



1. LÉKAŘSKÁ FAKULTA  
UNIVERZITY KARLOVY V PRAZE



# Zobrazovací možnosti při vyšetřování koronárních tepen

**Tomáš Kovárník**

**II. interní klinika kardiologie a angiologie  
Všeobecná fakultní nemocnice v Praze**





# Zobrazovací techniky koronárních tepen

- Selektivní koronarografie (SKG)
- Intravaskulární ultrazvuk (IVUS)
- Virtuální histologie (VH)
- Optická koherenční tomografie (OCT)
- Near infrared spektroskopie (NIRS)
- Hodnocení smykového tření (ESS)
  
- Nové metody pro hodnocení rizikových faktorů plátu





1. LÉKAŘSKÁ FAKULTA  
UNIVERZITY KARLOVY V PRAZE



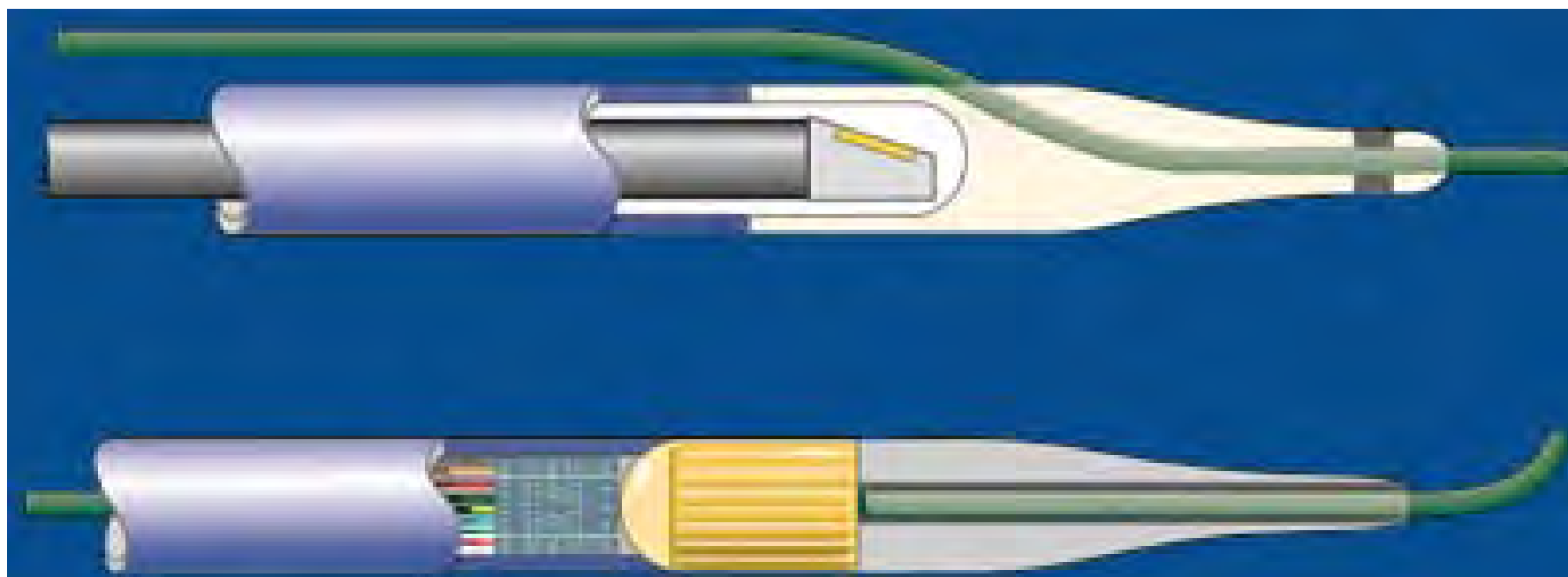
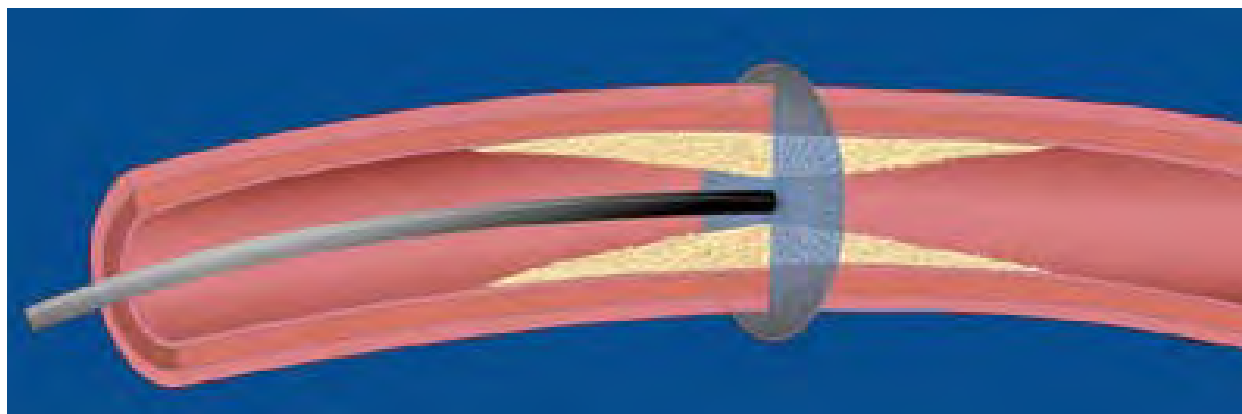
# Intravaskulární ultrazvuk

## IVUS





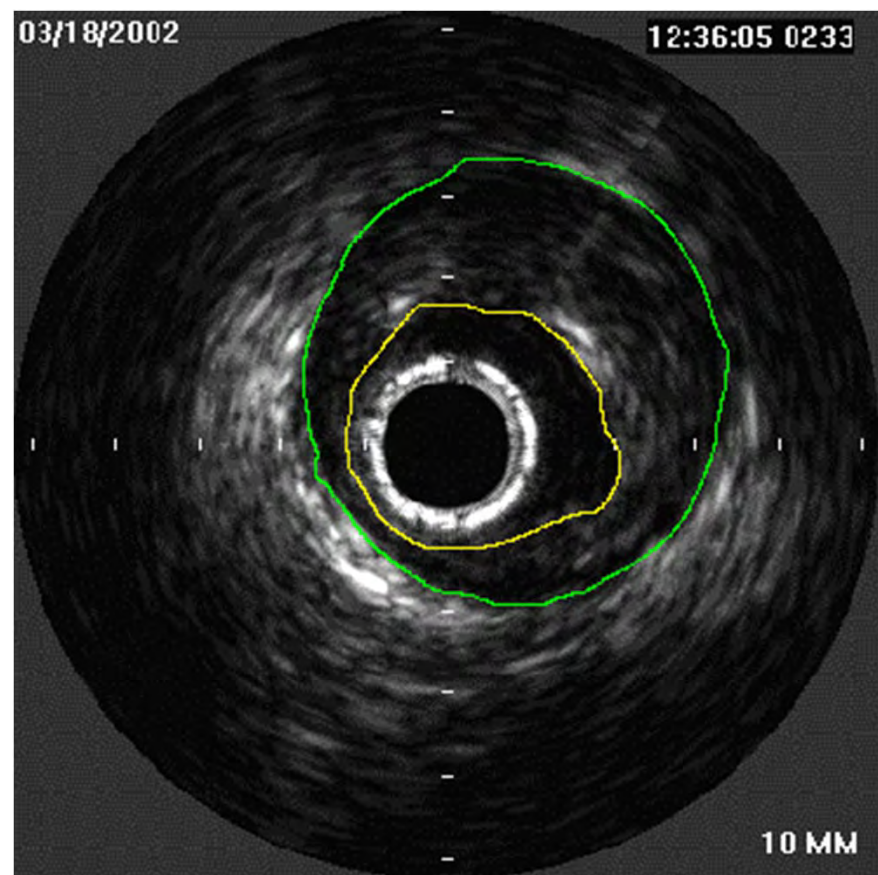
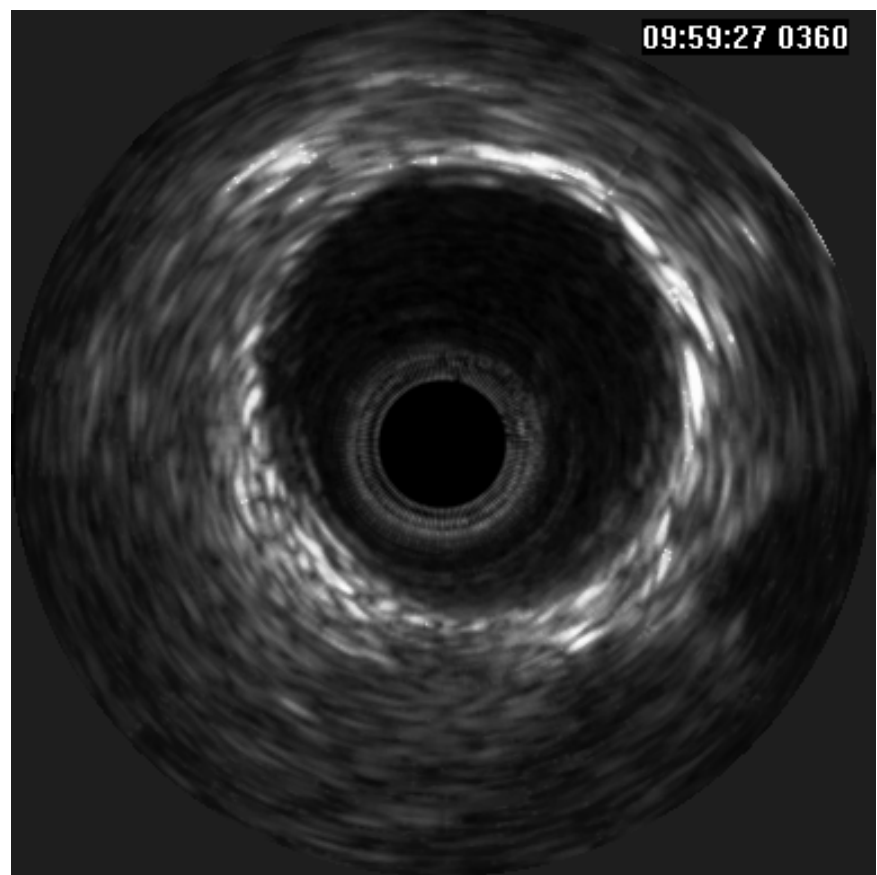
# IVUS





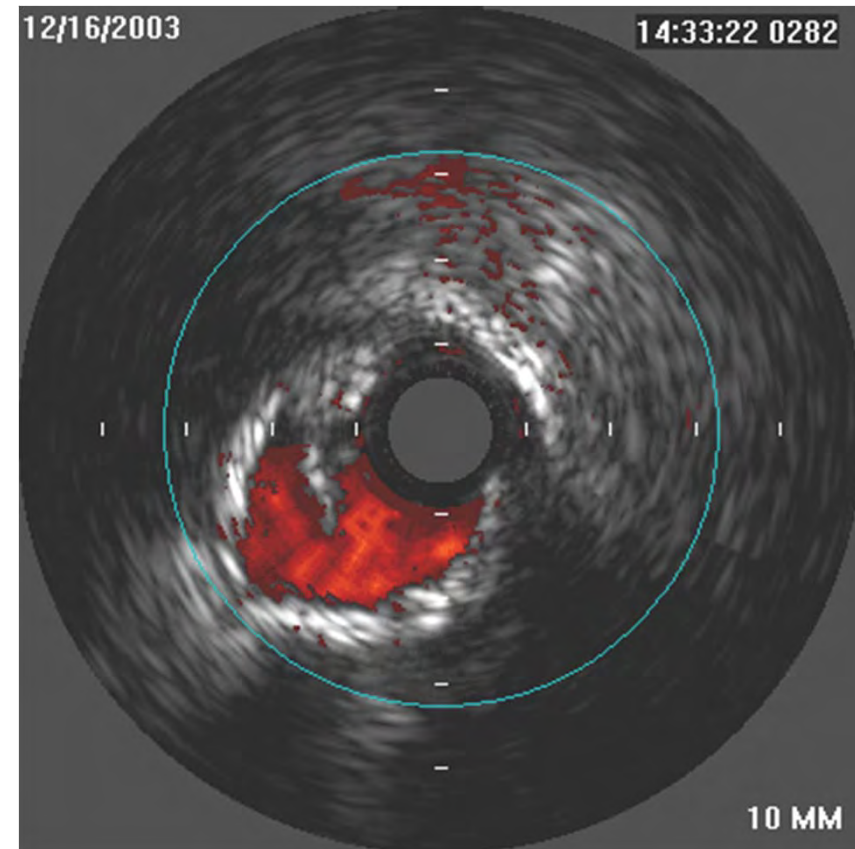
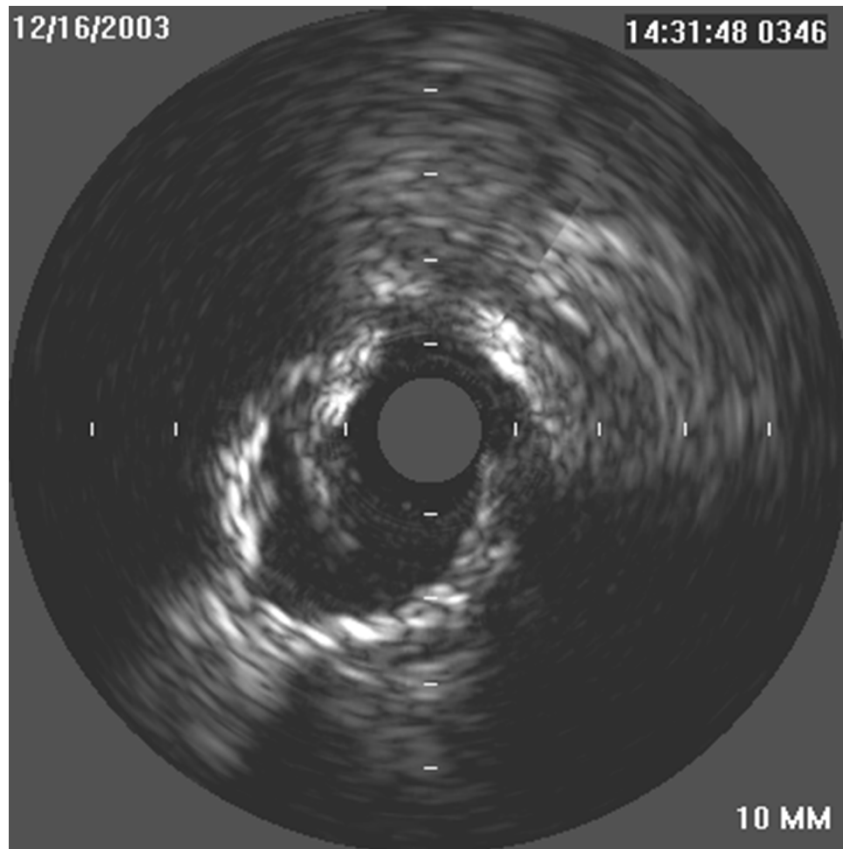


# IVUS

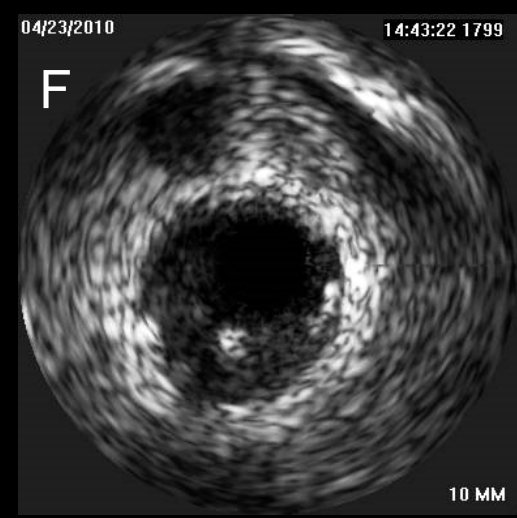
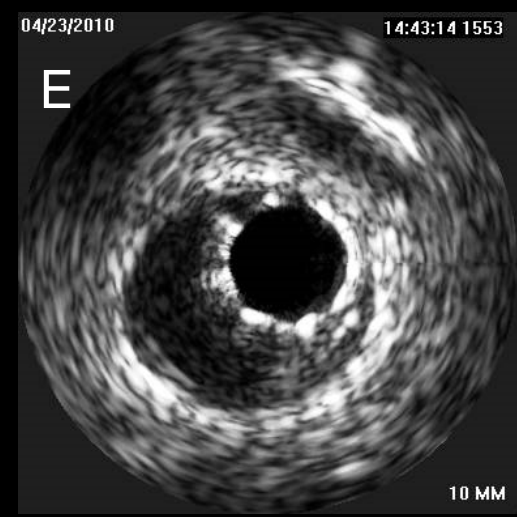
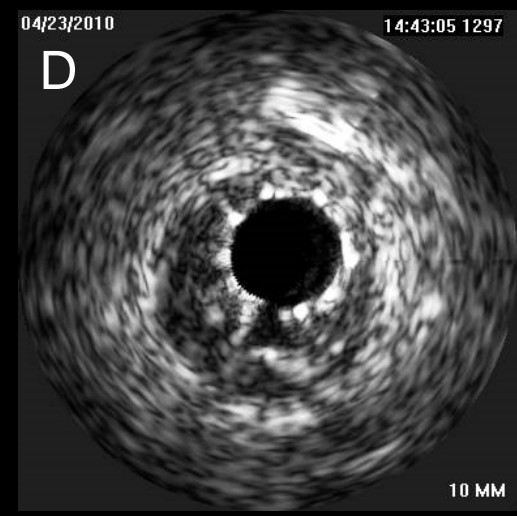
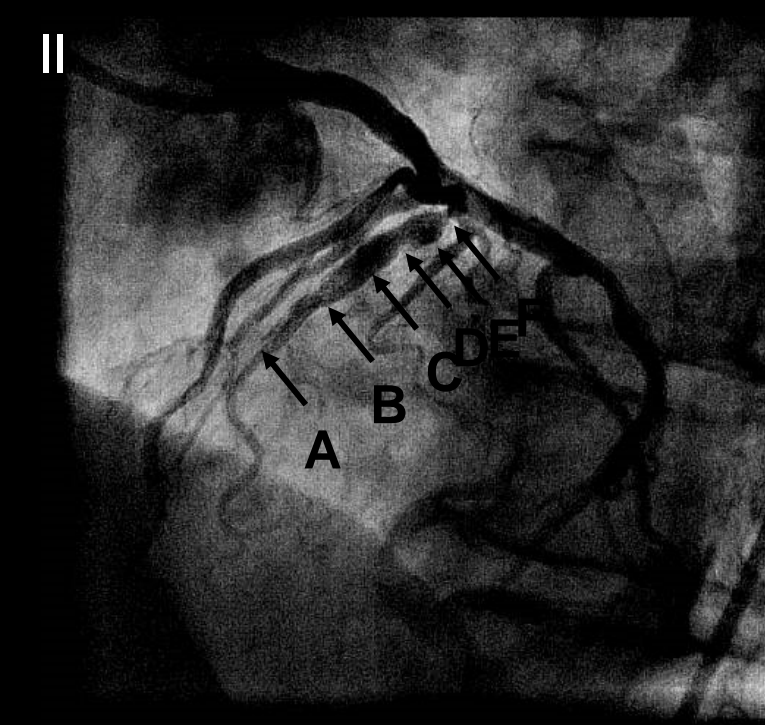
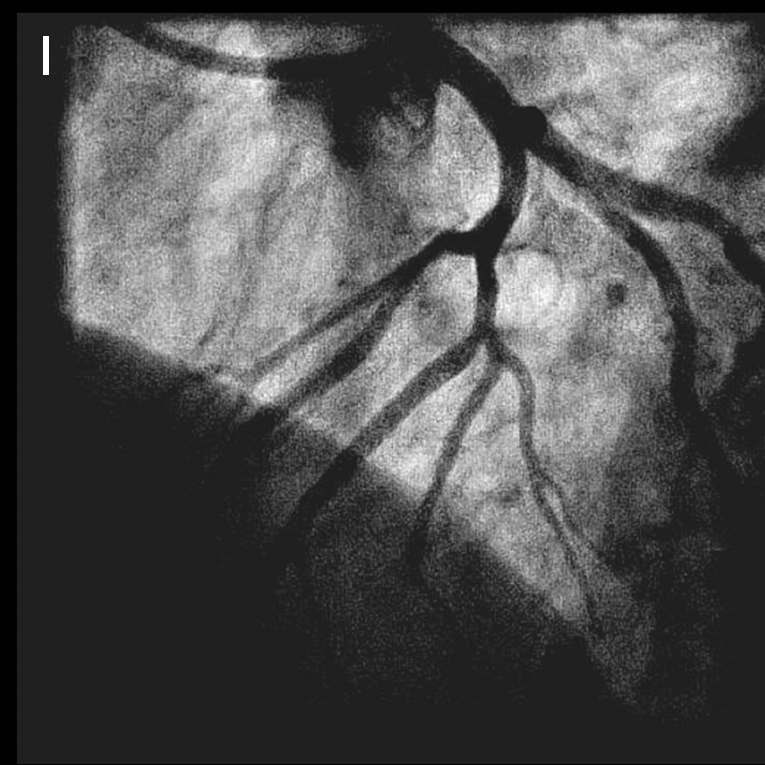
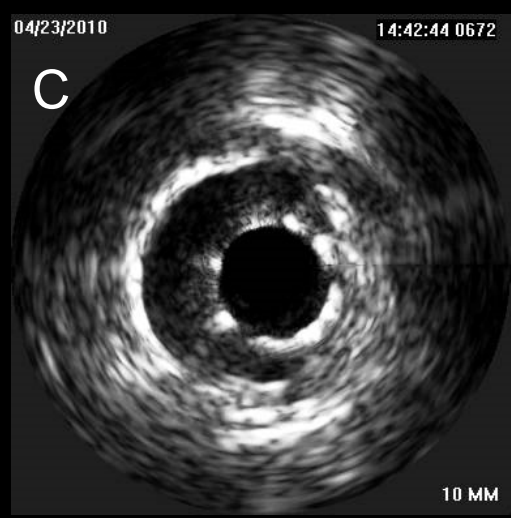
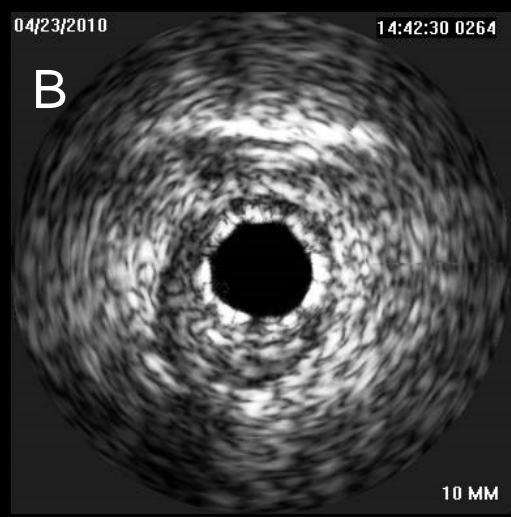
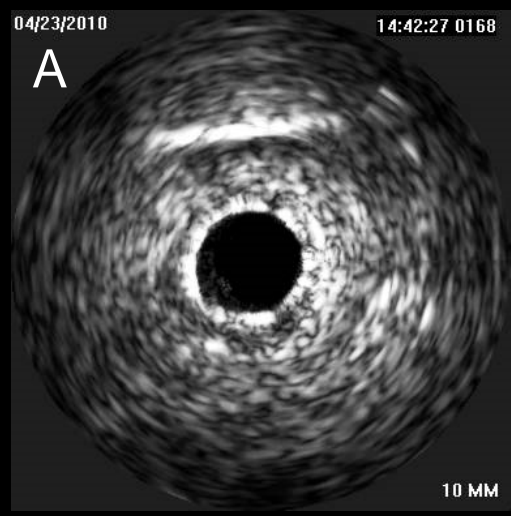




# IVUS při koronárních intervencích

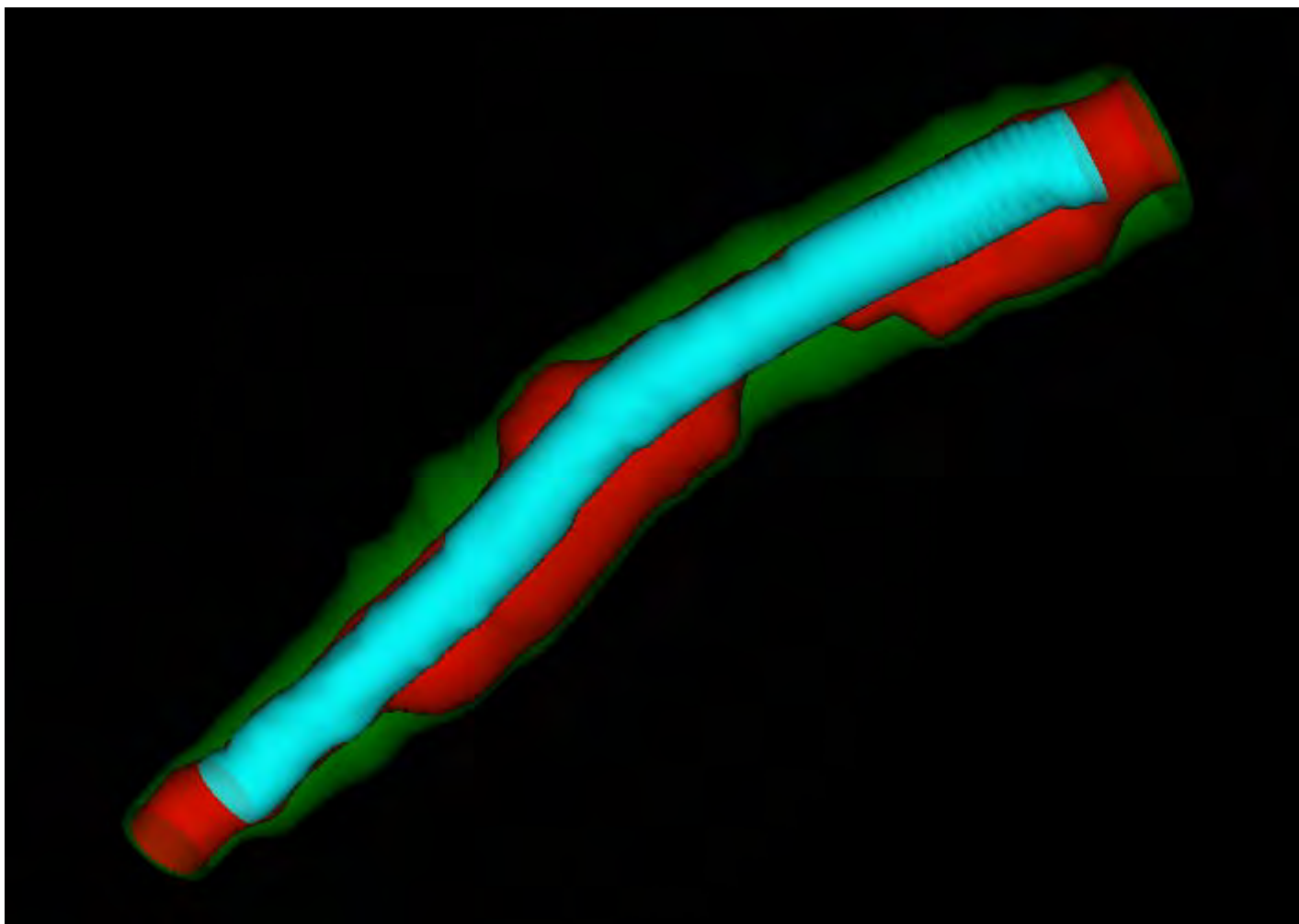




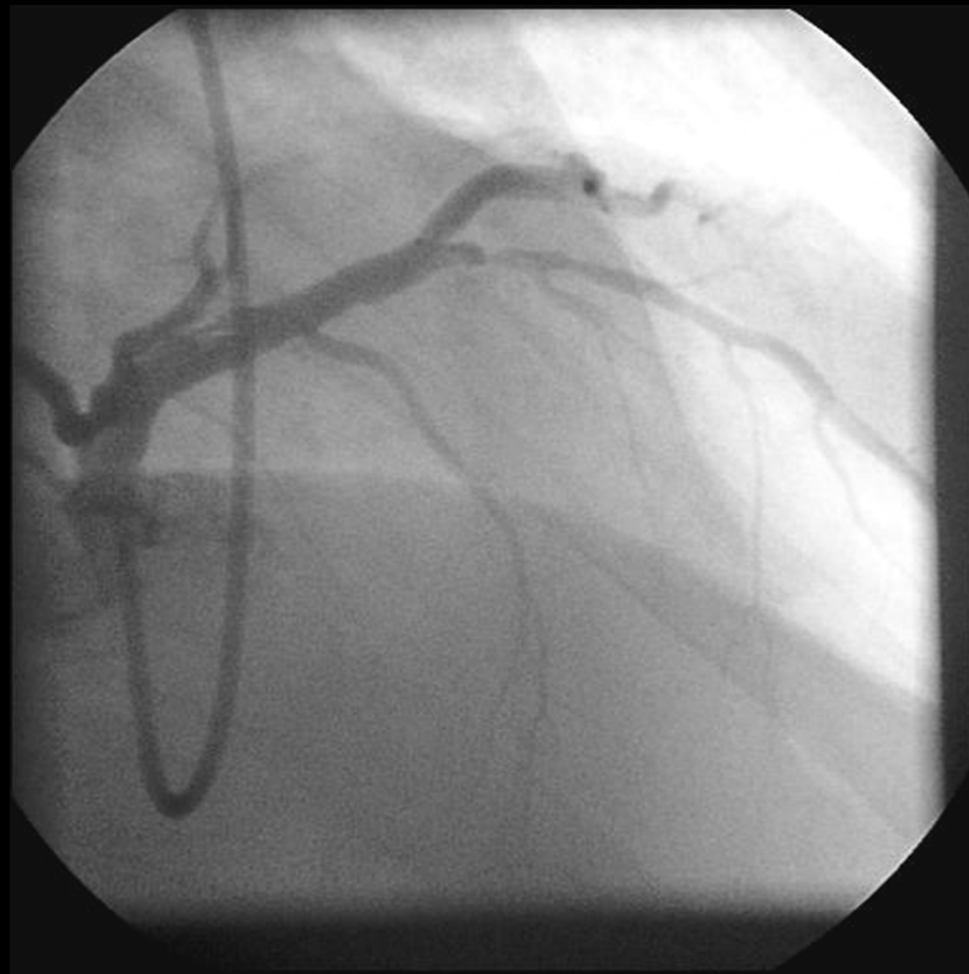
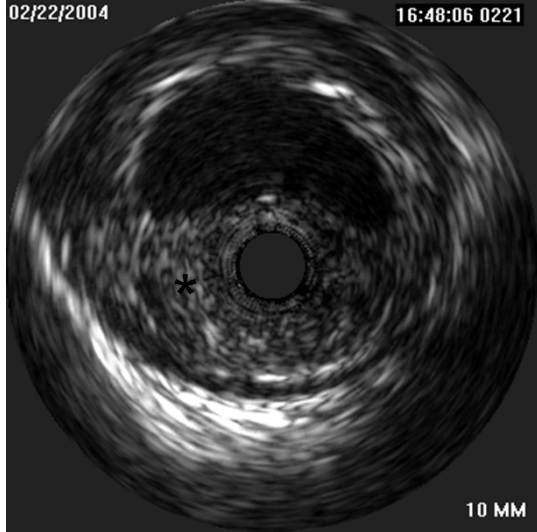
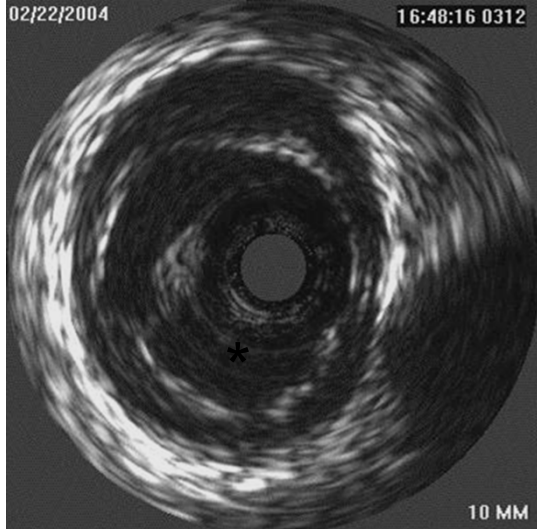




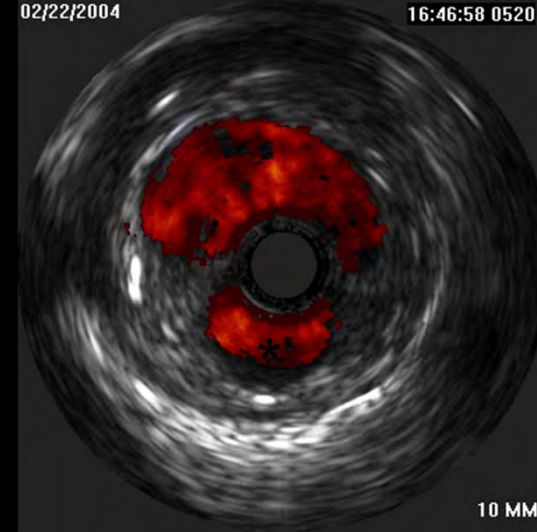
# Pozdní malapozice v BMS stentu po predilataci balónem s paclitaxelem







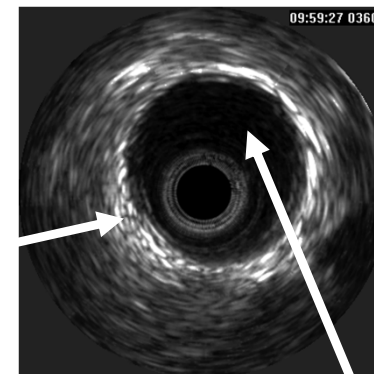
\* falešné lumen



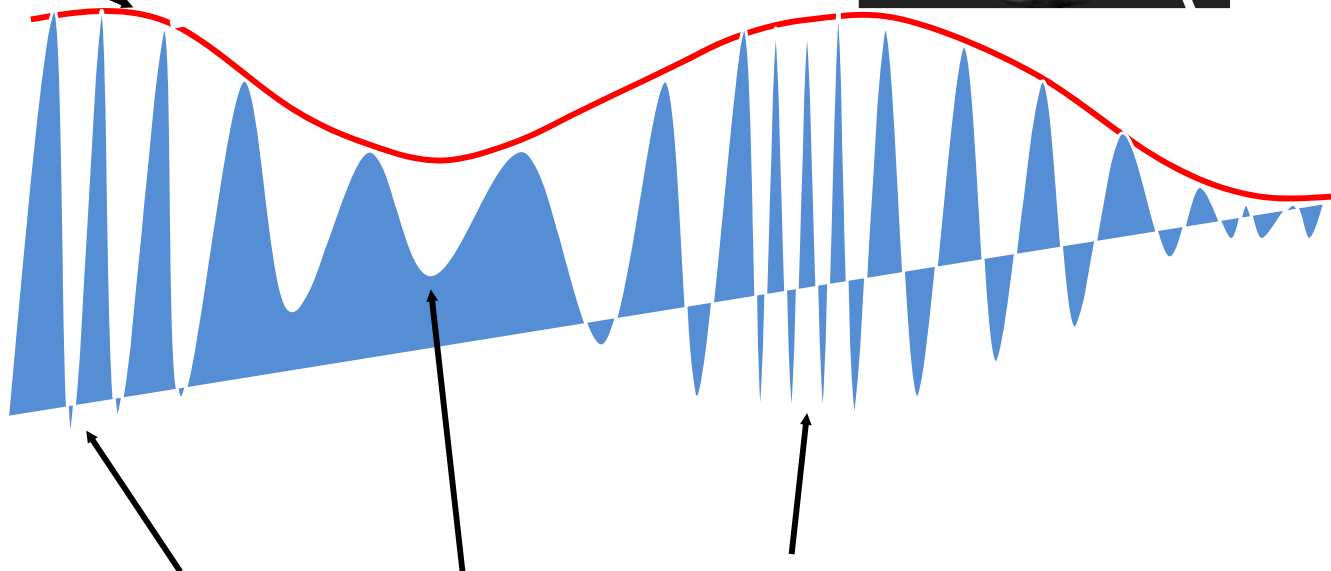


# Princip virtuální histologie (VH)

Amplituda signálu je kódována do černobílého obrazu



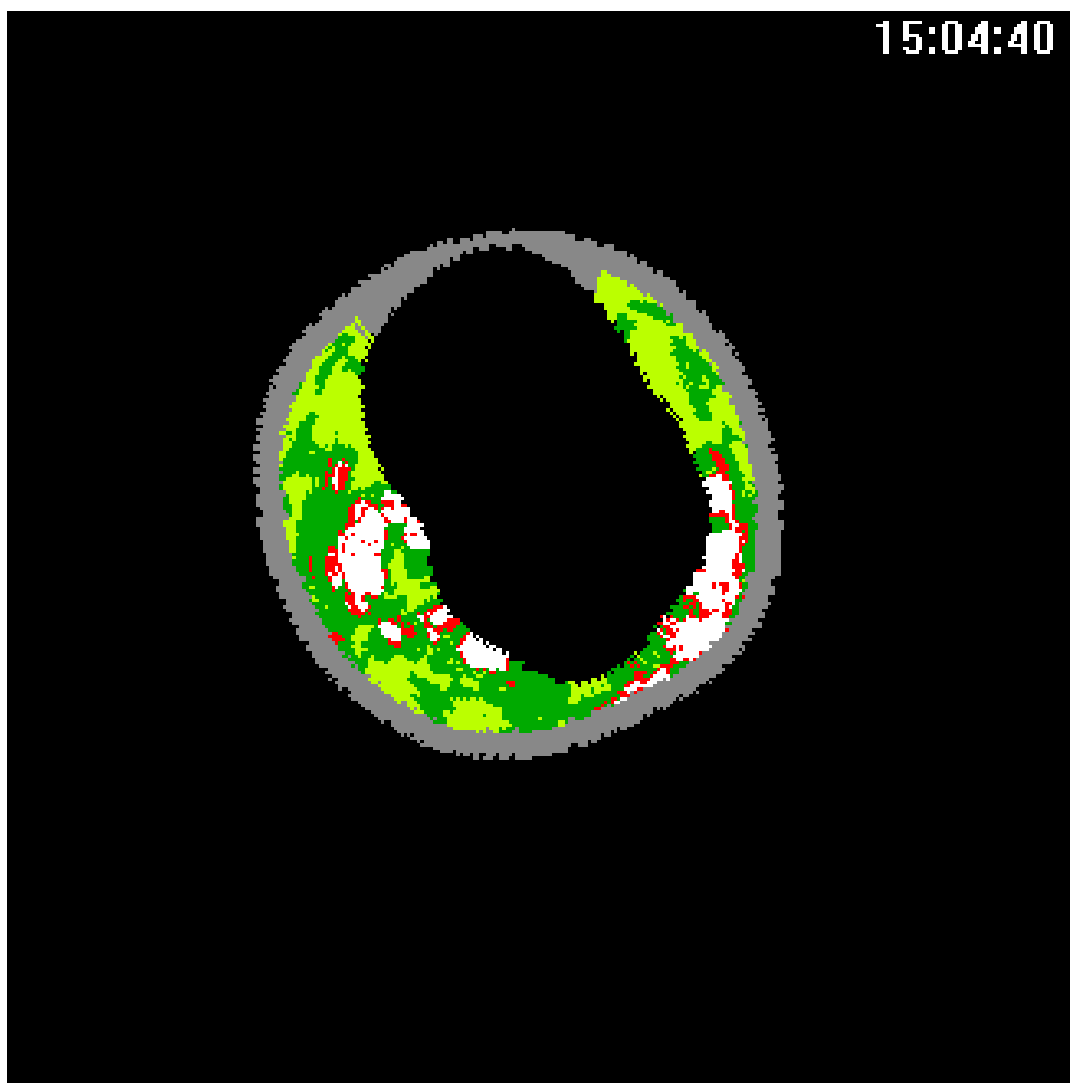
VH využívá  
charakteristické  
frekvence  
jednotlivých tkání



Frekvence signálu se liší v závislosti na složení plátu



# Virtuální histologie



## ➤ Složení plátu:

➤ Kalcifikace

➤ Fibrózní tkáň

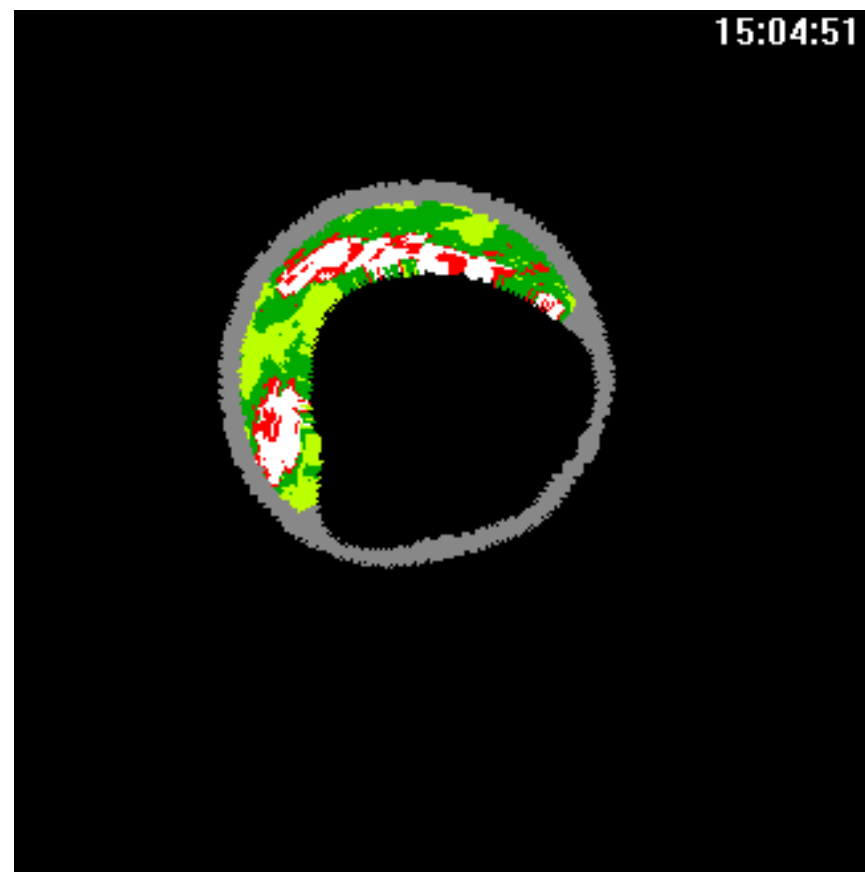
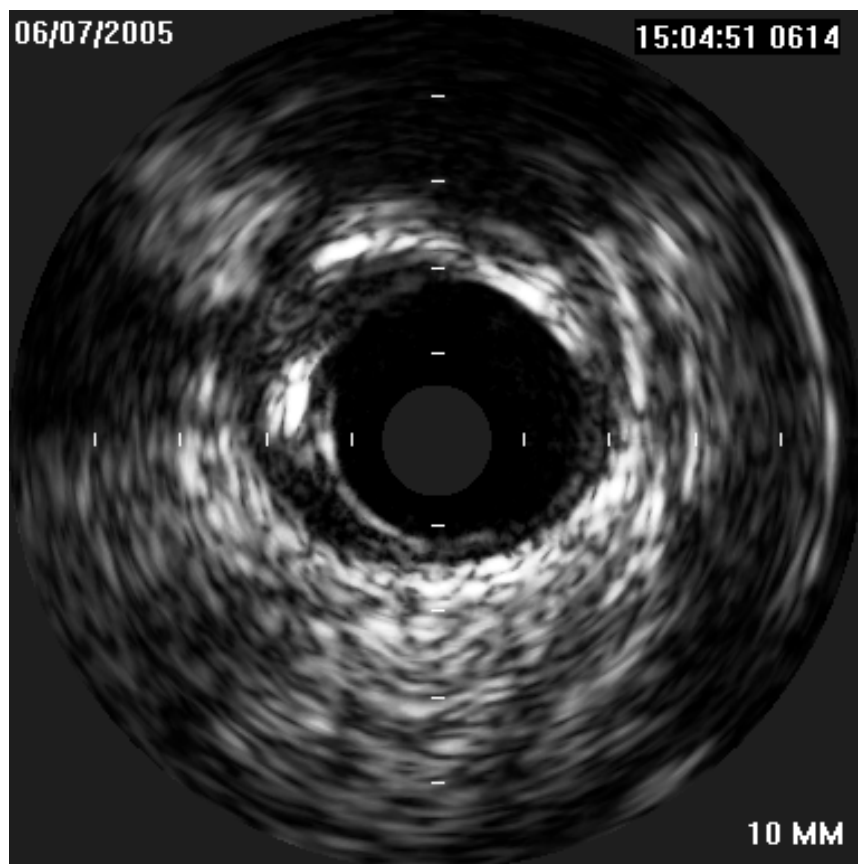
➤ Fibro-lipidová tkáň

➤ Nekrotické jádro





# Virtuální histologie





1. LÉKAŘSKÁ FAKULTA  
UNIVERZITY KARLOVY V PRAZE



# Near infrared spectroscopy

## NIRS





## NIRS - princip

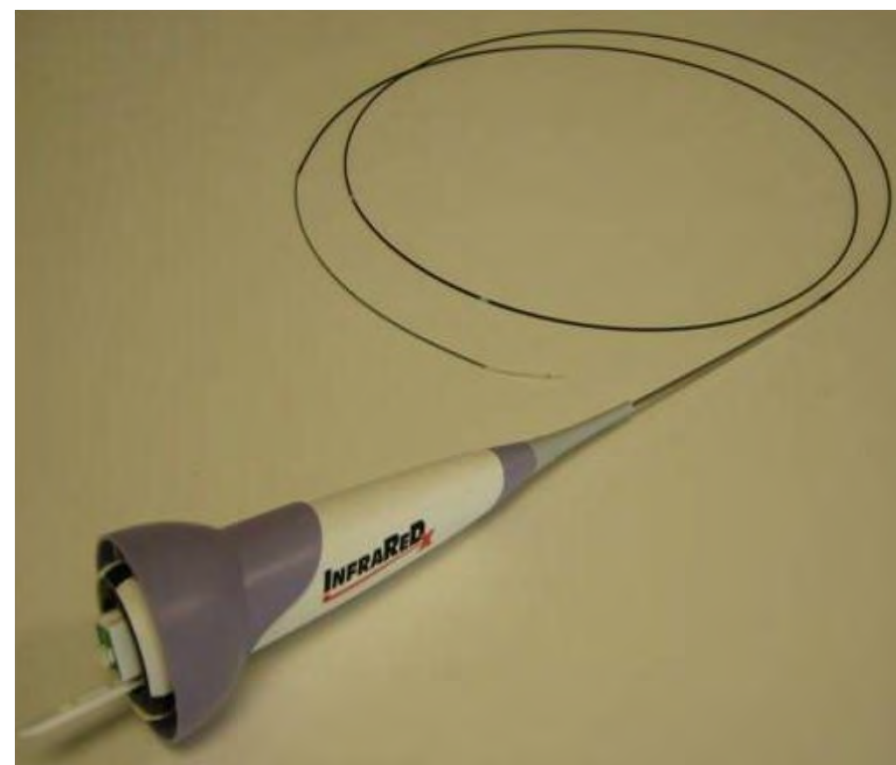
- Near infra-red spectroscopy
- Vysílač emituje světlo o vlnové délce 780-2500 nm
- Světlo je absorbováno tkáněmi v závislosti na jejich složení a částečně odraženo zpět
- Přijímající detektor zachycuje odražené světlo
- Typ získaného signálu (spektrum) je specifický pro tkáň, od které přichází





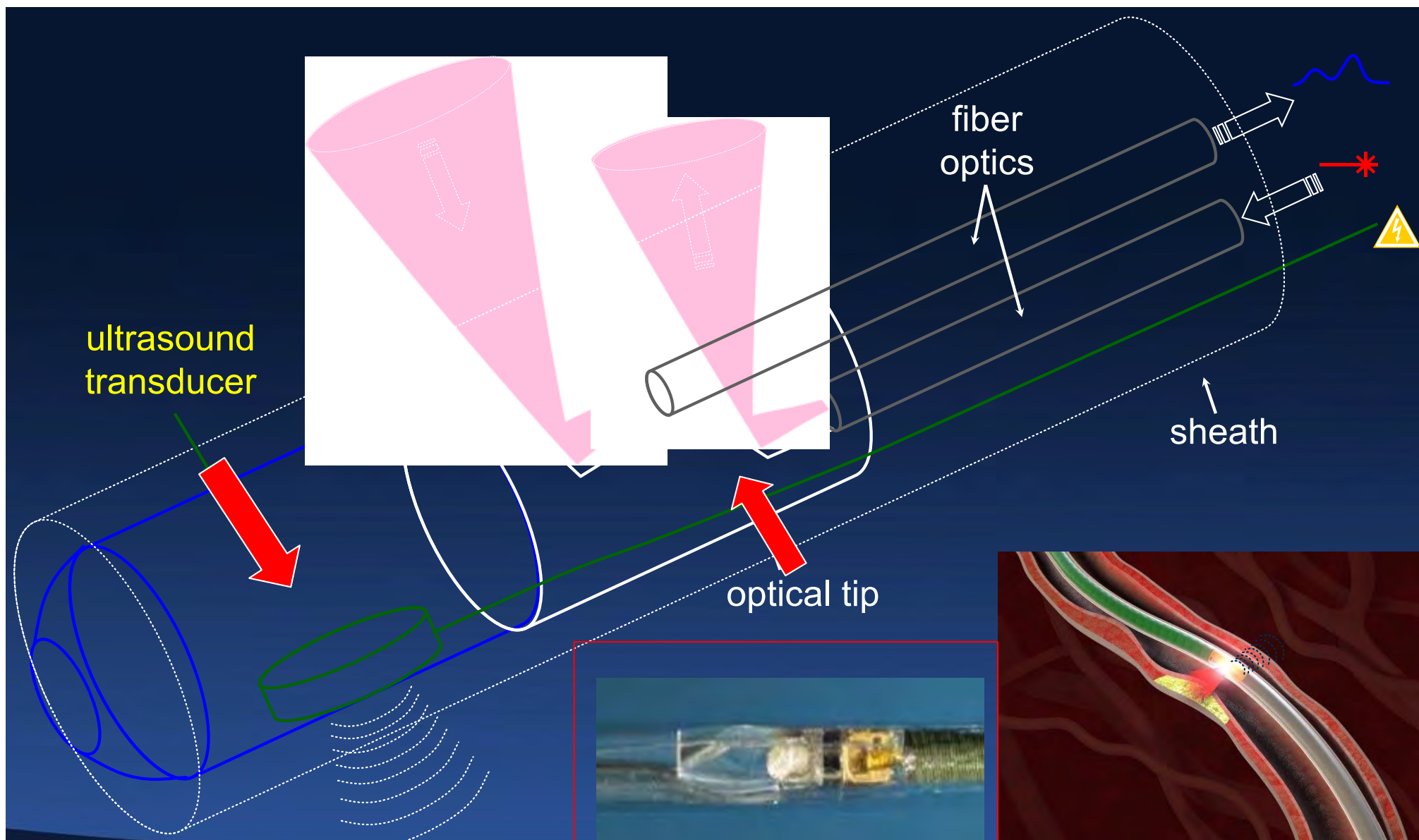


# NIRS: hardware



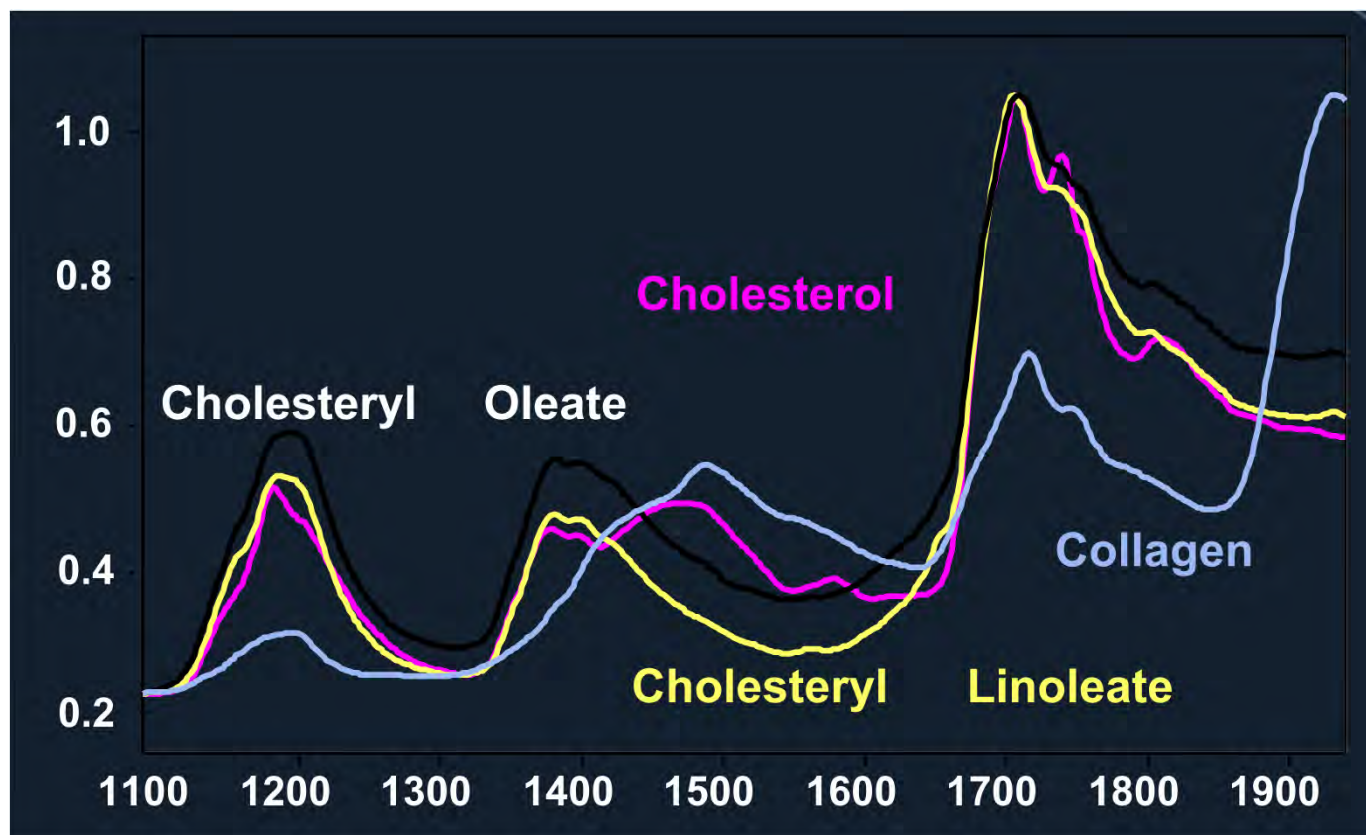


# Kombinovaná sonda: 40 MHz IVUS a NIRS



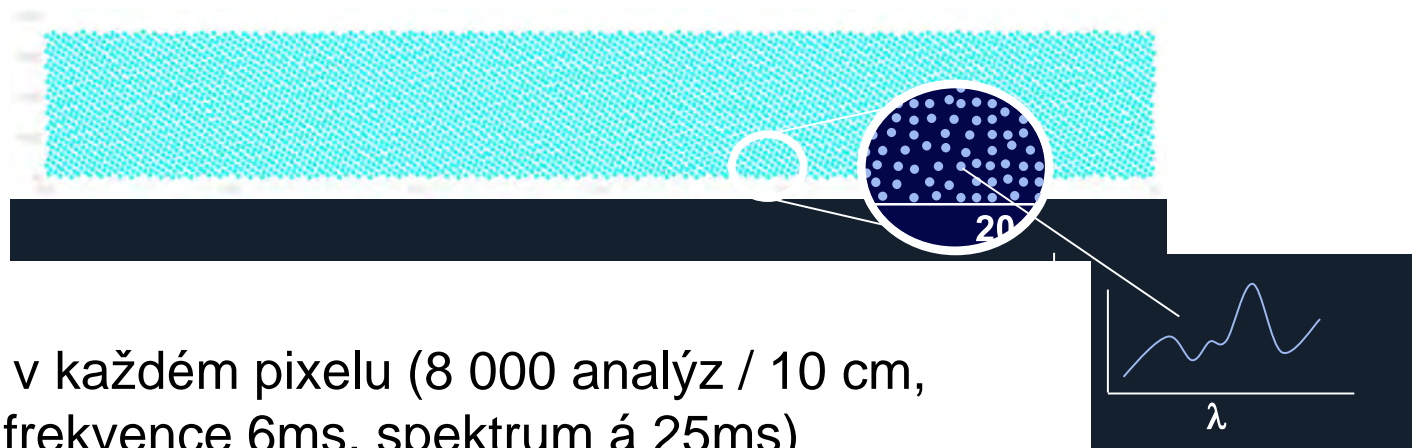


# Absorbční spektra složek plátu



Vlnová délka (nm)





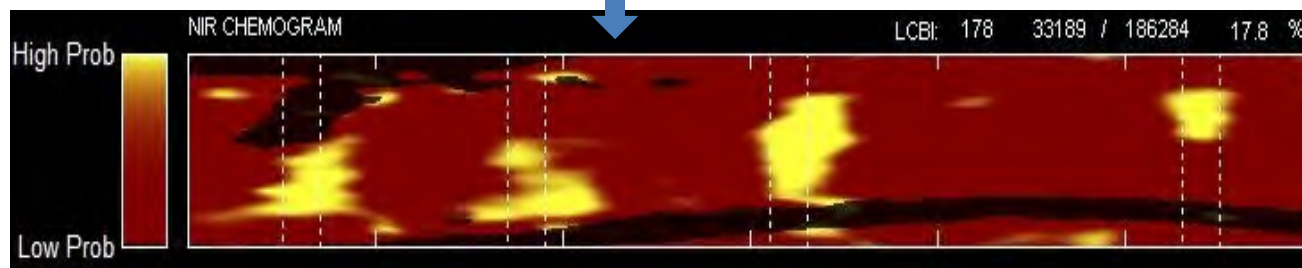
Analýza spektra v každém pixelu (8 000 analýz / 10 cm, skenovací frekvence 6ms, spektrum á 25ms)



Kodování pravděpodobnosti výskytu LCP



Přiřazení barvy každému pixelu (černá = no data)



Obvod tepny



## Vztah nekrotické tkáně a lipidů

- V počátečních fázích aterosklerózy jsou lipidy umístěny intracelulárně
- Nekrózou pěnovitých bb. se lipidy dostávají extracelulárně a formuje se lipidové jádro
- V průběhu vývoje plátu dochází k přechodu F a FF složek na NC a DC
- Precipitované krystaly cholesterolu zůstávají v plátu natrvalo a jsou složkou nestabilních plátů

**→ Nekrotické jádro obsahuje vždy velké množství krystalů cholesterolu**



1. LÉKAŘSKÁ FAKULTA  
UNIVERZITY KARLOVY V PRAZE



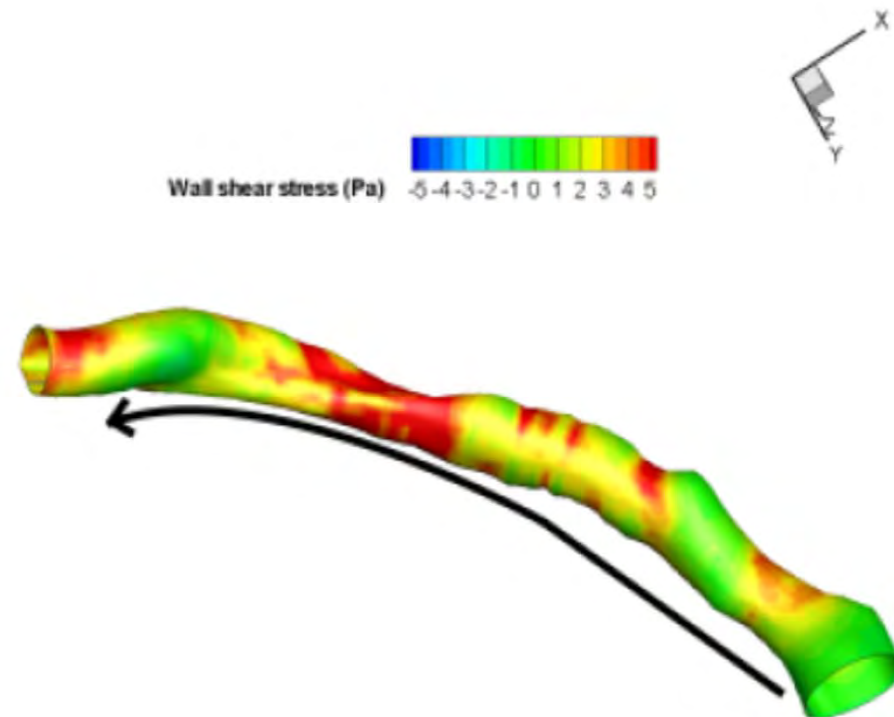
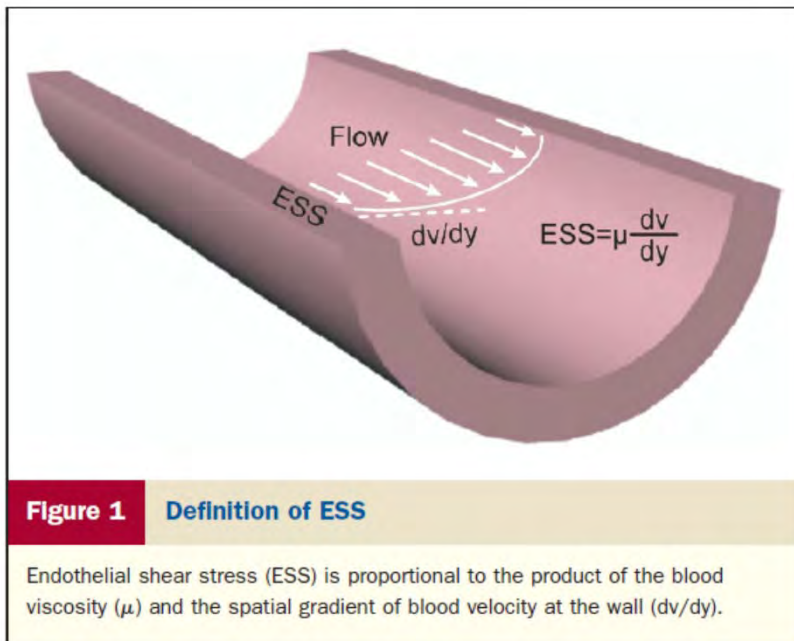
# Endthothelial shear stress

## ESS



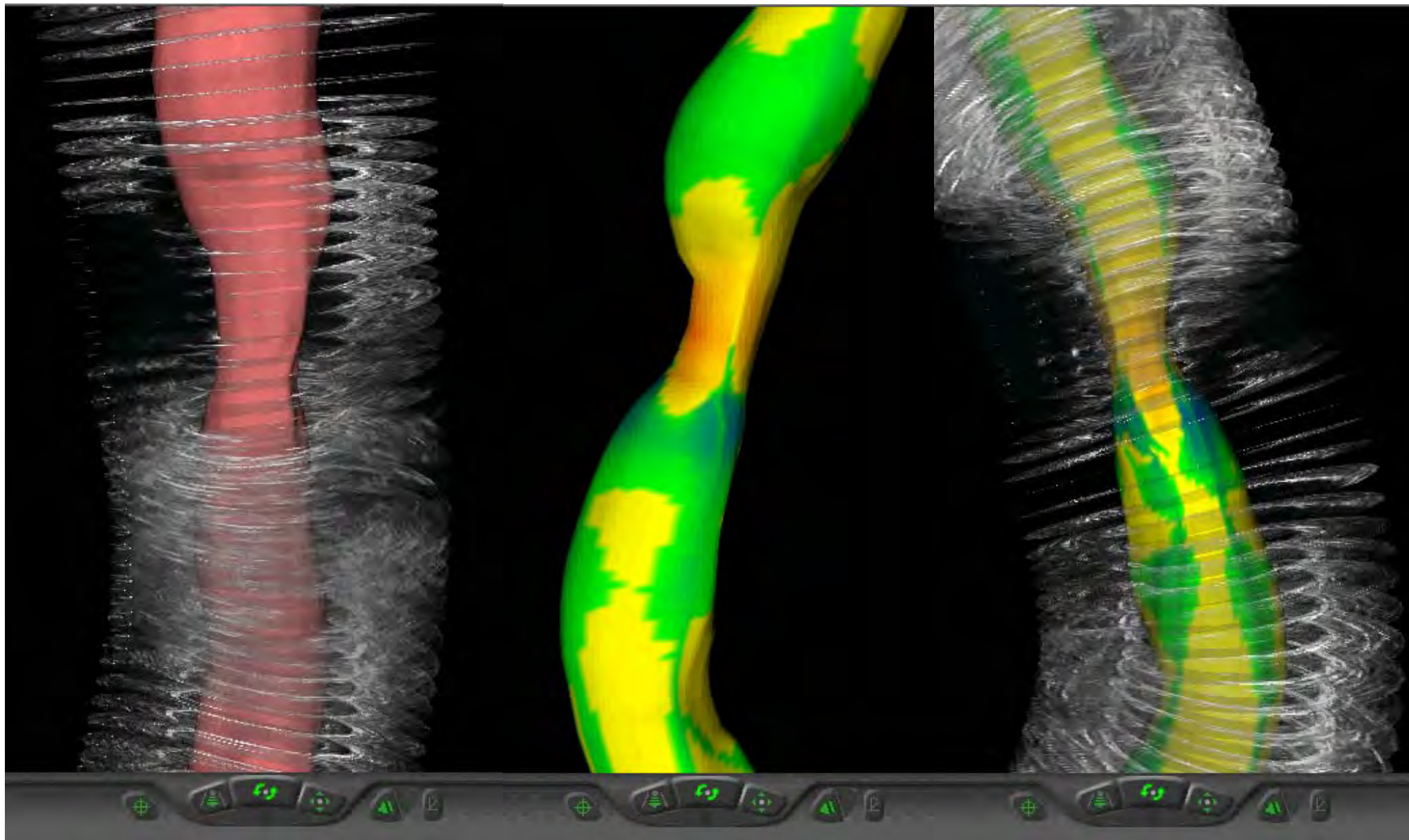


# Wall / endothelial shear stress





# 1. LÉKAŘSKÁ FAKULTA UNIVERZITY KARLOVY V PRAZE







1. LÉKAŘSKÁ FAKULTA  
UNIVERZITY KARLOVY V PRAZE



# Optická koherenční tomografie

## OCT







# Optická koherentní tomografie (OCT)

- Invazivní zobrazovací metoda využívající odrazu infračerveného světla o vlnové délce  $1.3 \mu\text{m}$
- K dosažení cirkulárního obrazu rotuje katétr ve vyšetřované tepně
- Rozlišovací schopnost:
  - Axiální  $10 \mu\text{m}$
  - Laterální  $20\text{-}40 \mu\text{m}$
- Penetrace do tkání  $0,1\text{-}2 \text{ mm}$
- Cirkulární zobrazení  $4\text{-}6 \text{ cm}$



# Systemy pro OCT

- Time-domain OCT (TD-OCT)
  - Nutnost okluze tepny
- Fourier-domain OCT (FD-OCT)
  - Nutnost proplachování tepny



3D

L-Mode

Lumen Profile

MLA

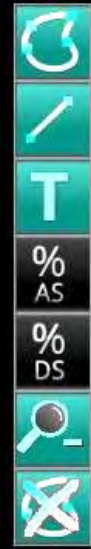
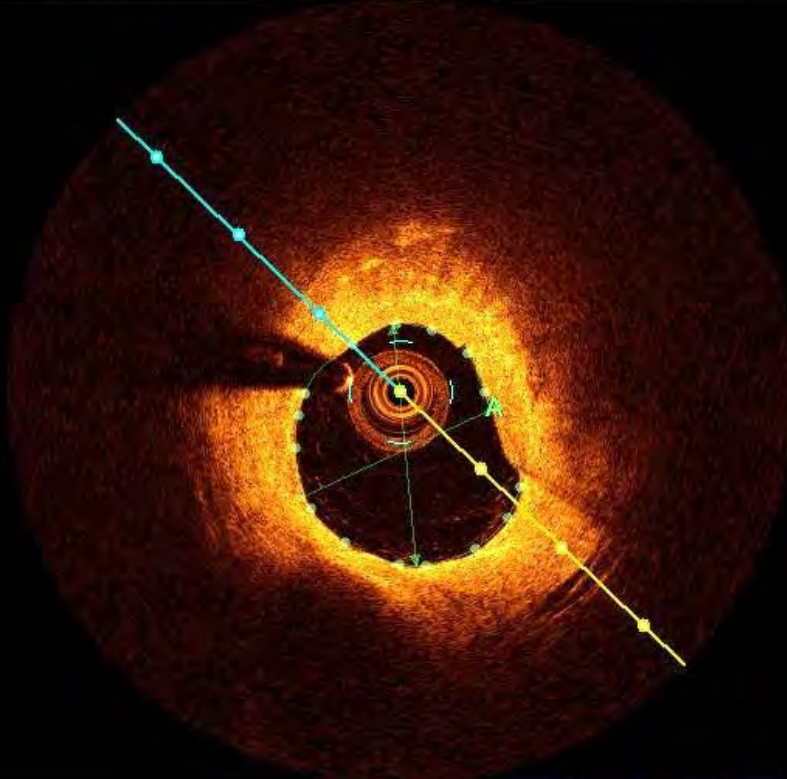
%AS

%DS

Measurements

**A Lumen Profile:**  
Area: 3.24mm<sup>2</sup>  
Mean Diameter: 2.03mm  
Min: 1.83mm Max: 2.15mm

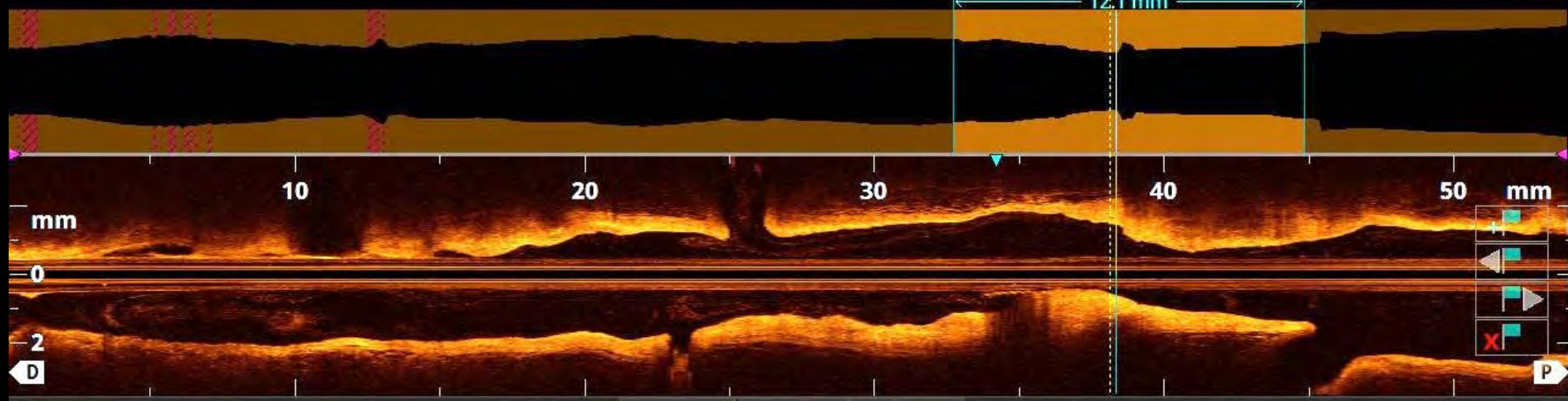
0383



1 mm

Ø=2.91mm DS=30.6%    MLA 3.20mm<sup>2</sup> Ø=2.02mm, DS=26.8%    Ø=2.61mm DS=22.6%

12.1 mm



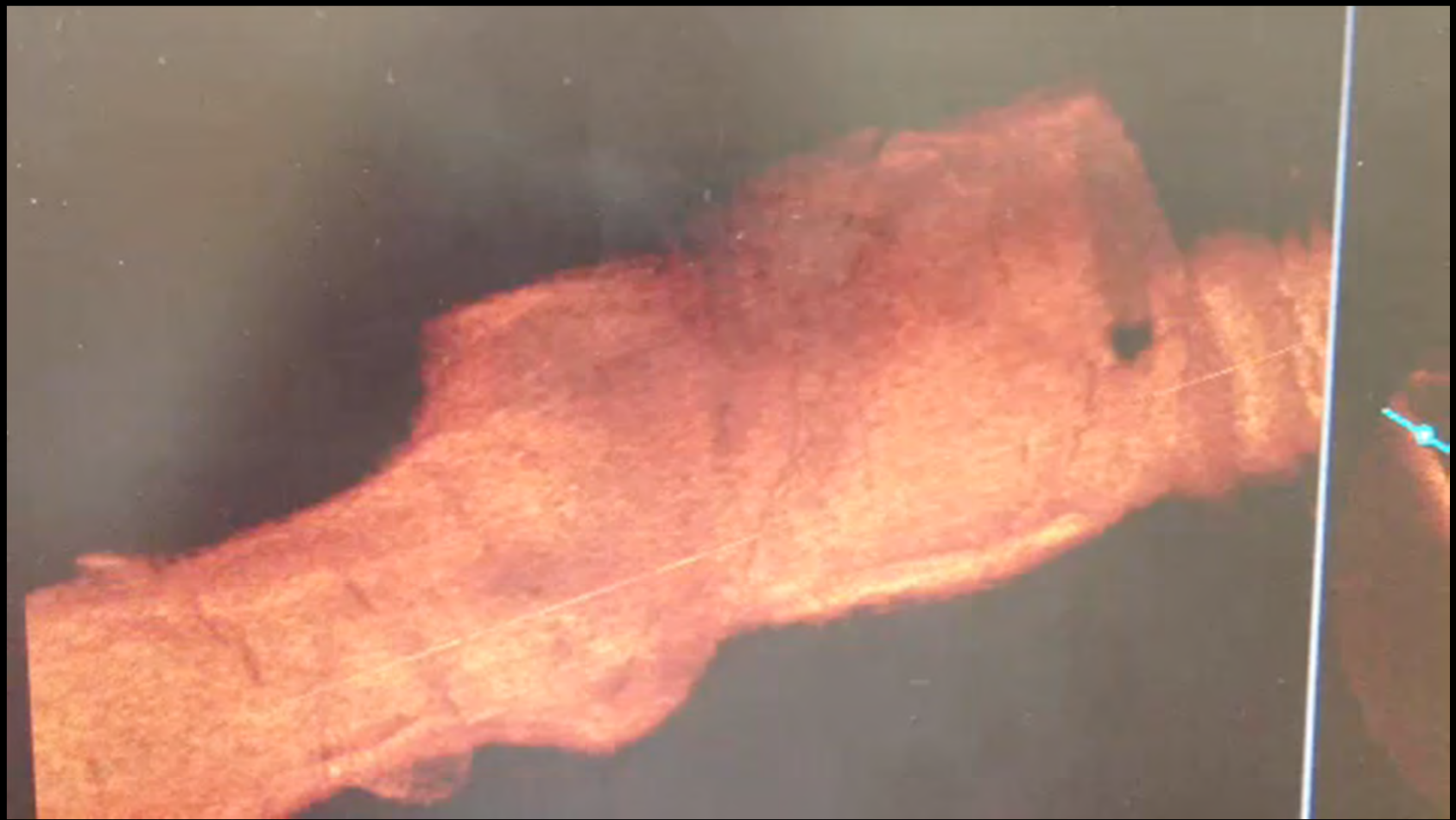
Adjust Calibration

LAD Mid Procedure



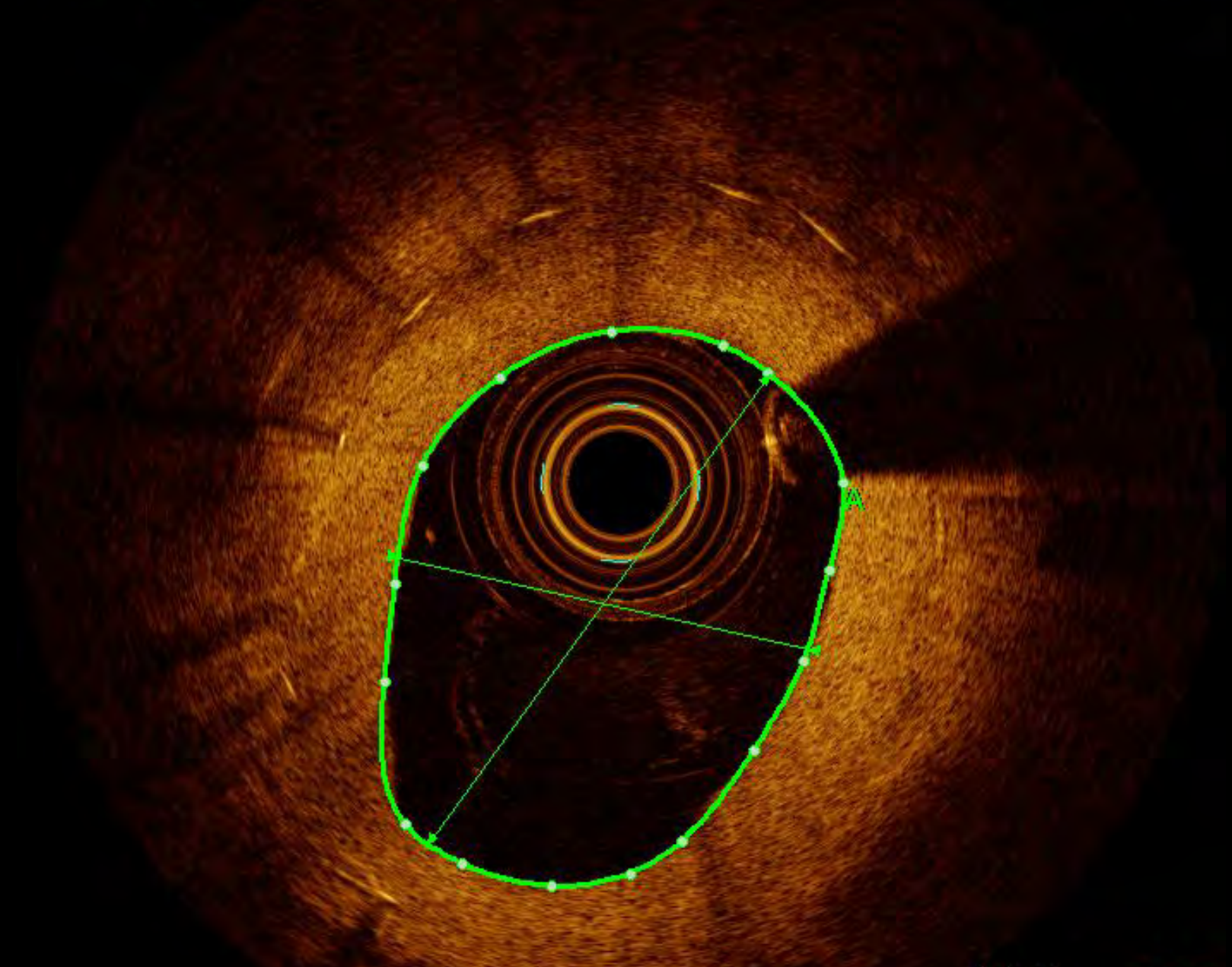
End Review





A Area: 6.66mm<sup>2</sup>  
Mean Diameter: 2.89mm  
Min: 2.44mm Max: 3.38mm

2/13/2014 2:46:00 PM  
0001

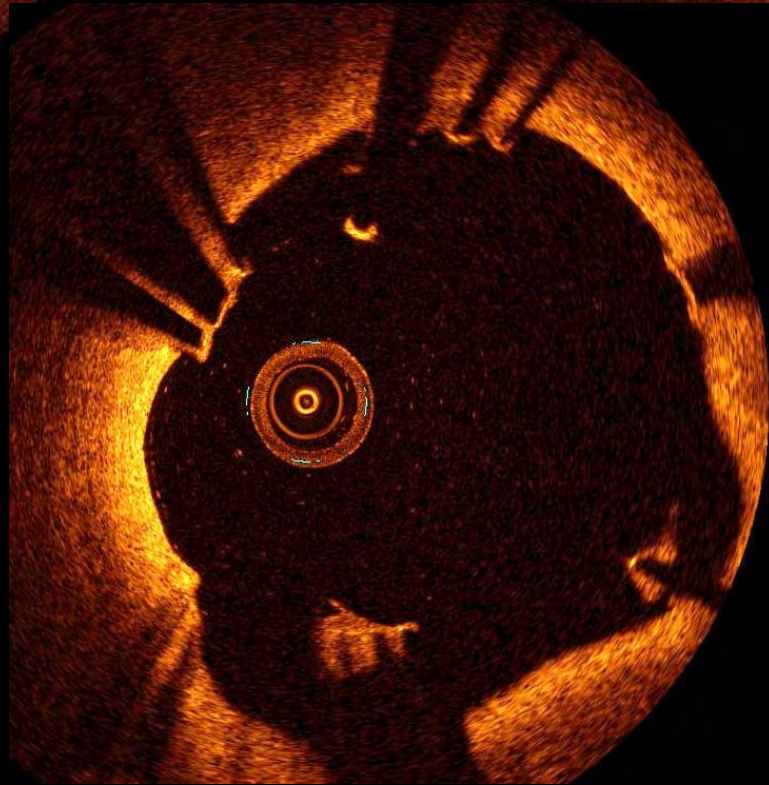
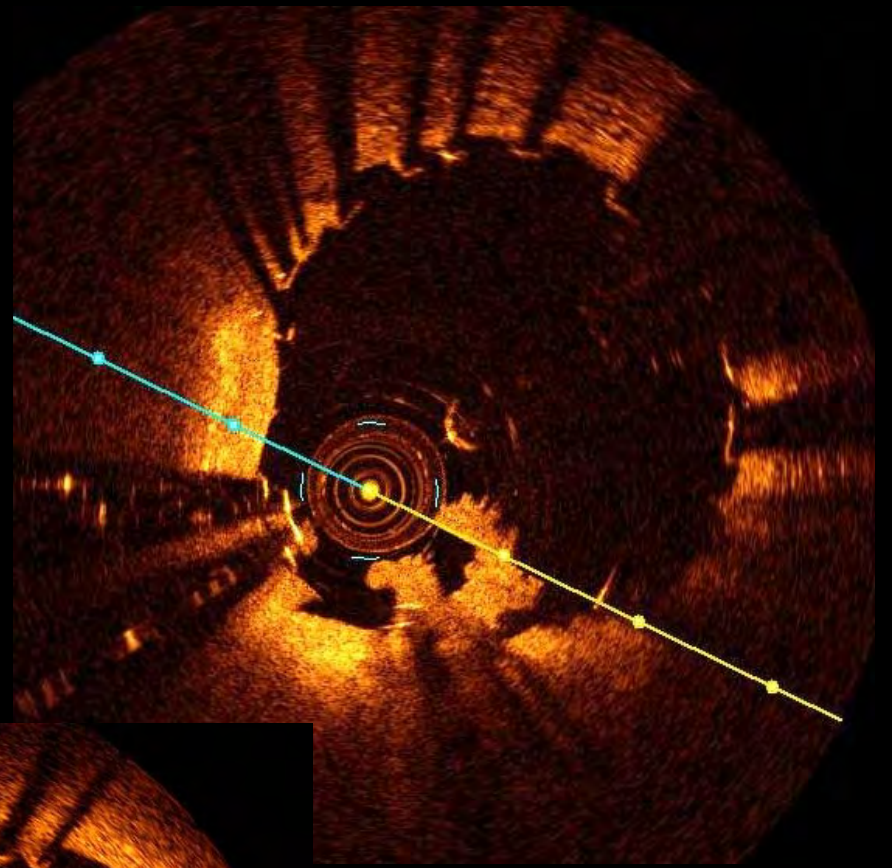
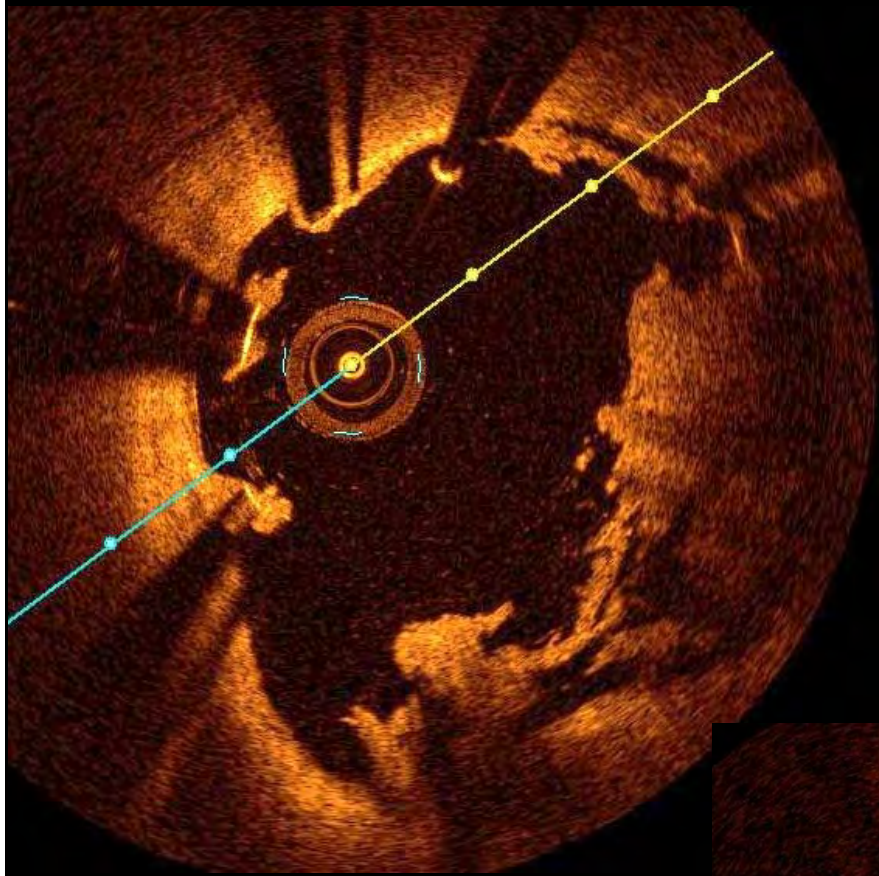


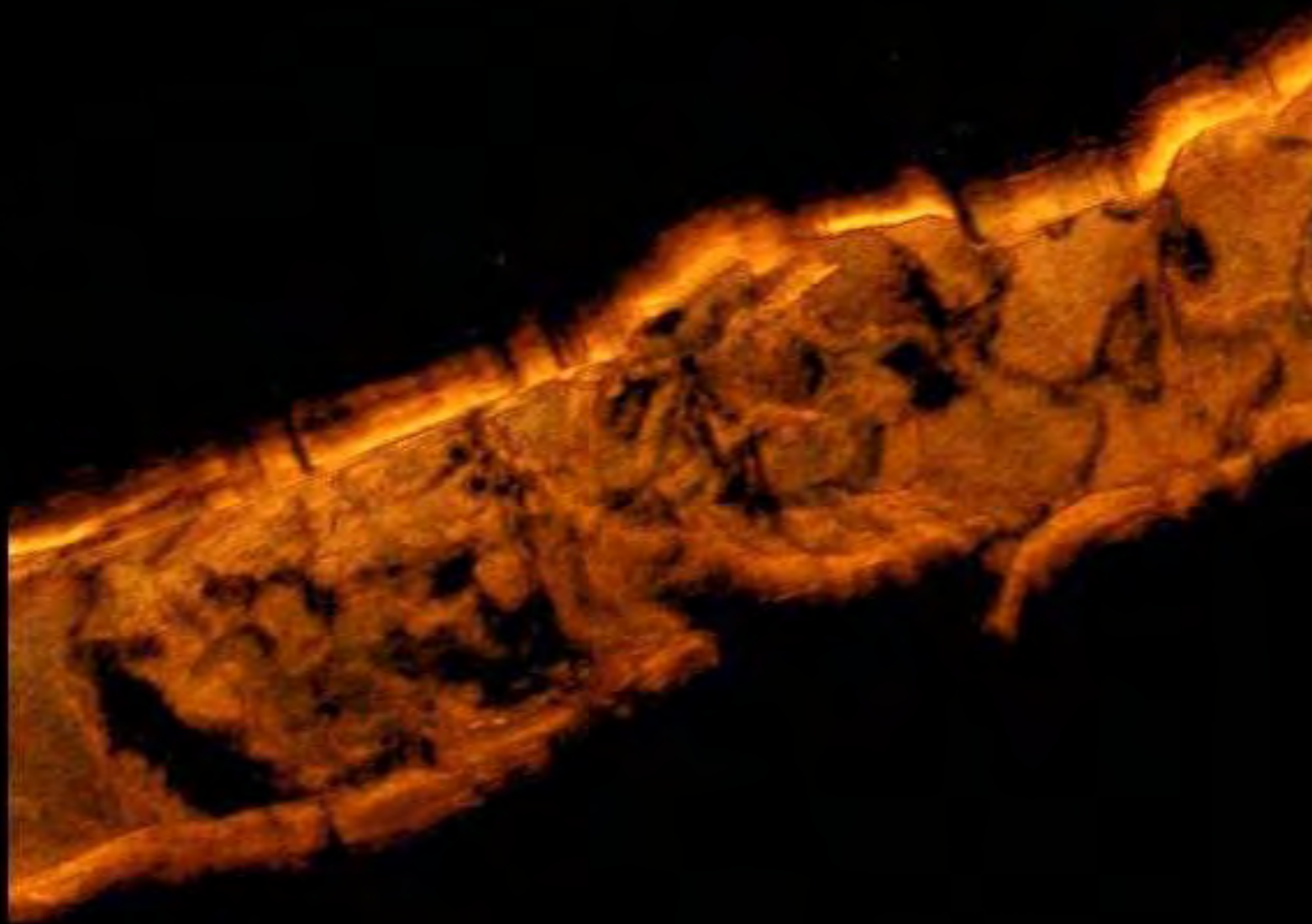
1 mm







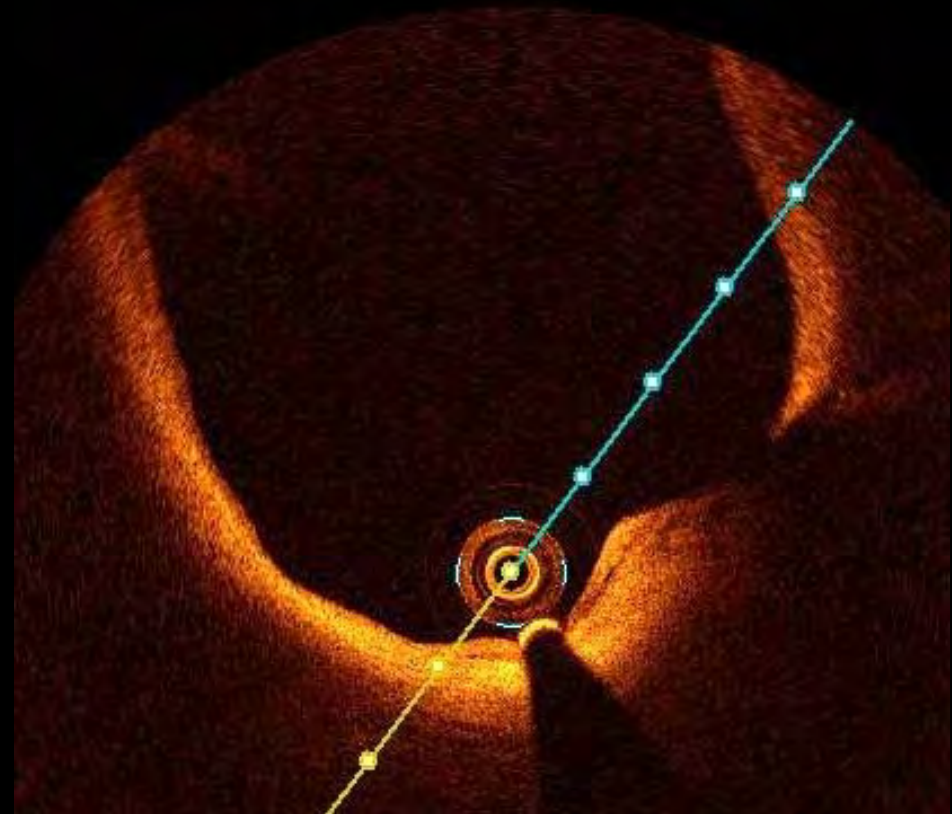
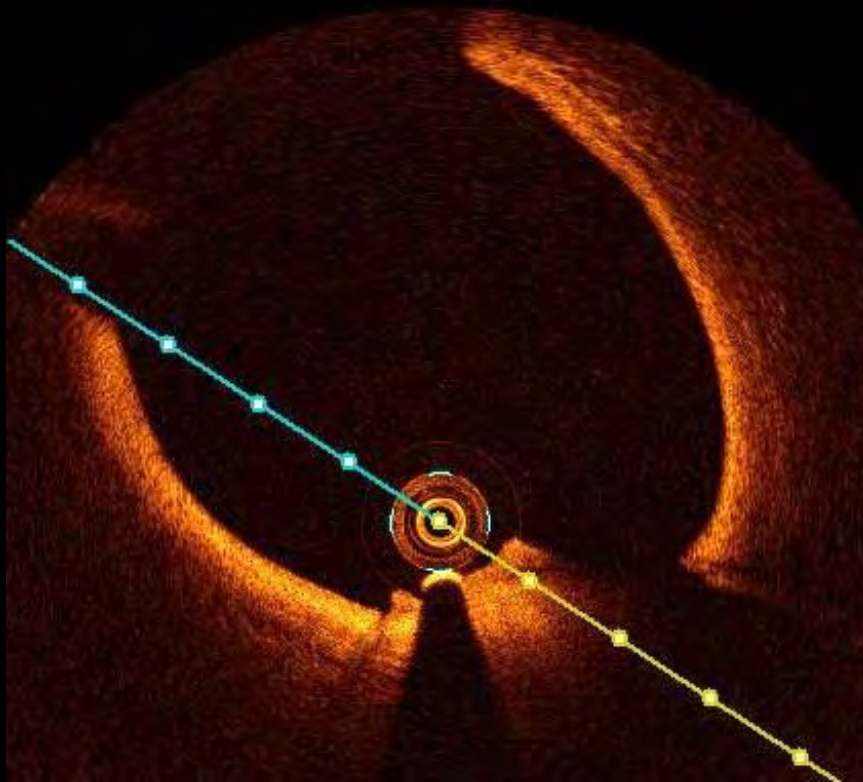


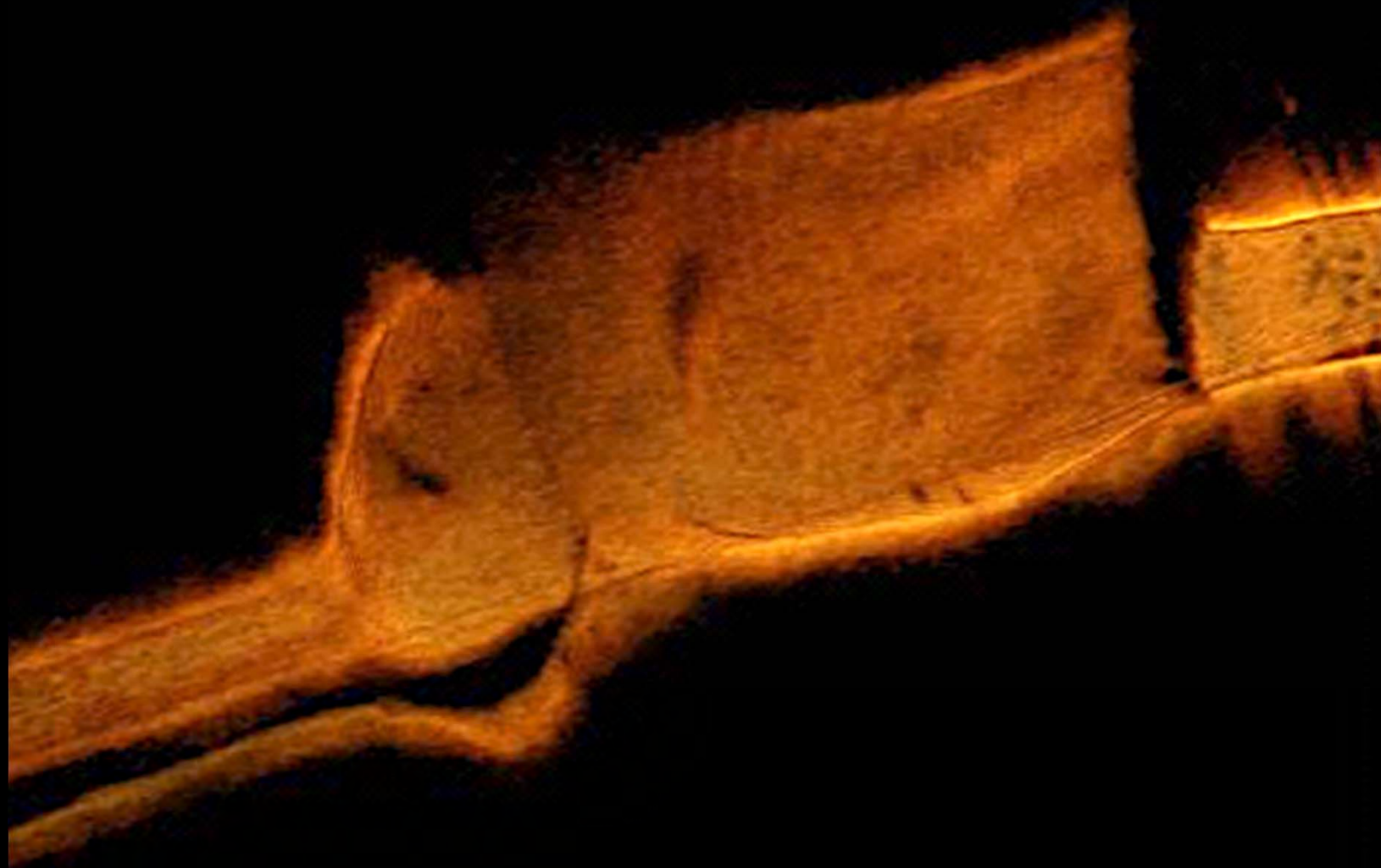






# Spontánní disekce kmene ACS







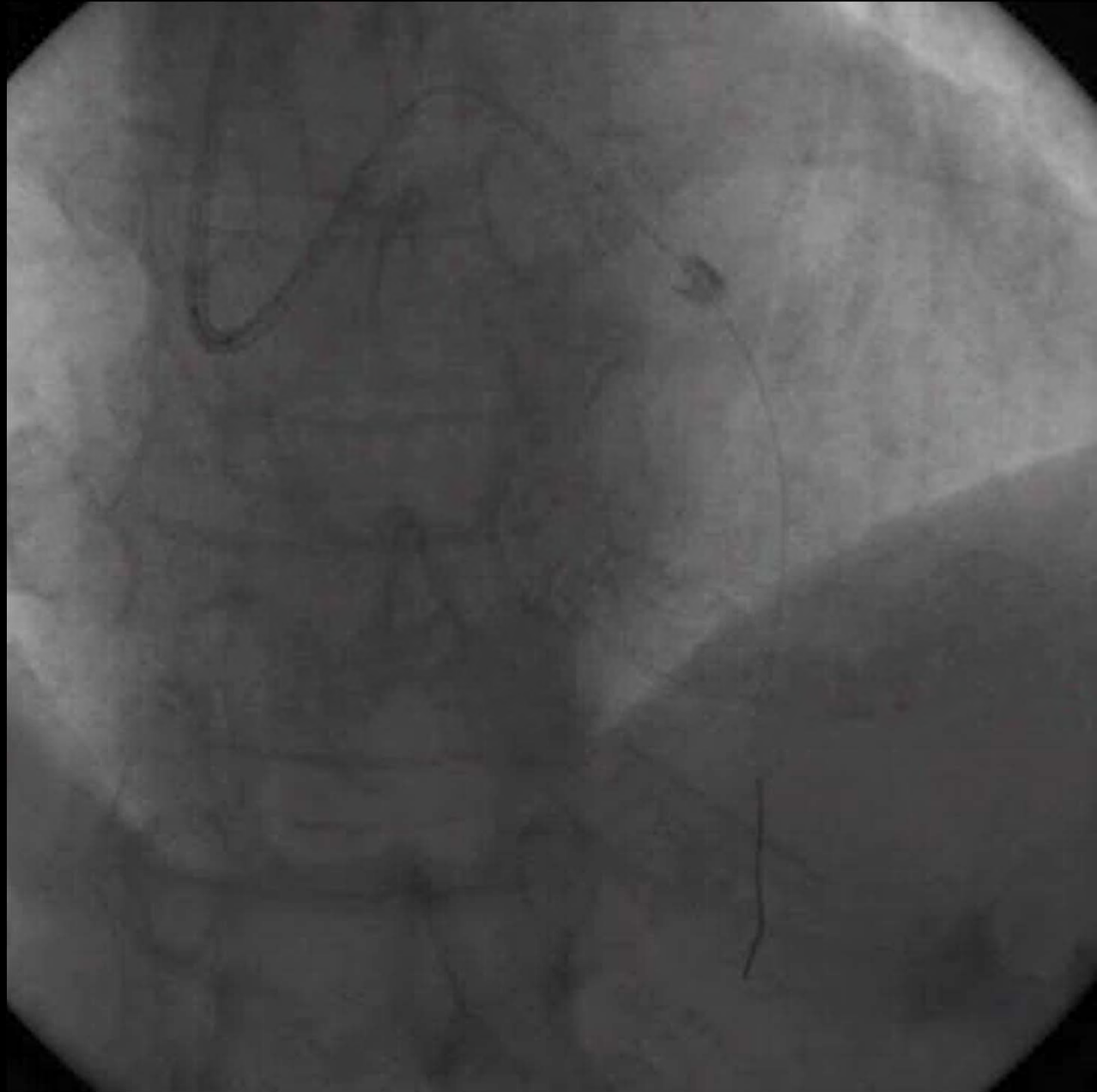




## Závěr

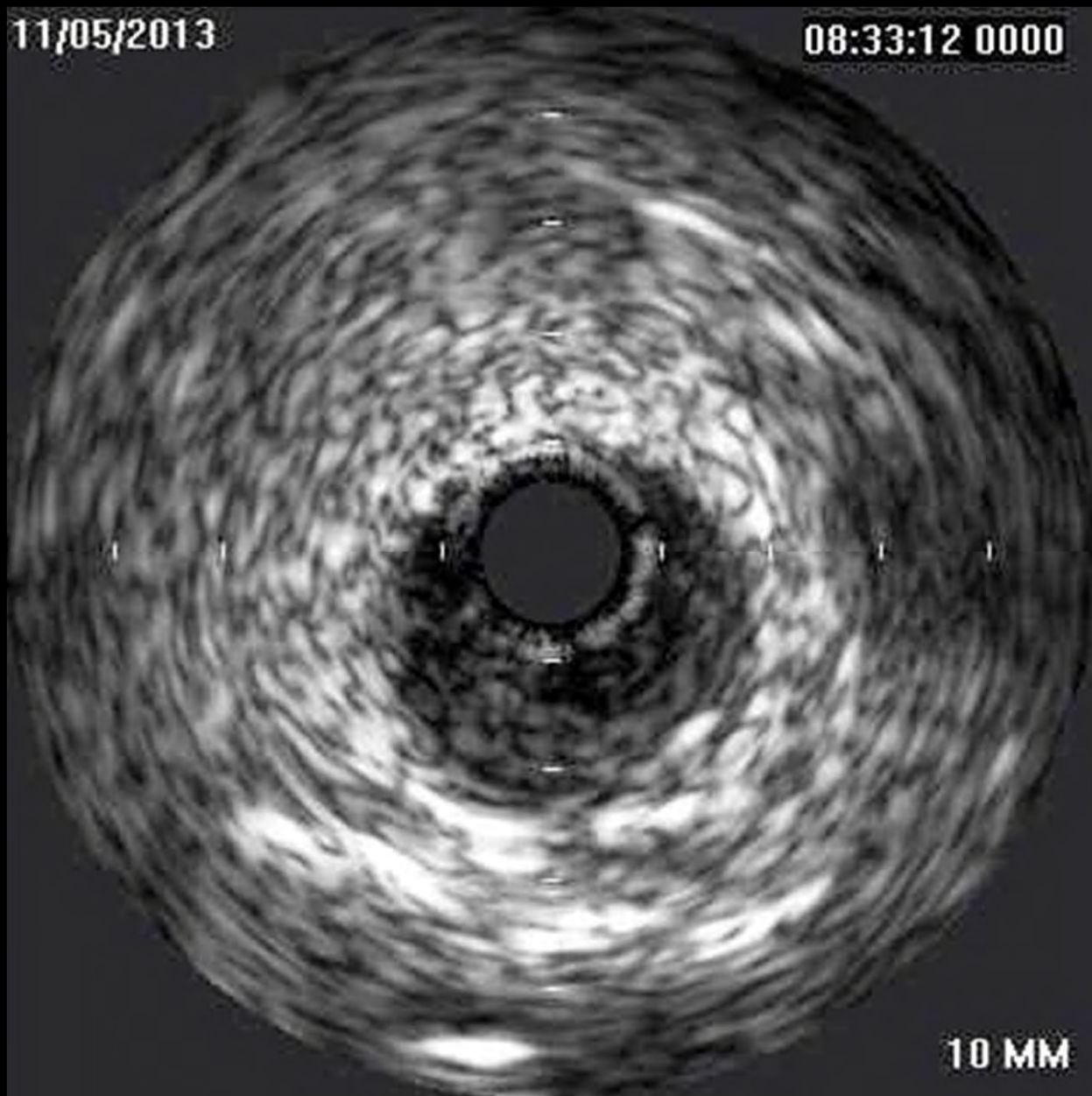
- Moderní katetrizační laboratoř se již neobejde bez dalších morfologických metod sloužících k:
  - Zhodnocení nejasného angiografického obrazu
  - Optimalizace strategie intervence u komplexních PCI a intervencích na kmeni levé věnčité tepny
  - Kontrola výsledku při nejednoznačném angiografickém obrazu
  - Riziková stratifikace lézí
  - Vědecké účely





11/05/2013

08:33:12 0000



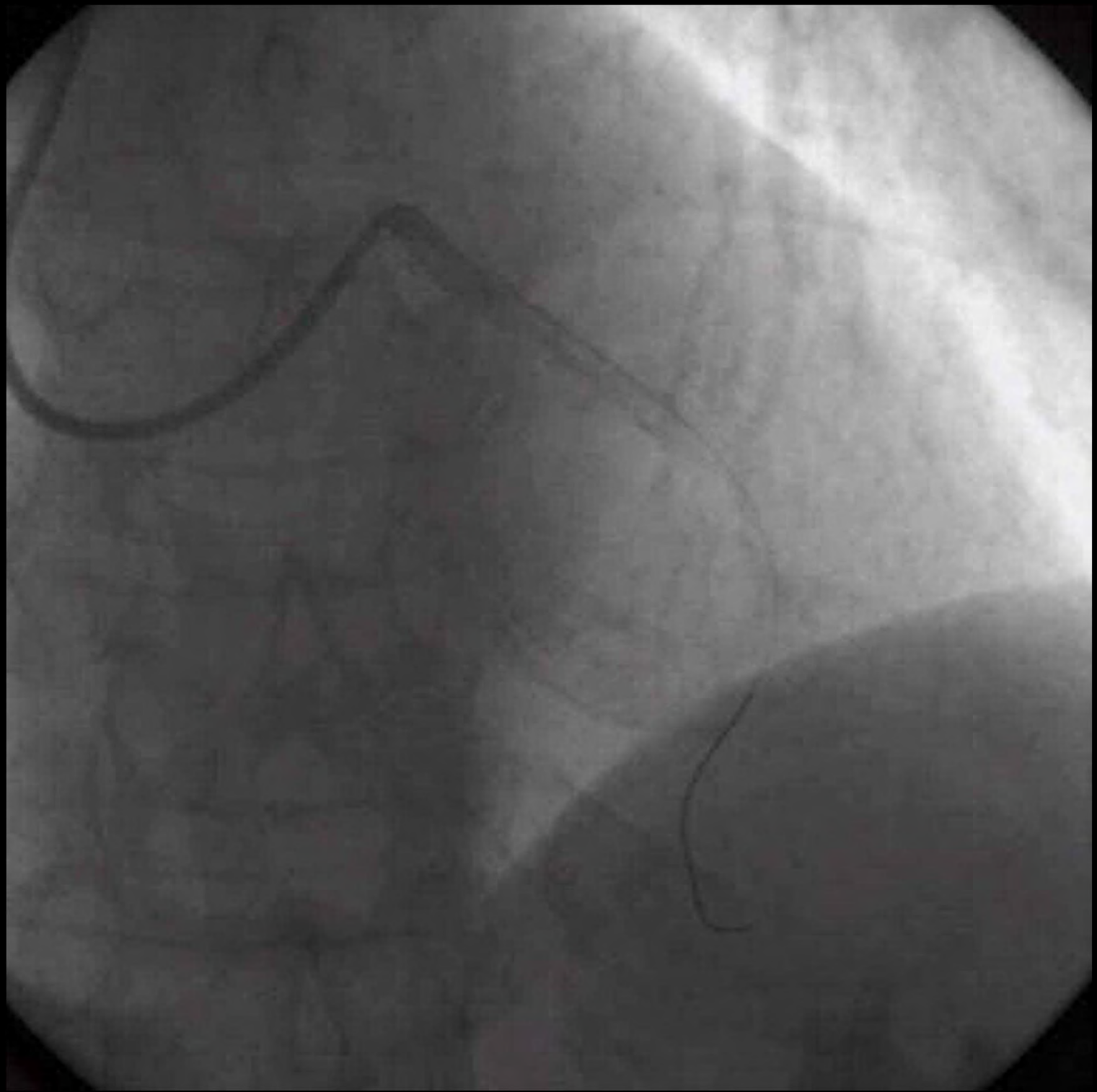
10 MM



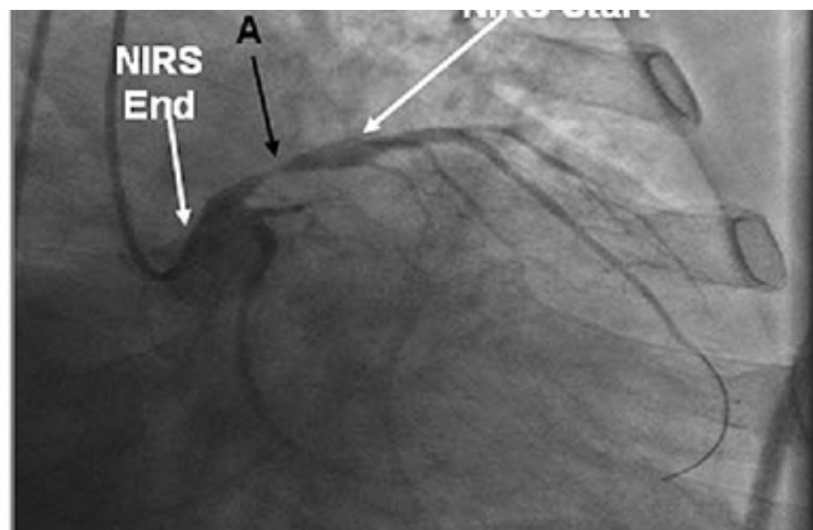


## IVUS nález

- Geographical mismatch - neošetřená léze
  - Rozsáhlá disekce s odtržením medie ve více než 180 stupních
  - Špatné umístění stentu, který je navíc výrazně poddimenzován
  - Vodič je ve správném lumen
- 
- ➔ Implantace druhého stentu
  - ➔ Postdilatace proximálního stentu



# Blokový chemogram – 2 mm tepny



- Každý 2 mm segment má jen jednu barvu, která je dána 90. percentilem průměrné hodnoty absorbance ze všech pixelů v daných 2 mm tepny
- Barevná škála vyjadřuje pravděpodobnost, že se v dané bloku vyskytne LCP:
  - $p > 0.98$
  - $0.84 < p < 0.98$
  - $0.57 < p < 0.84$
  - $p < 0.57$



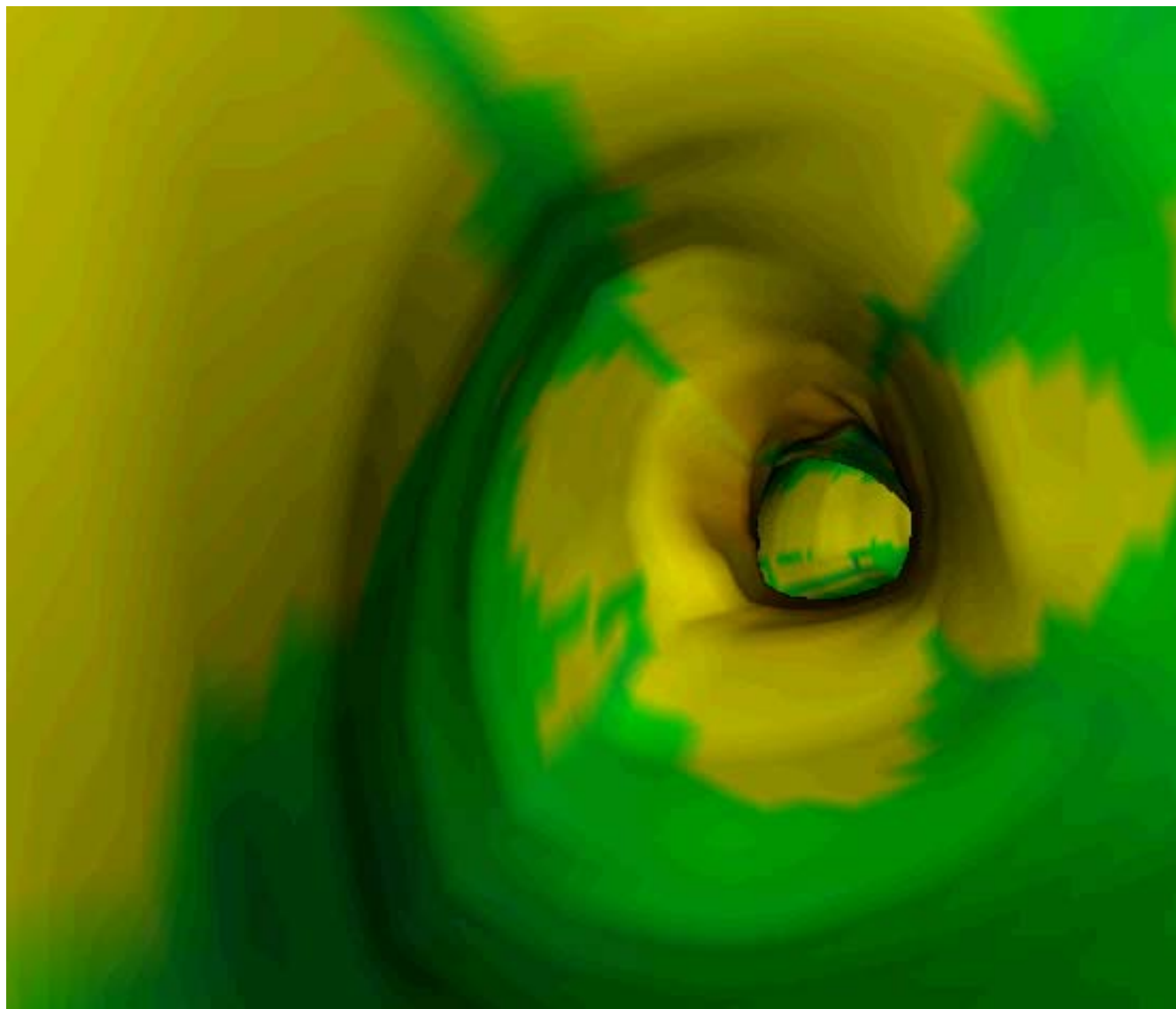


# Lipid core burden index (LCBI)

- Kvantitativní vyjádření přítomnosti LCP v celém vyšetřovaném segmentu
- LCBI:
  - počet žlutých pixelů (tj. s pravpod. pro LCP > 0.6) / počet všech pixelů x 1000
- Jde číselné vyjádření zastoupení žluté barvy v chemogramu
- V praxi se udává:
  - LCBI<sub>total</sub> - LCBI pro celý segment
  - LCBI<sub>max</sub> - nejvyšší LCBI z 2 nebo 4 mm úseků tepny
  - LCBI<sub>mean</sub> - prům. LCBI ve stanoveném úseku tepny
  - 2 mm úsek s maximální úhlem lipidové tkáně (LCP)
  - Průměrný úhel s LCP ve 2 mm segmentech
- High risk LCP (HS-LCP) = LCBI<sub>4 mm</sub> > 500



# Virtuální endoskopie





## Závěr

- Moderní katetrizační laboratoř se již neobejde bez dalších modalit určených k hodnocení:
  - Hemodynamické významnosti lézí
  - Optimalizace strategie intervence u komplexních PCI
  - Kontrola výsledku při nejednoznačném angiografickém obrazu
  - Riziková stratifikace lézí
  - Vědecké účely







1. LÉKAŘSKÁ FAKULTA  
UNIVERZITY KARLOVY V PRAZE

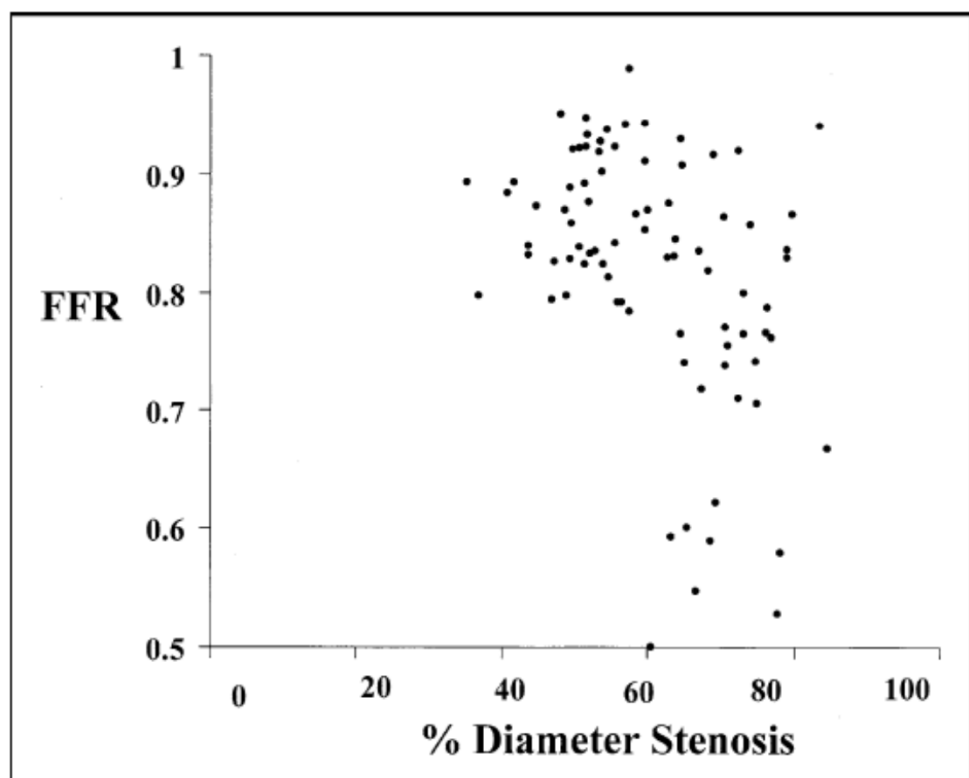


# Diagnostika hemodynamické významnosti lézí

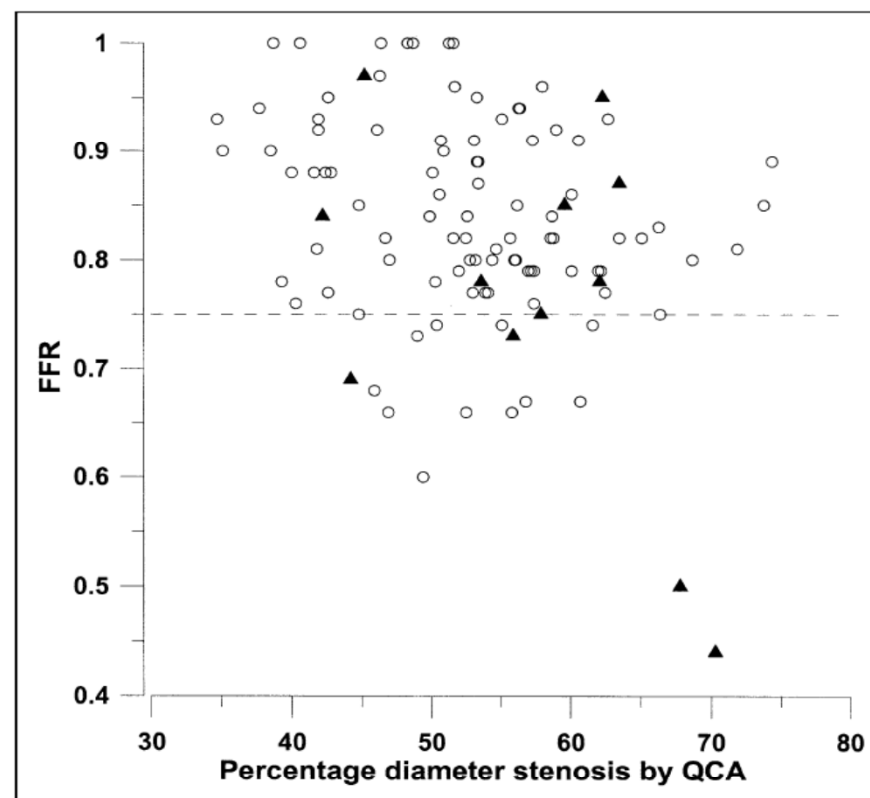




# Korelace mezi angiografií a FFR



Fisher JJ, Am J Cardiol 2002;90:210-215



Chamuleau. Am J Cardiol 2002;89:377-380



European Heart Journal Advance Access published August 30, 2013



European Heart Journal  
doi:10.1093/eurheartj/eh296

ESC GUIDELINES



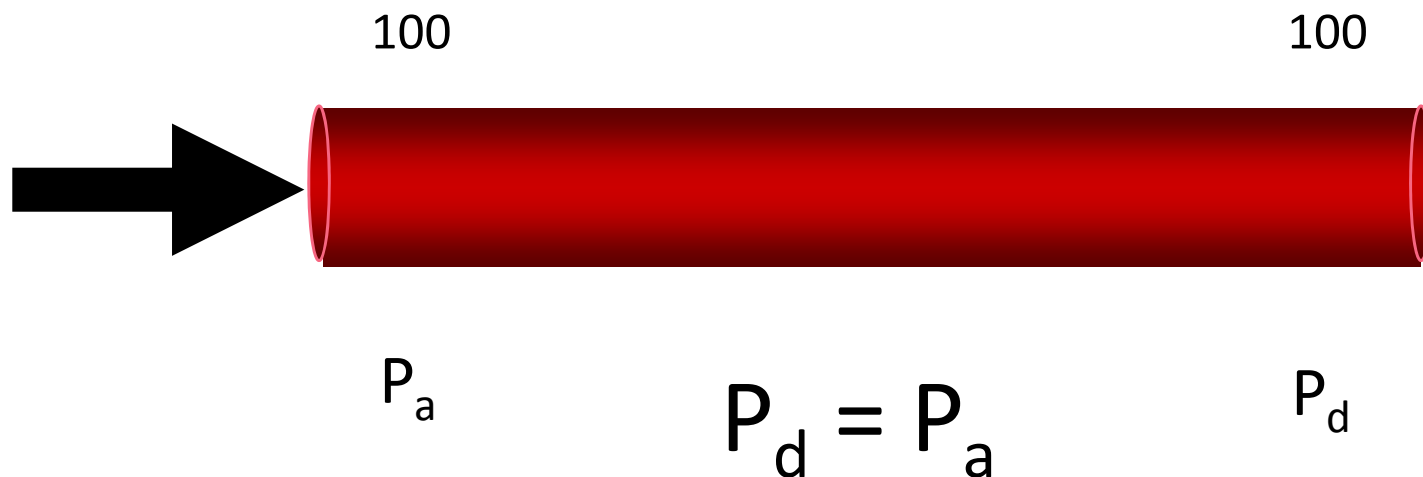
## 2013 ESC guidelines on the management of stable coronary artery disease

**Table 31** Use of fractional flow reserve, intravascular ultrasound, and optical coherence tomography in SCAD

Recommendations	Class <sup>a</sup>	Level <sup>b</sup>	Ref. <sup>c</sup>
FFR is recommended to identify hemodynamically relevant coronary lesion(s) when evidence of ischaemia is not available.	I	A	399, 401, 405
Revascularization of stenoses with FFR <0.80 is recommended in patients with angina symptoms or a positive stress test.	I	B	400



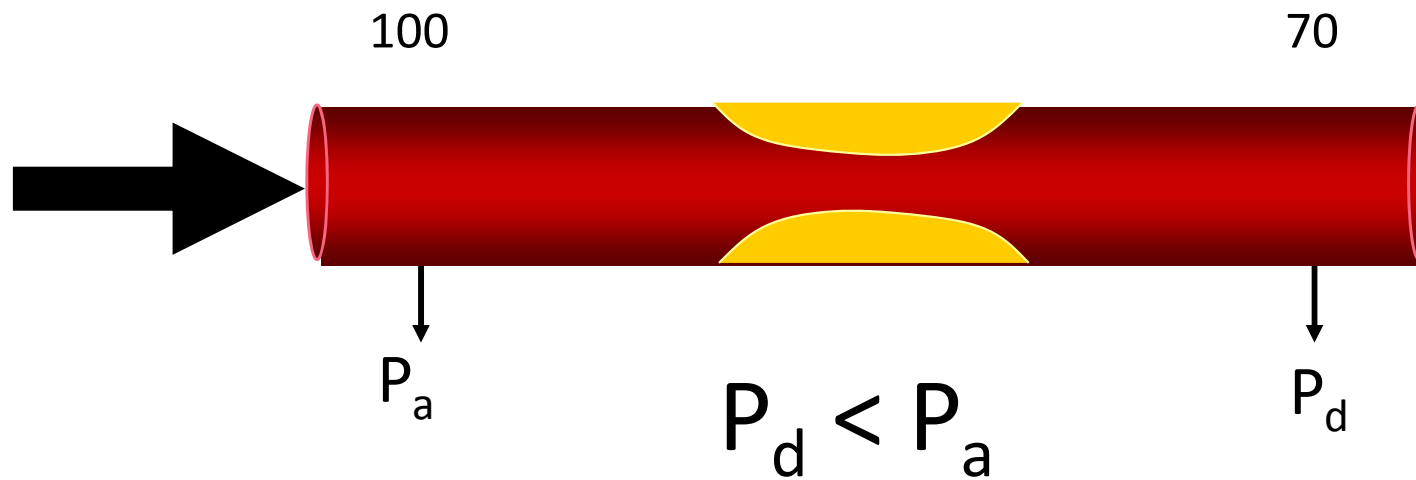
## ***FFR - Fractional Flow Reserve (Frakční průtoková rezerva)***



$$FFR = P_d / P_a = 1$$

$Q = P / R$ , pokud je  $R$  minimální platí, že  $Q \cong P$

## FFR - Fractional Flow Reserve



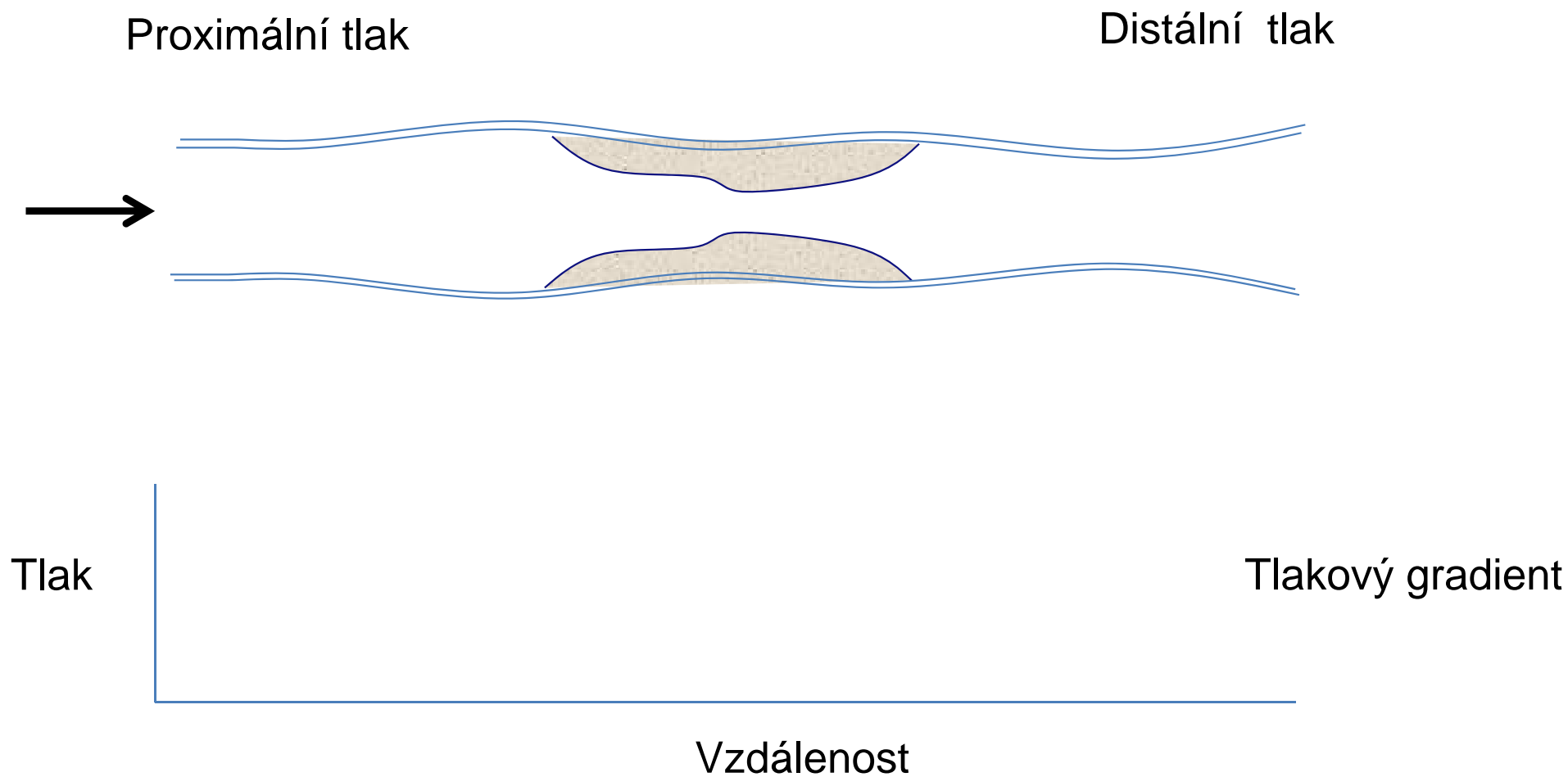
$$FFR = P_d / P_a = 0.7$$

FFR = **mean**  $P_d$  / **mean**  $P_a$

FFR 0.7 znamená, že stenóza umožňuje pouze 70% maximálního průtoku tepnou

# Teoretická tepna – jeden systémový tlak

± systémová artérie



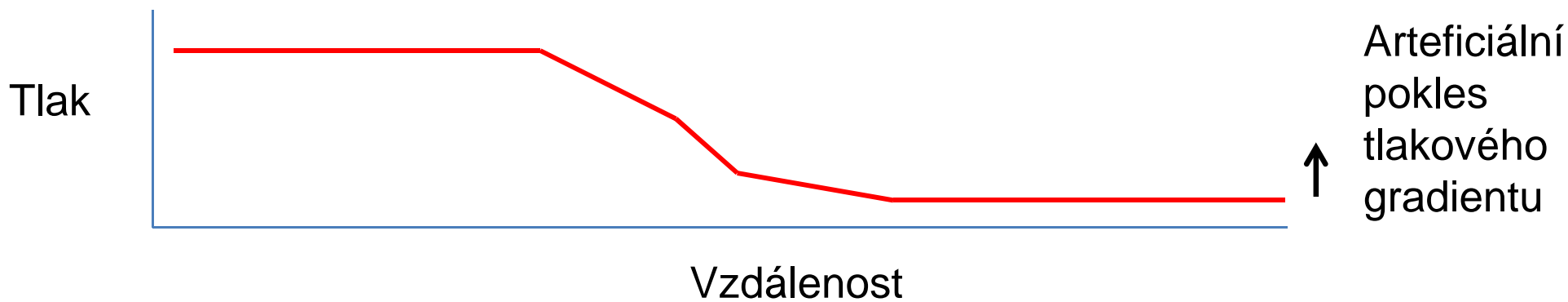
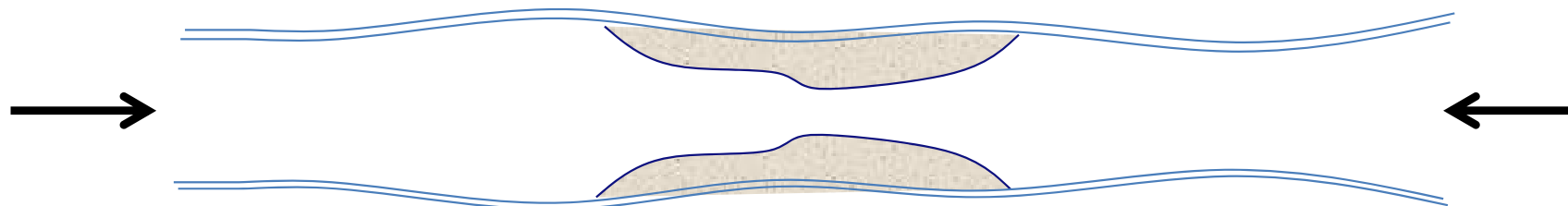


# Reálná situace – duální zdroj tlaku

## Koronární artérie

Proximální tlak

Distální tlak

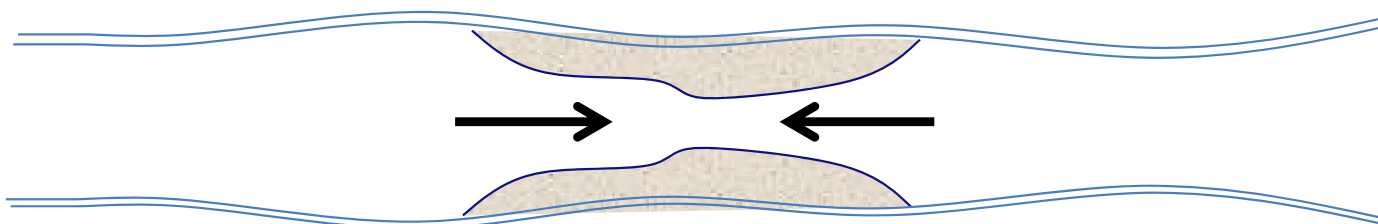


# Reální situace – duální zdroj tlaku

## Koronární artérie

Proximální tlak

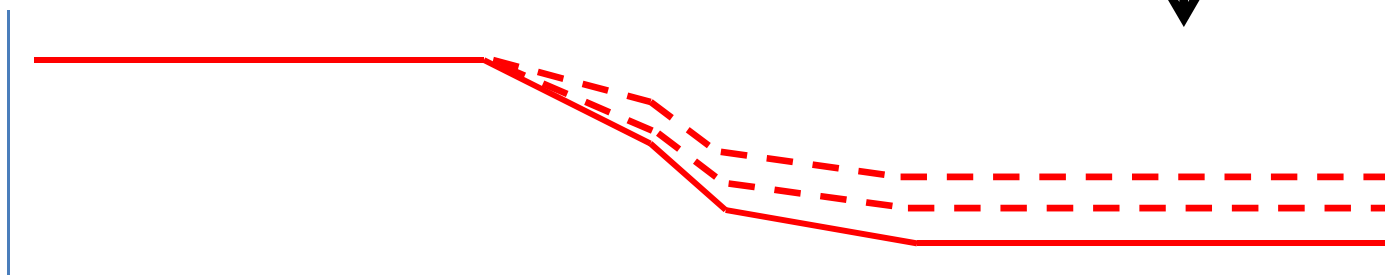
Distální tlak



Adenosine



Tlak



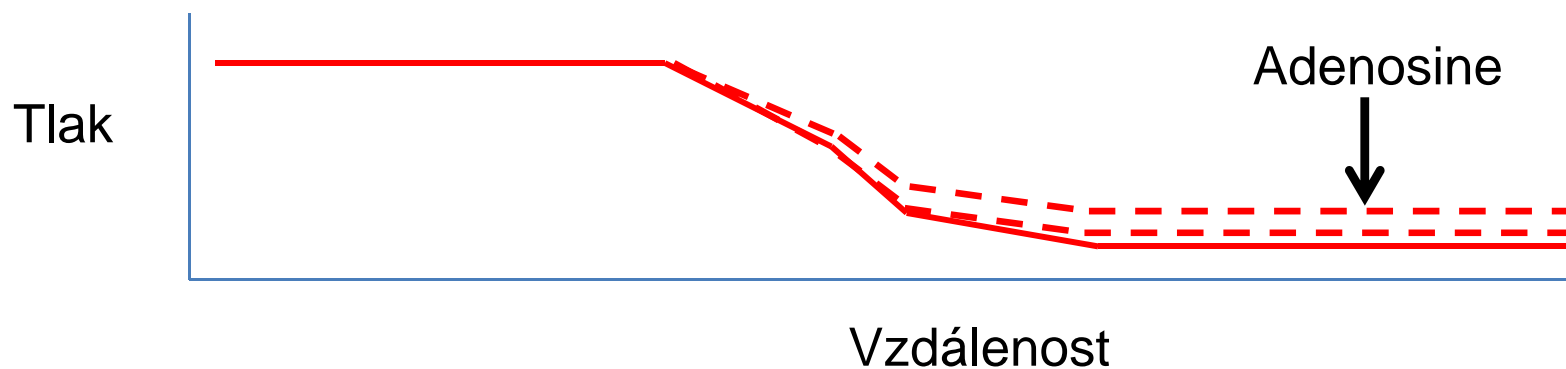
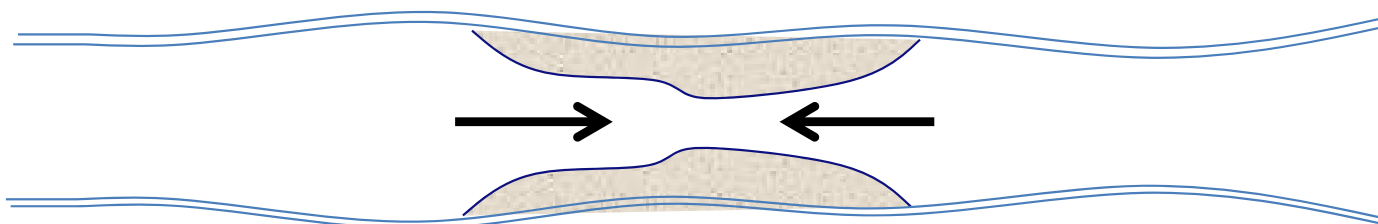
Vzdálenost

# Reálná situace – dální zdroj tlaku

## Koronární artérie

Proximální tlak

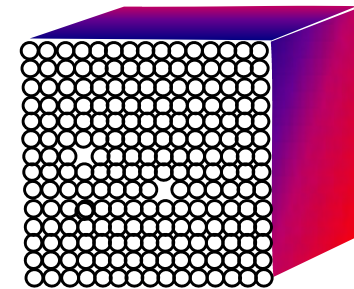
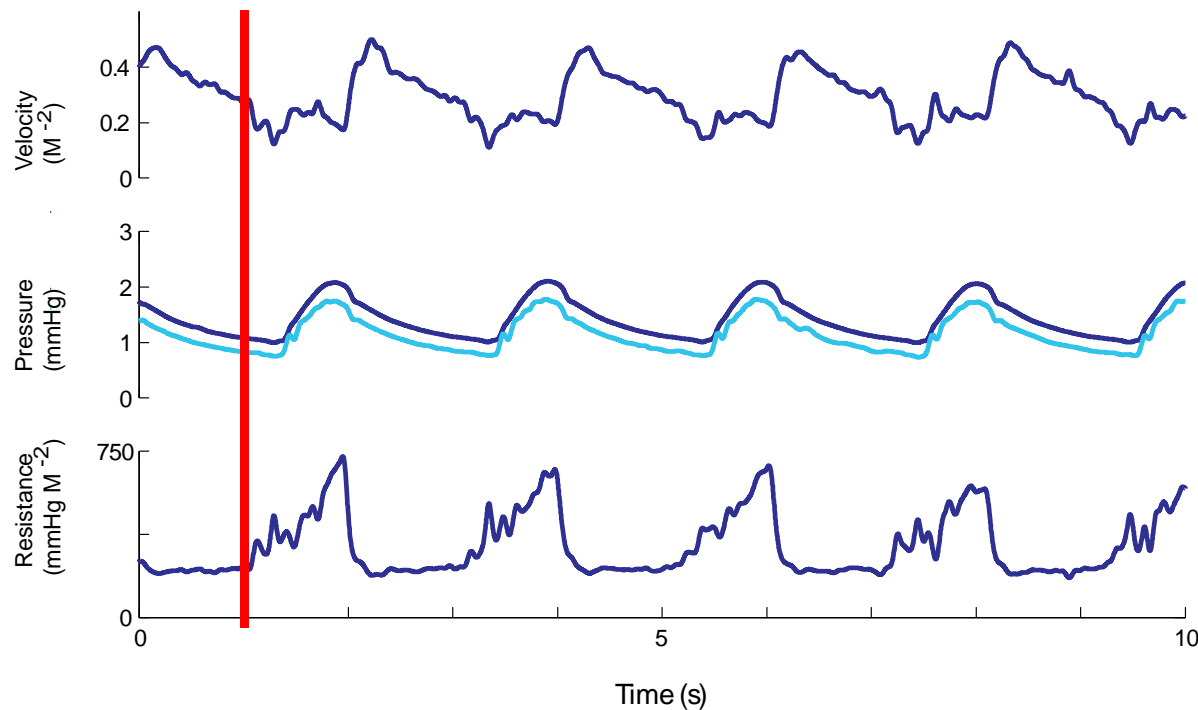
Distální tlak





# Fyziologie koronárního průtoku v myokardu

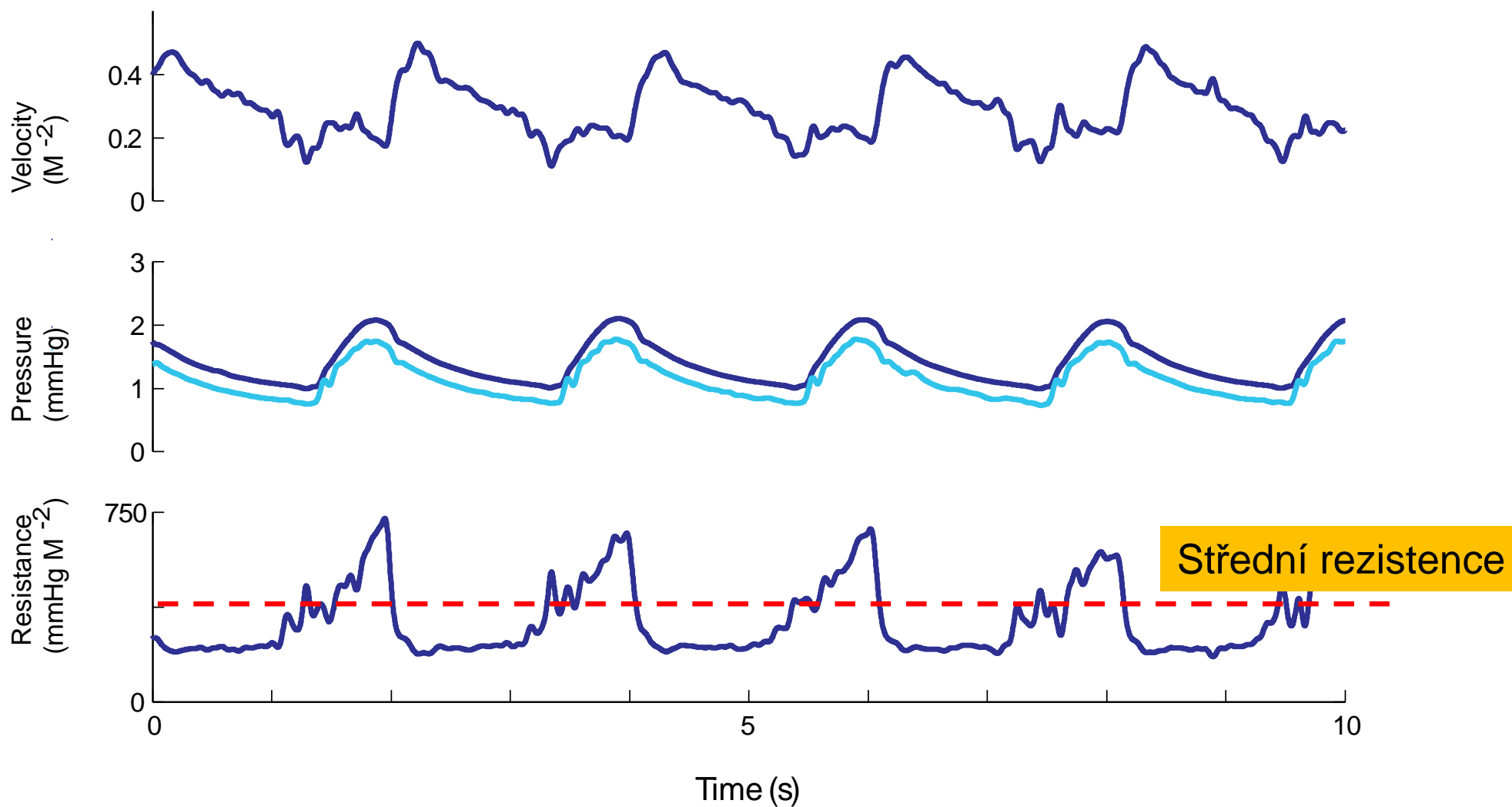
V systole dochází ke vzestupu rezistence kompresí arteriol myokardem



Průřez myokardem

$$\text{Rezistence} = \text{Tlak} / \text{Průtok}$$

## Pro kalkulaci **FFR** je používána střední rezistence





1. LÉKAŘSKÁ FAKULTA  
UNIVERZITY KARLOVY V PRAZE



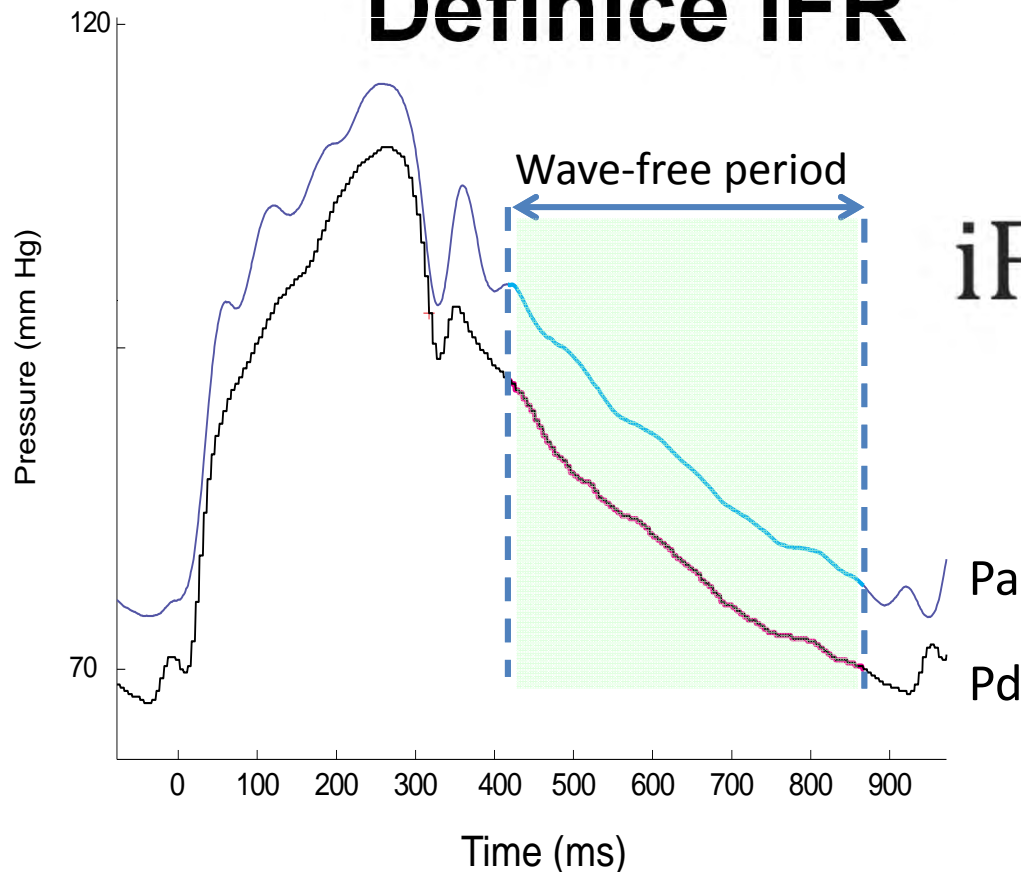
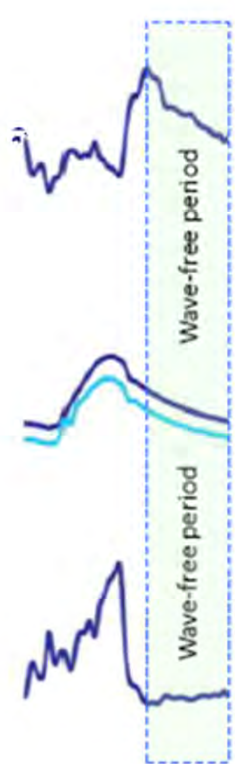
# Instantaneous wave free ratio

iFR





## Definice iFR



$$iFR = \frac{P_{D_{wfp}}}{P_{A_{wfp}}}$$

iFR je stabilní tlakový gradient měřený ve fázi minimální rezistence v průběhu srdečního cyklu a tím i minimální oscilací hodnot tlaku

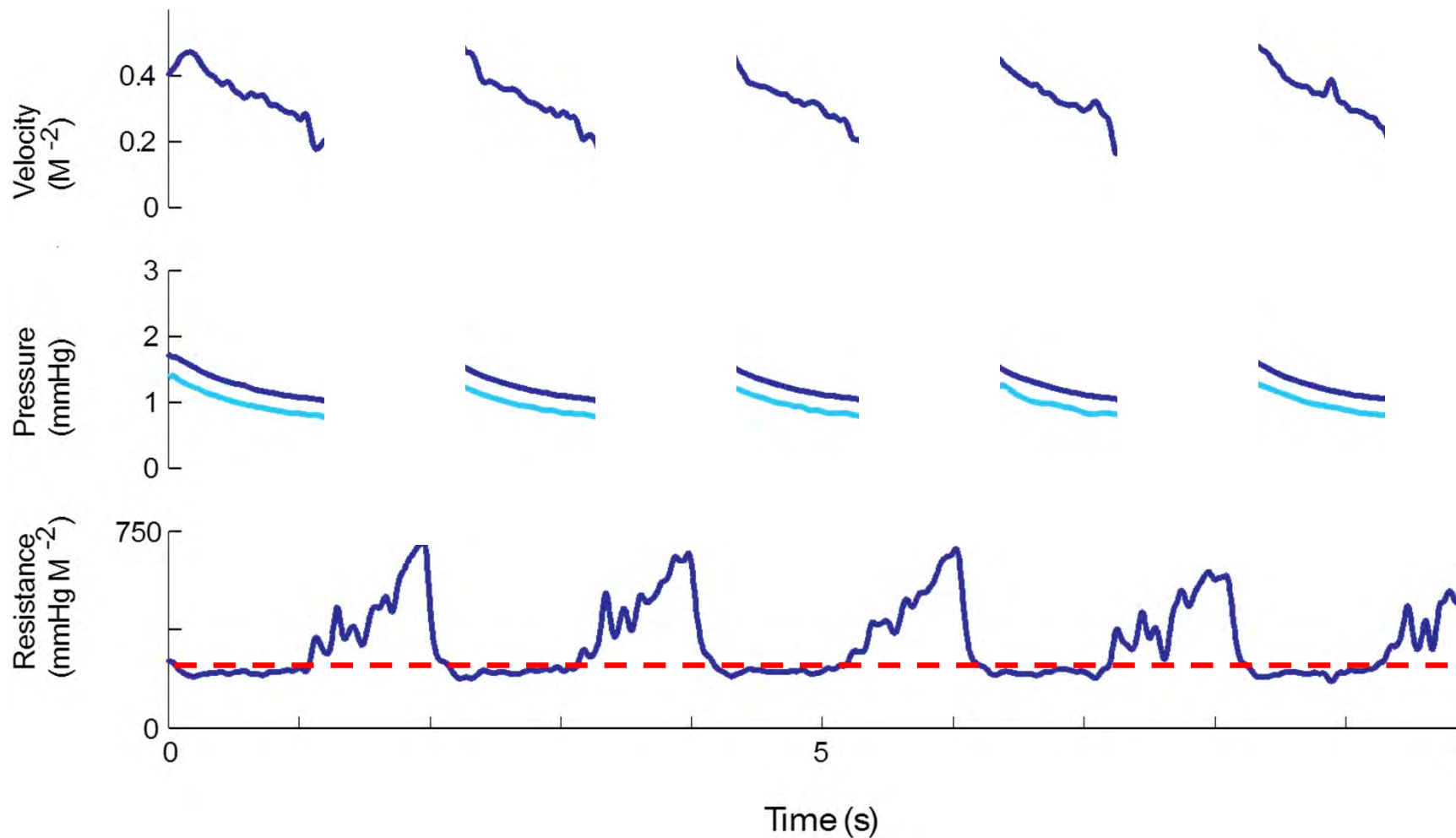
Pd – distální tlak

Pa- proximální tlak

Wfp – wave free period

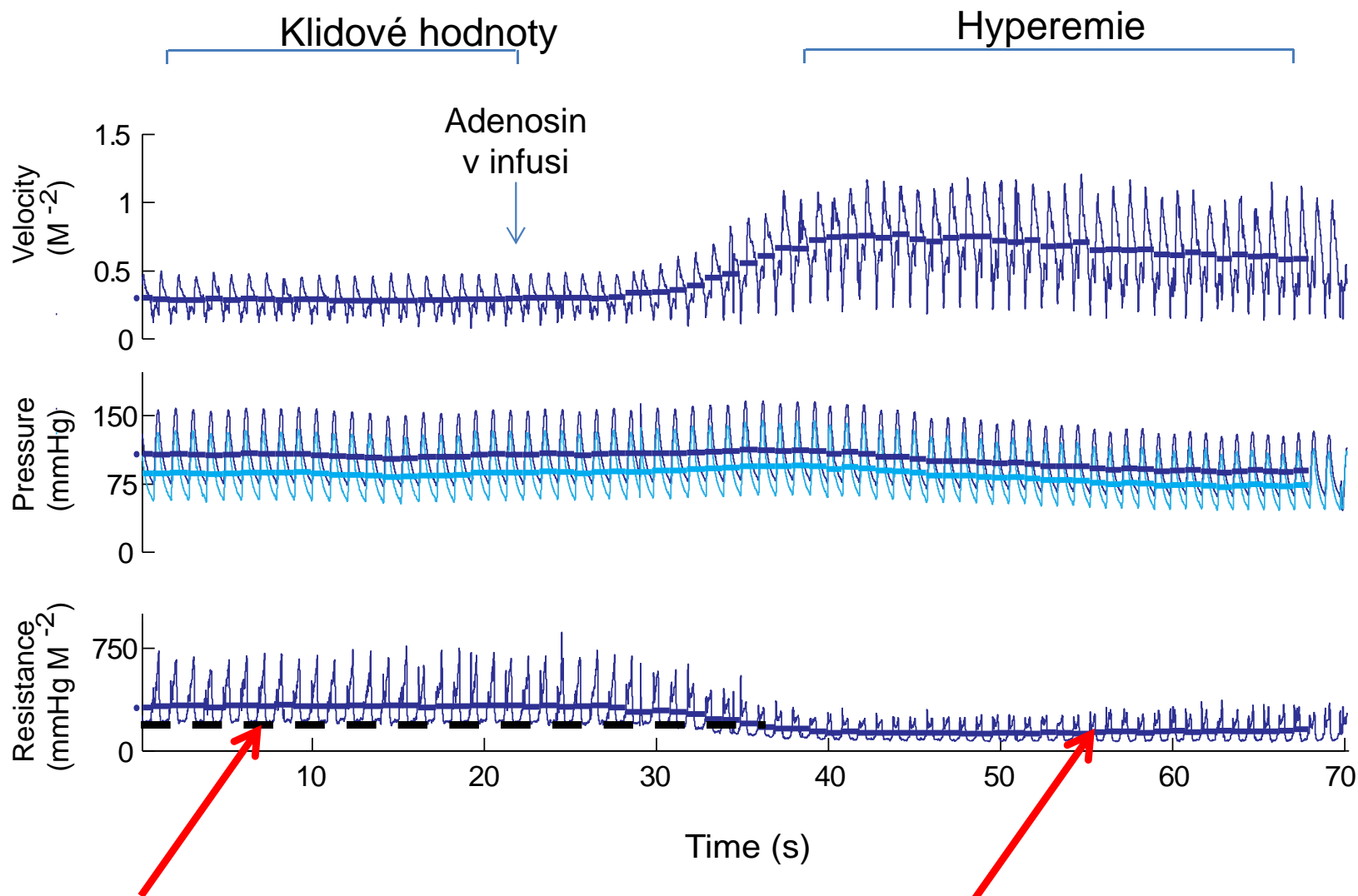


Pro kalkulaci **iFR** je používána minimální rezistence (střední a pozdní diastola)



Stabilní  
minimální  
klidová  
rezistence

## Hemodynamické změny po podání Adenosinu

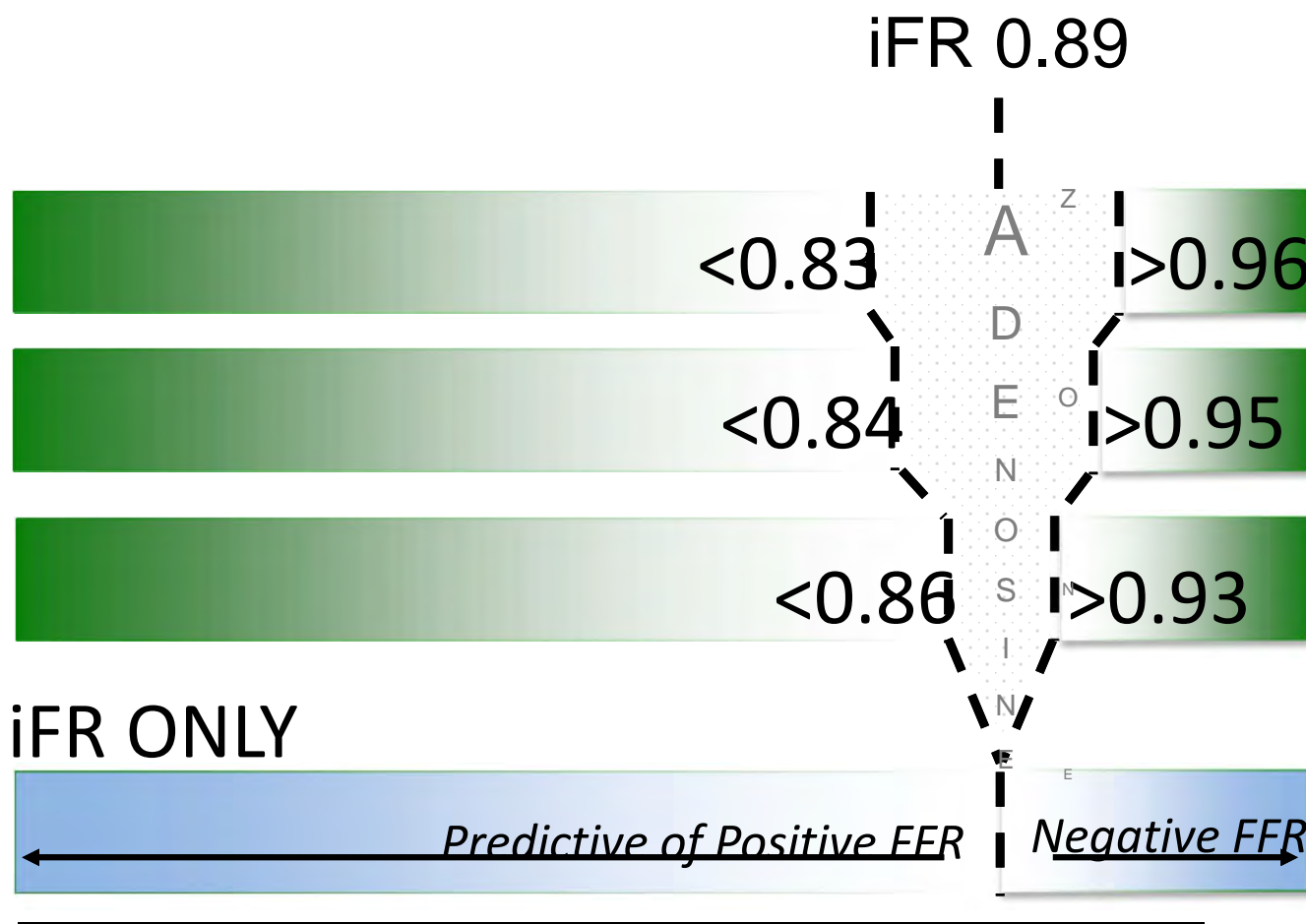


Minimální klidová rezistence  $\approx$  Střední rezistence při hyperemii





# iFR – FFR hybridní přístup



Proportion  
of  
Population  
Matching the  
FFR Result

**99%**

**97%**

**95%**

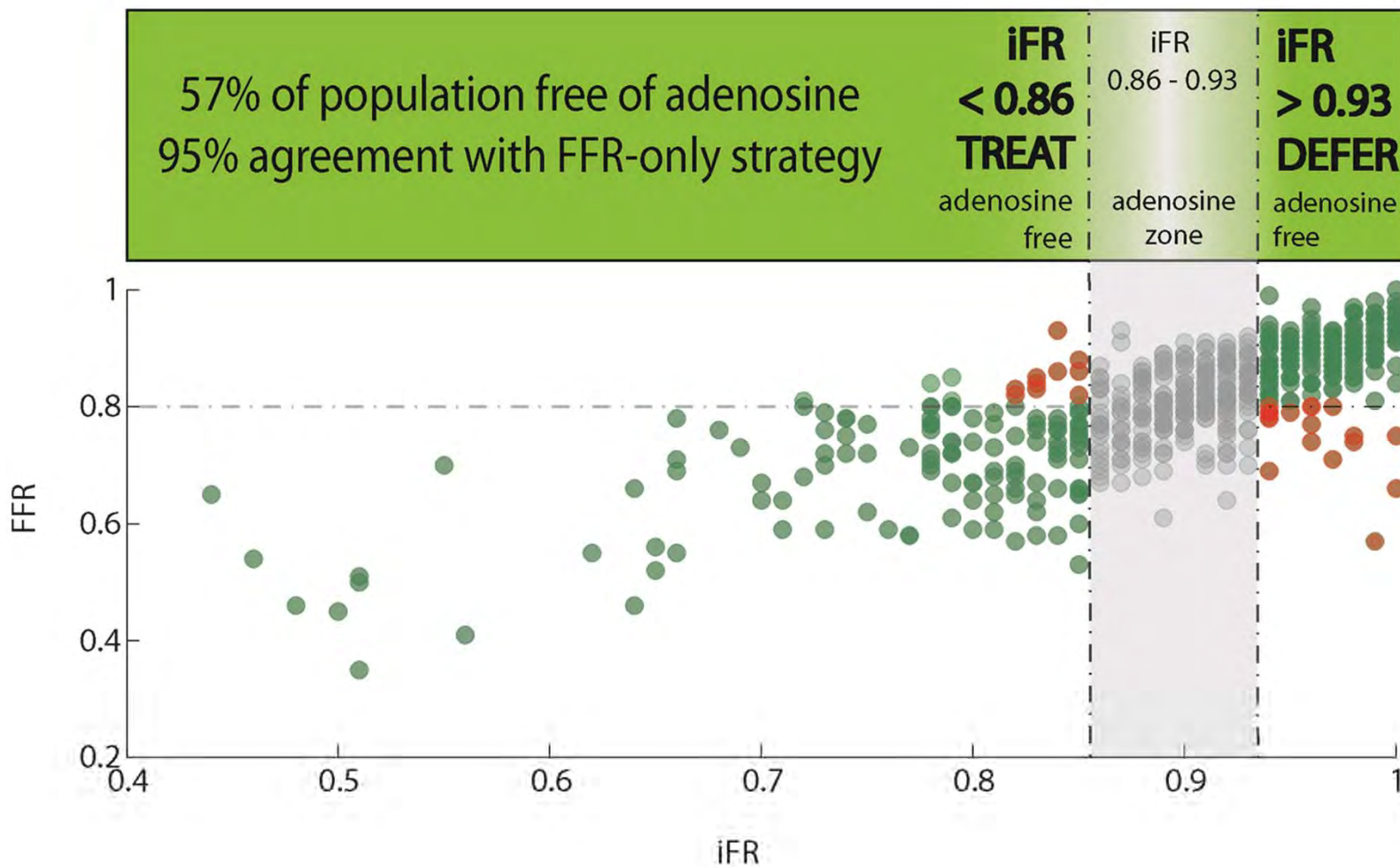
**80%**

iFR values 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0

iFR only CLASSIFICATION  
MATCH WITH FFR



# Hybridní iFR-FFR strategie





**VOLCANO FFR**

Duchacek, Miloslav

401218074

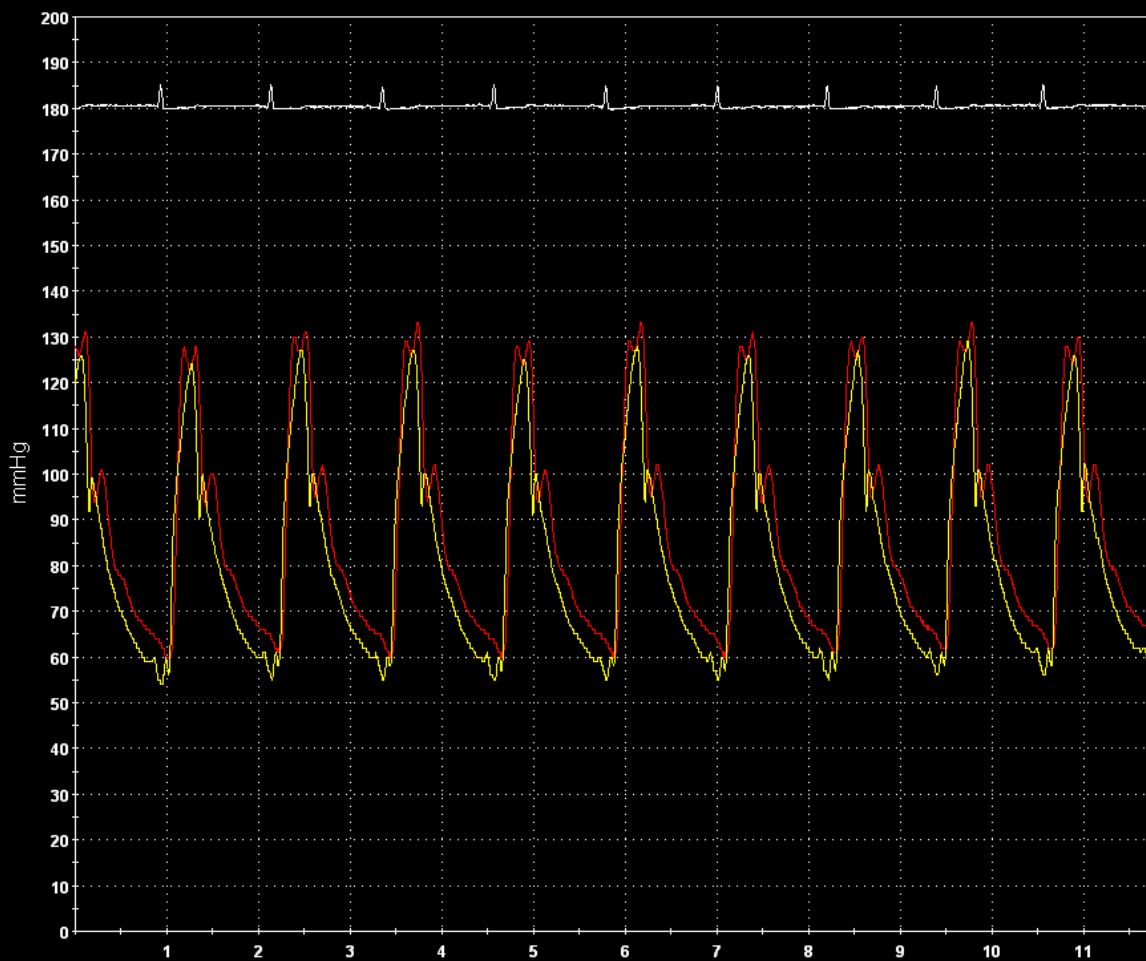
Choose Vessel

0 Frames

0:12

**iFR™**  
**0.90**

List of Runs	iFR	FFR
11:41:15 AM	0.90	
11:41:47 AM	0.91	
11:42:07 AM	0.91	
11:43:14 AM		0.86
11:43:56 AM		0.85
11:45:10 AM		0.85
11:49:12 AM	1.00	
11:49:35 AM	1.00	
11:50:22 AM		0.96



Options

Save Frame

Select Mode

Settings

Patient

FFR

iFR™

Retrieving Patient Study ...





# FIGARO study

FFR versus iFR in assessment of lesion hemodynamic significance using gene polymorphism and lesions morphology assessed by OCT

- Homolka Hospital
- Loyola University Hospital, Chicago, USA
- Oslo University Hospital – Rikshospitalet, Oslo, Norway
- Bologna University Hospital, Italy
- Hospital Universitario. Fundación Favaloro, Buenos Aires, Argentina
- Imperial College London, UK
- The University Hospital Iowa, USA



1. LÉKAŘSKÁ FAKULTA  
UNIVERZITY KARLOVY V PRAZE



**H** NEMOCNICE  
NA HOMOLCE

**Koronární morfologie a fyziologie**



# **(3D)OCT - (i)FFR - NIRS IVUS WORKSHOP**

**6.ročník**

1.oznámení

**Pořádající:**

II. Interní klinika kardiologie a angiologie VFN a 1. LF UK

a

Nemocnice Na Homolce – Kardiologické oddělení

**Datum: listopad 2014**

**Místo: Nemocnice Na Homolce, Praha**

**Organizační výbor**

MUDr. Tomáš Kovárník, PhD, Doc. MUDr. Martin Mates, CSc.



# 1. LÉKAŘSKÁ FAKULTA UNIVERZITY KARLOVY V PRAZE







***FRACTIONAL FLOW RESERVE =***  
**MAXIMUM FLOW IN THE PRESENCE OF A STENOSIS**  

---

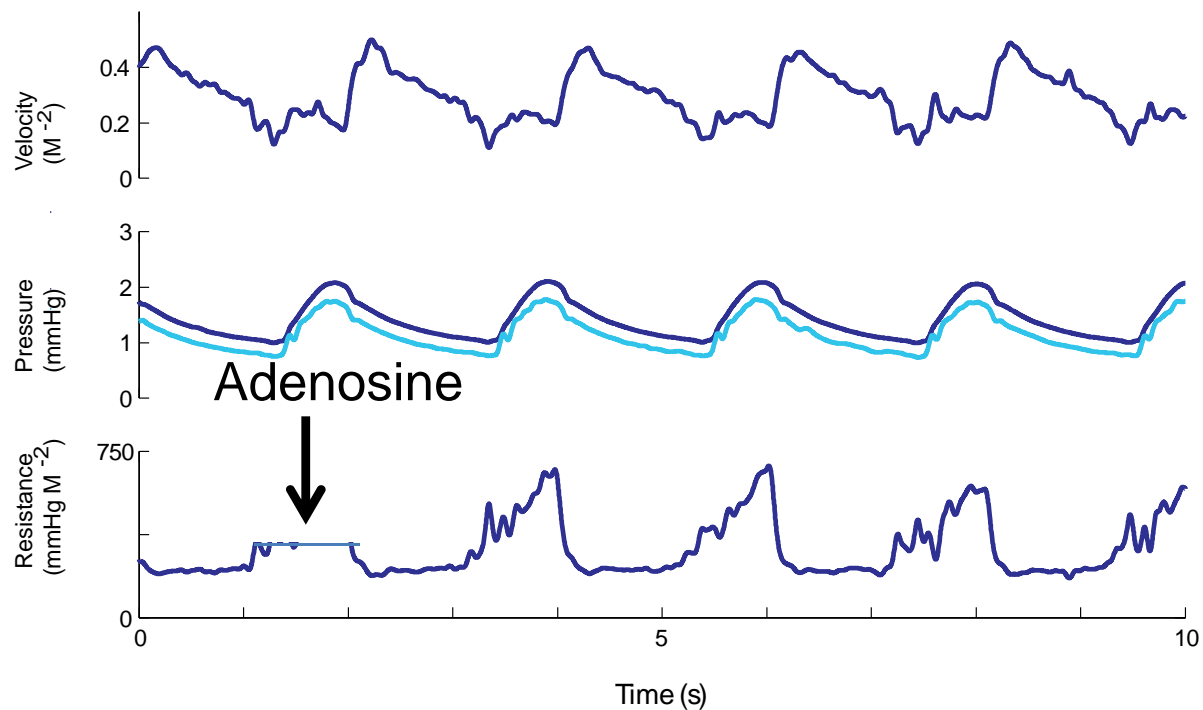
**NORMAL MAXIMUM FLOW**



$$Q = P / R$$

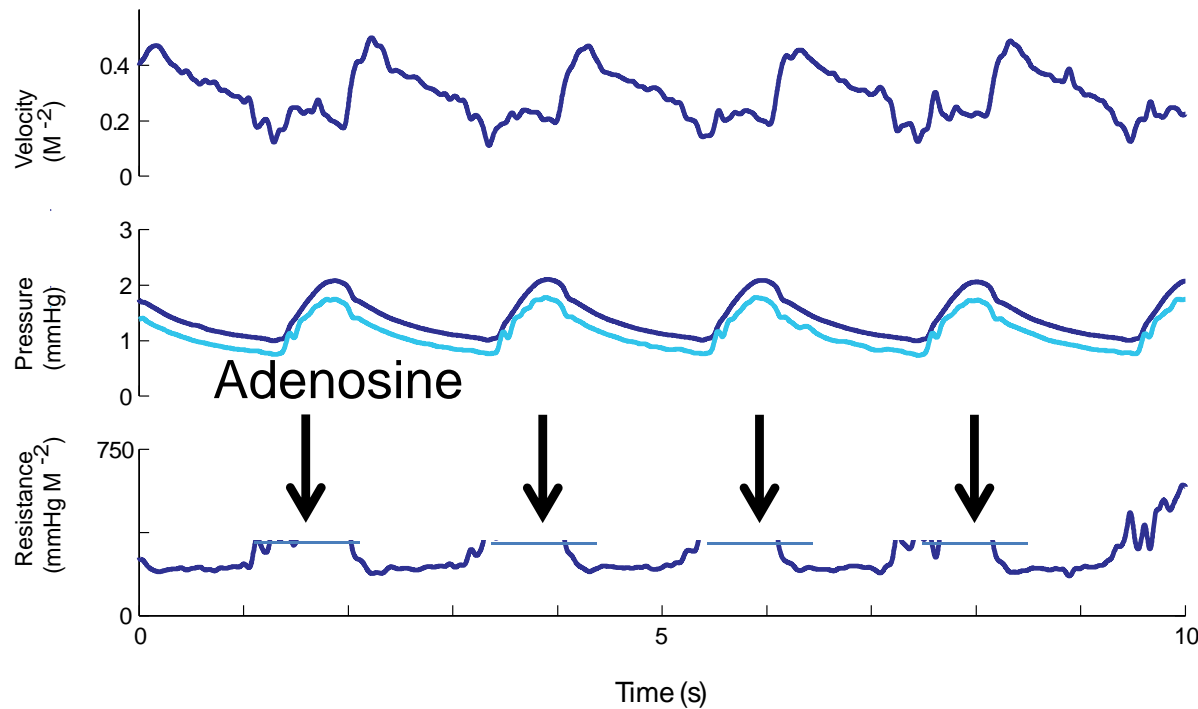


# Redukce systolické rezistence Adenosinem



$$\text{Rezistence} = \text{Tlak} / \text{Průtok}$$

# Redukce systolické rezistence Adenosinem



$$\text{Rezistence} = \text{Tlak} / \text{Průtok}$$





# Selektivní koronarografie

