁ FAKULTA
UNIVERZITY KARLOVY V PRAZE



Problémy intervencí variabilita

Globální longitudinální strain (GLS)



Průměrný longitudinální
systolický strain stěn LK
ve 3 základních apikálních projekcích



Globální longitudinální strain (GLS)

Ukázka, využití
Norma > 18%

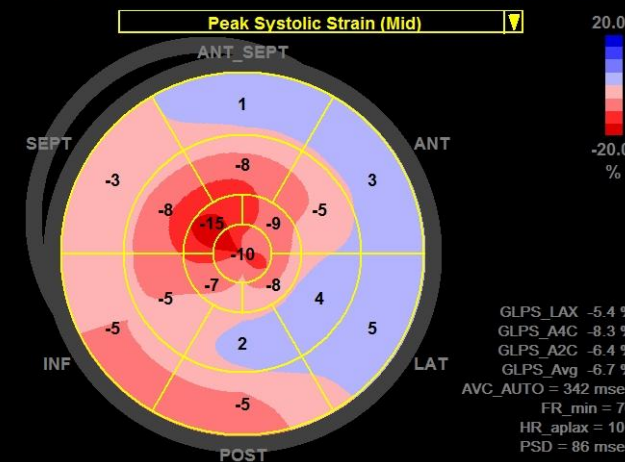
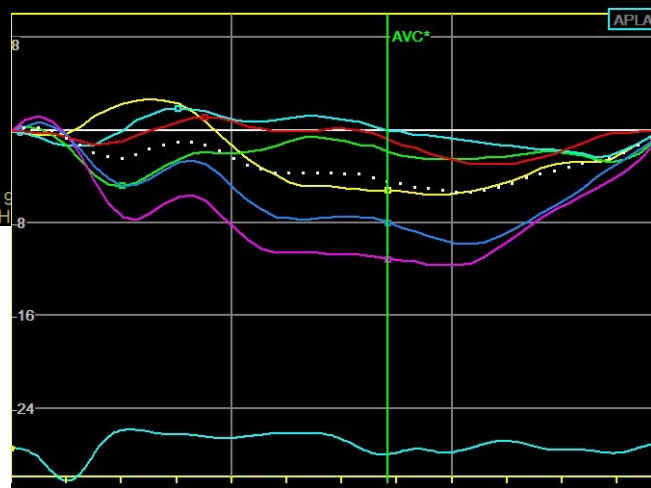
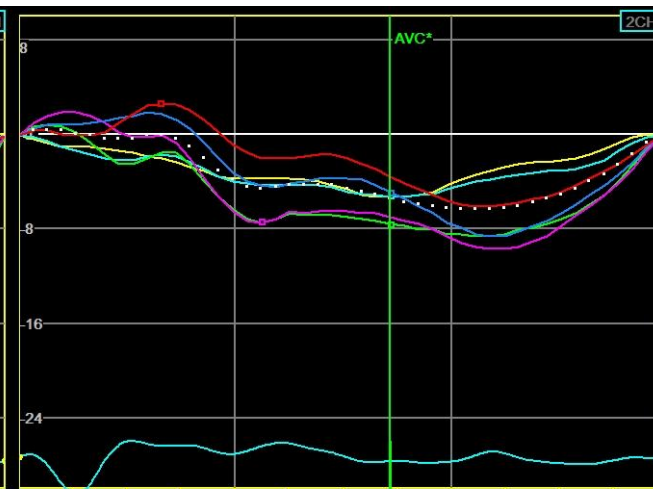
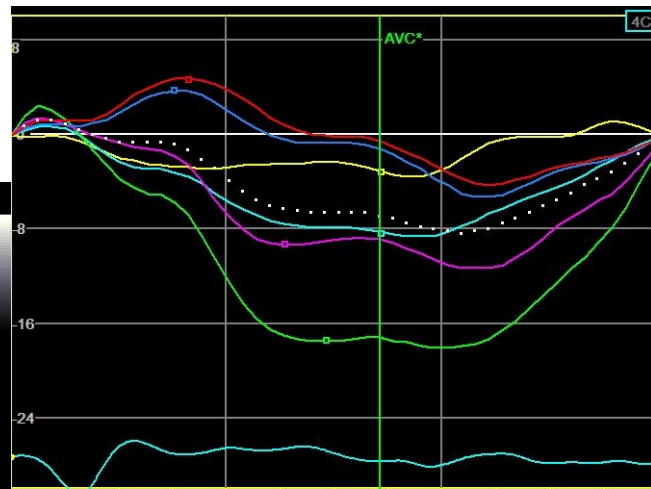
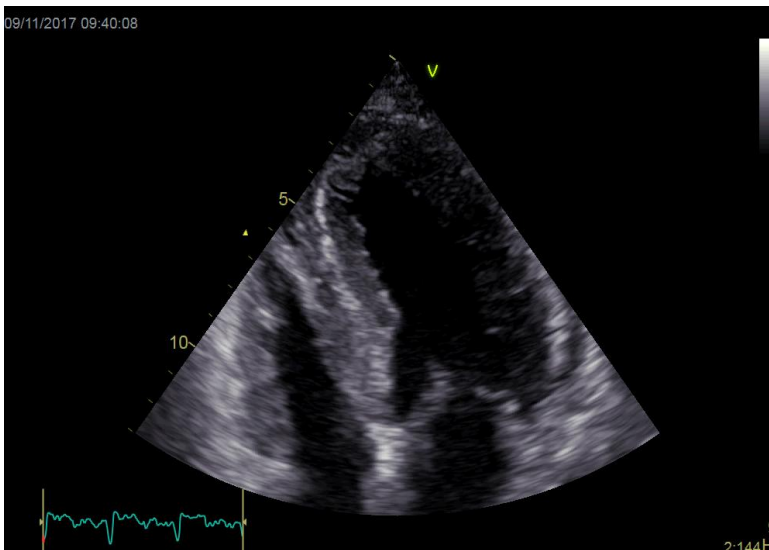
GLS je senzitivnější marker systolické dysfunkce LK než EF

- Kardiotoxicita – již v doporučeních
- HFNEF
- Kardiomyopatie (HKMP)
- Chlopenní vady



Globální longitudinální strain (GLS)

↓↓ GLS při zachovalé EF u
srdeční amyloidózy

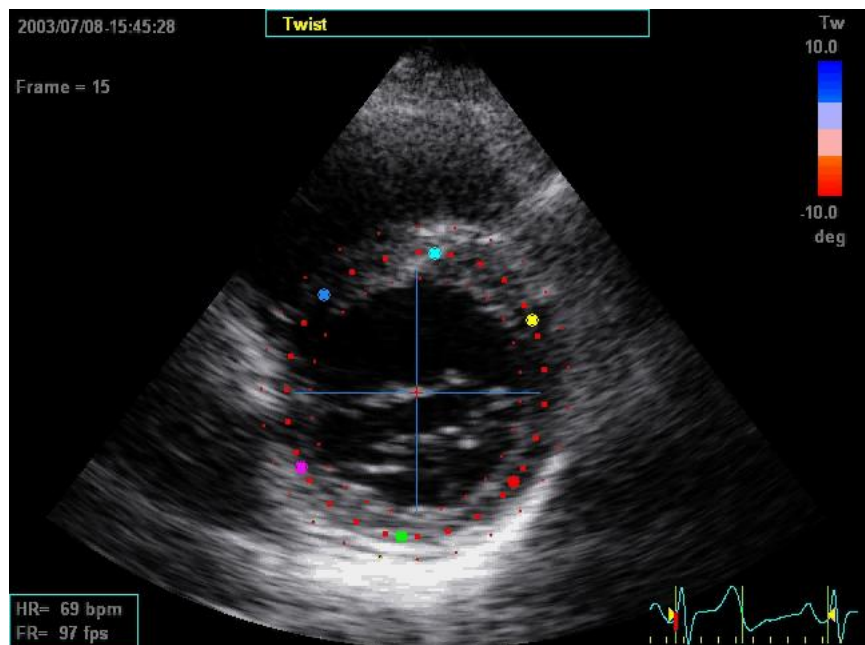


2D strain: twist a torze levé komory

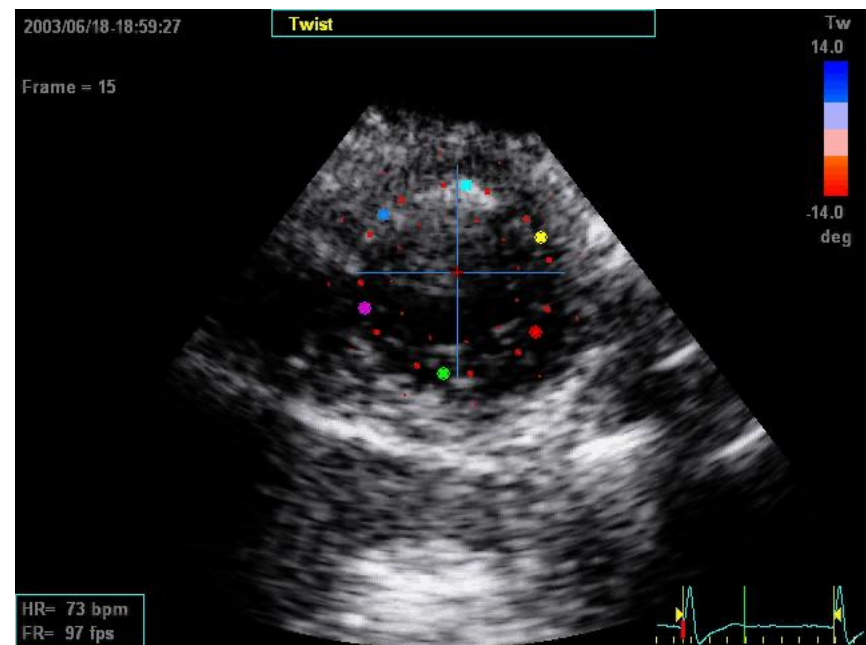
Twist = rozdíl mezi systolickou rotací hrotu a baze LK ($^{\circ}$)

Torze = twist LK, normalizovaný na vzdálenost mezi bazí a hrotem LK ($^{\circ}/\text{cm}$)

Rotace baze LK „clockwise“



Rotace hrotu LK „counterclockwise“



3D echokg: matrixová sonda

Jedna řada
piezoelektrických elementů

elektronická fokusace paprsku
v 1 rovině

více než 3000 piezoelektrických elementů
několika řadách/sloupcích,

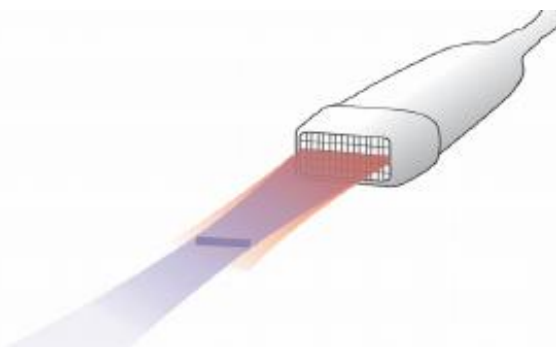
v

elektronické řízení paprsku ve 3 rovinách

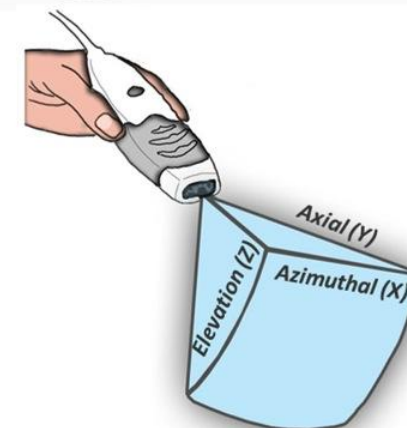
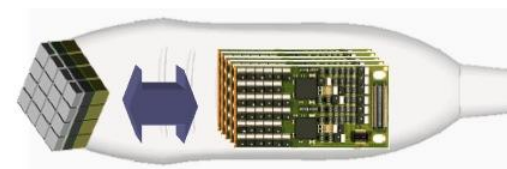
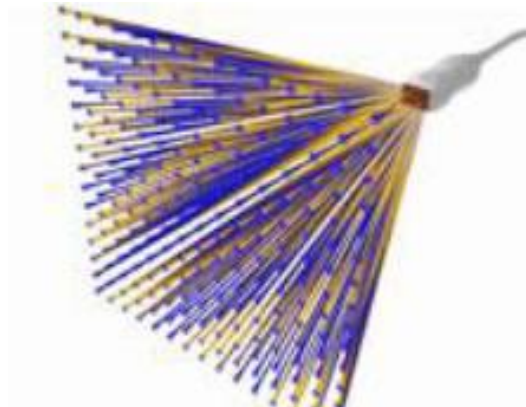


pyramidální dataset v reálném / téměř reálném čase

2D

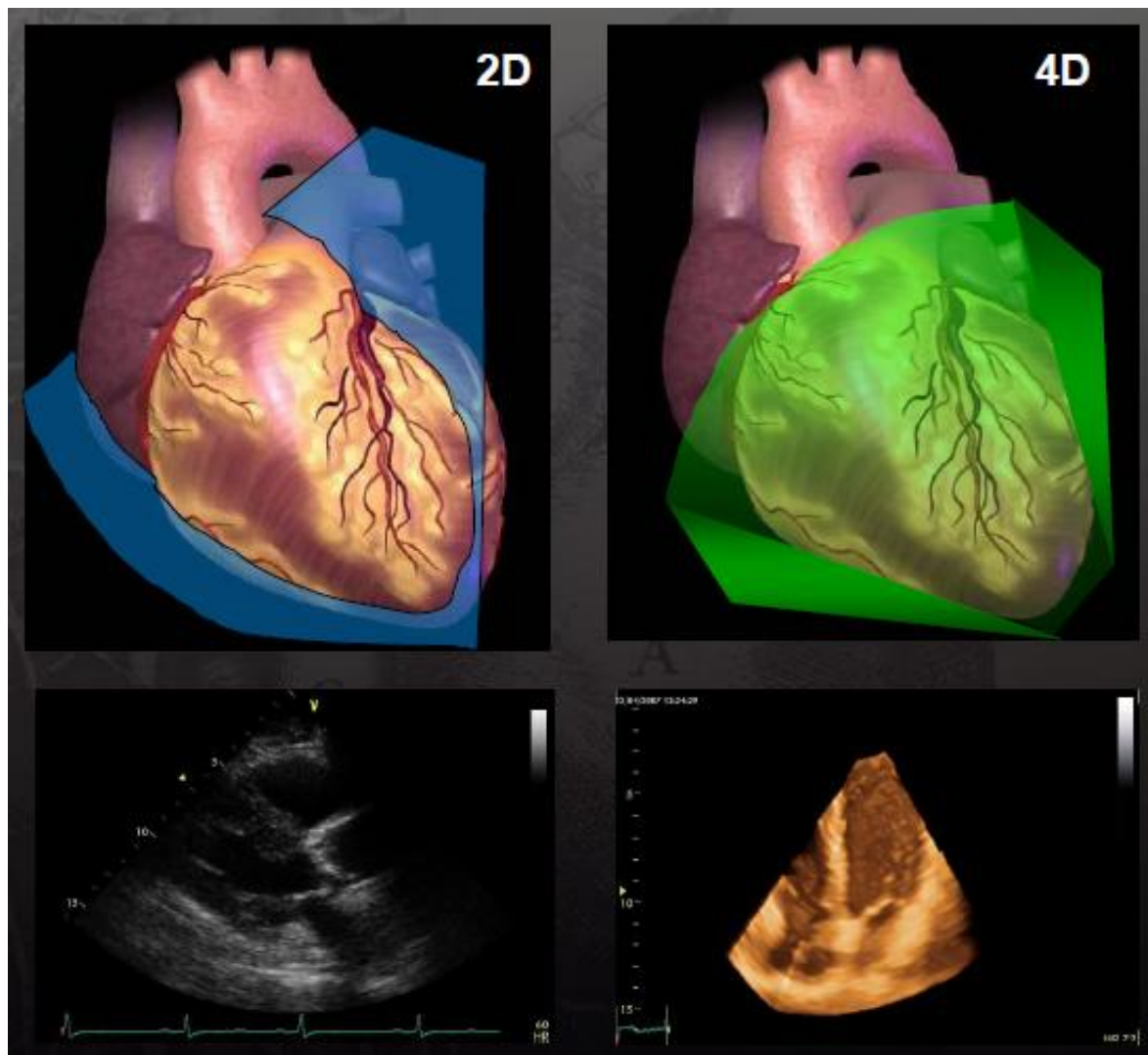


3D





2D vs. 3D echokg

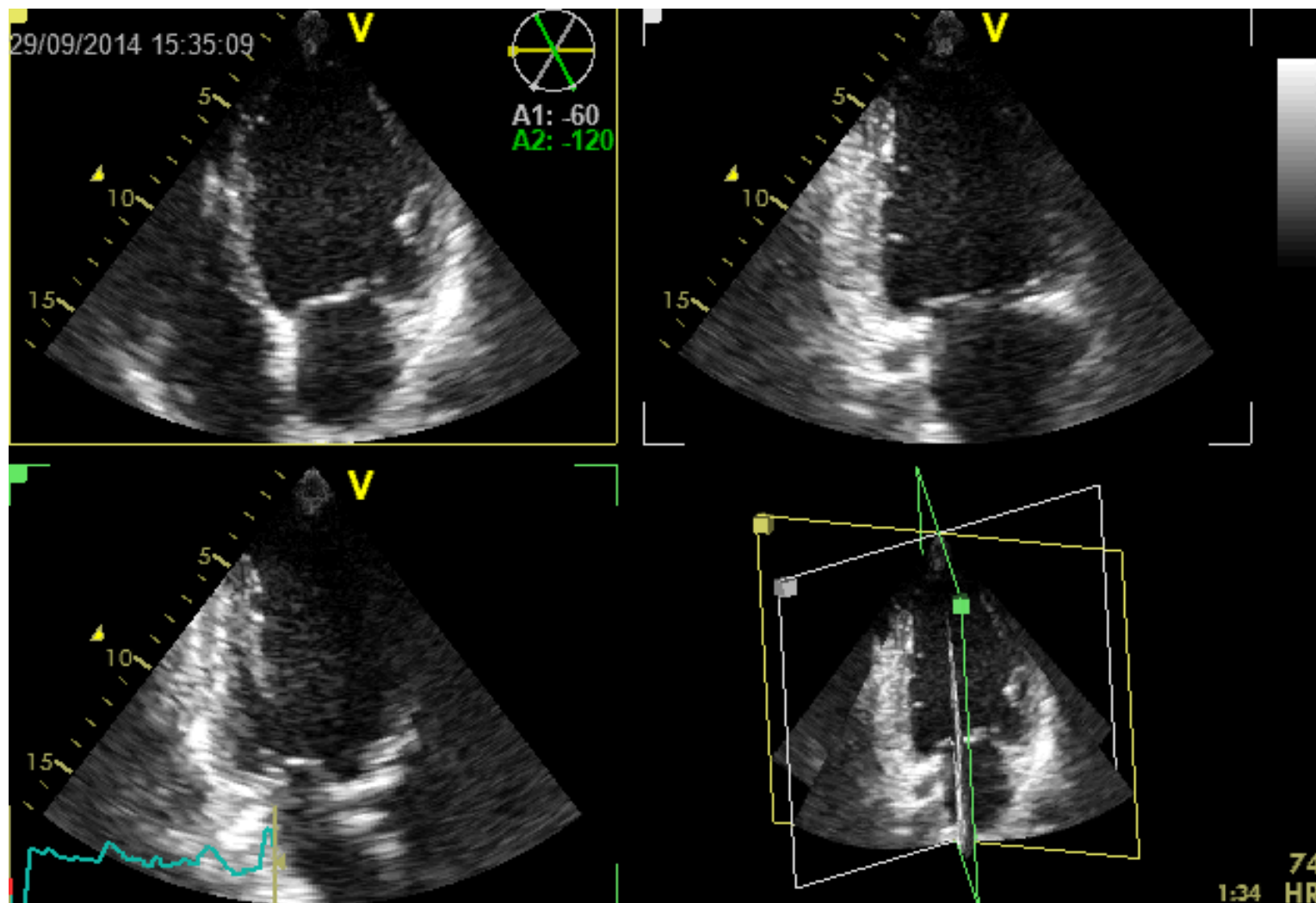




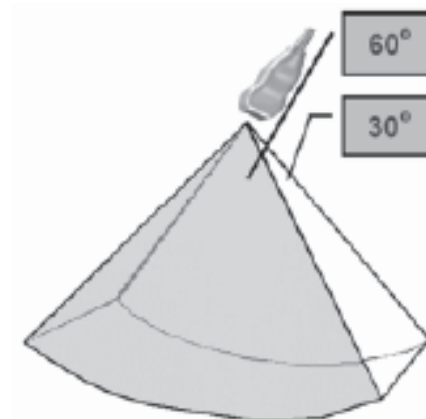
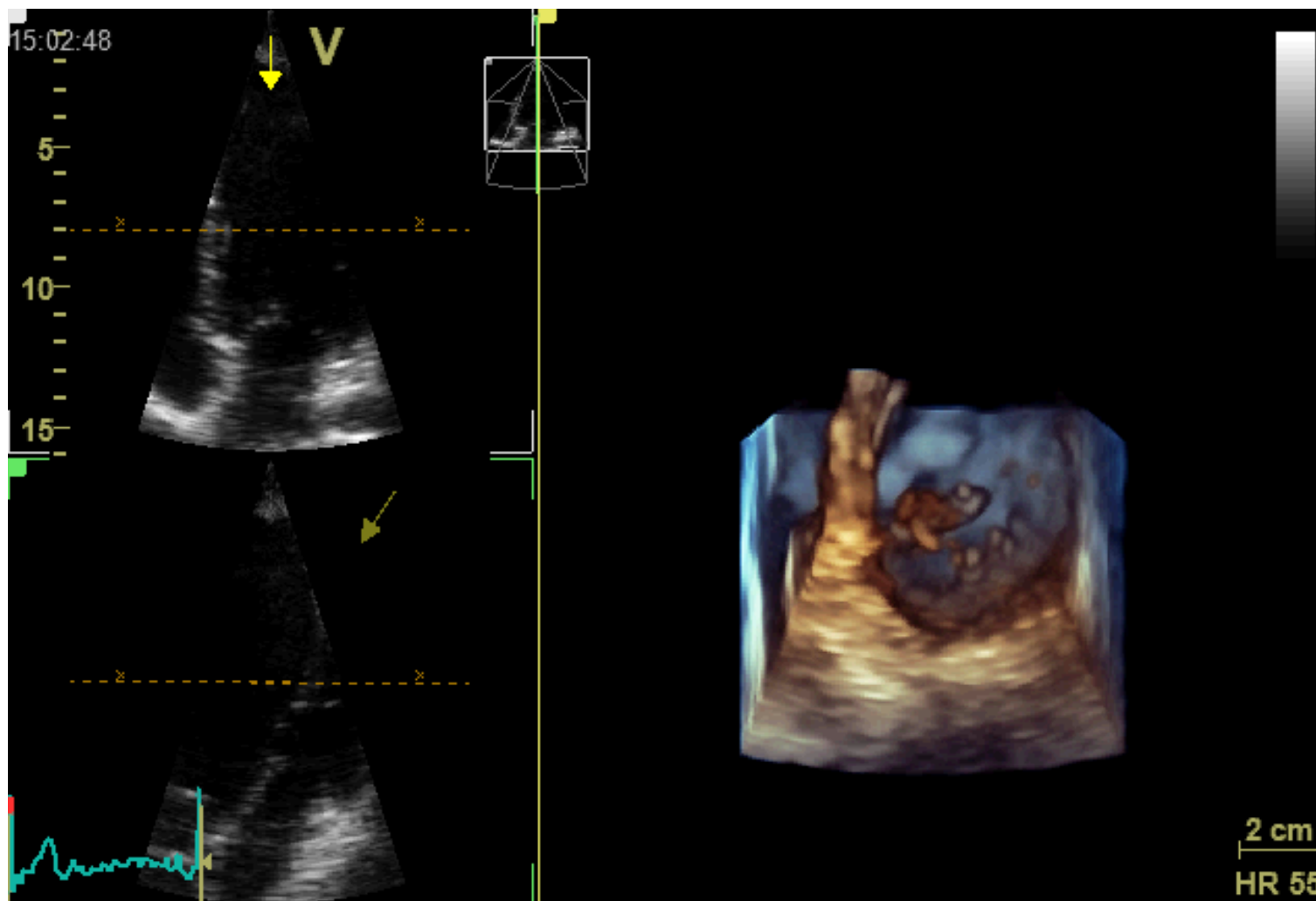
Způsoby akvizice 3D echokardiografie

- ✓ **Multiplanární: dvě / tři roviny řezu**
- ✓ **Úzký úhel sektoru**
- ✓ **Širokoúhlý sektor (full-volume 3D)**
- ✓ **Zoom**
- ✓ **3D barevný Doppler**

Multiplanární echokardiografie

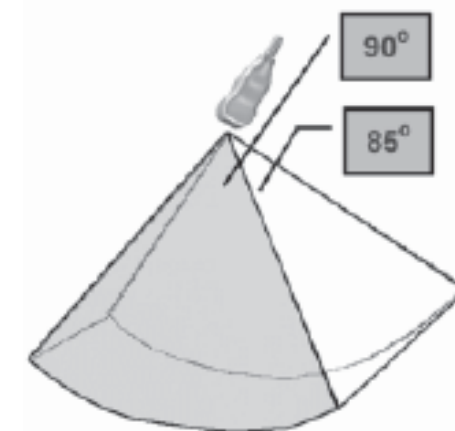
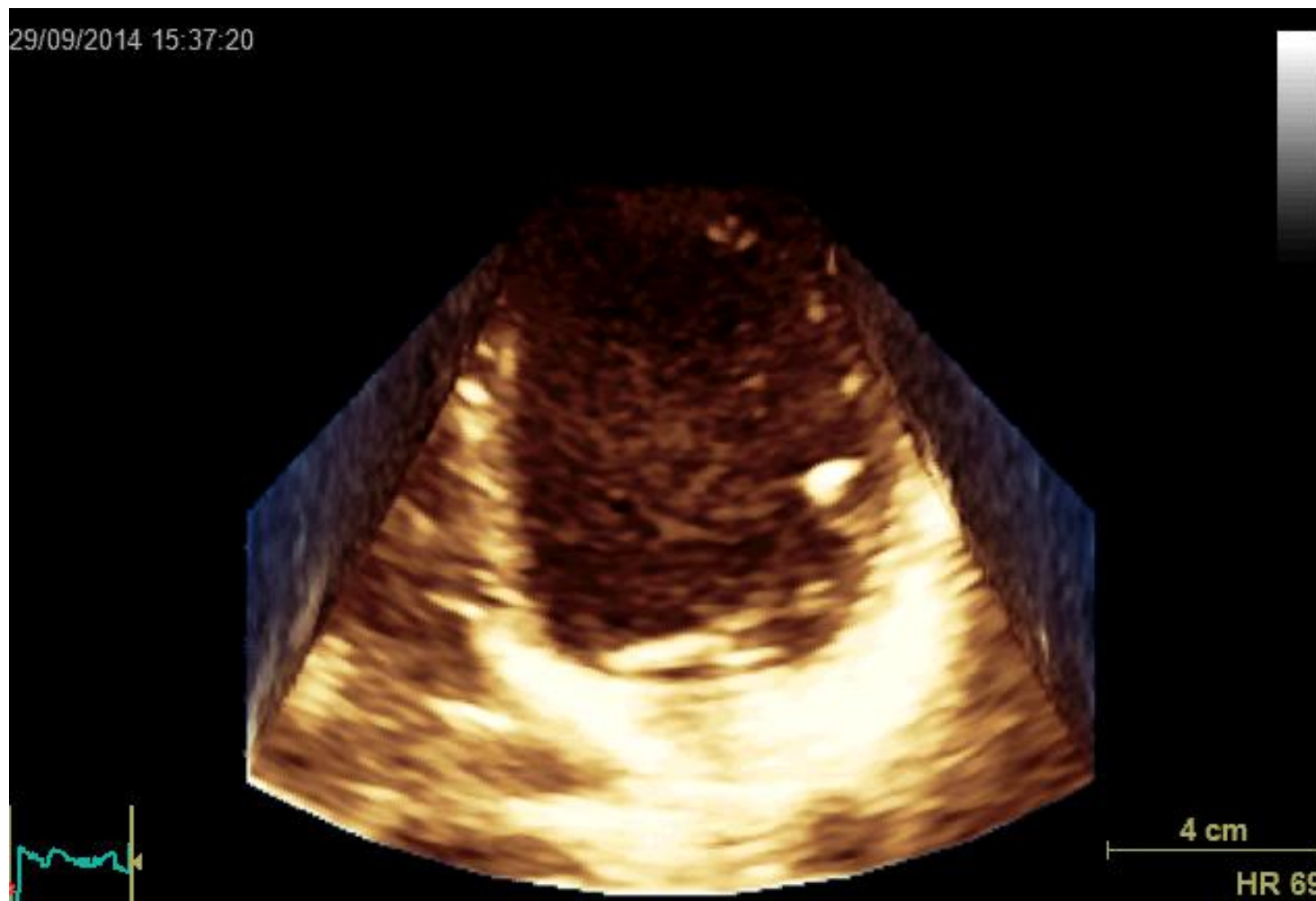


Úzký úhel sektoru

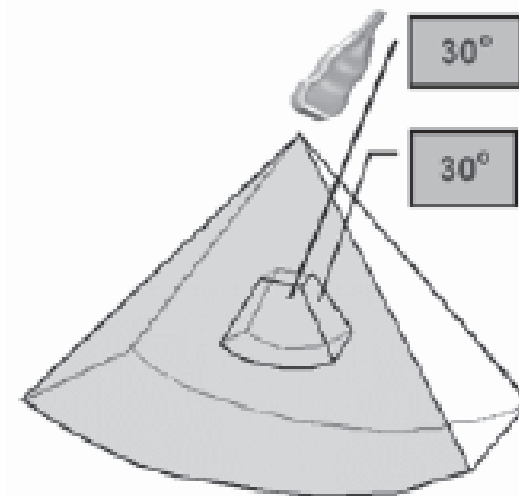
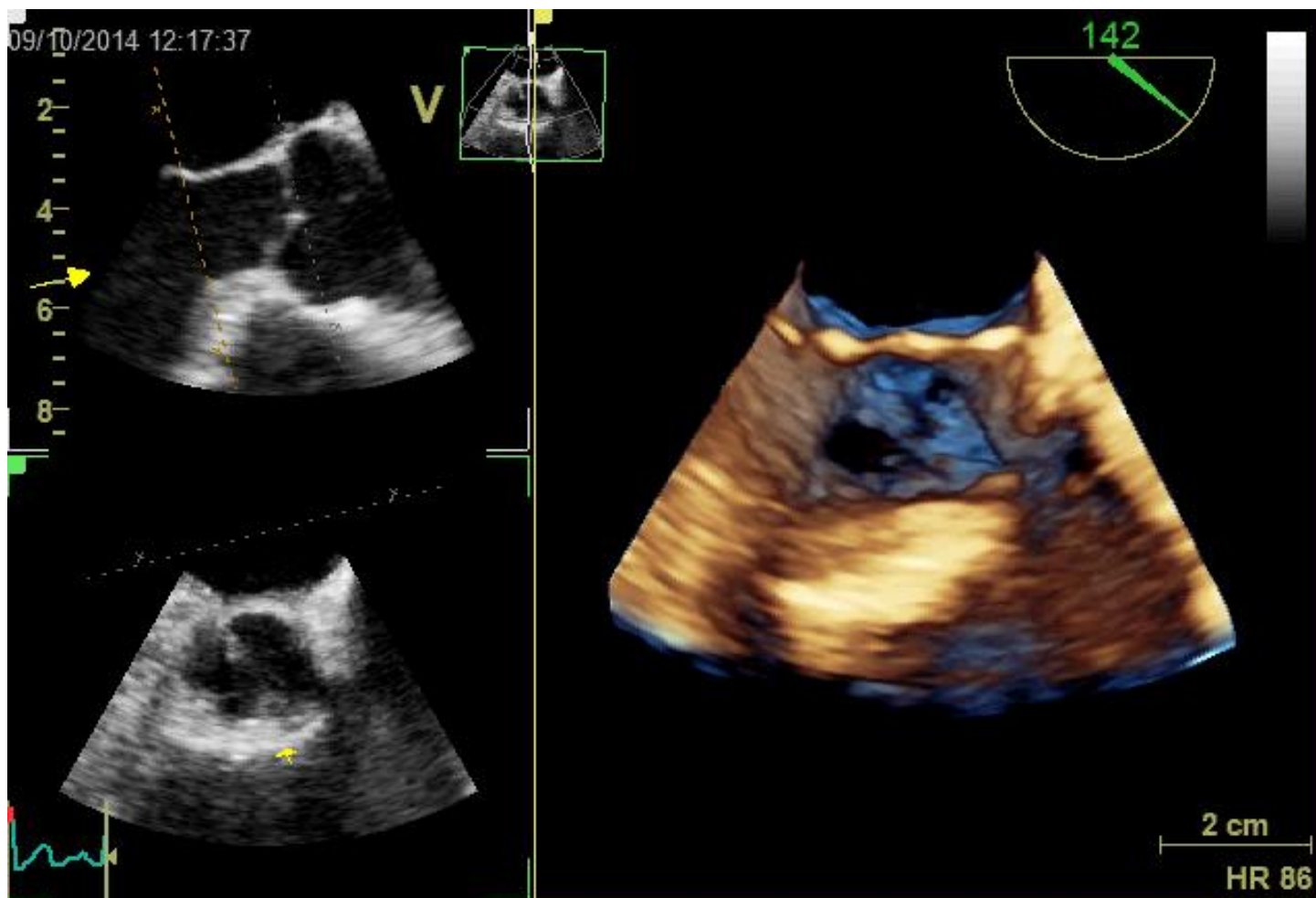




Širokoúhlý sektor / full-volume dataset

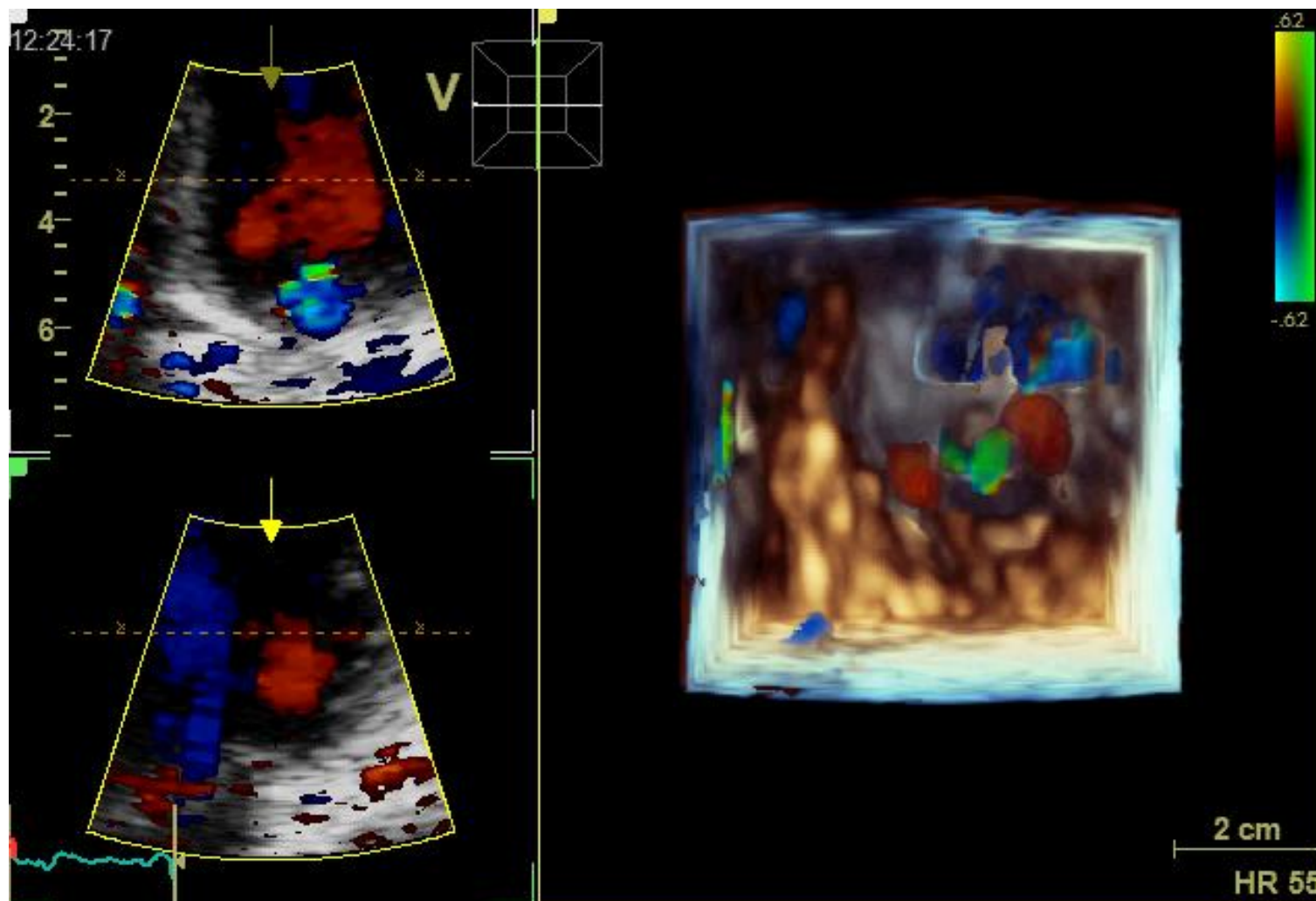


Zoom mode





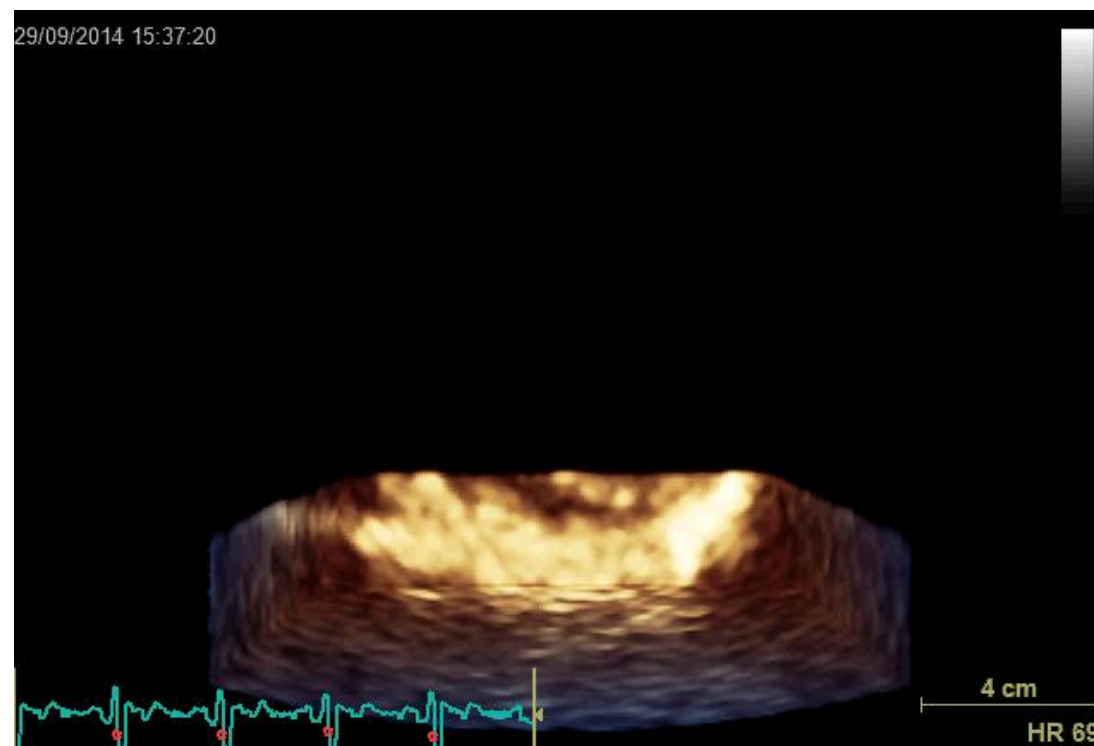
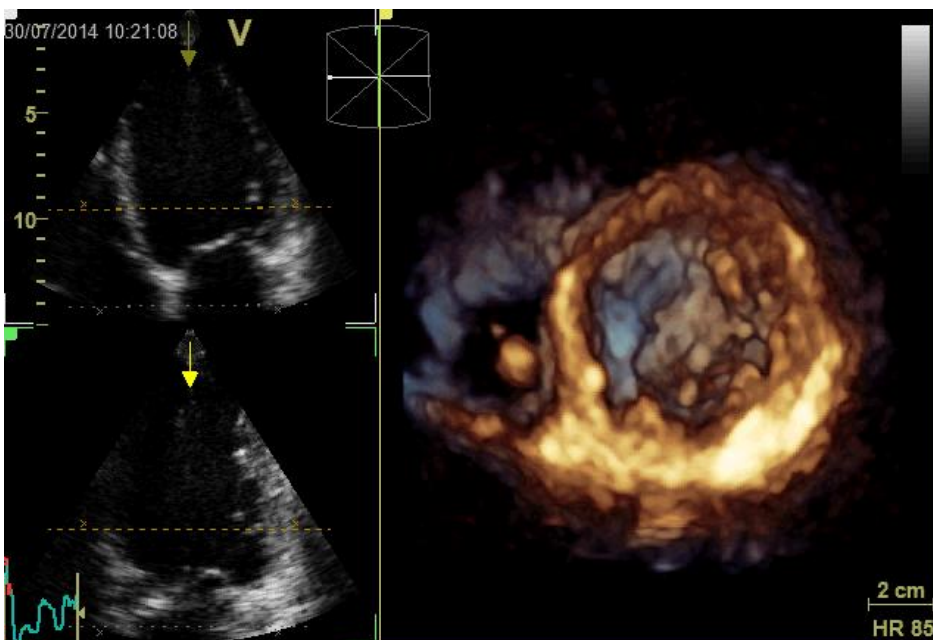
3D barevný Doppler



3DE: akvizice v reálném / téměř reálném čase

Single- beat / Live 3D

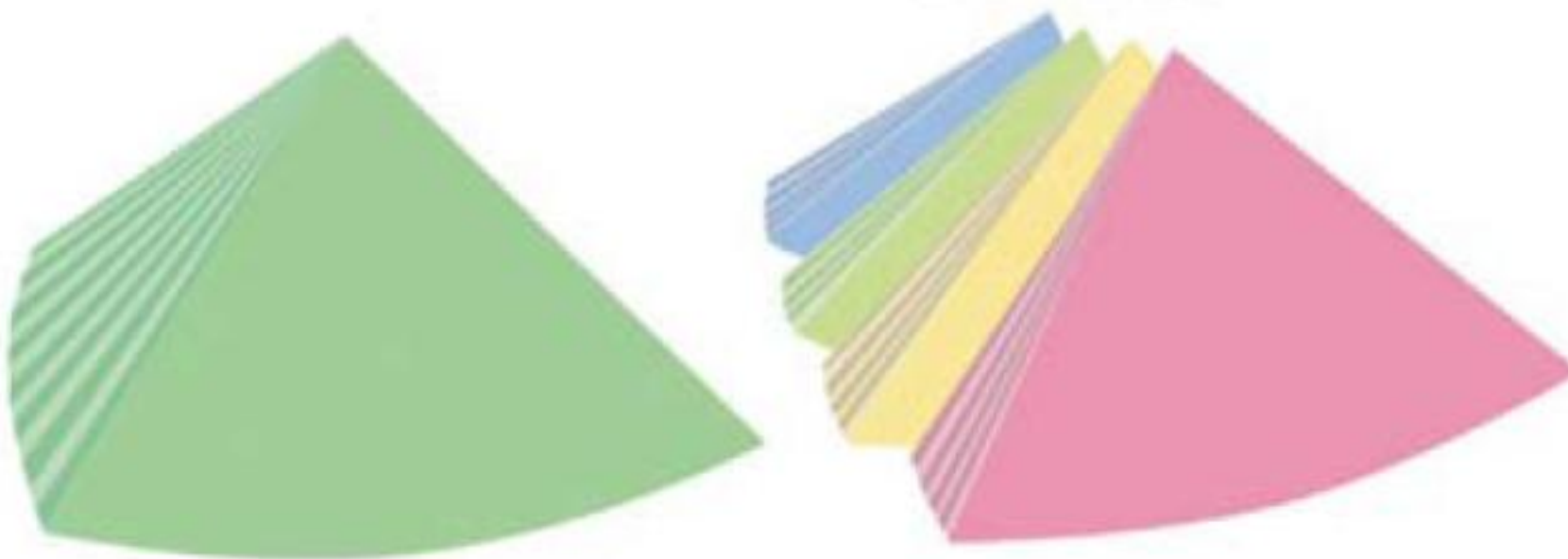
EKG-gatovaná vícecyklová akvizice



3DE: vícecyklová akvizice



Subvolumes





3DE: akvizice v reálném / téměř reálném čase

Single- beat / Live 3D



Nižší prostorové rozlišení
Nižší snímkovací frekvence



Není nutnost zadržení dechu
Nevadí nepravidelnost rytmu
Opravdu reálná, kontinuální akvizice

EKG-gatovaná vícecyklová akvizice



Vyšší prostorové rozlišení
Vyšší snímkovací frekvence



Nutnost zadržení dechu
Nutný pravidelný rytmus
Delší doba akvizice



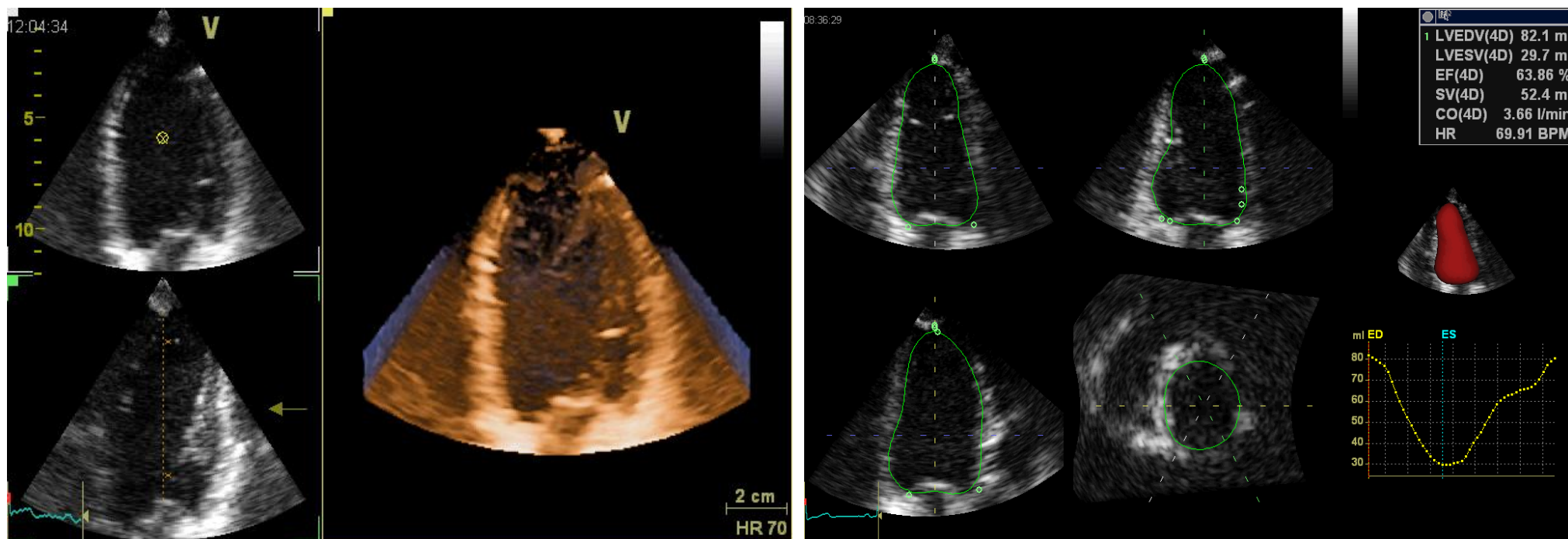
Využití 3D echokardiografie v praxi

- **Kvantifikace objemů a EF levé a pravé komory**
- **Hodnocení morfologie chlopní, charakteru regurgitačních ústí, semi-kvantifikace regurgitačních vad**
- **Hodnocení chlopenních protéz (paraleaky, tromby, pannus)**
- **Hodnocení morfologie vrozených srdečních vad (ASD)**
- **Patologické intrakardiální struktury**

3Dechokg: objemy a EF levé komory

Výhody 3D volumetrie LK ~ hodnocení MRI:

- není nutnost geometrických estimací tvaru LK
- není problém se zkrácením dlouhé osy LK (hrot)



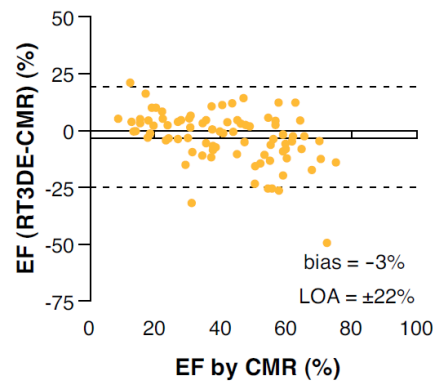
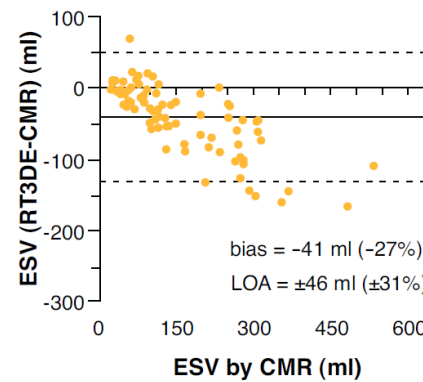
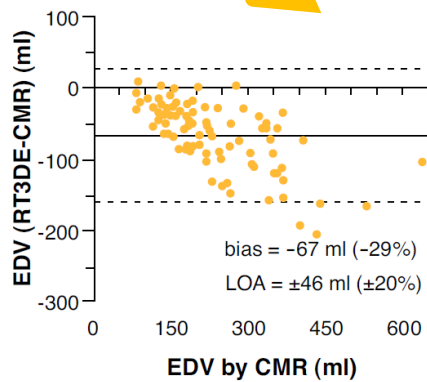
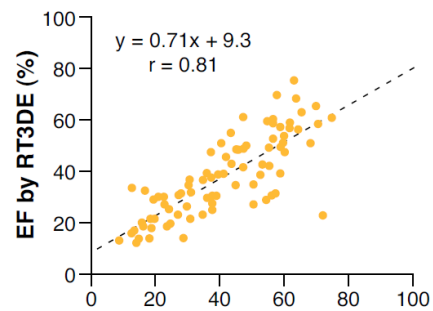


Objemy a EF LK: 3D echokg vs. MRI

92 pts s různými objemy a EF LK, RT3DE a MRI ve stejný den, 4 kardiocentra



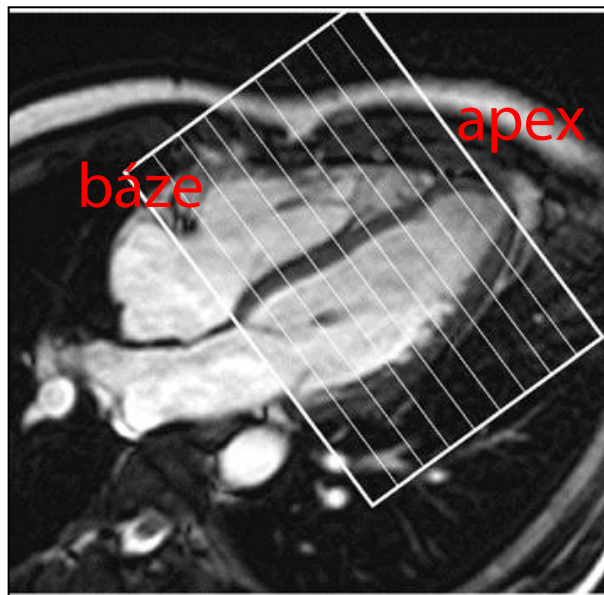
**Podhodnocení objemů LK při RT3DE
(obtížnější odlišení endokardiálních trabekul)**



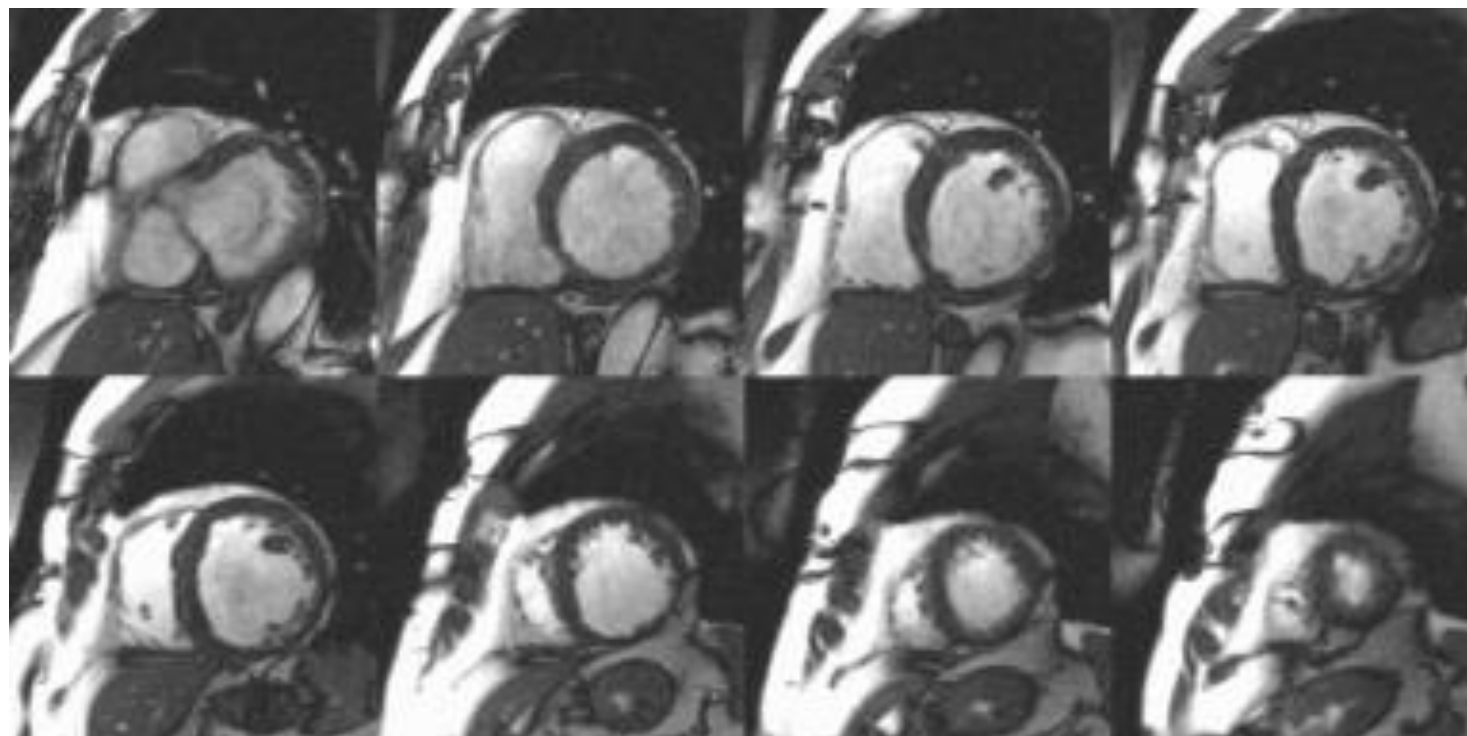


MRI: zlatý standard hodnocení objemů, hmotnosti, regionální kinetiky a EF

Simpsonova metoda mnoha disků, řezy v krátké ose pokrývající souvisle LK (PK, síně), velmi dobrý kontrast myokard-krev, bez nutnosti užití geometrických modelů



SSFP / BTFE sekvence





Measurement of aortic valve calcification using multislice computed tomography: correlation with haemodynamic severity of aortic stenosis and clinical implication for patients with low ejection fraction

Impact of Aortic Valve Calcification, as Measured by MDCT, on Survival in Patients With Aortic Stenosis

Results of an International Registry Study

