



INTERNÍ
KARDIOLOGICKÁ
KLINIKA FN BRNO a LF MU

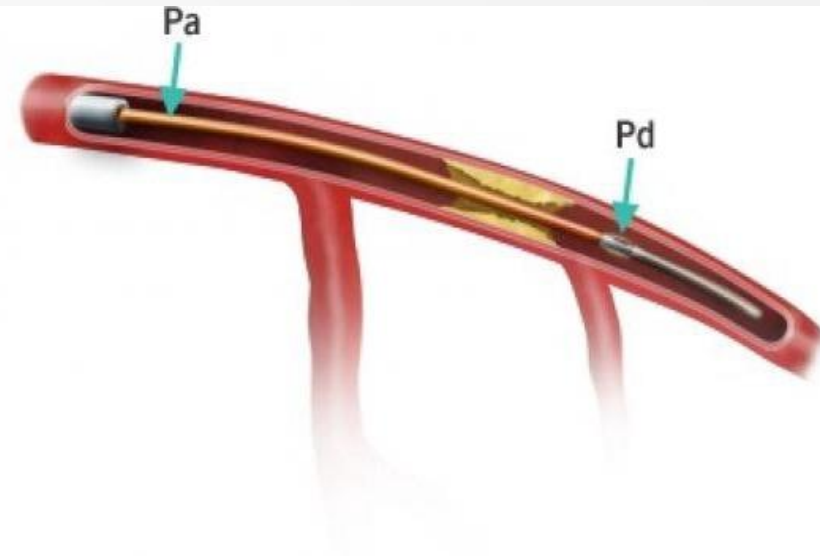
virtuální FFR pohledem biomedicínského inženýra

Ing. Jiří Holík, Ing. Kristýna Hochmanová

PRACOVIŠTĚ INVAZIVNÍ A INTERVENČNÍ KARDIOLOGIE



FFR měření



- dnes již rutinní a běžná součást moderního katetrizačního centra
- zhodnocení rozsahu zúžení tepny lékařem dle angiografie
- v případě hraniční stenózy (40-70 %) doporučeno provést funkční měření hemodynamické významnosti léze (pomocí hyperemických či nehyperemických) indexů
- výsledek může být vyjádřen vztahem:
$$\frac{P_d \text{ (střední tlak distálně za stenózou)}}{P_a \text{ (střední aortální tlak)}}$$
- normální zdravá tepna $\frac{P_d}{P_a} = 1$
- přítomnost stenózy – pokles tlaku v distální části (za stenózou) oproti tlaku v části proximální
- cut-off = 0,80

- neinvazivní metoda odhadu FFR na základě angiografických snímků a výpočetních mat. modelů
- princip - 3D rekonstrukce postižené koronární tepny z angiografických snímků
- analýza tlakového gradientu pomocí matematických modelů proudění krve
- **Navierova-Stokesova rovnice, Bernoulliho rovnice a Hagenův-Poiseuillův zákon** – popis mechaniky tekutin
- vyvinuto několik systémů



přehled dostupných vFFR systémů

Coronary angiography based FFR technique					
CA-based FFR technique	Company	Mathematical solution	Angiographic projections required	CA angle requirement	Key scientific reference
vFFR (VIRTUheart™)	University of Sheffield	3D pseudotransient CFD based on Navier-Stokes equation	≥2 orthogonal images for each vessel	≥30 degrees	(51, 53)
QFR	Medis, Leiden, Netherlands and Pulse Medical Imaging, China	Analytical equations based on laws of Bernoulli and Poiseuille. Empiric flow velocity (fQFR), TIMI frame counting-derived contrast velocity at baseline (cQFR) and under hyperaemia (aQFR)	≥2 orthogonal images for each vessel	≥25 degrees	(55, 60, 60–62)
FFR _{angio}	Cathworks Ltd., Kfar-Saba, Israel	Simple analytical equations based on Bernoulli and Poiseuille	≥2 orthogonal images for each vessel	≥30 degrees	(57, 63, 64)
CAAS-vFFR	Pie medical, Maastricht, The Netherlands	Simple analytical equations based on Bernoulli and Poiseuille	≥ 2 orthogonal images for each vessel	≥ 30 degrees	(59)
caFFR (FLASH FFR)	Rainmed Ltd., Suzhou, China	CFD based on post angiography TIMI frame counting of flow velocity	≥2 orthogonal images for each vessel	≥30 degrees	(65)
vFAI	Pie medical, Maastricht, The Netherlands	3D-QCA and steady state CFD	≥2 orthogonal images for each vessel	≥30 degrees	(66)

CA, Coronary angiography; 3D, Three dimensional; QCA, Quantitative coronary angiography; VIRTUheart™, (University of Sheffield); QFR, Quantitative flow ratio (Medis, Leiden, Netherlands and Pulse Medical Imaging, China); FFR_{angio}, 3D functional coronary angiography mapping with coronary flow analysis (Cathworks Ltd., Kfar-Saba, Israel); CAAS-vFFR, Cardiovascular Angiographic Analysis System (Pie medical, Maastricht, The Netherlands); caFFR, Coronary-angiography based FFR (FLASH software); vFAI, Virtual Functional Assessment Index.

vFFR předmětem výzkumu

FAST

- 100 probandů, **1.validační studie FFR x vFFR – potvrdila proveditelnost**, vFFR hodnoceno offline, 1 centrum, 2020
- **střední hodnota FFR 0,82 ± 0.08**
- **střední hodnota vFFR 0,84 ± 0,07**
- velmi silná lineární korelace mezi vFFR a FFR ($r=0,89$; $p<0,001$)

FAST II

- 334 probandů, multicentrická (6 center), vFFR hodnoceno offline, vFFR měřeno v core lab a site lab, 2022
- **střední hodnota FFR 0,83 ± 0.08**
- **střední hodnota vFFR (core lab) 0,83 ± 0.09, střední hodnota vFFR (site) 0,82 ± 0.10**
- silná lineární korelace mezi vFFR (core lab) a FFR ($r=0,74$; $p<0,001$)
- vysoká diagnostická přesnost detekce hemodynamicky významné léze = $FFR \leq 80$ (sensitivita = 81 %, specifita 95 %, přesnost 90 %)

FAST III

- aktuálně probíhá, 2228 pacientů v 7 evropských zemích, přibližně 35 center
- srovnání FFR guided PCI x vFFR guided PCI po 12 měsících
- výsledky – červenec 2025 ?
- srovnání délky výkonu FFR a výpočtu vFFR

Pořízení vhodných projekcí

- podání nitroglycerinu – prevence vazospasmu
- 2 ortogonální projekce pořízené katetrizujícím lékařem, dop. rozdíl 90°, min. rozdíl 30°
- nahrávání s frekvencí min. ≥ 12 snímků/s
- žádný pohyb stolu v průběhu akvizice
- minimální překryv tepen – výběr vhodných projekcí, eliminace sumace



výpočet vFFR

- výběr optimálního snímku z nahrávky – synchronizace s EKG (auto. výběr 75% RR intervalu), výběr end-diastolických snímků
- detekce kontury postižené tepny (od prox. k dist.)
- manuální úprava kontur a velikosti tepny (soft x hard korekce)
- kontrola epipolárních linií – odráží vzájemné natočení a polohu obou snímků vůči sobě
- pozice CIP (common image point) – bod na stejném anatomickém místě v obou snímcích (samotná léze či odstup boční větve)
- zadání aortálního tlaku
- výpočet hodnoty vFFR + 3D model tepny + vypočítané diametry a stenóza v %



Ukázka výpočtu vFFR

Male, 57 yo

9
Coro CARE Alt
3/3/2025 5:09:07 PM
LAO 28.4° / CRA 9.3°
15 fps
0.1135 mm/px

View
vFFR
Report

LAO 28.4° / CRA 9.3°
RAO 28.4° / CRA 21.4°

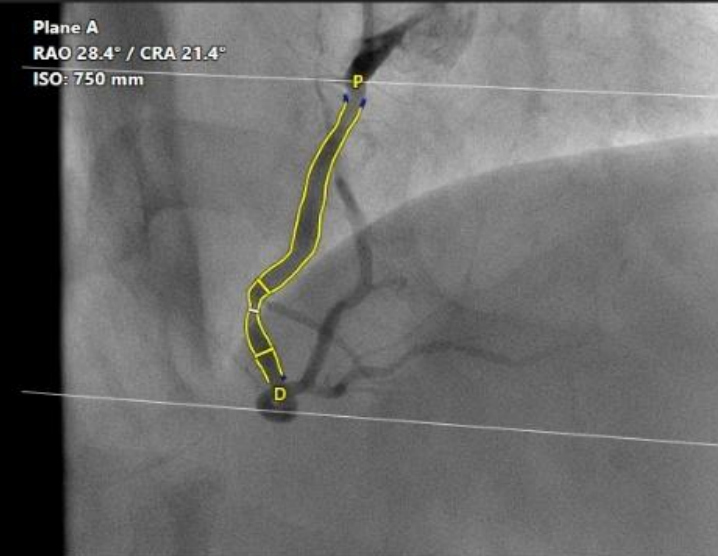
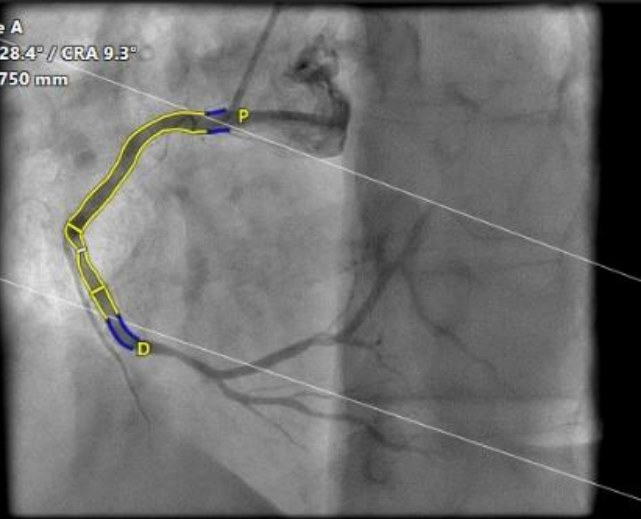
18 / 35

Navigation icons: back, play, pause, stop, full screen, zoom in, zoom out, refresh, close



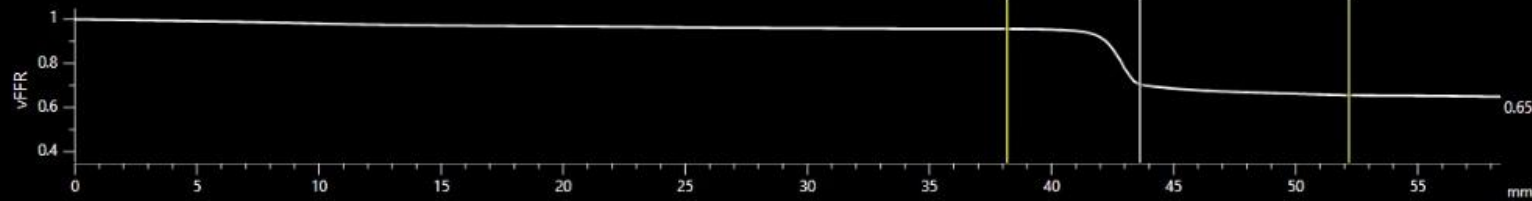
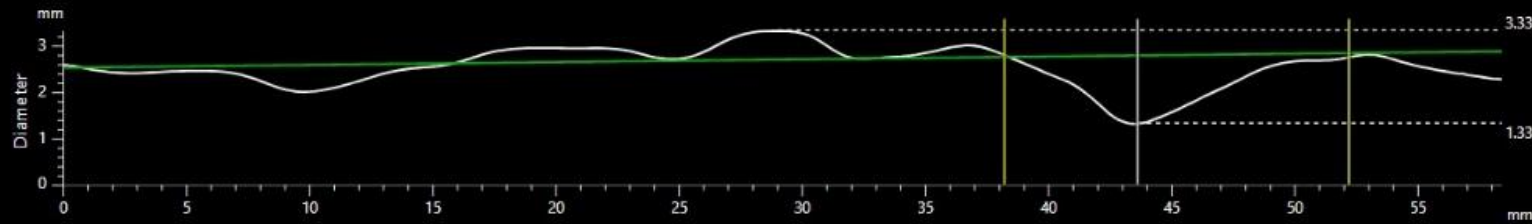
Plane A
LAO 28.4° / CRA 9.3°
ISO: 750 mm

Plane A
RAO 28.4° / CRA 21.4°
ISO: 750 mm



vFFR **0.65**

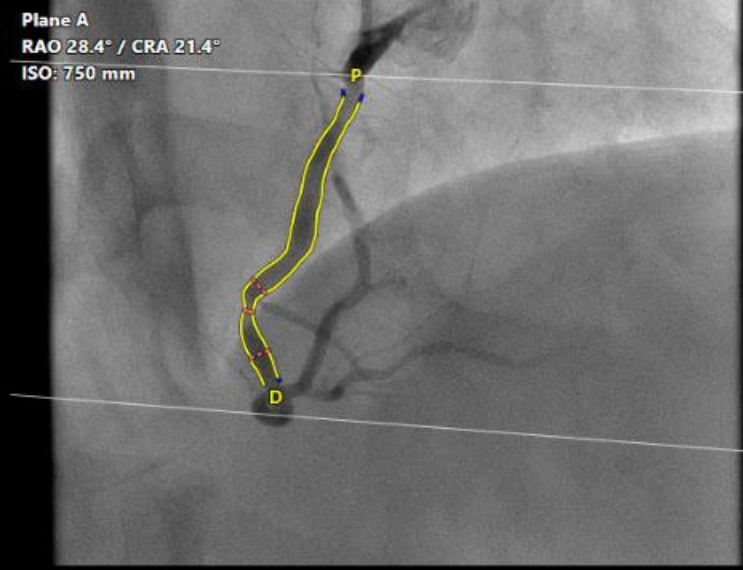
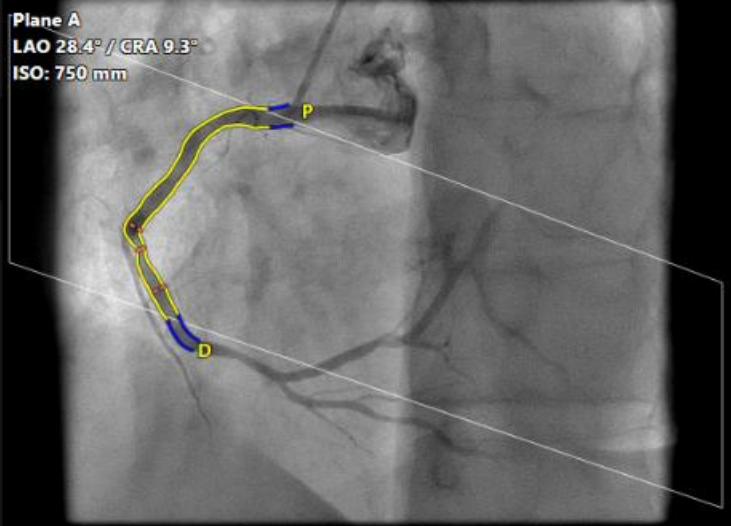
Pressure drop	30 mmHg
Lesion diameter	1.33 mm
Stenosis	53 %
Reference diameter	2.80 mm
Pressure input	110 / 75 mmHg



vFFR Residual

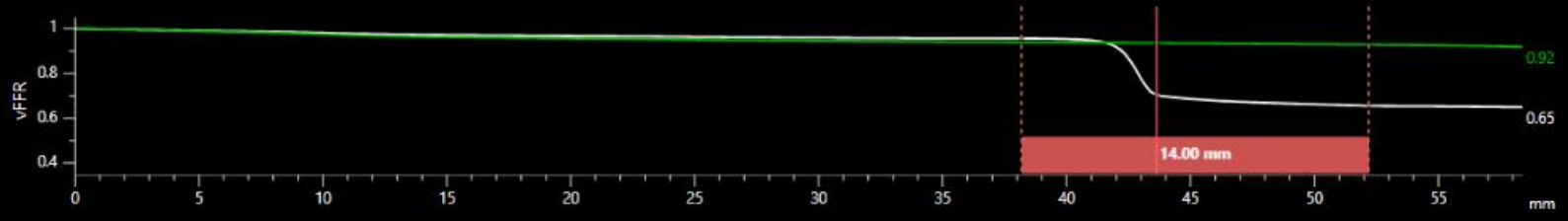
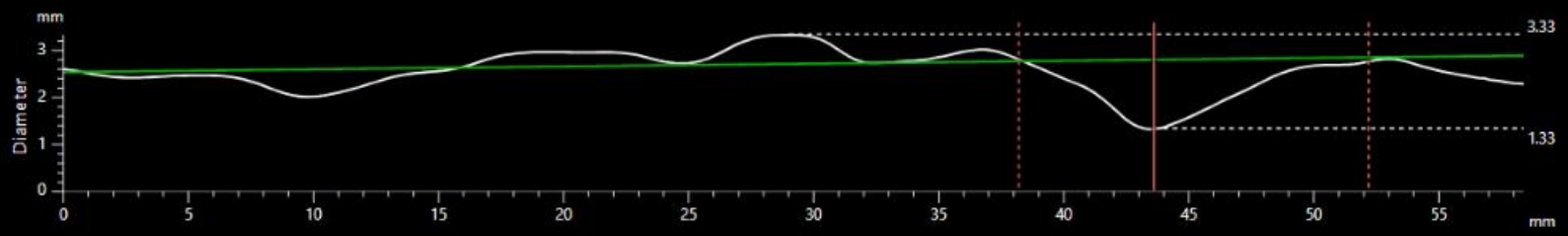


- View
- vFFR
- Report



vFFR 0.65

Pressure drop 30 mmHg
Residual vFFR 0.92
Residual pressure drop 7 mmHg



Lesion 1	<input checked="" type="checkbox"/>	
Δ vFFR	0.30	
Δ P	26 mmHg	
Lesion diameter	1.33 mm	
Stenosis	53 %	
Reference diameter	2.80 mm	
Lesion 2	<input type="checkbox"/>	
Lesion 3	<input type="checkbox"/>	

vFFR Residual





Limitace vFFR

- akutní infarkt myokardu s přítomností ST elevací
- tachykardie (> 100 tep/min)
- kardiogenní šok
- fibrilace síní
- hemodynamická nestabilita pacienta
- myokardiální můstky
- léze s výskytem trombu
- CTO
- culprit léze při AIM
- ostiální léze ACS a ACD
- bypassy
- tepny s retrográdním plněním

Co říci závěrem...



- odpadá potřeba zavedení tlakového vodiče
- není třeba navazovat farmakologickou hyperemii
- rychlost provedení?



- zatím není klinická validace, nemá stejnou diagnostickou váhu jako FFR
- vysoce závislá na kvalitě angiografických snímků a anatomii koronárních tepen



INTERNÍ
KARDIOLOGICKÁ
KLINIKA FN BRNO a LF MU

DĚKUJI VÁM ZA POZORNOST

PŘEJI HEZKÝ DEN.

Ing. Jiří Holík