

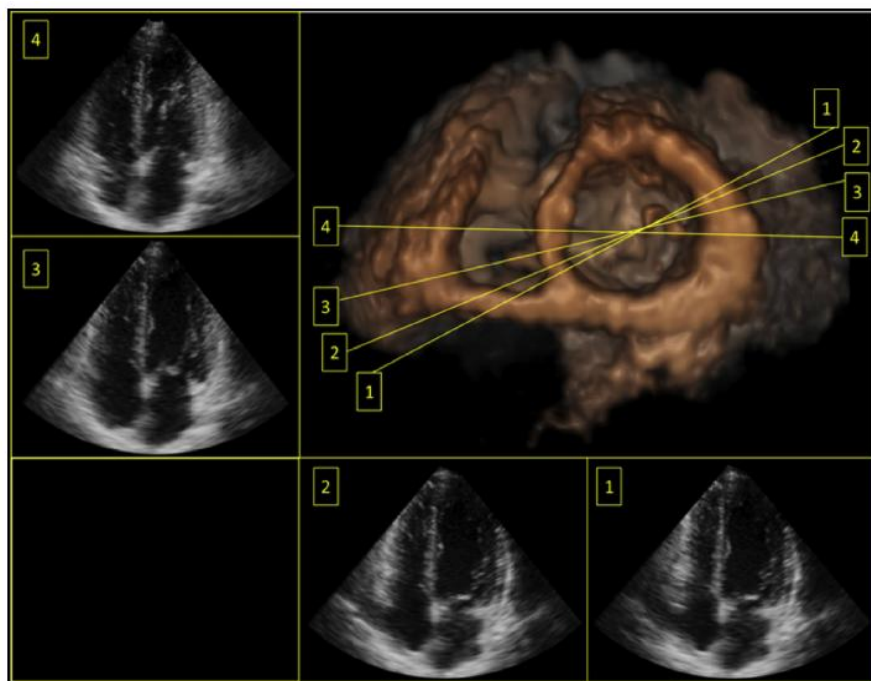
ASE doporučení pro echokardiografické hodnocení pravostranných srdečních oddílů

Marián Felšöci

Oddělení neinvazivní kardiologie
Interní kardiologická klinika FN Brno
Lékařská Fakulta MU v Brně



RV fokusované projekce k posouzení pravého srdce



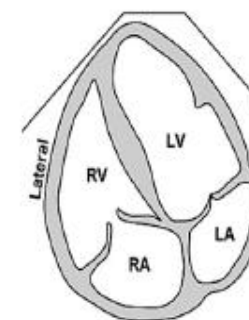
Conventional Apical 4Ch view



Focused Apical 4Ch view



RA-Focused Apical 4Ch view

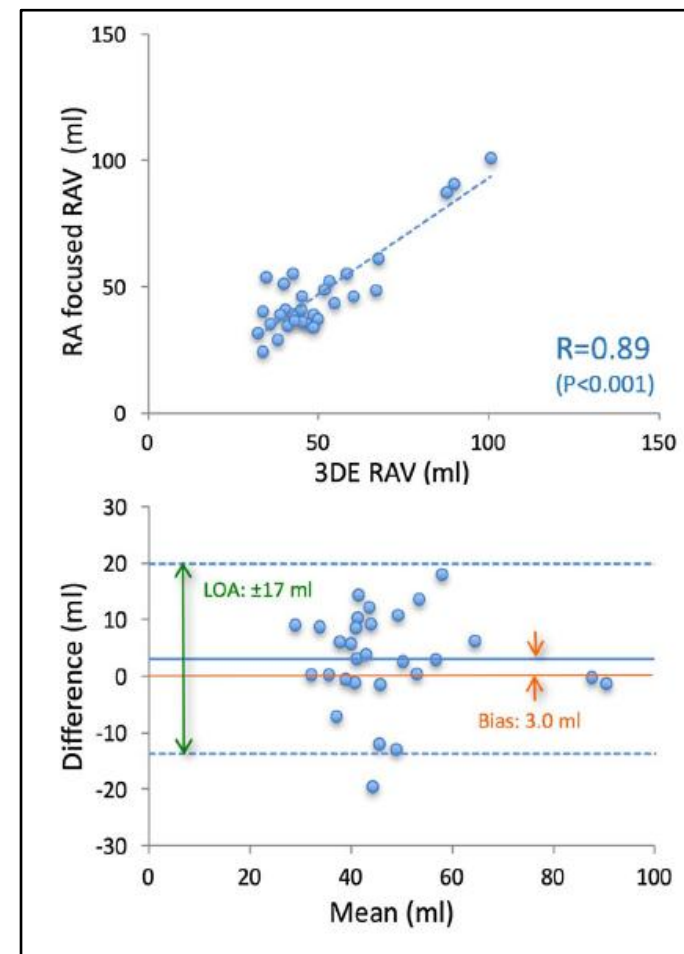
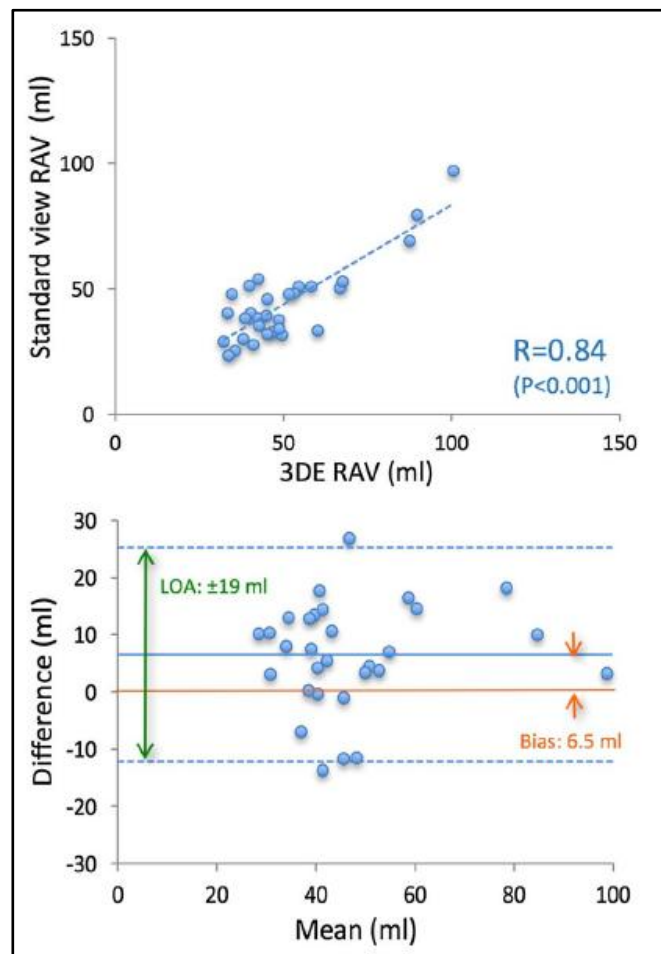
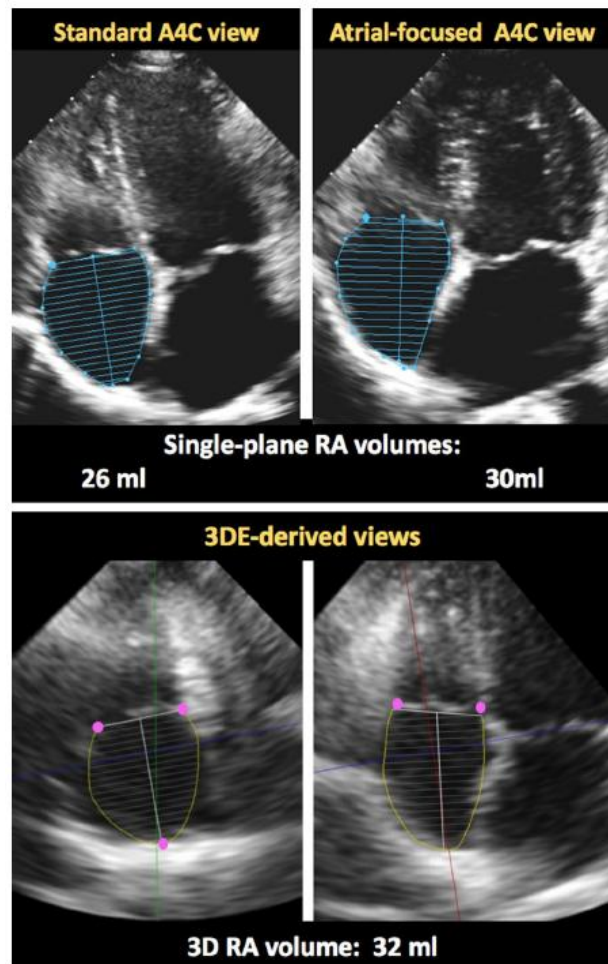


RV-Focused Apical 4Ch view

- rotace sondou do dosažení max. diametru PK
- více laterálně s náklonem nahoru, směrem k PK

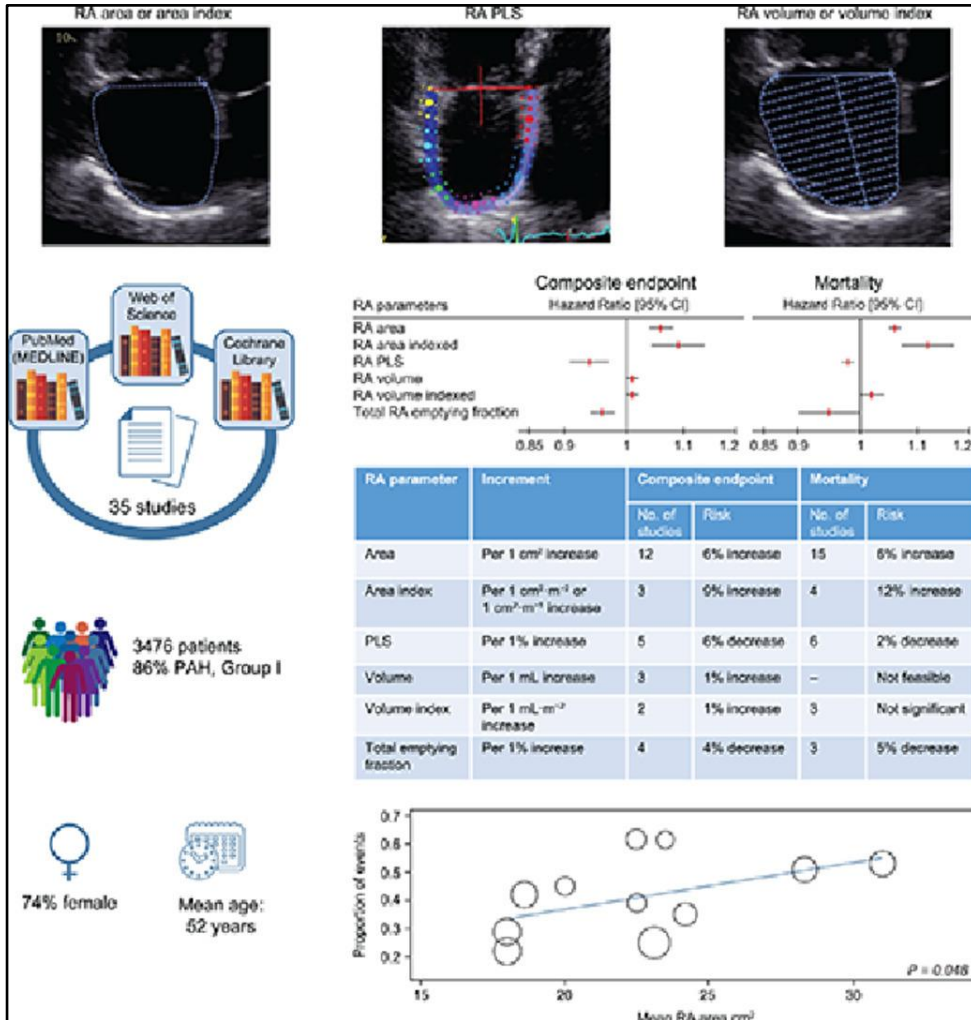
- u PS posun sondy mediálně (ke sternu)
- dosažení **maximální vizualizace PS**

RA fokus. projekce lepší korelace 2D objemu RA s 3D volumetrickým měřením oproti standardní projekci



Měření RA

- MetaA, 35 studií, 3476 pacientů, 86 % s PAH
- End-point úmrtí, klinické zhoršení, Tx plic
- nejtěsnější **vztah k prognóze má plocha RA**
- $\uparrow$ RAA o $1\text{cm}^2 = \uparrow$ mortality o 6 %



Dlouhá osa
< 52 mm
Transv. rozměr
< 42 mm



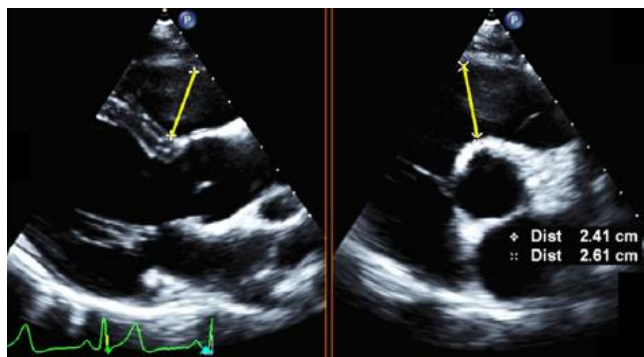
Plocha RA
< 19 cm^2



RAVi MOD single plane
< 30 ml/m^2
RAVi AL single plane
< 33 ml/m^2

Specifika měření PK

- PK nelze zobrazit z jedné projekce pro komplexní anatomické poměry
- doporučeno měření **PLAX, SAX, A4CH, subkostální**



RVOT prox. diametr

- proximálně k Ao
- kolmo na osu PK

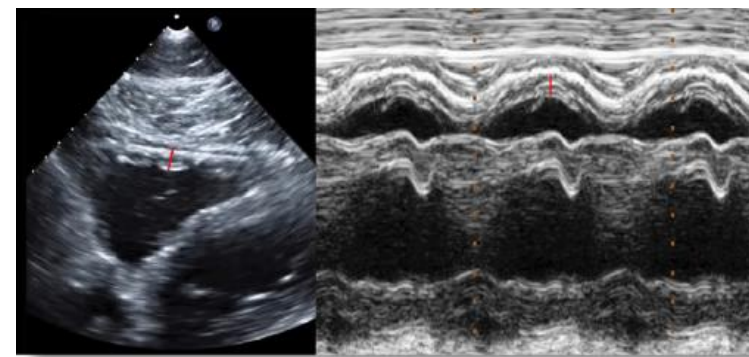
PLAX < 33 mm

PSAX < 34 mm



RVOT dist. diametr

- PSAX na bifurkaci AP
 - lat. Ao stěna-dist. RVOT
 - těsně nad PU anulem v ED
- < 29 mm



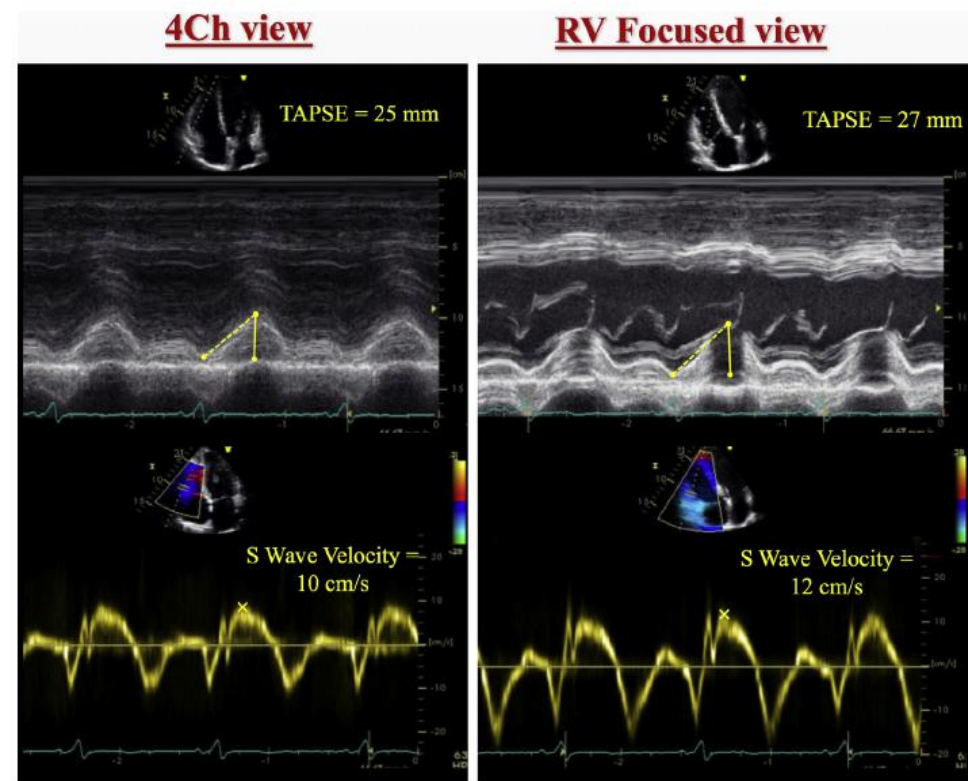
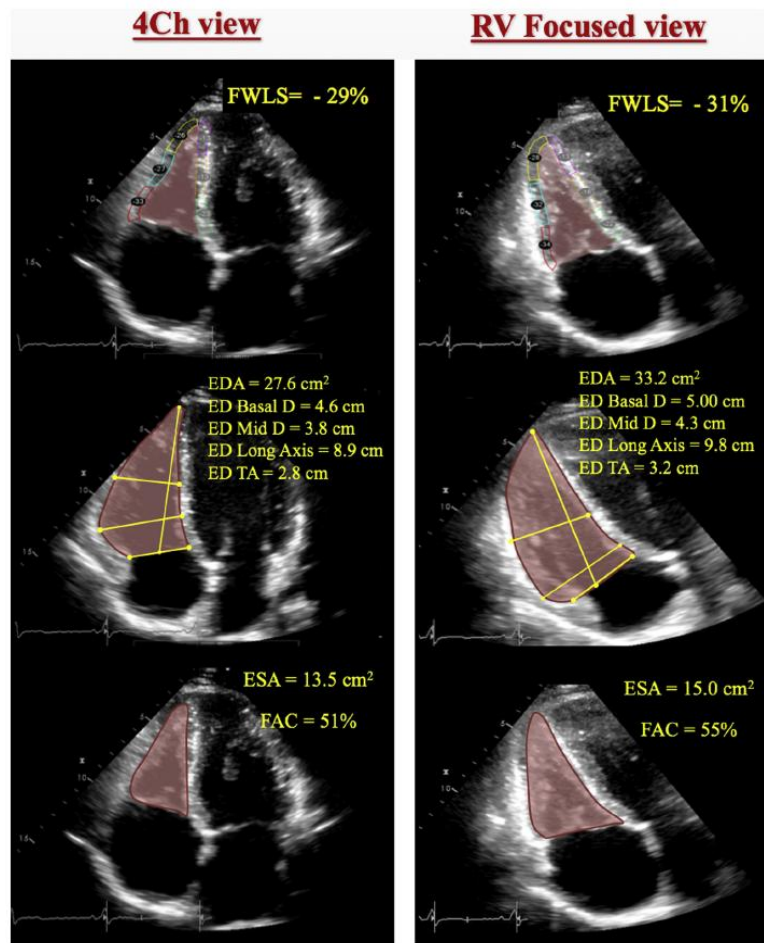
RVWT – tloušťka stěny PK

- subkostálně
 - PLAX (pokud nelze jinak)
 - 1/3 vtok PK mezi TA a pap.svaly
- < 5 mm

Pozn.: variabilita měření mezi PLAX a PSAX je až 40 %

Specifika měření PK

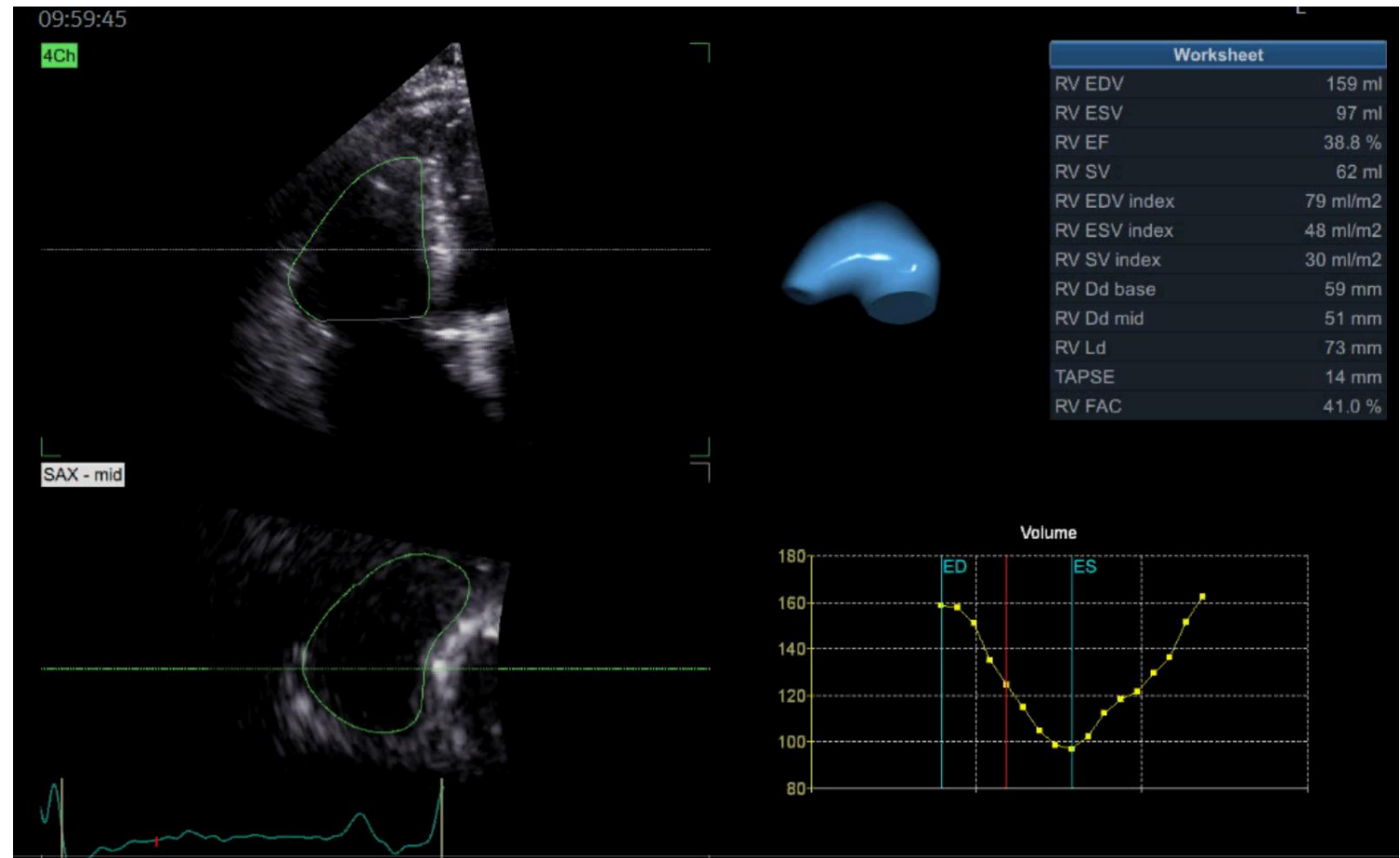
- RV fokusovaná projekce přináší konzistentně vyšší hodnoty měřených parametrů s menší variabilitou měření
- Vizualizace celé volné stěny RV je podmínkou
- RV baze < 41 mm
- RV baz.i. < 24 mm/m²
- RV mid < 35 mm
- RV longit < 82 mm



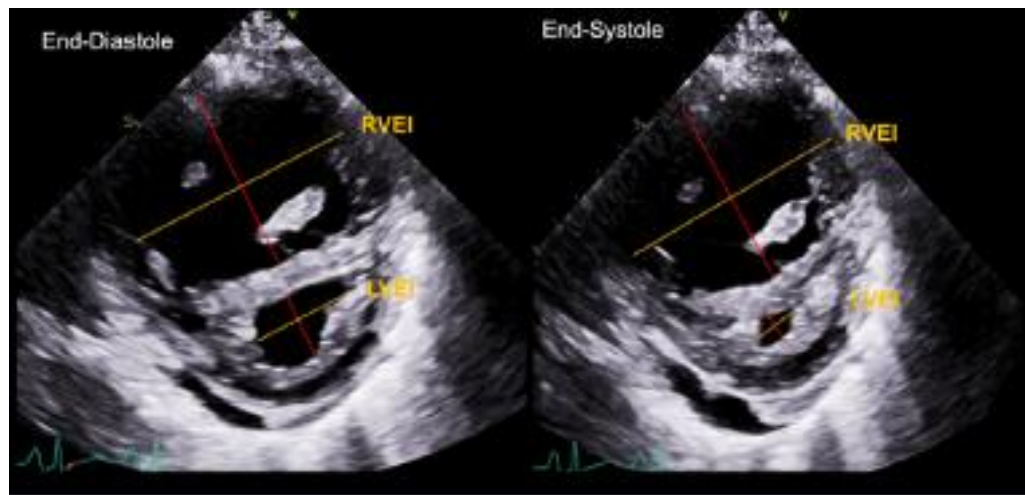
3D volumetrie PK

- podhodnocení objemů proti MRI
- **diskrepance mezi výrobcí/SW**
- ženy menší objemy vs. muži
- spekuluje se o stárnutí

- 3D ESV < 66 ml
- 3D EDV < 130 ml
- 3D RVEF > 45 %
- 3D FAC > 35 %



Další parametry

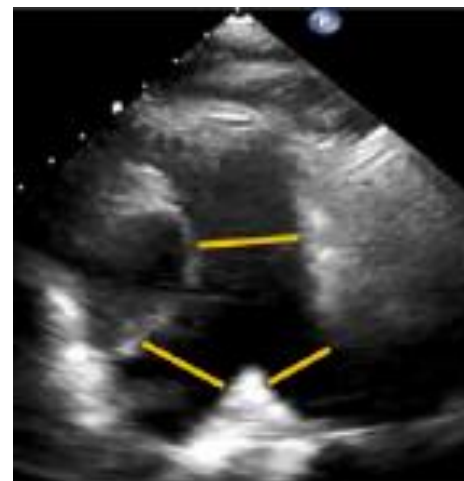


LVEI – index excentricity LK (D2/D1)

Důležité u **prekapilární PH**

Kvantifikace snižuje interobservační variabilitu

- LVEI > 1 v ED znamená objem. přetížení PK
- LVEI > 1 v ES znamená tlakové přetížení PK
- LVEI > 1 v ES a ED znamená tlakové přetížení PK s nebo bez objemového přetížení PK



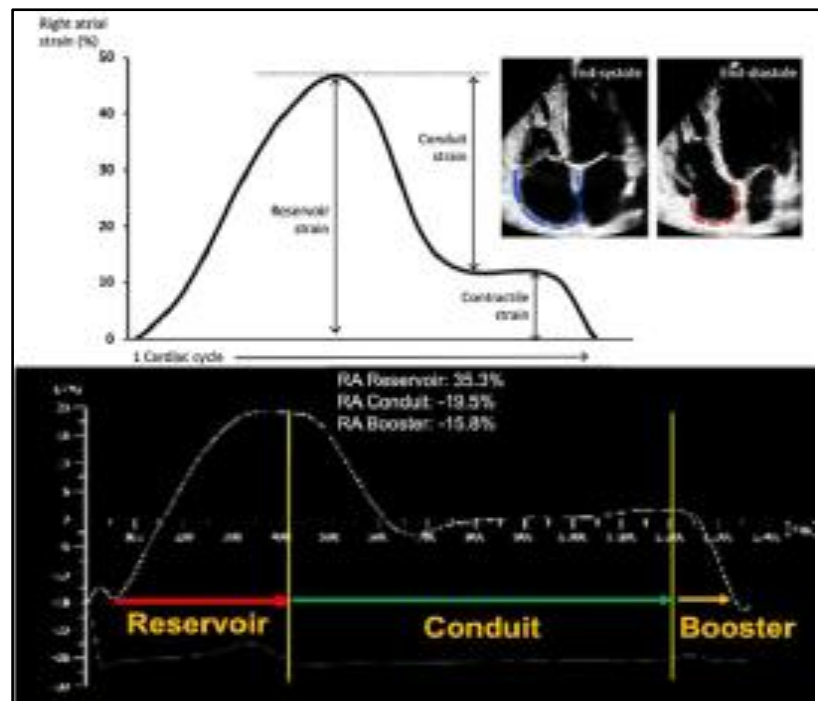
A. pulmonalis

Hodnocení v end-diastole

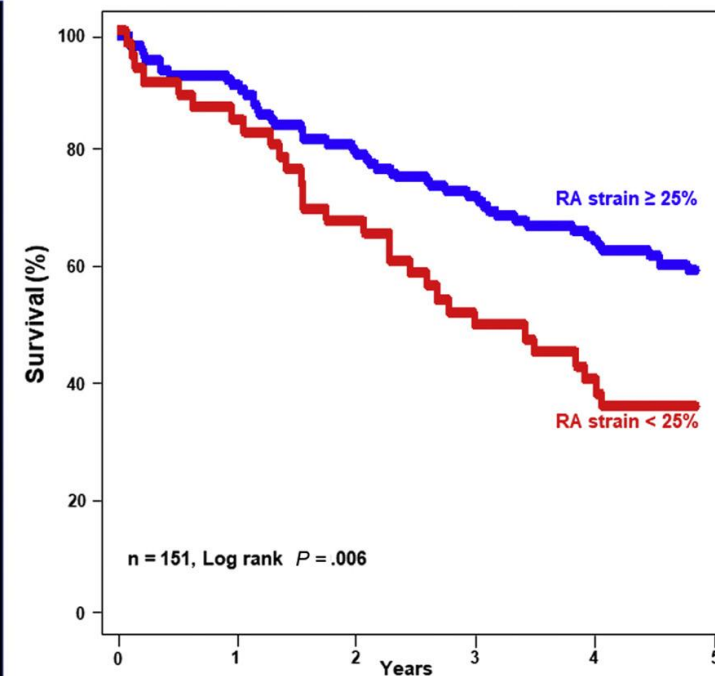
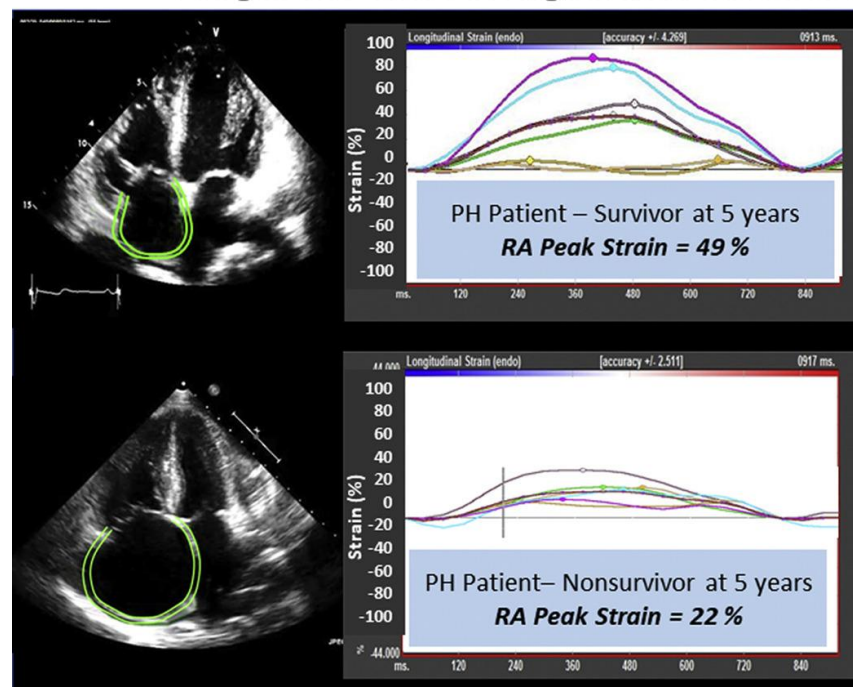
V 1/2 mezi PU chlopní a AP bifurkací

- ≤ 25 mm
 - příp. poměr AP/asc. aorta > 1
- CT hodnocení v systole
- > 29 resp. > 27 mm (muž/žena)

Funkční parametry – RA strain

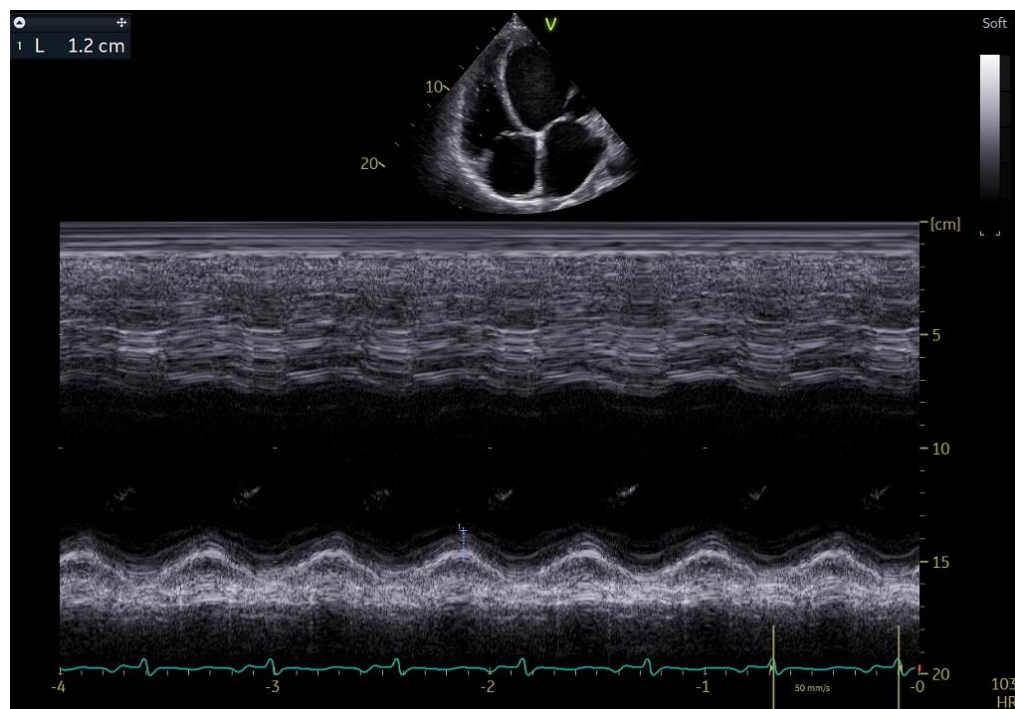


Prognostic Value of Right Atrial Strain in Patients with Pulmonary Hypertension



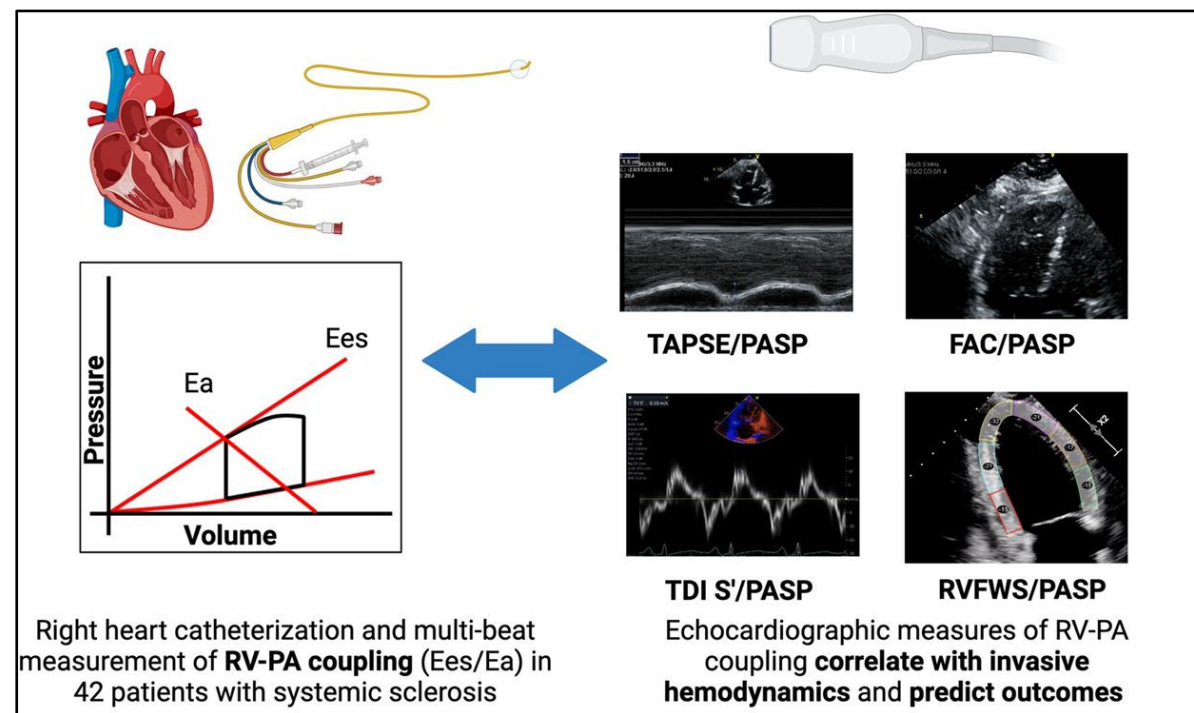
- rezervoární, konduitní a booster (kontrakční)
- hodnoty vyšší než u LA, vyšší u žen
- limitací je **nedostatečná standardizace metody** a referenční meze

Funkční parametry – TAPSE



TAPSE normální hodnota > 17 mm

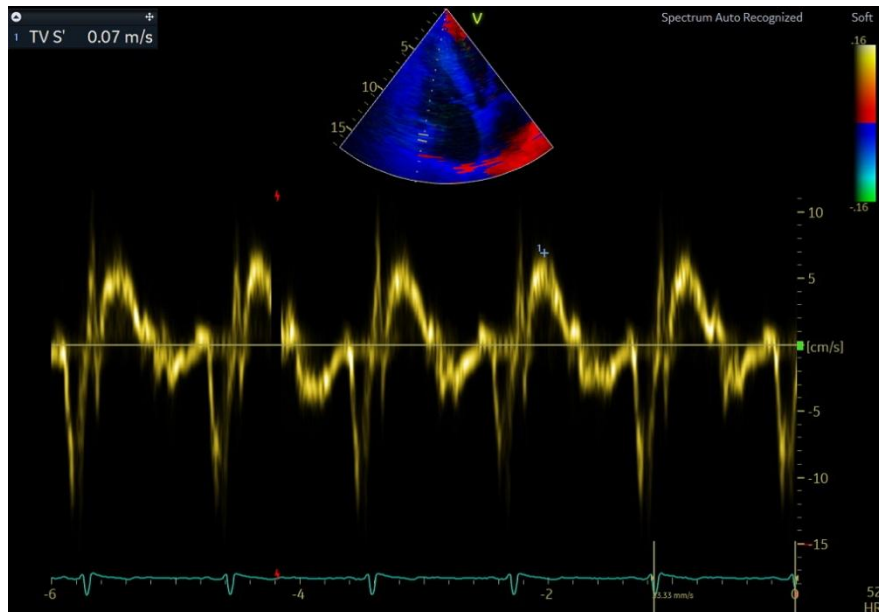
- hodnocení nutné korelovat s diametry a ostatními funkčními parametry PK
- podhodnocení např. u konstr. perikarditídy a po kardiochir. výkonech



TAPSE/PASP norma 0.5–0.7 mm/mmHg

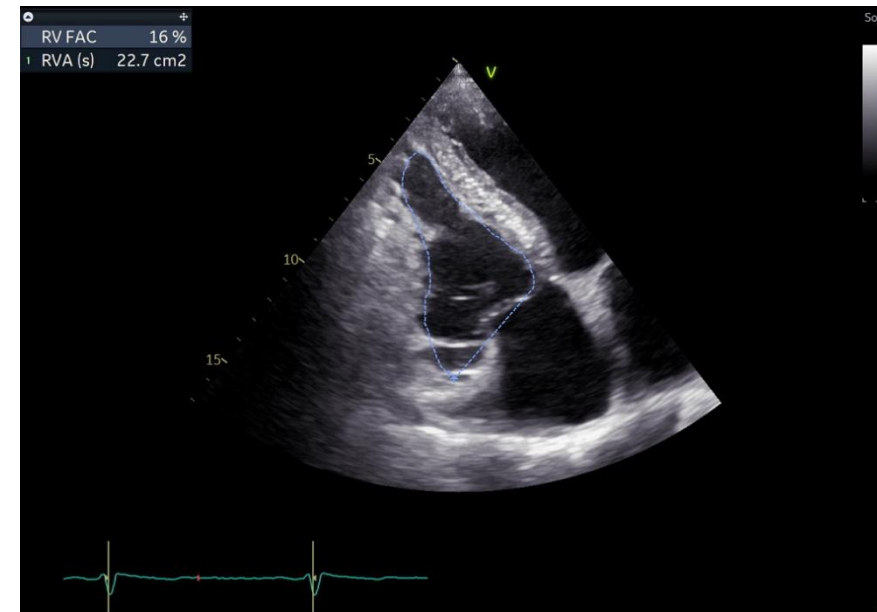
- RV-PA coupling (**kontrakt. rezerva PK/afterload**)
- Hodnoty < 0.3-0.4 asoc. se zvýšenými mortal. rizikem **napříč spektrem onemocnění**

Funkční parametry – TDI S' a FAC



TDI S' normální hodnota > 9.5 cm/s

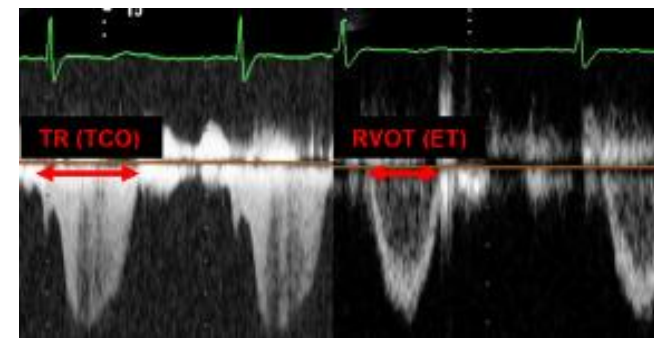
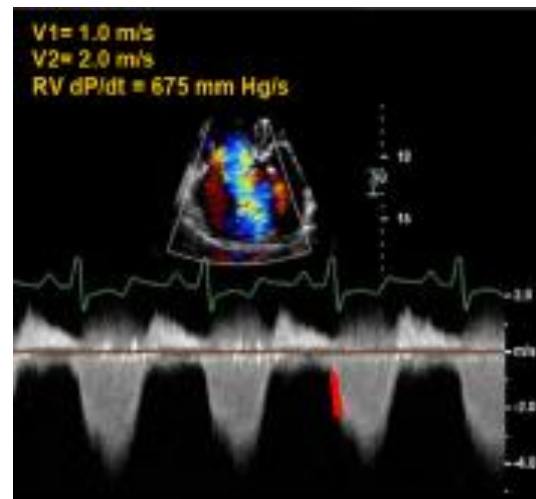
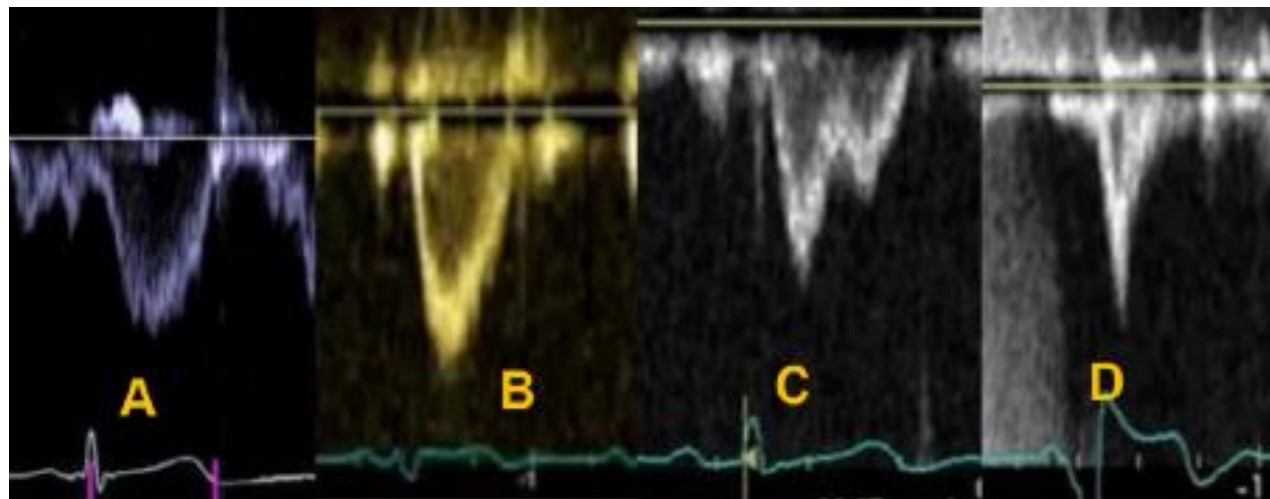
- **nadhodnocení při dilataci PK a přesunu apexu LK**



Fractional Area Change (FAC) norma > 35 %

- **longitudinální i radiální funkce**
- **volná stěna RV i IVS**
- **i pooperační stavy**
- **dobrá korelace s MRI RVEF**

Funkční parametry – VTI RVOT, ACCT, Tei Index



RVOT VTI norma > 18 cm

- změna tvaru při vzestupu PVR

AccT norma > 105 ms

- pozor na TF (< 60 /min > 100 /min)

RV dP/dt norma > 400 mm Hg/s

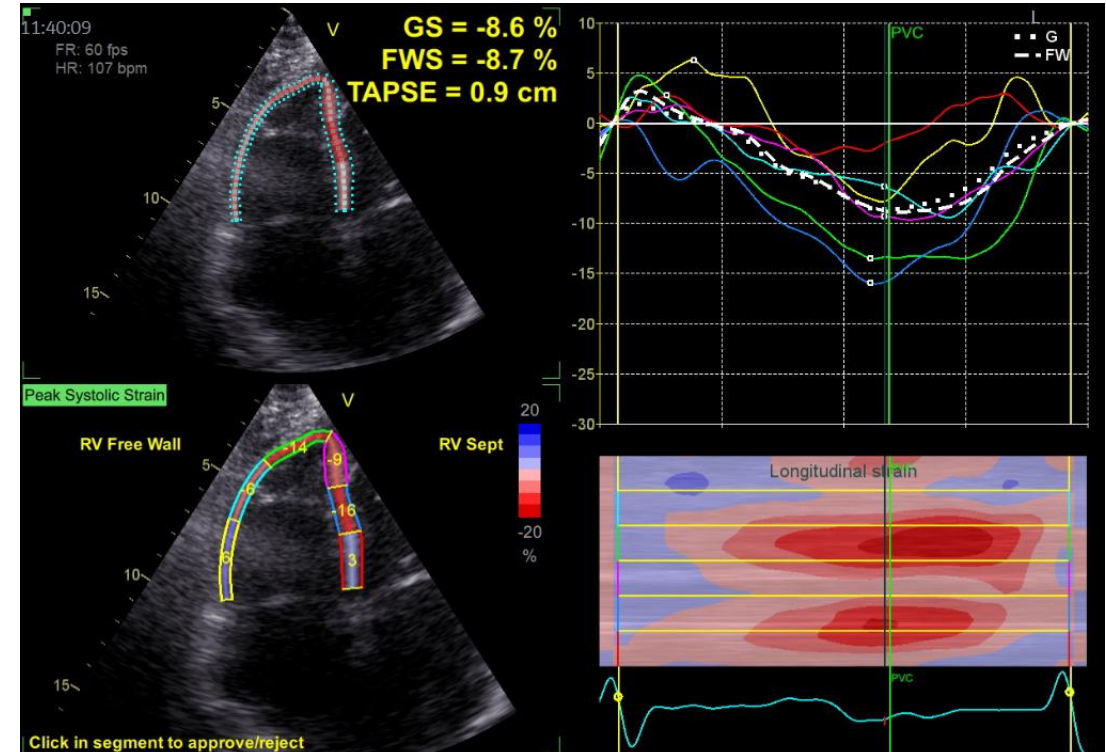
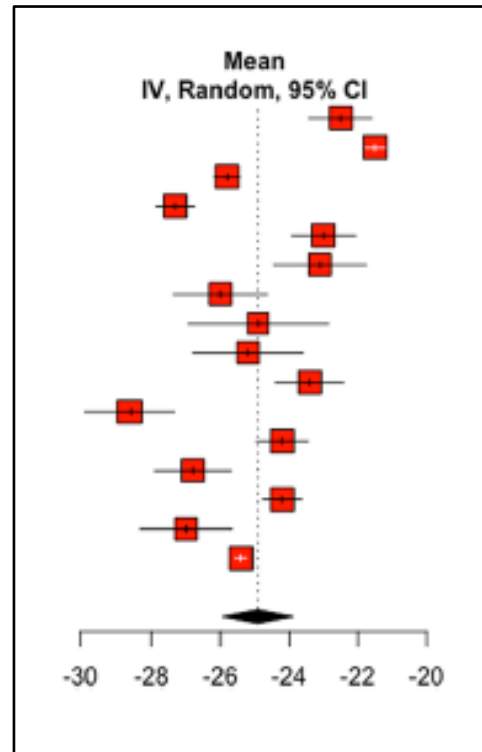
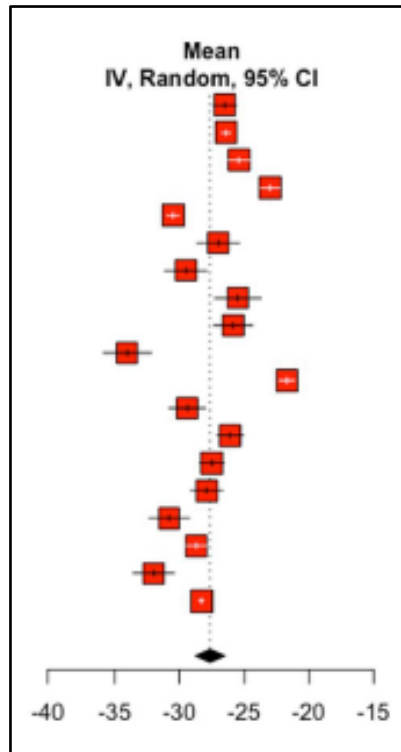
- čas na zrychlení TRI reg z 1-2 m/s (4-16 mmHg)
- parametr globální RV kontraktility

Tei Index (index srdečního výkonu)

- Normal <0.40ms (PW Doppler method) and <0.55 ms (TDI method)

• **NEDOPORUČOVANÉ**

Funkční parametry – RV strain

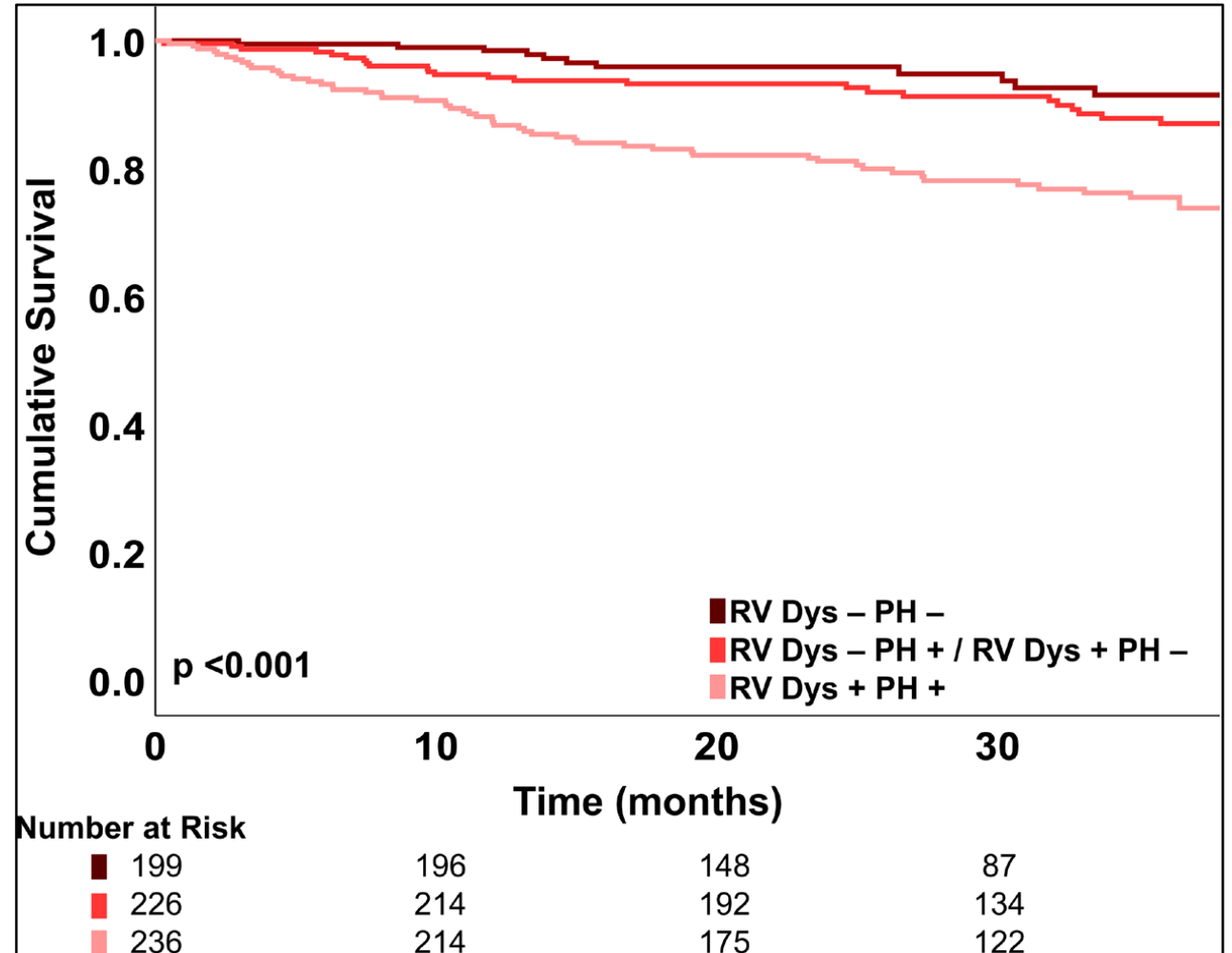


RV strain

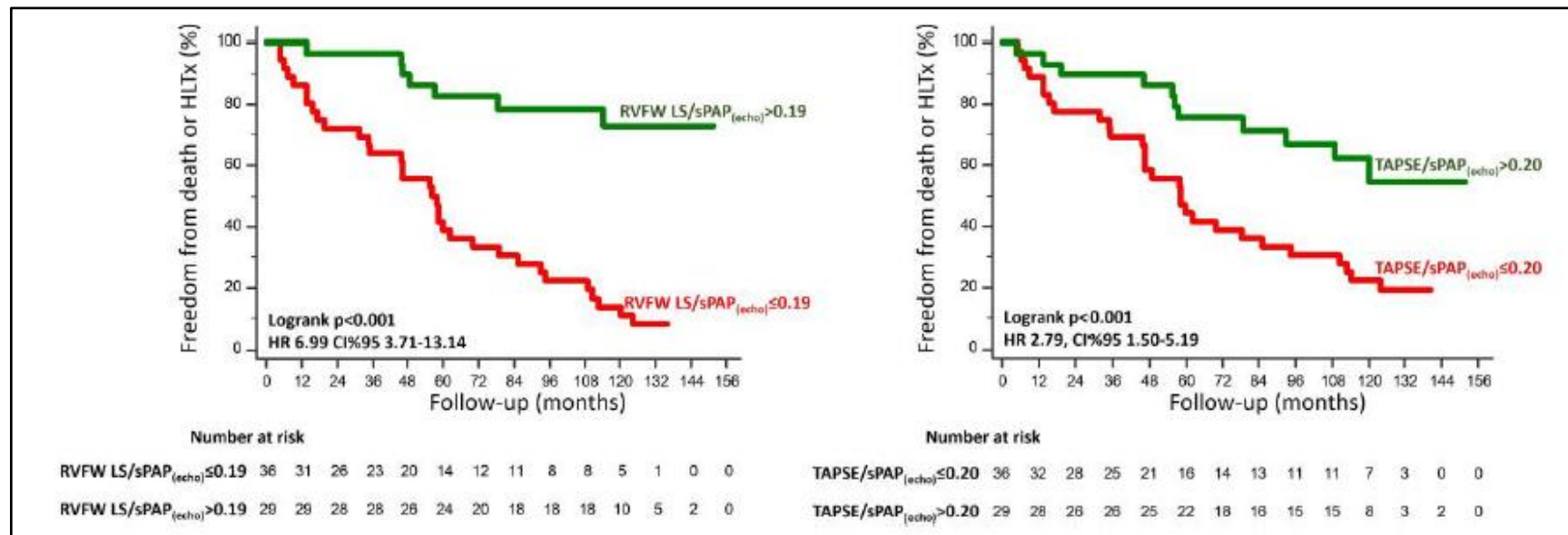
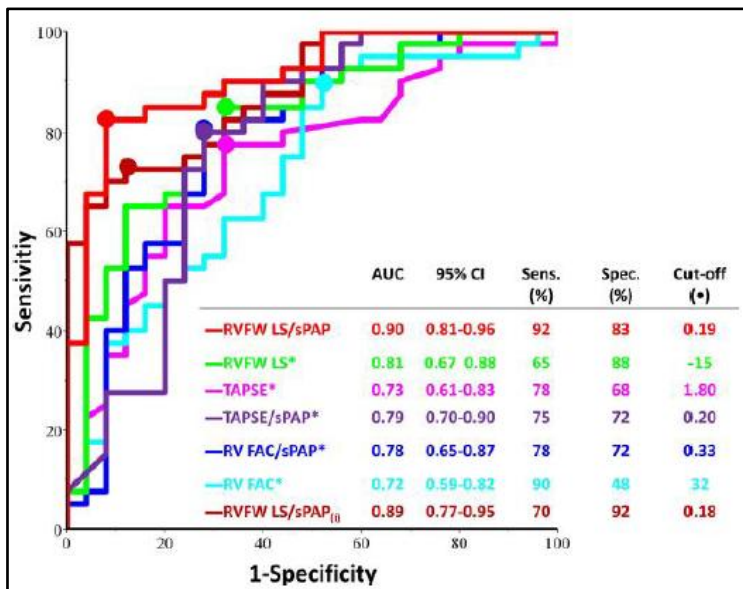
- subklinická RV dysfunkce
- norma RVFWS (3 segmenty) > -20 %
- norma RV GLS (6 segmentů) > -17% (zřejmě ale **obojí podhodnoceno dle meta-analýz**)
- hodnocení by mělo být standardem u nemocných s PH nebo rizikem PH

Funkční parametry – RV strain

- 1053 nemocných s PH
- PH sk. 1 (PAH) 353, PH sk 2 (LHD) 136, PH sk. 3 (PD) 172, PH sk. 4 (CTEPH) 57, PH sk. 5 (kombin.) 32
- Pokles RVFWS pod -20 % byl signifikantně asociován s mortalitou



RV-PA uncoupling – kontraktlní dysfunkce vs. afterload



- 65 pacientů s PAH, retrospektivní analýza, FU 10 let
- RVFW LS/sPAP ratio significantly predicts all-cause mortality and heart–lung transplantation, and was superior to other well-established parameters
- RVFWS/PASP outperformed TAPSE/PASP and independently predicted end point

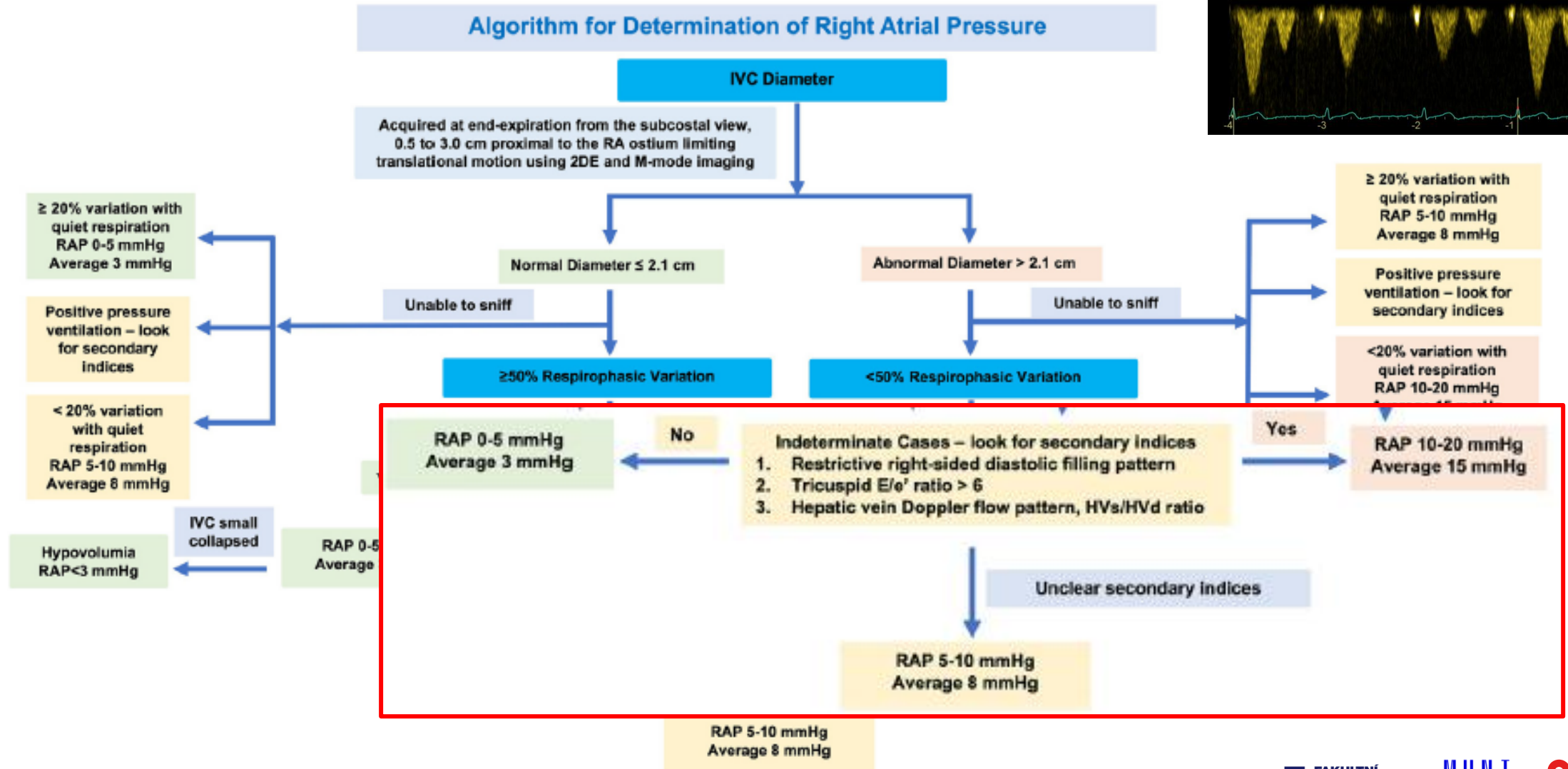
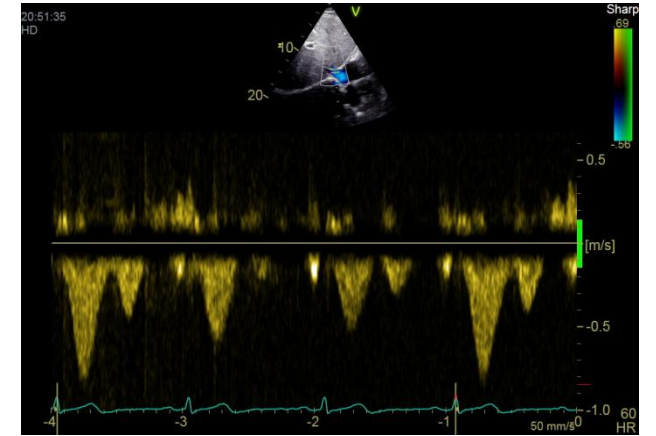
Pozn. TAPSE časně klesá ale je relativně dlouho stabilní v pokročilých fázích RV selhání

Hemodynamika – tlak RA

3 mm Hg (rozmezí 0-5 mm Hg)	IVC $\leq$ 21 mm	respir.kolaps $\geq$ 50 %
8 mm Hg (rozmezí 5-10 mm Hg)	IVC $\leq$ 21 mm	respir.kolaps $<$ 50 %
	IVC $>$ 21 mm	respir.kolaps $\geq$ 50 %
15 mm Hg (rozmězí 10-20 mm Hg)	IVC $>$ 21 mm	respir.kolaps $<$ 50 %
20 mm Hg	IVC $>$ 25 mm	respir.kolaps $<$ 50 %

- měření 0.5 – 3 cm od ostia IVC do RA, distálně od HŽ, subkostálně
- rychlý hluboký nádech nosem „sniff“
- nemožnost provést „sniff“ – respirační kolísání s hranicí 20 %
- neplatí/pozornost: mladí dospělí, atleti, těhotenství, pacienti na UPV s PP

Hemodynamika – tlak RA

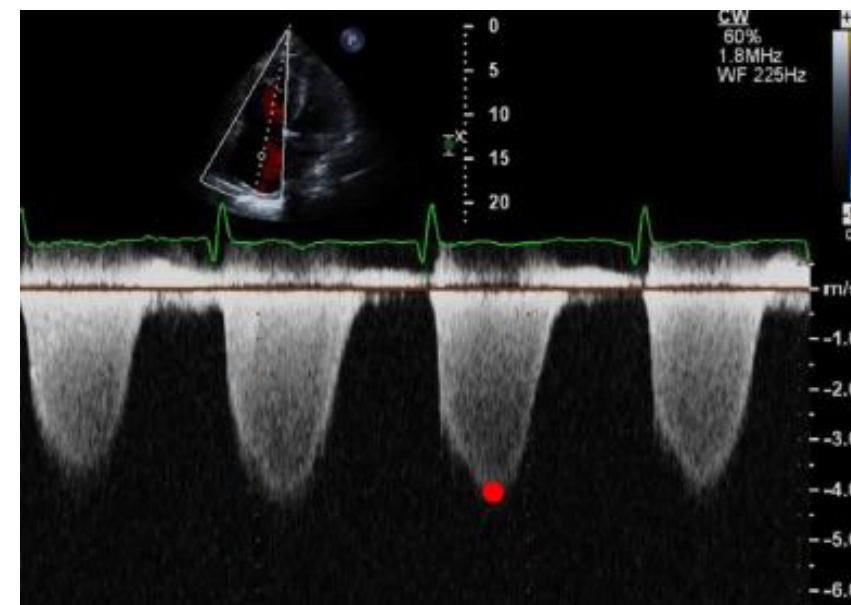
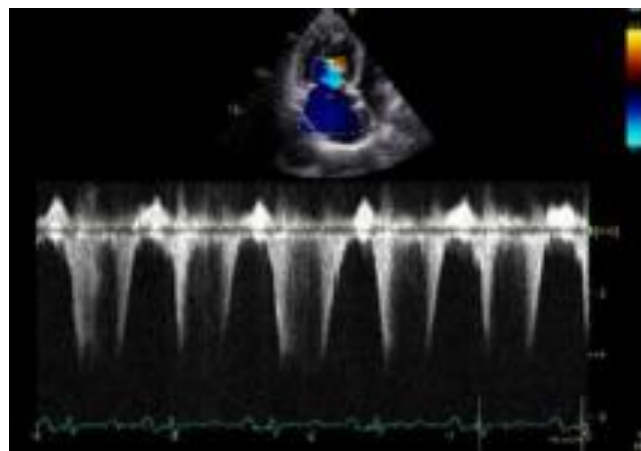


Hemodynamika – odhad RVSP (PASP)

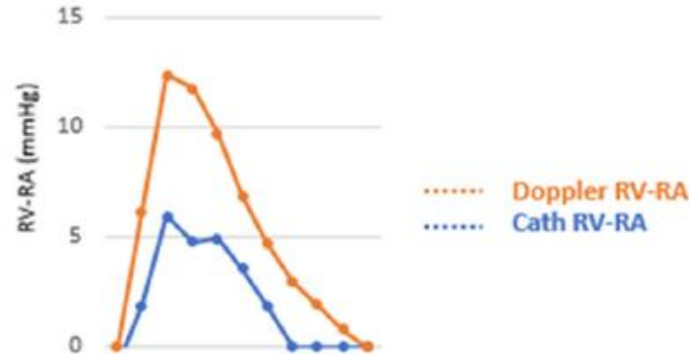
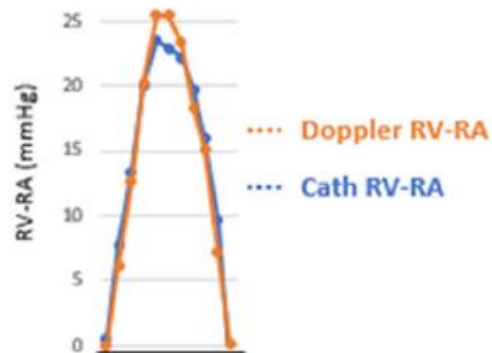
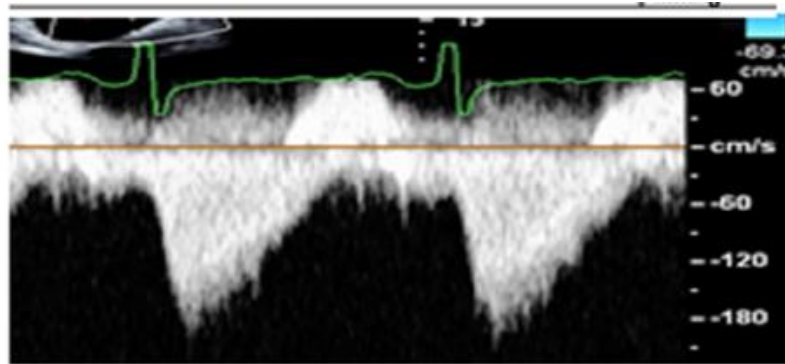
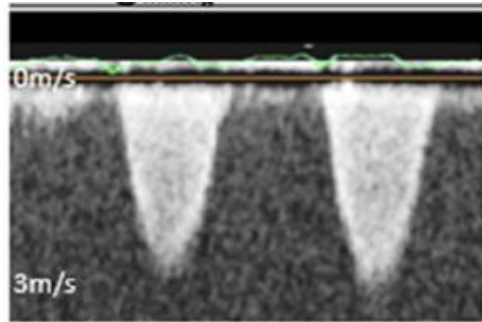
- při absenci obstrukce RVOT či PU stenózy
- sweep 100 mm/s
- kontrastní látky při horší detekci jetu
- měřit denzní ohraničení jetu
- dodržovat principy dopplerovských měření (uhel)
- měření max. jetu z různých projekcí (RV-inflow/ 4CH/ subkostálně)
- průměr 3 srdečních cyklů (resp. 5-10 v případě FiS)

$$RVSP = [4 \times (\text{peak TR velocity})^2 + RAP].$$

Using the modified Bernoulli equation, RVSP is estimated by the following formula: $RVSP = [4 \times (\text{TR peak velocity})^2 + RAP]$. A $RVSP \geq 35 \text{ mm Hg}$ is generally considered abnormal.



Hemodynamika – odhad RVSP (PASP)

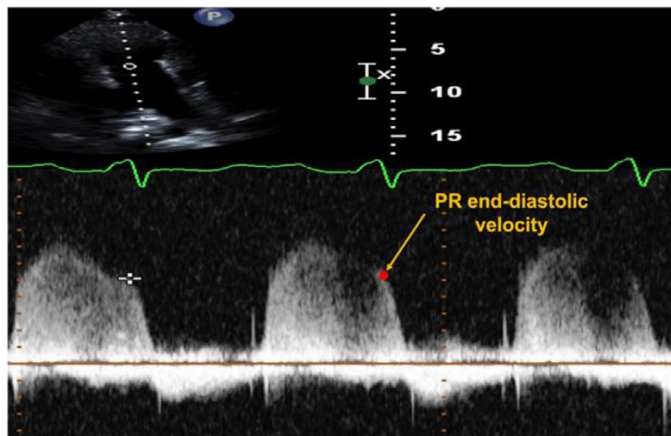


POZOR

- u hemod. **významné TRI regurgitace**
- hyperkinetická cirkulace ($\uparrow$ CO)
- těžké pravostr. SS, dysfunkce RV
- Pozor na hraniční hodnoty **u starších nemocných** (vyšší hranice normy)

	(2.0–3.1)				(2.0–3.1)				
RVSP, mm Hg	26.2 (15.2–37.1)	37.2–42.6	42.7–48.1	>48.1	25.6 (14.5–36.8)	36.9–42.4	42.5–48.0	>48.0	0.256
RA pressure, mm Hg	5.3 (2.7–7.9)	8.0–9.2	9.3–10.5	>10.5	5.2 (3.0–7.4)	7.5–8.5	8.6–9.6	>9.6	0.360
PASP, mm Hg	31.5 (20.1–42.9)	43.0–48.6	48.7–54.3	>54.3	30.9 (19.4–42.4)	42.5–48.1	48.2–53.9	>53.9	0.206

Hemodynamika – další parametry

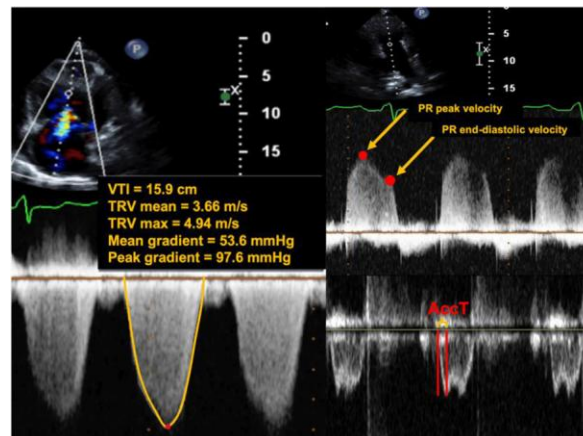


PAEDP

- end-diast. AP tlak

$$\text{PAEDP} = [4 \times (\text{peak end-diastolic PR velocity})^2] + \text{RAP}$$

- PU reg $\geq 2,2$ m/s
- tam kde je riziko PH



mPAP

- střední AP tlak

$$\text{mPAP} = [1/3 \times (\text{PASP}) + 2/3 \times (\text{PAEDP})].$$

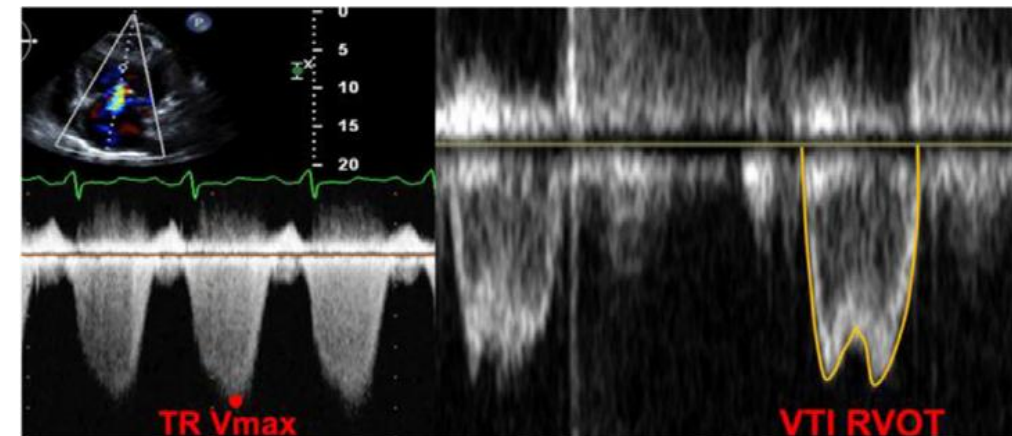
The most common formula to noninvasively derive mPAP is:
 $\text{mPAP} = [1/3 \times (\text{PASP}) + 2/3 \times (\text{PAEDP})]$. A mPAP > 20 mm Hg is considered abnormal.

$$\text{mPAP} = \text{VTI}_{(\text{TR})} + \text{RAP},^{82}$$

and

$$\text{mPAP} = [\text{PASP} \times 0.61] + 2 \text{ mm Hg}.^{83}$$

- kde nelze PASP



Plicní vaskulární rezistence PVR)

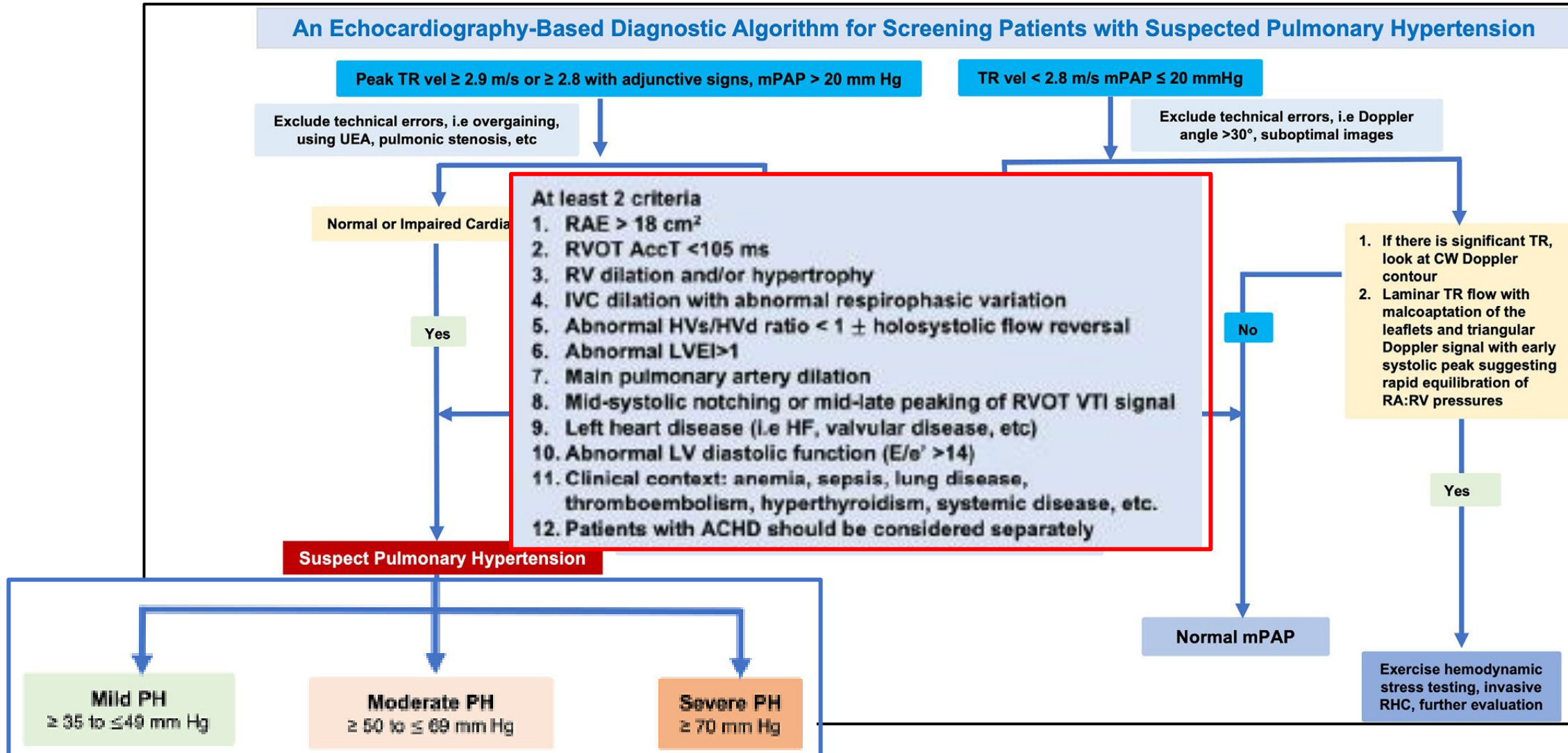
PVR is calculated noninvasively using the Abbas formula:
 $\text{PVR} = [(\text{Peak TR velocity}/\text{VTI}_{\text{RVOT}}) \times 10 + 0.16]$. PVR > 2.0 Wood units is considered abnormal.

Odhad tlaku v zaklínění (PCWP)

PCWP is calculated noninvasively using the following formula:
 $\text{PCWP} = [1.24 \times (\text{mitral E/e'} \text{ ratio}) + 1.9]$. A normal PCWP is < 12 to 15 mm Hg.

- obojí ne rutinně

Hemodynamika – detekce PH

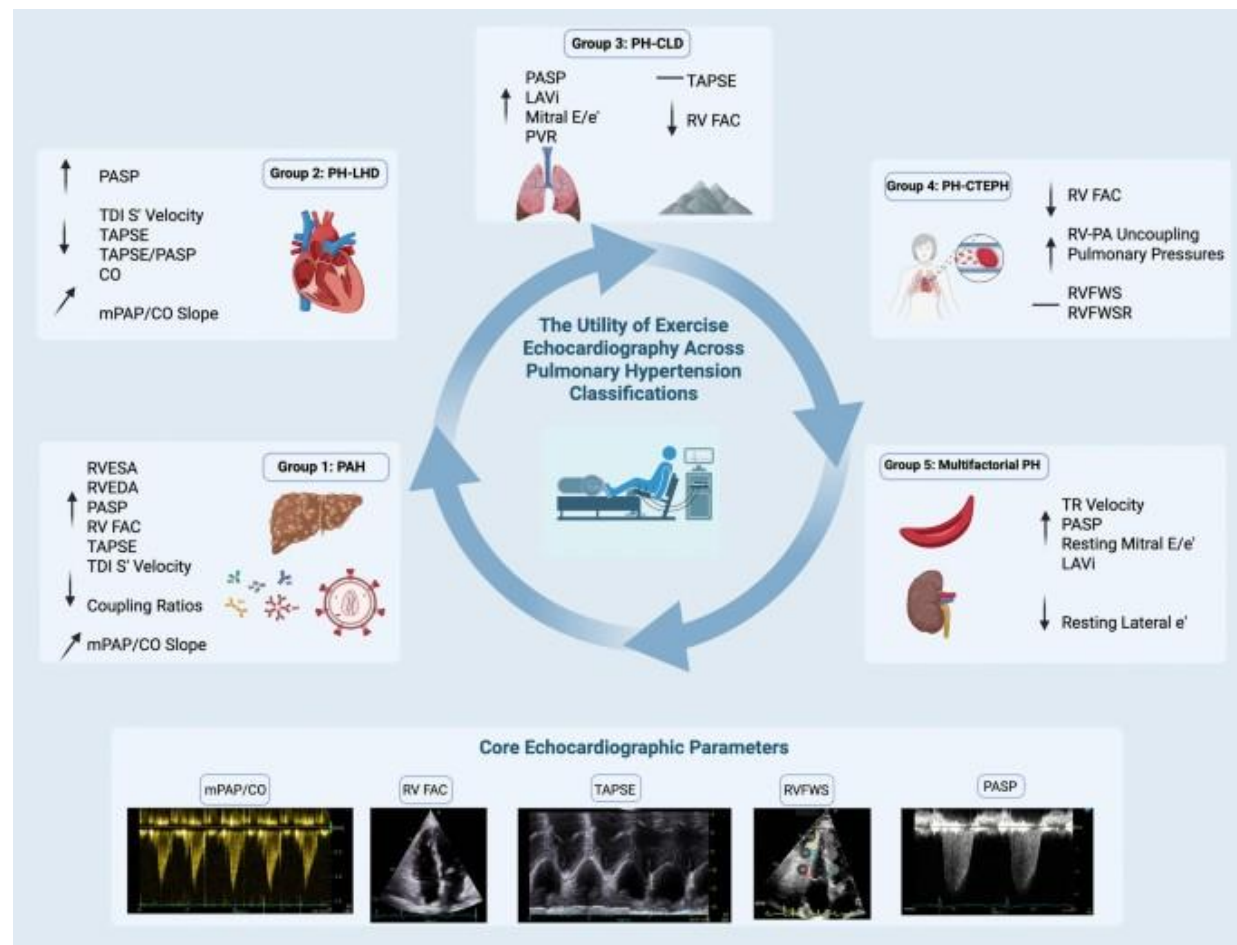


Zátěžové testování a plicní hypertenze/pravé srdce

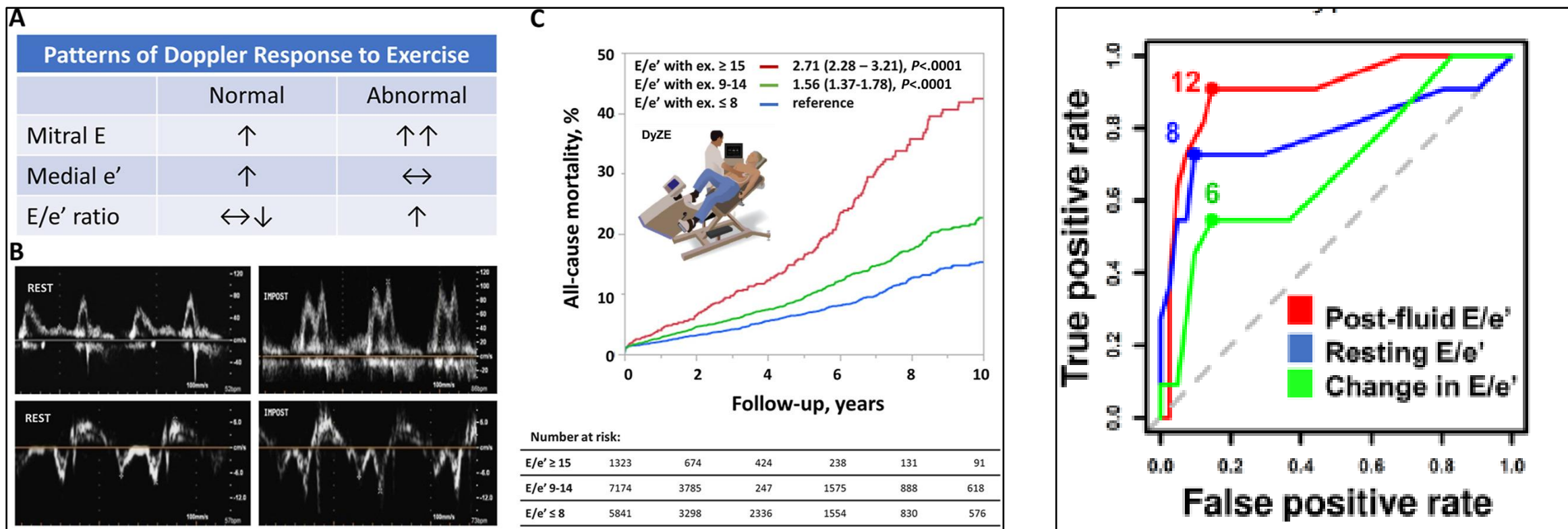
DyZE



- Posouzení etiologie symptomů
- Posouzení typu PH (pre-/postkapilární)
- Prognostické hledisko u nemocných s PH nebo rizikem PH, načasování časně léčby

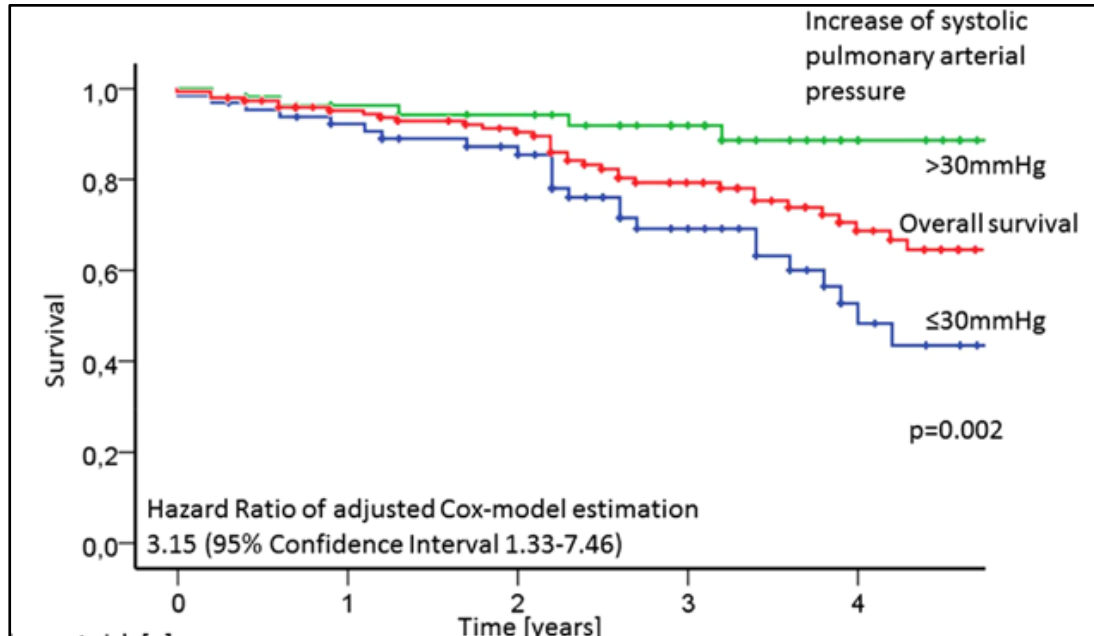


Zátěžové testování – odhalení okultního HFpEF



- A rest-stress mitral E/e' ratio >12 suggests a component of postcapillary disease
- with E/e' ratios ≥ 15 indicating higher mortality risk (independent of ischemia or LV dysfunction)
- Možné dosáhnout i tekutinovou výzvou (500 ml roztoku aplikovaného 5-10 min i.v.)

Zátěžové testování – kontraktilní RV rezerva, zátěžová PH



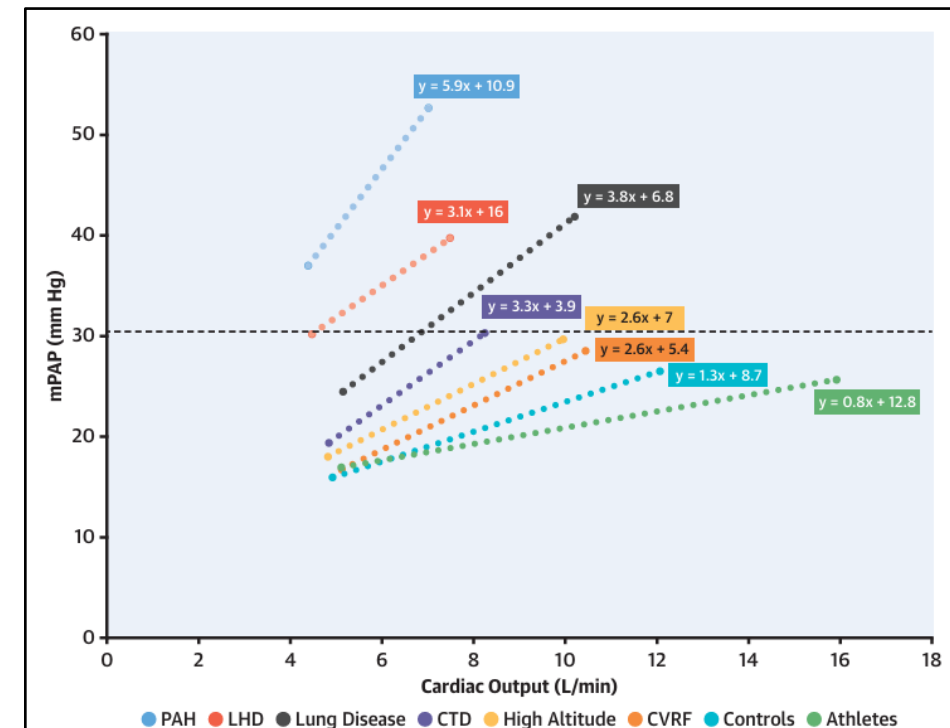
Kontraktilní RV rezerva:

- 124 nemocných s PAH a CTEPH, dysfce PK
- schopnost zvýšit RVSP o $> 30 \text{ mmHg}$

Circulation. 2013;128:2005-2015

Zátěžová PH

- peak RVSP $\geq 50 \text{ mmHg}$
- mPAP $> 30 \text{ mmHg}$
- mPAP/CO slope 3.0 - 3.5 mm Hg/L/min



J Am Coll Cardiol 2023;82:1973–1985

mPAP/CO slope > 3WU má silnou diagn., dif. diagn. a prognostickou hodnotu v definici zátěžové PH napříč různými skupinami onemocnění

TABLE 4 Overview of the identified studies for diagnostic and differential-diagnostic value and their most relevant findings

Publication	Subjects (n)	Age (years)*	Sex (M:F)	Patient cohort	Most relevant finding
Recognising LHD					
Good et al. 2019 [50]	71	67±11	15:56	CTEPH	Patients with peak PAWP >20 mmHg (predefined) had larger left atrial volume index (40 versus 34 mL·m ⁻²) than patients with peak PAWP ≤20 mmHg, suggesting LHD
Eisman et al. 2018 [32]	175	57±17	65:110	HFpEF+Dyspnoea+Controls	The ULN for PAWP/CO slope was 2 WU in controls; a ULN >2 was characteristic of HFpEF, related to lower exercise capacity, and may also identify HFpEF in patients with normal PAWP at rest
Maier et al. 2015* [51]	63	60±20	18:45	Dyspnoea	Patients with resting PAWP 12–15 mmHg were 4.5 times more likely to present with a steep PAWP increase during exercise as compared to patients with resting PAWP <12 mmHg
Anderson et al. 2015 [52]	26	70±9	9:15	HFpEF+Controls	94% of patients with left ventricular diastolic dysfunction on echocardiography but 0% of controls had peak PAWP >25 mmHg during exercise
van Ewijk et al. 2014 [53]	28	62±1	–	HFpEF+Controls	A steep PAWP increase may uncover LHD
Borlaug et al. 2010 [54]	55	56±15	17:38	Dyspnoea	HFpEF patients had higher PAWP at peak exercise than controls (32 versus 16 mmHg)
Yoshida et al. 1985 [55]	40	Range 26–71	38:2	Coronary artery disease+Controls	Exercise PAWP was used to classify patients with resting PAWP <15 mmHg as having HFpEF (PAWP at exercise >25 mmHg) or non-cardiac dyspnoea (PAWP at exercise <25 mmHg)
Recognising PVD					
Naeije et al. 2019 [56]	112	58±13	24:88	SSc	PAWP and sPAP were strongly correlated during exercise
Gorter et al. 2018 [57]	161	67±11	59:102	HFpEF	dPAP/CO slope is steeper in patients with coronary artery disease and angina than in those without angina or in controls
Claessen et al. 2015 [20]	36	62±12	27:9	CTEPH+Controls	Among HFpEF patients (resting PAWP ≥15 mmHg), combined post- and pre-capillary PH was associated with higher peak PVR (4.5 versus 1.9 WU) and lower peak pulmonary arterial compliance (1.4 versus 2.3 mL·mmHg ⁻¹) as compared to isolated post-capillary PH, suggesting the presence of PVD
Taylor et al. 2015 [58]	39	57±9	32:7	HF	mPAP/CO slope was steeper in CTEPH patients after pulmonary endarterectomy than in controls and similar to those with unoperated CTEPH, suggesting the presence of residual PVD
Touk et al. 2008 [59]	109	55±15	40:69	PAH+Controls	At a given CO (~4.5 L·min ⁻¹) during exercise, mPAP was greater in patients with HF and combined pre- and post-capillary PH, than in patients without PH and, to a lesser extent, than in patients with isolated post-capillary PH (~55 versus ~32 versus ~45 mmHg, respectively)
Recognising LHD and PVD					
Borlaug et al. 2020* [60]	121	55 (range 50–60)	61:60	Dyspnoea+Controls	Exercise patterns differ between PAH patients and controls
Krusch et al. 2014* [61]	101	61 (range 52–68)	31:70	Dyspnoea	PAH presents with a strong initial increase of mPAP followed by a plateau, whereas a continuous moderate mPAP increase was characteristic in controls

Continued

TABLE 3 Overview of the identified studies for prognostic value and their main characteristics based on their underlying condition

Publication	Subjects (n)	Age (years)*	Sex (M:F)	Main inclusion criteria	End-point	Exercise parameters predicting events
Exercise dyspnoea						
Ho et al. 2020 [31]	734	57±16	292:422	Exercise dyspnoea; LVEF ≥50%	All-cause mortality, HF-related hospitalisation	mPAP/CO slope >3 WU, elevated TP/CO slope and PAWP/CO slope
Eisman et al. 2018 [32]	175	57±17	65:110	Exercise dyspnoea; LVEF >50%; PAWP <15 mmHg	HF-related hospitalisation, HF-related mortality, elevation of resting PAWP in follow-up RHC >15 mmHg	PAWP/CO slope >2 WU
Doris et al. 2014 [33]	395	61±11	120:235	Exercise dyspnoea and suspected HFpEF	All-cause mortality	Steep PAWP increase (>25.5 mmHg·W ⁻¹ ·kg ⁻¹)
Left heart disease						
Domero et al. 2020 [34]	33	74±8	30:3	Moderate to severe aortic stenosis, <85 years	All-cause mortality, surgical aortic valve replacement, TAVI or planned intervention for ASt	P _{iso} at peak exercise
Huang et al. 2018 [35]	104	61±12	39:65	HFpEF (normal LVEF, no valvular heart disease)	All-cause mortality, HF-related hospitalisation	PVR >1 WU at peak exercise
Rietz et al. 2017 [36]	167	65±12	125:42	HFpEF (LVEF ≤45%)	All-cause mortality, LuTX and/or HTX, heart assist device	Change in CO <1.154 L·min ⁻¹ and change in sPAP <175 mmHg
Lewis et al. 2011 [12]	60	60±12	47:13	HFpEF (LVEF <40%, NYHA II–IV)	All-cause mortality	mPAP/W slope >median (0.25 mmHg·W ⁻¹), steep increase in mPAP followed by a plateau pattern
Griffin et al. 1991 [37]	49	63±11	39:10	Congestive HF (symptoms >1 year)	HF-related mortality	PAWP at rest and exercise, peak stroke work index
Szlachetko et al. 1985 [38]	27	56	27:0	Congestive HF (clinically stable)	All-cause mortality	Peak CI
Gohlke et al. 1983 [39]	1772	50±6	1595:177	Coronary artery disease and normal or mildly impaired left ventricular function	All-cause mortality	Peak CO
Pulmonary arterial hypertension						
Faure et al. 2020 [40]	49	53±16	16:33	PAH	All-cause mortality	Change in HR and sPAP
Tang et al. 2018 [41]	140	33±11	39:101	IPAH	LuTX and/or HTX, HF-related mortality	Change in HR, peak work rate, PVR and CI
Hagler et al. 2016 [42]	70	65 (50–73)	27:43	PAH+CTEPH	All-cause mortality, LuTX and/or HTX	Maximal workload, peak and change in CI and mPAP/CO
Chinai et al. 2014 [43]	55	54±16	25:30	IPAH, heritable or anoregion-associated	All-cause mortality, LuTX and/or HTX	Peak CI, change in sPAP, change in CI
Blumberg et al. 2013 [44]	36	54±15	15:21	PAH+CTEPH (NYHA II–III)	All-cause mortality, LuTX and/or HTX	mPAP/CO slope, peak CI*
Systemic sclerosis						
Stamm et al. 2016 [45]	72	Range: 42–74	10:62	SSc with exercise dyspnoea+reduced D _{lCO} or FVC/D _{lCO} >1.6	All-cause mortality, LuTX and/or HTX	Peak mPAP, mPAP increase, mPAP/W increase*
COPD						
Olsson et al. 1989 [46]	29	64±5	29:0	Lung resection due to airflow obstruction and lung mass	Postoperative death within 60 days or prolonged ventilation (>30 days)	Peak CI
Finlay et al. 1983 [47]	74	59	60:14	Clinically stable COPD, symptoms >3 years	All-cause mortality	Increase in mPAP+PVR during exercise

ASE doporučení pro echokardiografické hodnocení pravostranných srdečních oddílů

Navrhují optimální akustická okna ke správné akvizici

Navrhují standardy měření, hodnocení funkce a hemodynamiky

Definují referenční hodnoty normálních nálezů, stupně patologie

Základy screeningu, detekce PH a prognostická stratifikace PH