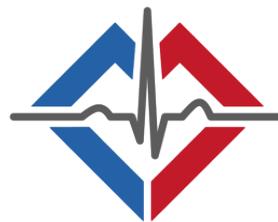




**FN MOTOL**



**KARDIOLOGICKÁ  
KLINIKA**



**2. LF UK**

# **Kontinuální termodiluce nová metoda měření koronárního průtoku a rezistence**

**XXXIII. Výroční sjezd České kardiologické společnosti  
6.5.2025**

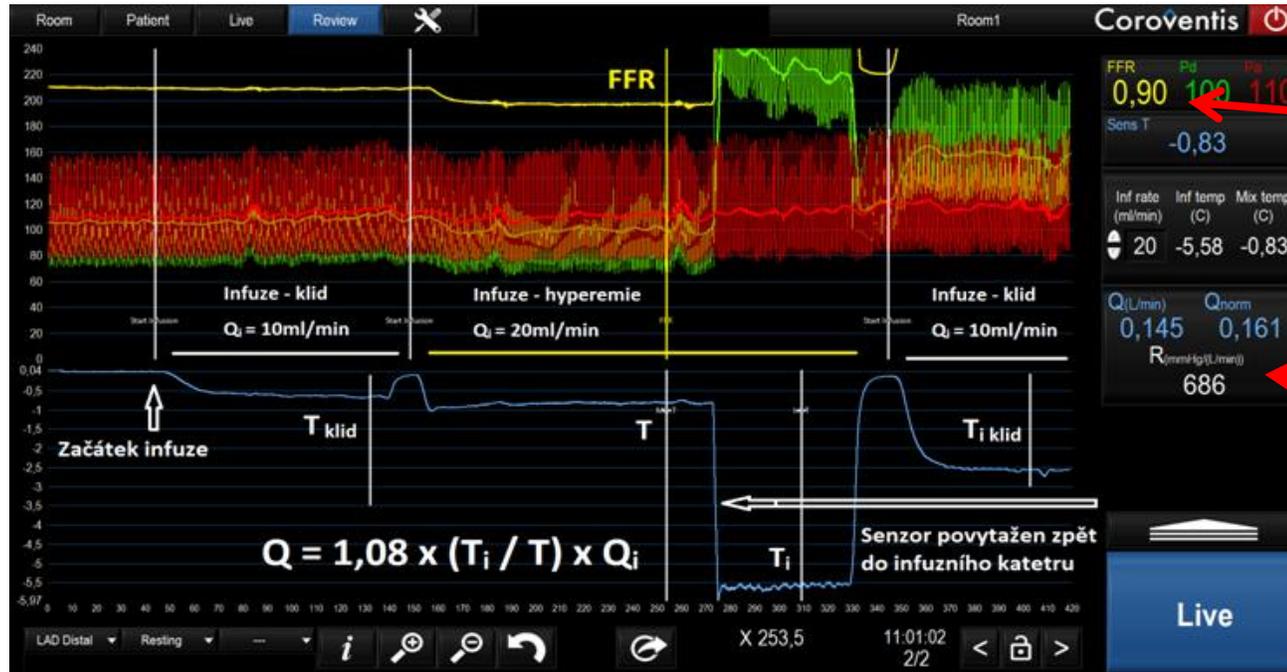
**Hájek P, Kala P, Adlová R, Gašpárková V, Ošťádal P.**

Kardiologická klinika 2. LF UK a FN Motol | Praha

# Koronární mikrovaskulární dysfunkce

- Strukturální podklad mikrovaskulární anginy (endotyp ANOCA).
- Je definována:
  - ↓ koronární průtokové rezervy (CFR);  $CFR = Q_{hyper} / Q_{rest}$
  - ↑ mikrovaskulární rezistence
- Invazivní určení koronárního průtoku:
  - intrakoronární dopplerovská sonografie (↓stabilita a kvalita signálu)
  - **termodiluce bolusová/kontinuální**

# Invazivní měření koronárního průtoku a rezistence



Pa, Pd  
FFR  
Koronární průtok  
Rezistence

System Coroventis (ABBOTT)

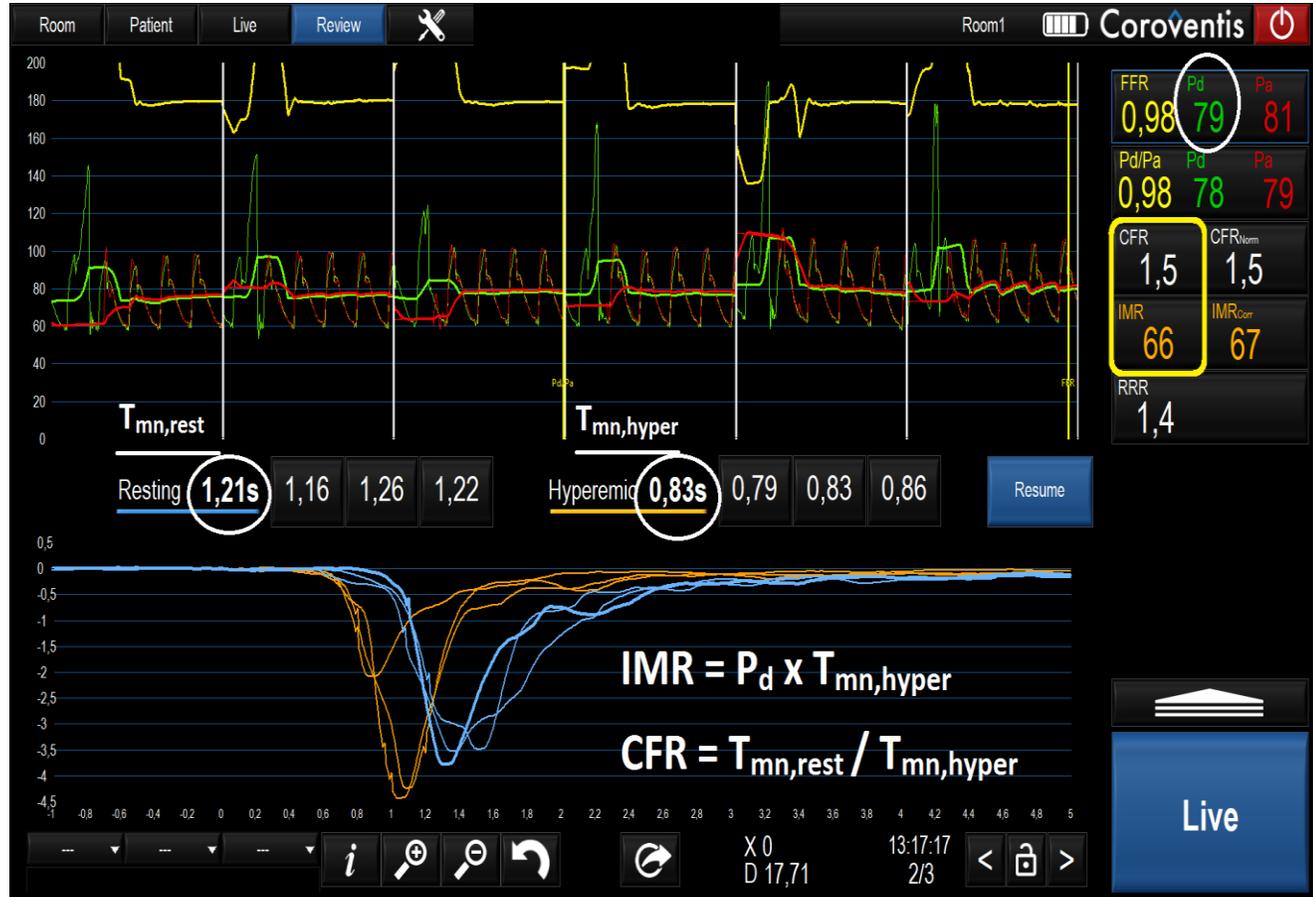
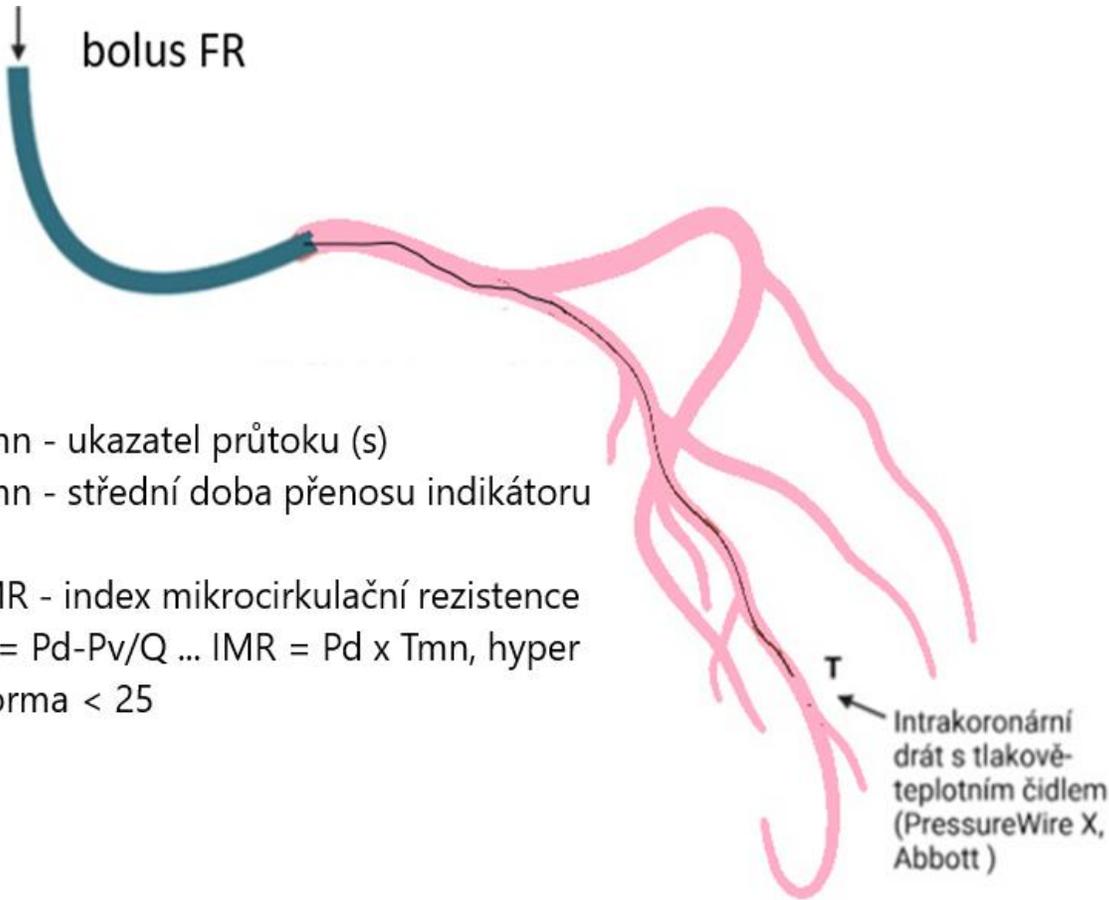


Pressure/temperature Guide Wire  
(Abbott Vascular)

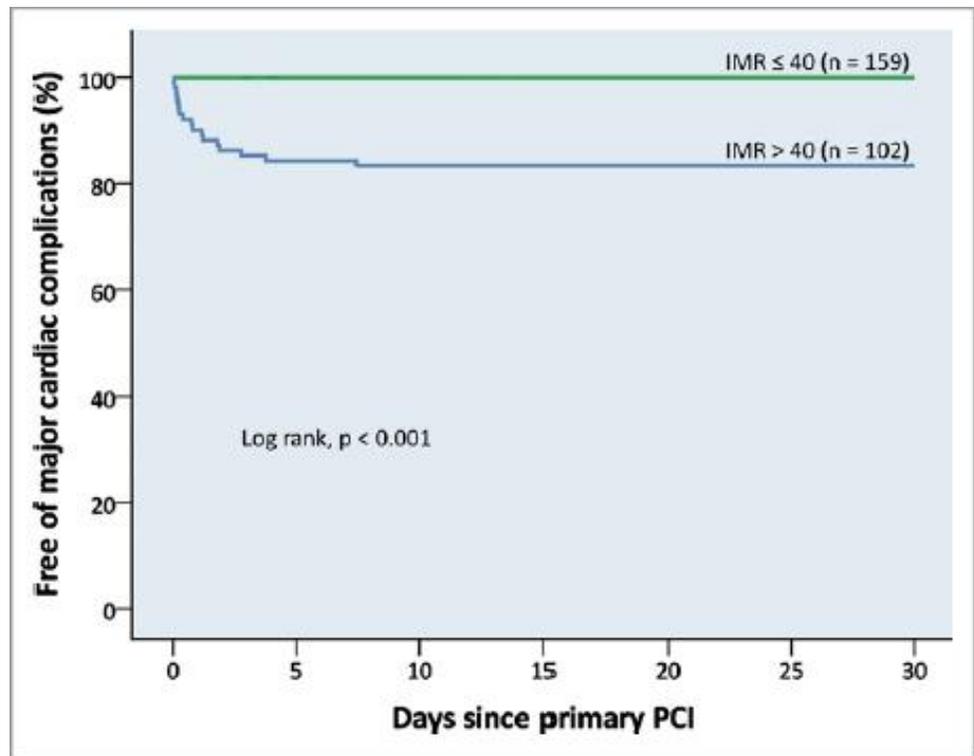


RayFlow Catheter  
(Hexacath)

# Bolusová termodiluce (Tmn, IMR)

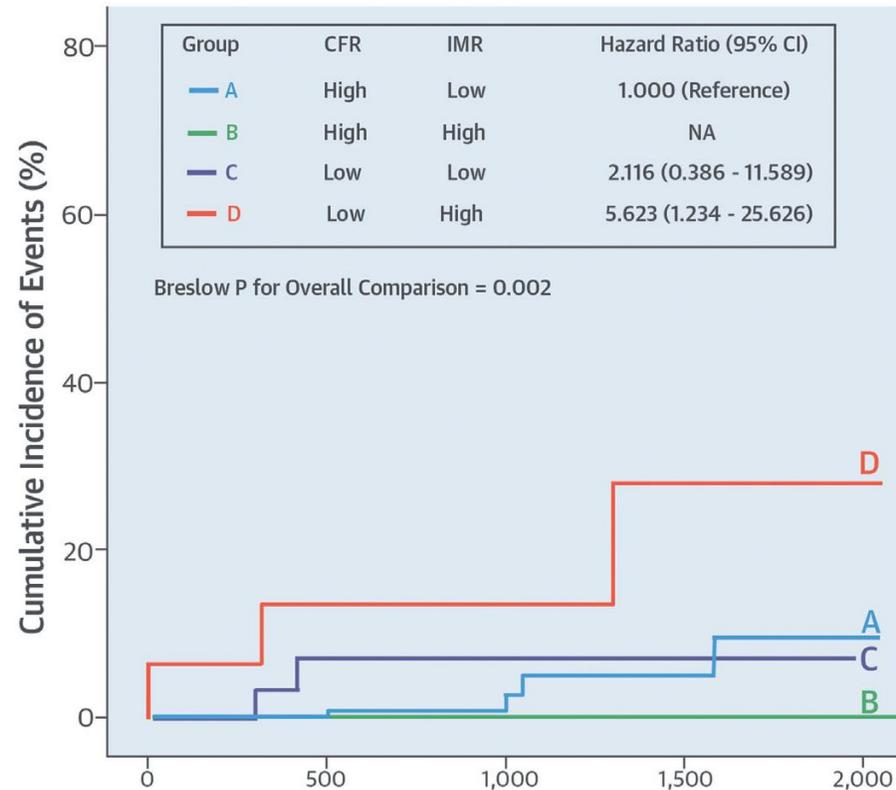


# Index mikrocirkulační rezistence – klinický význam



Vyšší riziko MACE u pacientů po pPCI s IMR > 40

Fahrni G et al. J Am Heart Assoc 2017;6:e005409.



Vyšší riziko MACE u pacientů s CCS a FFR > 0,80 při ↓ CFR a ↑ IMR

Lee et al. J Am Coll Cardiol 2016;67:1158-1169.



# Bolusová termodiluce

- **Nevýhody:**

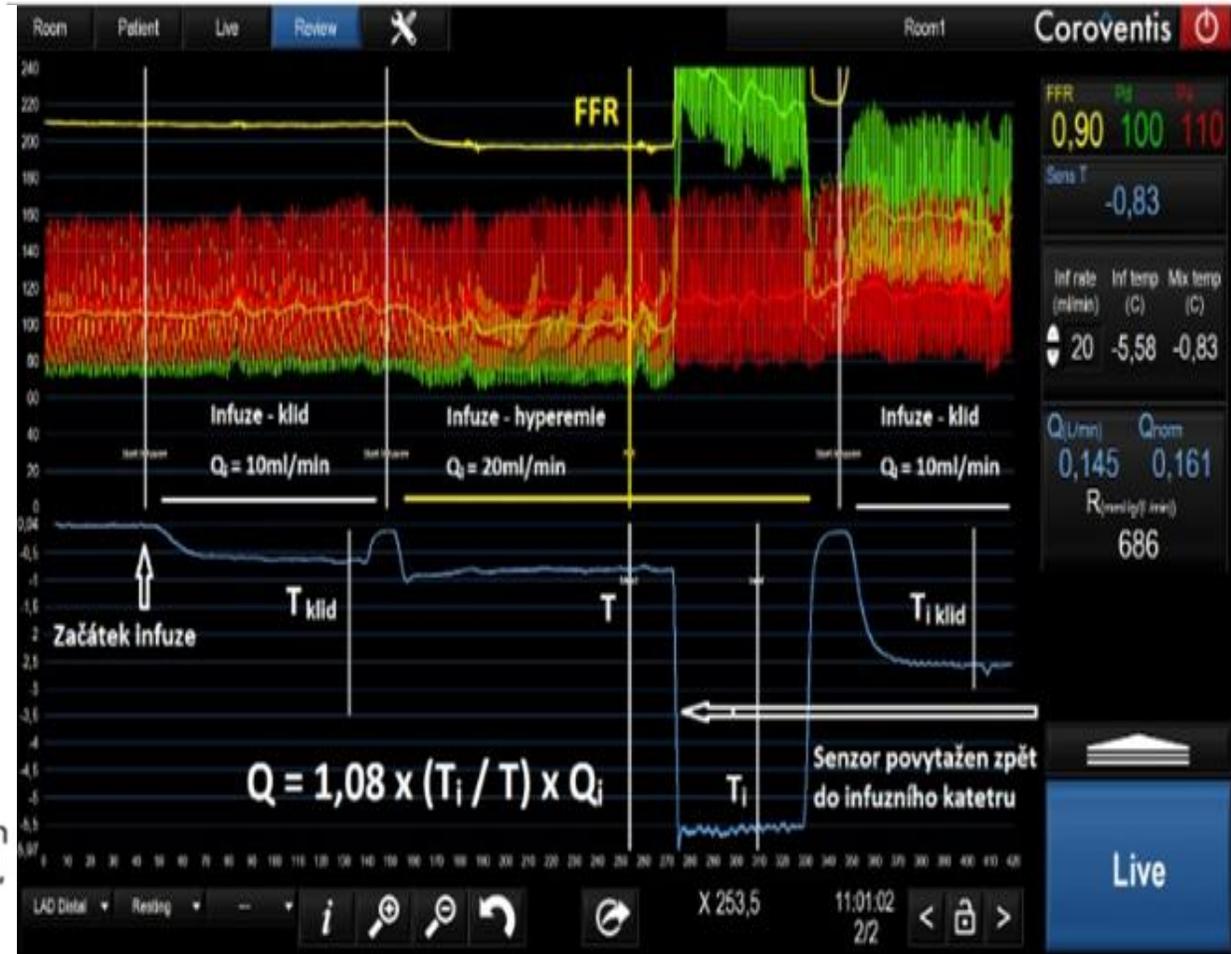
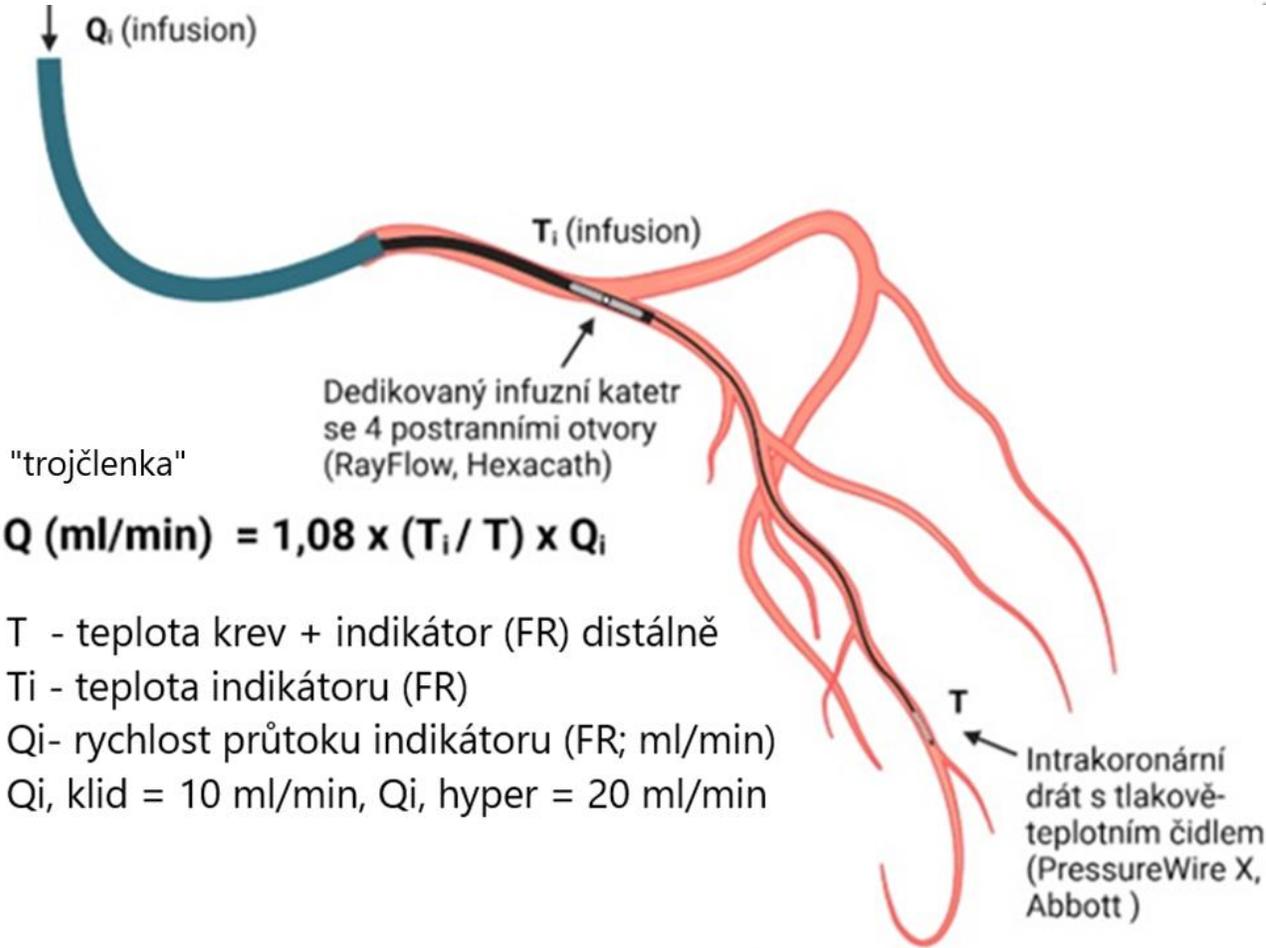
- ✓ Významná variabilita měření, závislost na operátorovi (při variabilitě >30 % se doporučuje provést více měření)
- ✓ Hyperemie pomocí i.v. adenosinu (bradykardie, dušnost, hypotenze)
- ✓ Absence absolutních hodnot průtoku a rezistence

- **Výhody (ve srovnání s kontinuální termodilucí)**

- ✓ Levnější
- ✓ Rychlejší

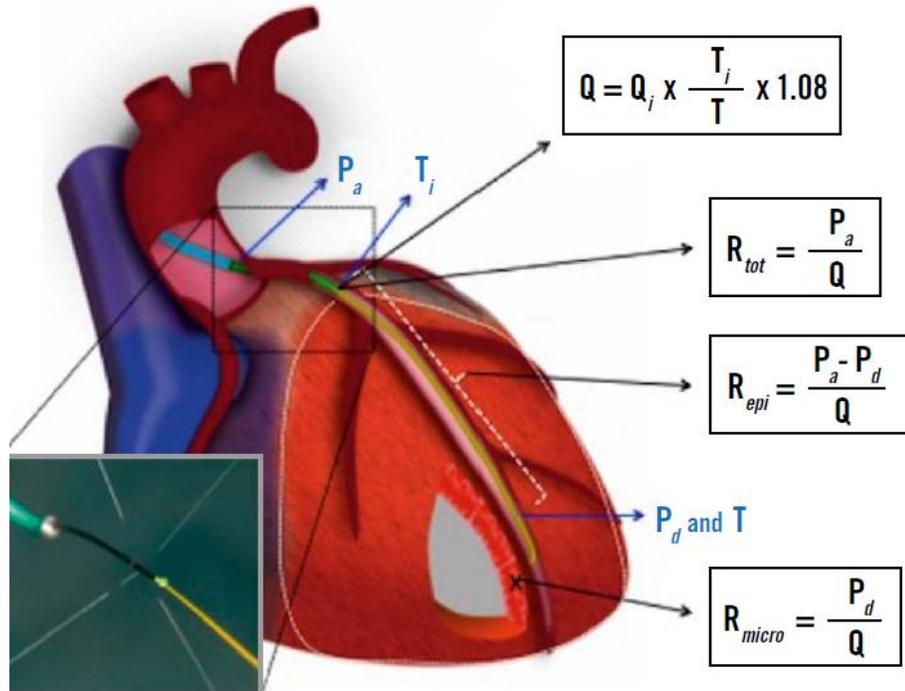


# Kontinuální termodiluce

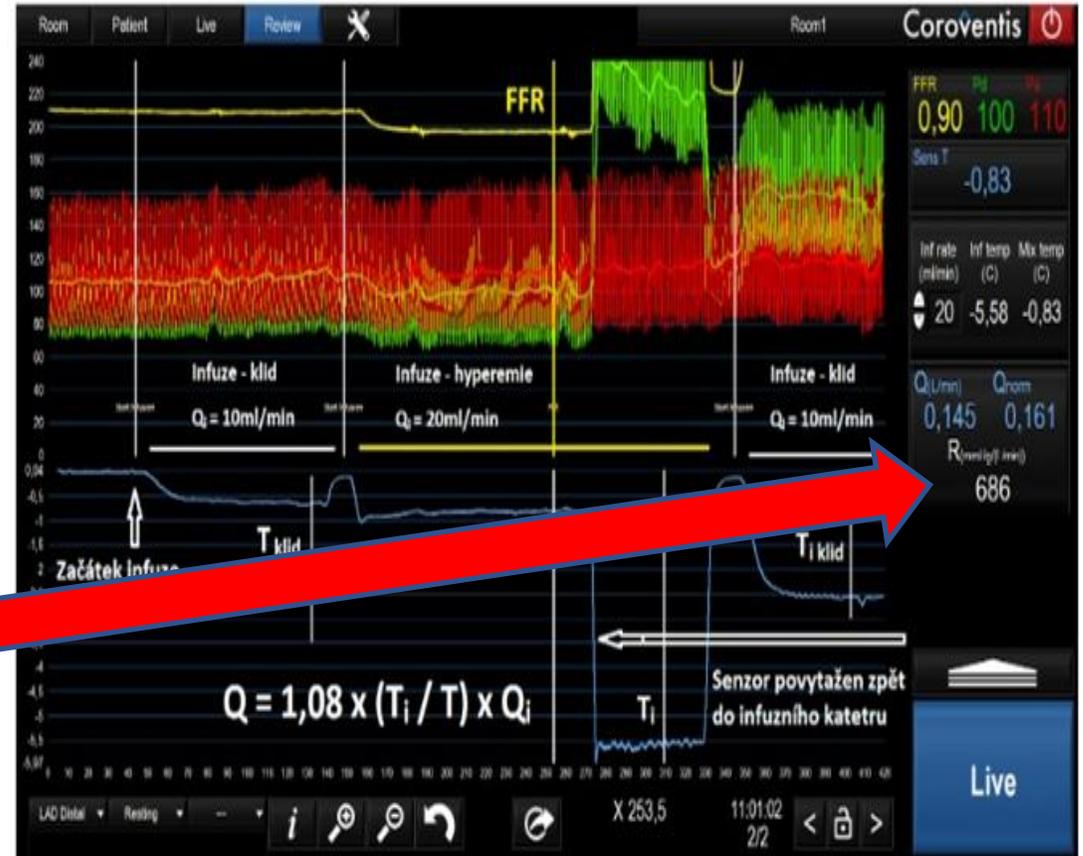


# Kontinuální termodiluce - stanovení rezistence

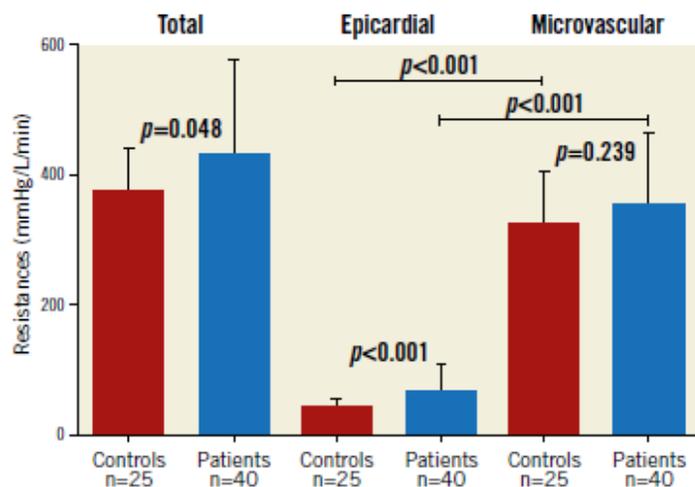
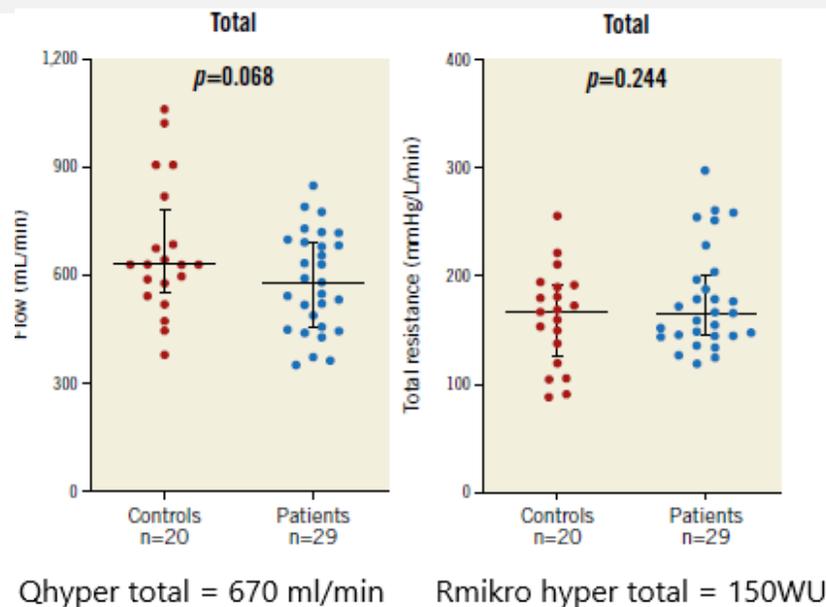
- Vychází z Ohmova zákona, může být kalkulována pro dané teritorium ( $R_{tot}$ ), pro zvolený epikardiální segment ( $R_{epi}$ ) nebo pro zvolenou oblast mikrocirkulace ( $R_{\mu}$ ; mikrovaskulární rezistence; WU):



- $P_a$ =střední aortální tlak na špičce guidingu;
- $P_d$ =střední tlak v distální části koronární tepny



# Kontinuální termodiluce - normální hodnoty průtoku a rezistence

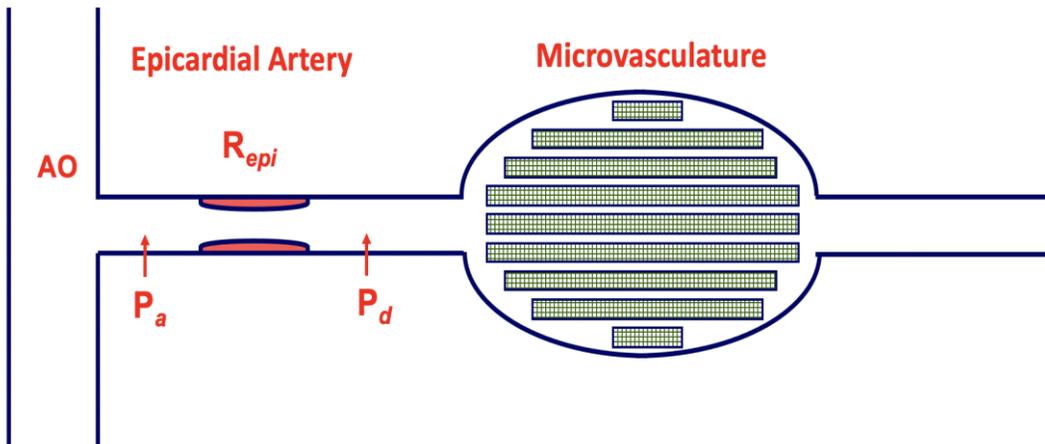


Invasive measurements		Controls N=25		
		LAD	Cx	RCA
Q <sub>norm</sub> (mL/min)	Mean±SD	330±10	220±10	210±7
	Median (5-95)	330 (160-570)	258 (170-359)	220 (100-360)
	R <sub>micro</sub> (WU)	Mean±SD	336±34	626±83
	Median (5-95)	325 (194-470)	549 (267-1.250)	417 (246-1.103)

Invasive measurements adjusted for myocardial mass in g as derived from CT		Controls N=15		
		LAD	Cx	RCA
Q (mL/min/kg)	Mean±SD	5.9±0.9	4.9±1.7	5.3±2.1
	Median (5-95)	5.2 (3.3-8.9)	4.5 (3.3-8.2)	5.1 (3-8.8)
R <sub>micro</sub> (WU x kg)	Mean±SD	15.5±0.6	20.6±5.1	21.7±6.4
	Median (5-95)	14.6 (9.2-25.7)	22.8 (12.4-26)	22.9 (12.8-30.4)

# Rezerva mikrocirkulační rezistence (MRR)

- Udává, kolikrát se může klidová  $R_{\mu}$  snížit při normálním nálezu na epikardiální koronární artérii (analogie k FFR).
- $MRR = R_{\mu,rest} / R_{\mu,hyper}$  ( $R_{\mu,rest}$  - „skutečná“ klidová mikrovaskulární rezistence; klidová  $R_{\mu}$  je ovlivňována přítomností epikardiální stenózy).



vasodilatační rezerva  
koronární cirkulace

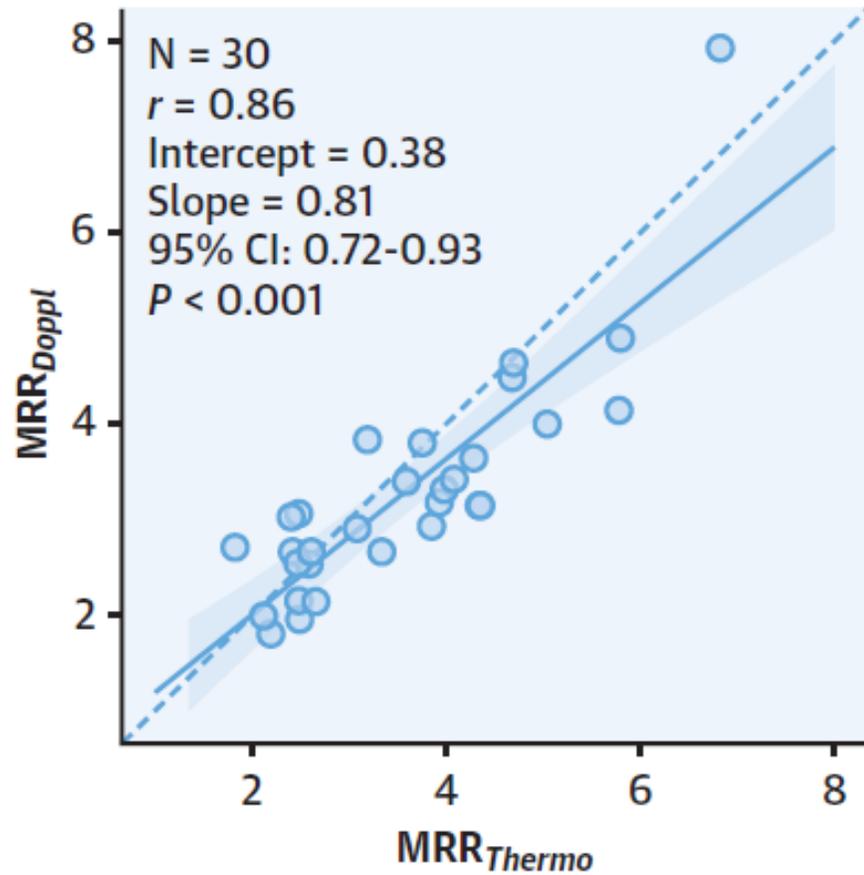
$$MRR = \frac{CFR}{FFR} \times \frac{P_{a,rest}}{P_{a,hyper}}$$

podíl epikardiální  
stenózy (rezistence)

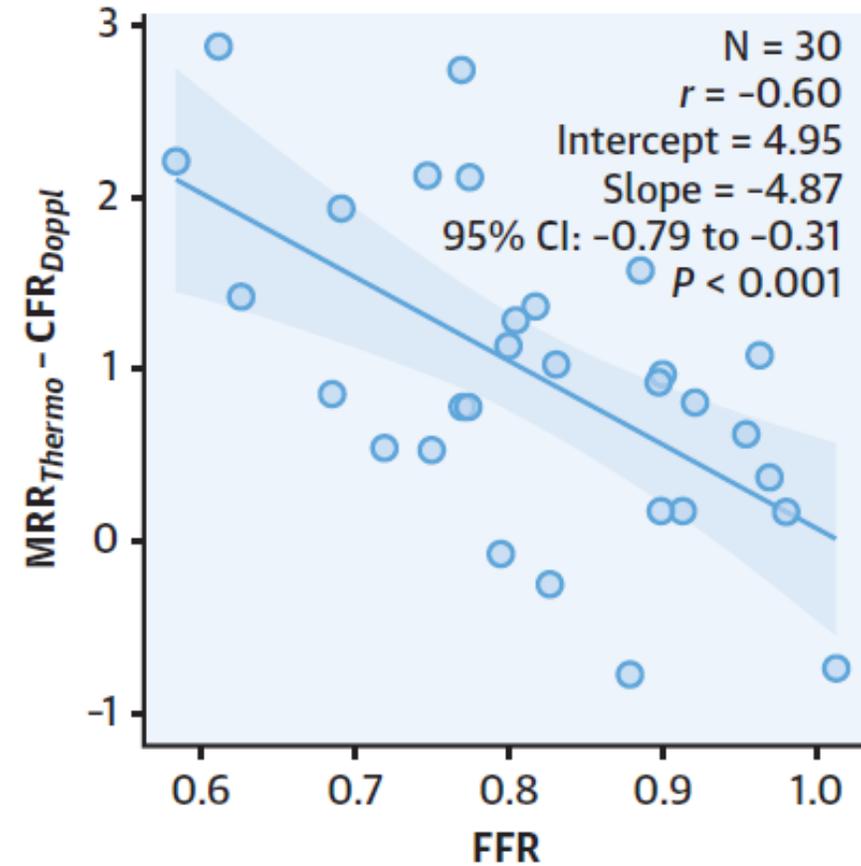
vliv farmakologické  
vasodilatace  
na perfúzní tlaky

- MRR je **nezávislá na epikardiální rezistenci** (tj. stenóze), na mase myokardu
- $CMD < 2,1$   $MRR \geq 2,7$  normální nález

# Rezerva mikrocirkulační rezistence (MRR)



Dobrá shoda MRR získaného dopplerovsky a kontinuální termodiluce.



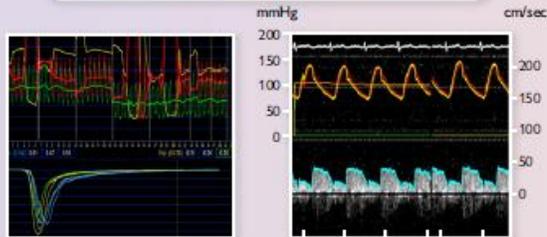
S poklesem FFR se zvětšuje rozdíl mezi MRR a CFR.

# Rezerva mikrocirkulační rezistence - klinická evidence

## Diagnostic and prognostic value of MRR

A novel index of coronary vasodilatory capacity

### Agnostic index



$$MRR = \left( \frac{CFR}{FFR} \right) \times \left( \frac{P_{a,rest}}{P_{a,hyper}} \right)$$

De Bruyne B, Pijls N, Gallinoro E, et al. Microvascular resistance reserve for assessment of coronary microvascular function. *J Am Coll Cardiol.* 2021 Oct. 78 (15) 1541-1549

### Correcting for confounders

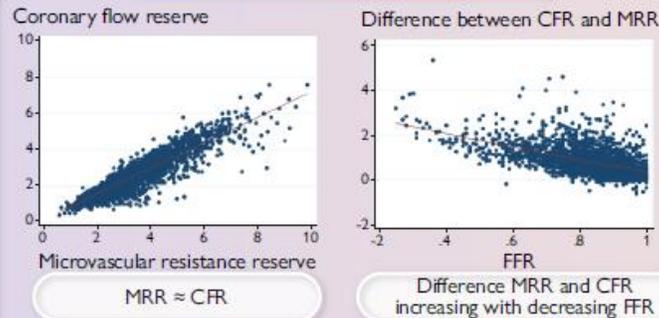
Concomitant epicardial disease



Administration of vasodilatory agents

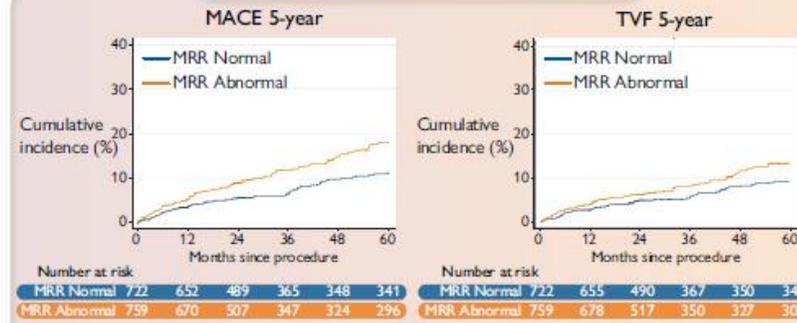


### Diagnostic characteristics



Cut-off value MRR: 3.0

### Prognostic characteristics



MRR independent predictor of MACE and TVF at 5-year follow-up

MRR → nezávislý prediktor MACE a TVF během 5-ti letého sledování.

# Rezerva mikrocirkulační rezistence - klinická evidence

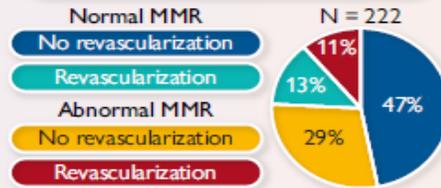
Index of microcirculatory resistance reserve: a stenosis-independent index of coronary vasodilatory capacity

## Microcirculatory resistance reserve

$$MRR = \frac{CFR}{FFR} \times \frac{Pa_{rest}}{Pa_{hyperaemia}}$$

Eliminates resistance by epicardial stenoses and impact of vasodilation indices. MRR has diagnostic and prognostic properties at cut-off  $\leq 3.0$

## Groups by MRR and revascularization



Patients with chest pain and moderate coronary stenoses undergoing invasive physiology, baseline and follow-up interviews and myocardial perfusion imaging

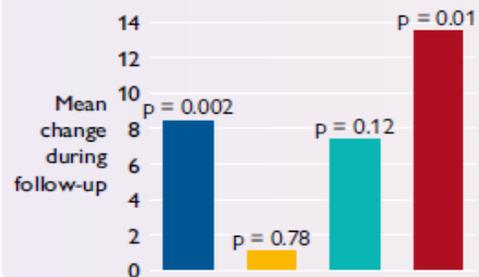
## Follow-up outcomes



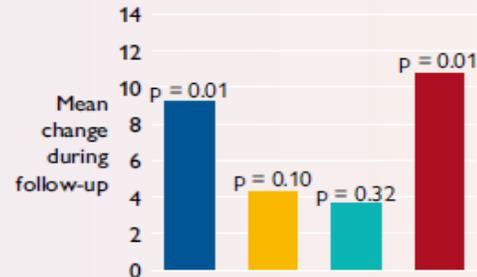
Changes during follow-up:

- Seattle Angina Questionnaire (SAQ)
- PET measurements

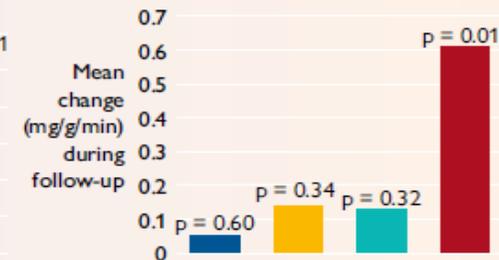
## SAQ angina frequency score



## SAQ summary score



## Hyperemic blood flow



In patients with moderate coronary stenoses, MRR identifies patients who benefit from revascularization

U nemocných s hraničně významnou stenózou by mohlo MRR předpovědět symptomatický i perfúzní přínos revaskularizace.

# Kontinuální termodiluce

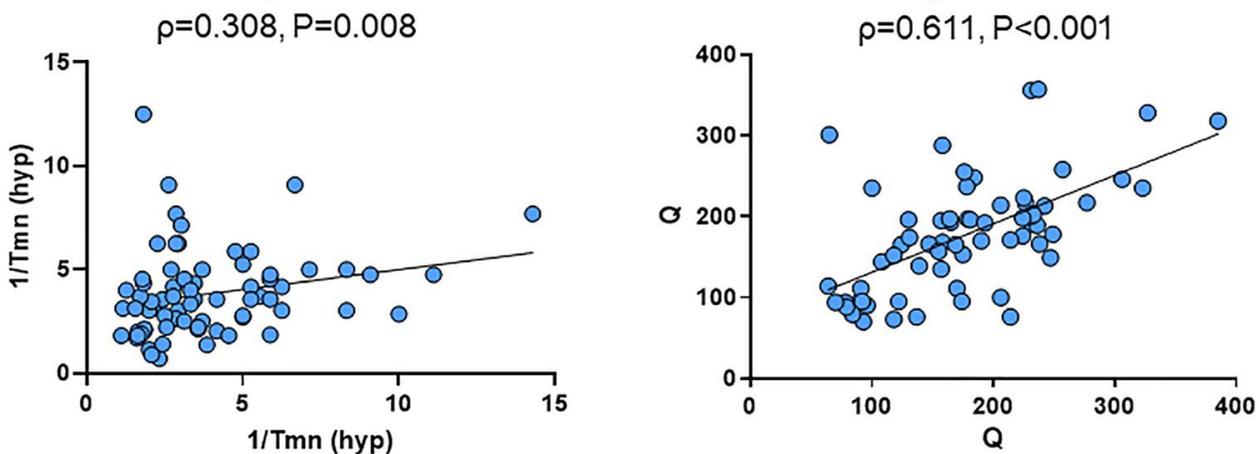
- Výhody:
  - stanovení absolutních hodnot průtoku a rezistence
  - nezávislost na operátorovi, dobrá reprodukovatelnost
  - nepodává se adenosin
- Nevýhody:
  - výkon nemá kód
  - katétra nehradí pojišťovna

# Bolusová vs. kontinuální termodiluce

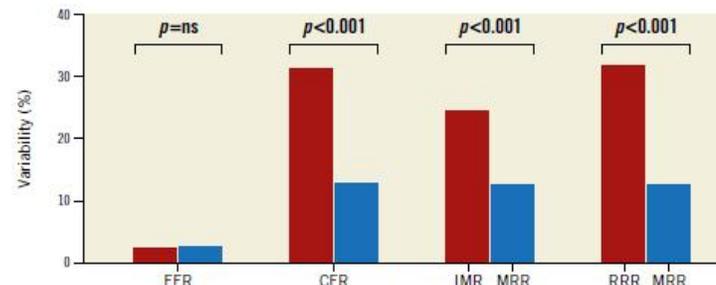
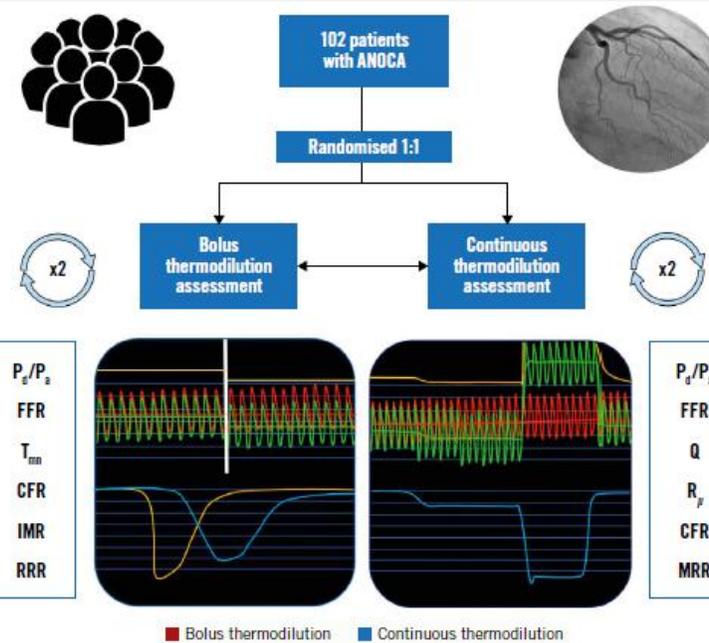
## EDIT-CMD Substudy

Coronary Flow: correlation of repeated hyperemic 1/Tmn (bolus) versus Q (continuous)

\*P=0.025



Jansen et al. JACC Cardiovasc Interv. 2023;16:872-874.



Galinoro et al. EuroIntervention 2023;19:e155-e166.

Lepší korelace opakovaného měření při užití kontinuální vs. bolusové termodiluce

# Závěr

- Pro zařazení invazivního komplexního vyšetření koronární fyziologie je klíčová jeho jednoduchost a dobrá reprodukovatelnost minimálně závislá na operatérovi.
- Přímé měření koronárního průtoku a mikrocirkulační rezistence pomocí kontinuální termodiluce nabízí metodu, která by mohla napomoci standardizaci provádění evaluace mikrovaskulární dysfunkce v rutinní praxi.



**FN MOTOL**



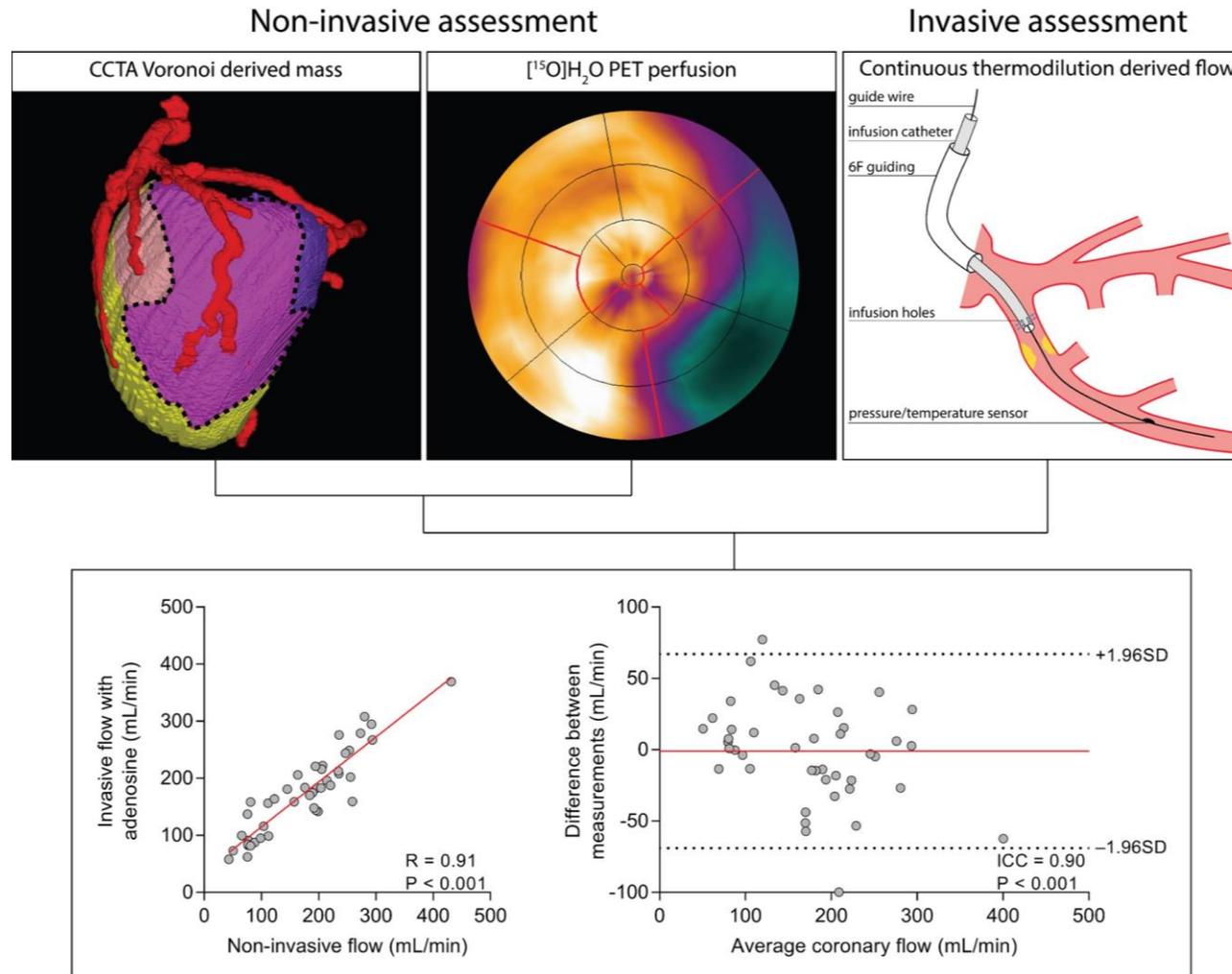
**KARDIOLOGICKÁ  
KLINIKA**



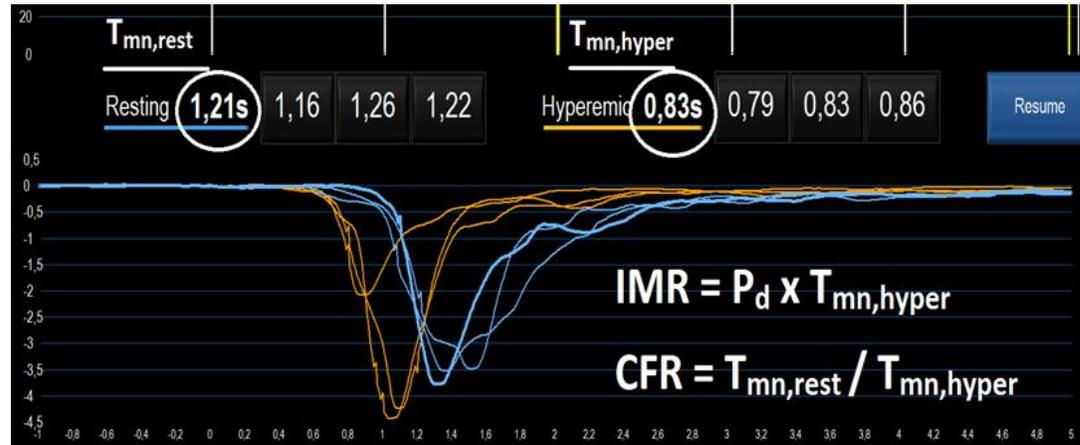
**2. LF UK**

**Děkuji za pozornost!**

# Kontinuální termodiluce – validace pomocí PET



# Bolusová termodiluce



- Průtok odhadujeme z křivky znázorňující střední dob přenosu indikátoru krví (mean transit time;  $T_{mn}$ )
- $Q = V / T_{mn}$   $V =$  objem cévy, je konstantní, proto je  $T_{mn}$  nepřímo úměrné  $Q$  ( $Q \approx 1 / T_{mn}$ )
- nezískáme absolutní hodnotu průtoku, ale můžeme využít  $T_{mn}$  jako ukazatel průtoku (čím je menší  $T_{mn}$ , tím je větší  $Q$ )
- Koronární průtoková rezerva ( $CFR = T_{mn,rest} / T_{mn,hyper}$ )

# Bolusová termodiluce - Index mikrocirkulační rezistence

- Vychází z Ohmova zákona ( $R=P/Q$ )
- Absolutní minimální rezistence mikrocirkulace se rovná podílu tlaků difference v dané oblasti a hyperemického průtoku v této oblasti:

$$R = \frac{P_d - P_v}{Q} \quad P_d = \text{tlak v distální části koronární tepny; } P_v = \text{žilní koronární tlak}$$

$P_v$  je zanedbatelný ve srovnání s  $P_d$  a za předpokladu, že  $Q \approx 1/T_{mn}$ :

$$R \approx P_d / 1/T_{mn} \text{ resp. } IMR = P_d \cdot T_{mn} \text{ hyper}$$

- IMR - bezrozměrné číslo (norma < 25)

# Kontinuální termodiluce

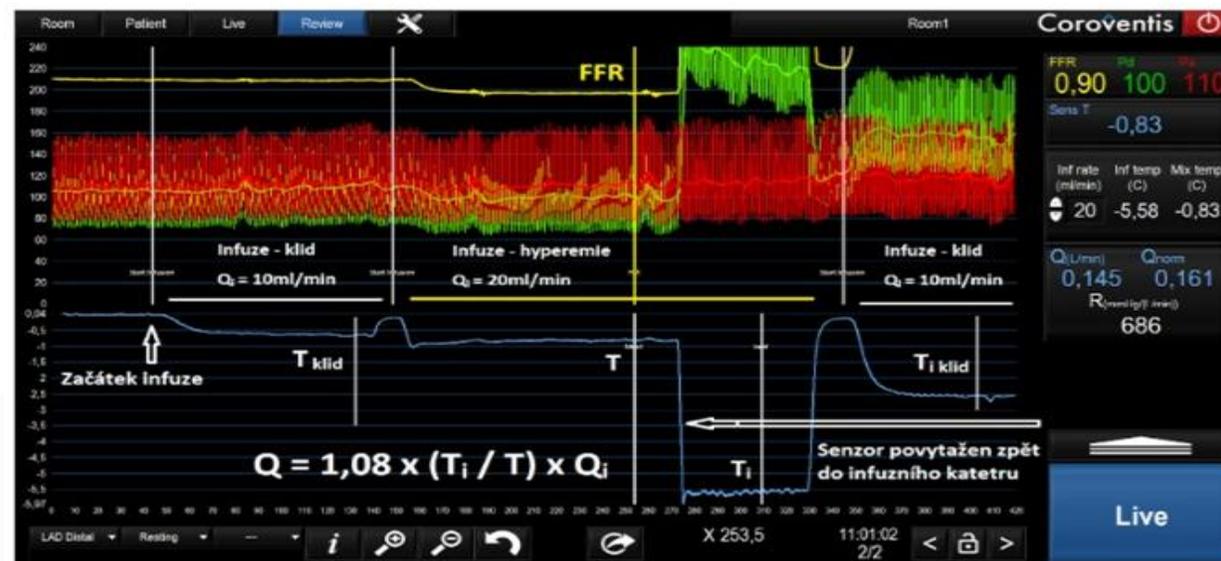
- “trojčlenka“ (předpoklad minimální výměny tepla se stěnou tepny a homogenního rozptýlení indikátoru - FR v krvi ve známém a konstantním objemu):

$$Q = 1,08 (T_b - T_i / T_b - T) Q_i$$

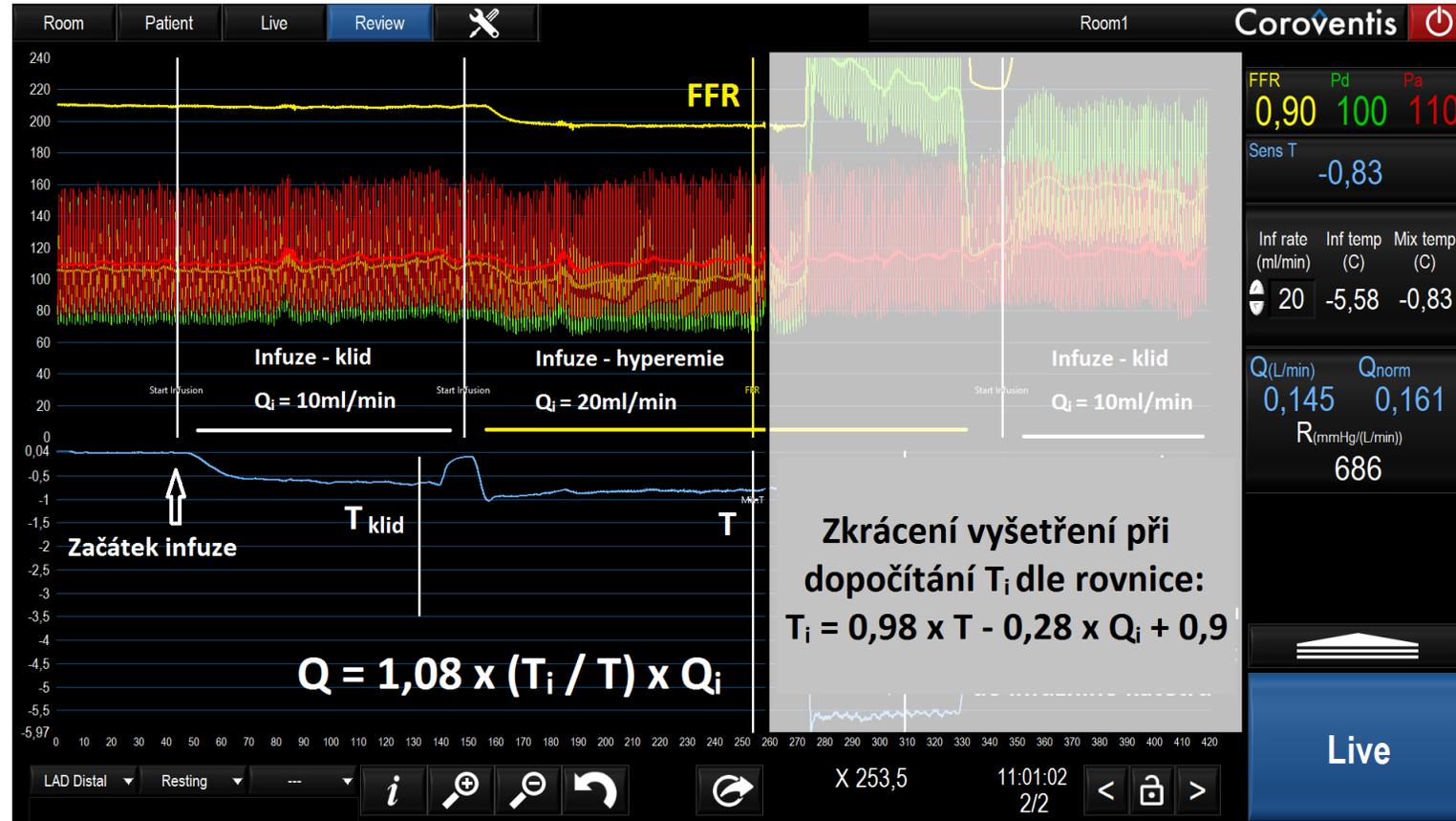
$Q_i$  = rychlost infuze FR pokojové teploty (obvykle 8-25ml/min);  $T$  = teplota směsi indikátoru a krve distálně v koronární tepně;  $T_b$  = teplota krve;  $T_i$  = teplota FR v místě vstupu do koronární tepny (tj. proximálně)

- Pokud  $T_b$  určíme jako výchozí („nulovou“) hodnotu,  $T_i$  a  $T$  pak odpovídají změnám teploty proti výchozí hodnotě a vzorec můžeme zjednodušit na :

$$Q = 1,08 (T_i / T) Q_i$$



# Kontinuální termodiluce – zjednodušená verze



$Q$  – průtok,  $Q_i$  – průtok infuze,  $T_i$  – teplota infuze,  $T$  – teplota změřená v distální části,  
FR – fyziologický roztok, FFR – frakční průtoková rezerva,  $P_a$  – aortální tlak,  $P_d$  – distální tlak.