



Lesion stratification with intracoronary imaging

State-of-the-Art Review

EuroIntervention • 2026

Dr. Sávio Marques de Souza

R1 Hemodinâmica

HCI Ribeirão Preto / 2026



Lesion stratification with intracoronary imaging

Michael McGarvey^{1,2}, MA, MBBS; Kalpa De Silva^{2,3}, MBBS, PhD; Thomas R. Keeble^{4,5}, MBBS, MD; Thomas W. Johnson⁶, BSc, MBBS, MD; Peter O'Kane⁷, MBBS, MD; Ziad A. Ali^{8,9}, MD, DPhil; Shengxian Tu^{10,11}, PhD; Sundeep Kalra¹², PhD; Divaka Perera^{2,3}, MD; Philip MacCarthy^{1,2}, BSc, PhD; Jonathan M. Hill¹³, MD; Jonathan Byrne^{1,2}, BSc, PhD; Rafal Dworakowski^{1,2,14}, PhD; Nilesh Pareek^{1,2*}, MA, PhD

**Corresponding author: School of Cardiovascular and Metabolic Medicine and Sciences, BHF Centre of Excellence, James Black Centre, 125 Coldharbour Lane, London, SE5 9NU, United Kingdom. E-mail: nileshpareek@nhs.net*

This paper also includes supplementary data published online at: <https://eurointervention.pcronline.com/doi/10.4244/EIJ-D-25-00266>

ABSTRACT

Intracoronary (IC) imaging-guided percutaneous coronary intervention (PCI) improves clinical outcomes in patients with high clinical and anatomical risk when compared to interventions guided by angiography alone. Recent Class I recommendations for the use of IC imaging guidance when performing PCI in left main stem or complex lesions may result in a significant uptake as the technology is embraced as standard of care. Routine application of IC imaging will provide interventional cardiologists with a wealth of high-fidelity intracoronary data on plaque composition and distribution. When paired with emerging data regarding the importance of plaque anatomical characteristics, developments in artificial intelligence and computational fluid dynamics, lesion stratification with IC imaging may herald the next paradigm shift in this field. In this review, we will explore this important emerging application of IC imaging to inform morphology-guided PCI, identify high-risk lesions for targeted therapies, and consider the prospects of harnessing automated image interpretation with artificial intelligence technologies to achieve an integrated physiological and morphological assessment. Lesion stratification with IC imaging has the potential to shape the future of interventional cardiology practice to guide therapies within and beyond the confines of the cardiac catheterisation laboratory.

Contexto

Angiografia

↓
Lúmen
↓
ICP

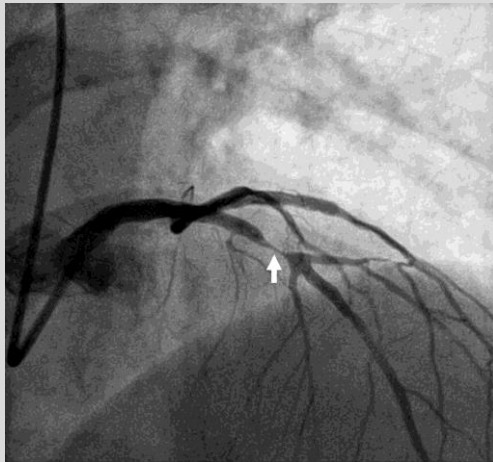
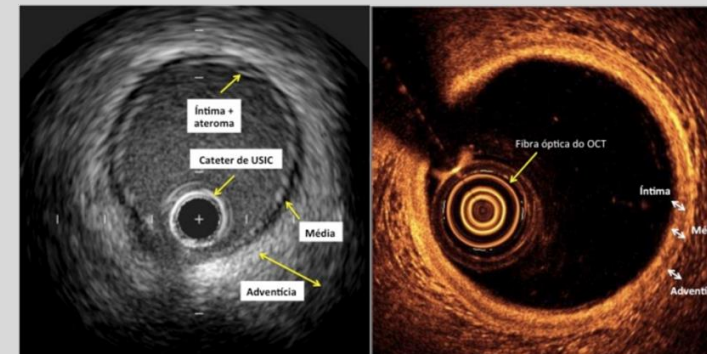


Imagem Intracoronária

↓
Caracterização
da placa
↓
Estratificação de
risco
↓
Tratamento
individualizado



Contexto

- A utilização global da imagem intracoronária ainda é baixa, com grande variação entre países:
 - **Japão:** ~85% das ICPs guiadas por imagem.
 - **Estados Unidos:** apenas 15–20% das ICPs.
- Principais barreiras para adoção:
 - Custo e reembolso.
 - Maior tempo de procedimento.
 - Necessidade de experiência para interpretação das imagens.

Diretrizes atuais: recomendação Classe I, Nível A para uso de imagem intracoronária em angioplastias complexas e tronco de coronária esquerda.

Benefícios da imagem intracoronária

- Seleção adequada do diâmetro e comprimento do stent.
- Definição precisa das zonas de aterrissagem (landing zones).
- Otimização do implante do stent.
- Identificação precoce de complicações relevantes:
 - Má aposição das hastes do stent.
 - Subexpansão do stent.
 - Dissecção das bordas.
 - Cobertura inadequada da lesão.

Evidências dos estudos randomizados

↓ Falha do vaso-alvo

↓ IAM relacionado ao vaso

↓ Revascularizações futuras

↓ Morte cardíaca

- CTO-IVUS (2015)
- IVUS-XPL (2015)
- ULTIMATE (2018)
- RENOVATE-COMPLEX PCI (2023)
- OCTOBER (2023)
- ILUMIEN IV (2023)
- IVUS-ACS (2024)
- OCCUPI (2024)

Table 1. Randomised controlled trials comparing clinical outcomes following PCI guided by intracoronary imaging versus angiography guidance.

Trial	Enrolled, n (Randomisation ratio)	IC imaging modality	Follow-up, months	Lesion complexity	Endpoint	Results	Notes
CTO-IVUS (2015) ⁷	402 (1:1)	IVUS vs angio	12	Chronic total occlusion	Composite of cardiac death, TLMi or ischaemia-driven TLR	5 (2.6%) vs 14 (7.1%) (HR 0.35, 95% CI: 0.13-0.97; p=0.035)	Primary outcome was cardiac death; 0 in IVUS group vs 2 in angio-only group Korea only
IVUS-XPL (2015) ⁸	1,4 (1:1)	IVUS vs angio	12	Long lesions ≥28 mm	Composite of cardiac death, TLMi or ischaemia-driven TLR	19 (2.9%) vs 39 (5.8%) (HR 0.48, 95% CI: 0.28-0.83; p=0.007)	94.5% follow-up at 12 months Korea only
ULTIMATE (2018) ⁹	1,448 (1:1)	IVUS vs angio	12	All-comers 8.9% CTO 12.6% unprotected left main 34.2% any bifurcation Avg. stent length ~48 mm 24.8% moderate to severe Ca ²⁺	Composite of cardiac death, TVMI or clinically indicated TVR	21 (2.9%) vs 39 (5.4%) (HR 0.53, 95% CI: 0.31-0.90; p=0.02)	Minimum operator volume: 200 PCI/yr China only
RENOVATE-COMPLEX-PCI (2023) ¹⁰	1,639 (2:1)	OCT or IVUS vs angio	24	Complex lesions 19.5% CTO 11.7% unprotected left main 21.9% true bifurcation 54.8% long lesion (≥38 mm) 37.9% multivessel PCI 14.1% severe Ca ²⁺	Composite of cardiac death, TVMI or clinically indicated TVR	76 (7.7%) vs 60 (12.3%) (HR 0.64, 95% CI: 0.45-0.81; p=0.008)	Korea only
OCTOBER (2023) ¹¹	1,201 (1:1)	OCT vs angio	24	True bifurcations with SB diameter ≥2.5 mm 18.9% LMS 70.5% LAD/D1	Composite of cardiac death, TLMi or ischaemia-driven TLR	59 (10.1%) vs 83 (14.1%) (HR 0.70, 95% CI: 0.50-0.98; p=0.035)	Europe only 15.3% IVUS use in the angiography arm
ILUMIEN IV (2023) ¹²	2,487 (1:1)	OCT vs angio	24	Complex lesions and/or T2DM 7.0% CTO 3.4% two-stent bifurcation 67.6% long lesion (≥28 mm) 11.5% severe Ca ²⁺ 5.5% STEMI culprit 24.1% non-STEMI culprit	Composite of cardiac death, TVMI or ischaemia-driven TVR	88 (7.4%) vs 99 (8.2%) (HR 0.90, 95% CI: 0.67-1.19; p=0.45)	18 countries in Europe, North America, Asia & Oceania Co-primary endpoint of final MSA was 5.72±2.04 mm ² vs 5.36±1.87 mm ² (p<0.0001)
IVUS-ACS (2024) ¹³	3,505 (1:1)	IVUS vs angio	12	Acute coronary syndromes 27.6% STEMI 4.3% unprotected left main 15.2% true bifurcation 72.5% long lesion (≥30 mm) 7.6% moderate to severe Ca ²⁺	Composite of cardiac death, TVMI or clinically indicated TVR	70 (4.0%) vs 128 (7.3%) (HR 0.55, 95% CI: 0.41-0.74; p=0.0001)	China (52 centres), Pakistan (2), UK (1), Italy (1) Minimum of 1,000 PCI per site* & 200 PCI per operator Patients underwent a second randomisation to DAPT vs ticagrelor monotherapy
OCCUPI (2024) ¹⁴	1,604 (1:1)	OCT vs angio	12	Complex lesions 7.2% CTO 20.4% acute myocardial infarction 14.3% unprotected left main 23.8% true bifurcation 71.8% long lesion (≥28 mm) 9.3% severe Ca ²⁺ 8.1% intracoronary thrombus 10.7% in-stent restenosis	Composite of cardiac death, MI, stent thrombosis, or ischaemia-driven TLR	37 (4.6%) vs 59 (7.4%) (HR 0.62, 95% CI: 0.41-0.93; p=0.023)	Korea only Initial 2x2 factorial analysis with assessment of 3-month DAPT vs 12-month DAPT abandoned due to concern about the lack of equipoise in this cohort

*Except for the UK site. Ca²⁺: calcification; CI: confidence interval; CTO: chronic total occlusion; D1: first diagonal branch; DAPT: dual antiplatelet therapy; HR: hazard ratio; IC: intracoronary; IVUS: intravascular ultrasound; LAD: left anterior descending artery; LMS: left main stem; MI: myocardial infarction; MSA: minimum stent area; OCT: optical coherence tomography; PCI: percutaneous coronary intervention; SB: side branch; STEMI: ST-segment elevation myocardial infarction; T2DM: Type 2 diabetes mellitus; TLMi: target lesion myocardial infarction; TLR: target lesion revascularisation; TVMI: target vessel myocardial infarction; TVR: target vessel revascularisation

Caracterização da lesão e planejamento da ICP

- Imagem intracoronária permite caracterização morfológica da placa in vivo.

Principais tipos de placa:

- Rica em lipídios: grande núcleo lipídico; conteúdo necrótico; inflamação; maior fragilidade. SCA.
- Fibrosa: aspecto homogêneo; elevada resistência mecânica; menor risco de ruptura. Estável.
- Calcificada: calcificação em placas ("sheet calcium"); nódulos calcificados; calcificações profundas; calcificações superficiais.

Lesões calcificadas

- Presentes em aproximadamente **20%** das ICPs.
- Associadas a piores desfechos clínicos.

A calcificação pode dificultar a passagem de dispositivos; limitar a expansão do balão; restringir a expansão do stent.

Imagem intracoronária

- Detecta cálcio com alta sensibilidade e especificidade.
 - Avalia: arco de cálcio; espessura/profundidade; comprimento; morfologia.
- Predizer risco de subexpansão do stent e ajudar a indicar técnicas avançadas de modificação do cálcio.

Lesões calcificadas

Supplementary Table 1. Intracoronary imaging calcium scoring systems.

Classification	Modality	Calcium Arc	Calcium thickness	Calcium Length	Calcified Nodule	Total Score
Fujino A et al.	OCT	>180°: 2 points	>0.5 mm: 1 point	>5 mm: 1 point	-	4
Zhang M et al.	IVUS	>270°: 1 point	-	Present: 1 point	Present: 1 point	2
Sato et al.	OCT	360°: 1 point	>0.3mm: 1point	Arc >270° for >3mm: 1 point	-	3

IVUS: Intravascular ultrasound; OCT Optical coherence tomography

Nódulos calcificados, placas lipídicas e falha do stent

Nódulos calcificados

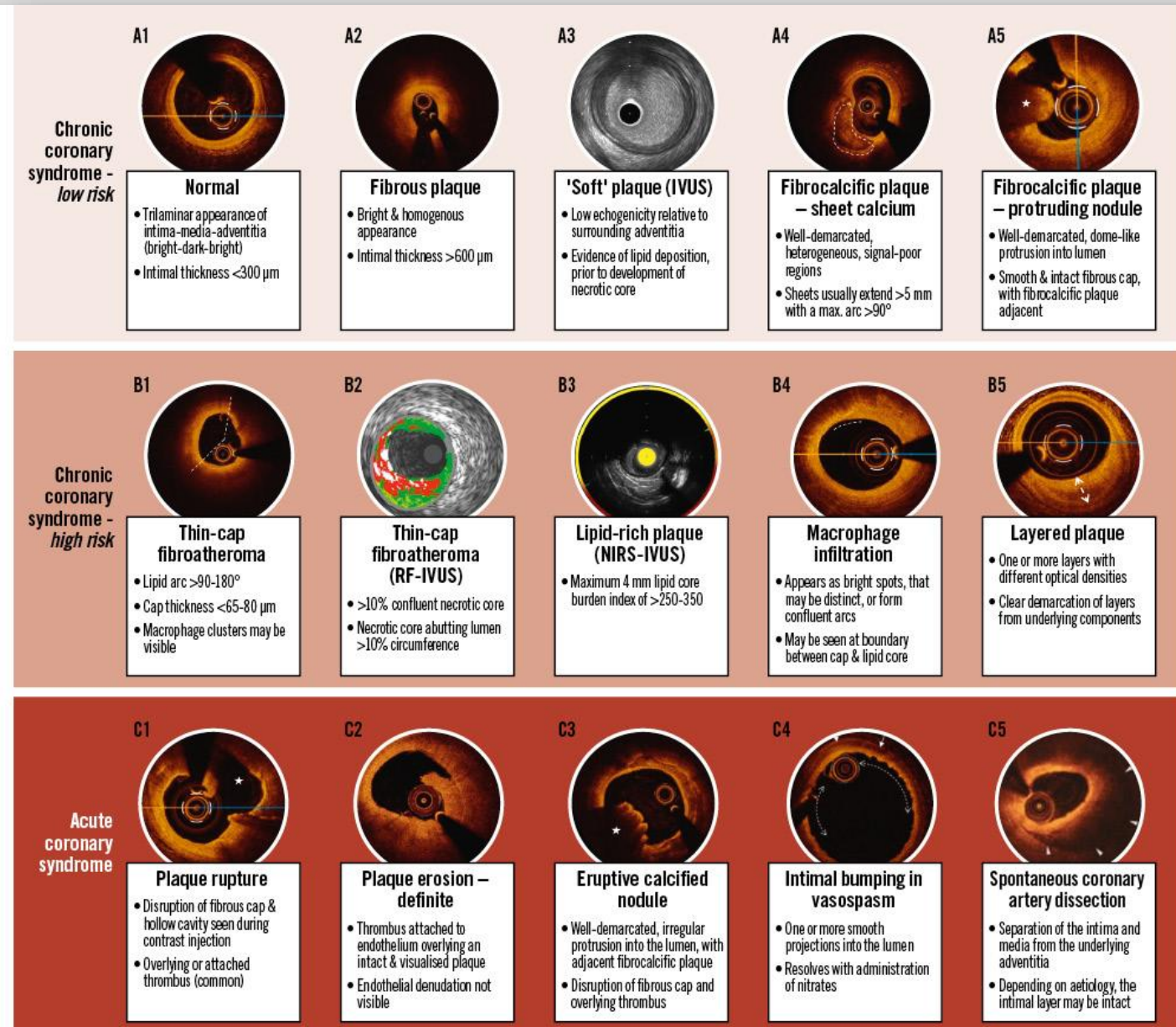
- **PCN (Protruding Calcified Nodule)**
- superfície lisa
- endotélio íntegro
- **ECN (Eruptive Calcified Nodule)**
- superfície irregular
- ruptura endotelial
- depósito de fibrina
- maior taxa de falha do vaso tratado

Placas ricas em lipídios

- Detectadas por:
- OCT
- NIRS
- **Associadas a:**
- slow-flow/no-reflow;
- IAM periprocedimento.
- **A imagem pode favorecer:**
- pré-tratamento farmacológico;
- implante direto do stent.

Falha do stent

- **IVUS**
- melhor para quantificar subexpansão.
- **OCT**
- diferencia trombo × hiperplasia neointimal;
- avalia endotélio sobre as hastes;
- identifica fratura do stent;
- diferencia hiperplasia neointimal de neoaterosclerose.



Central illustration

Lesion characteristics stratified according to associated clinical risk and syndrome.

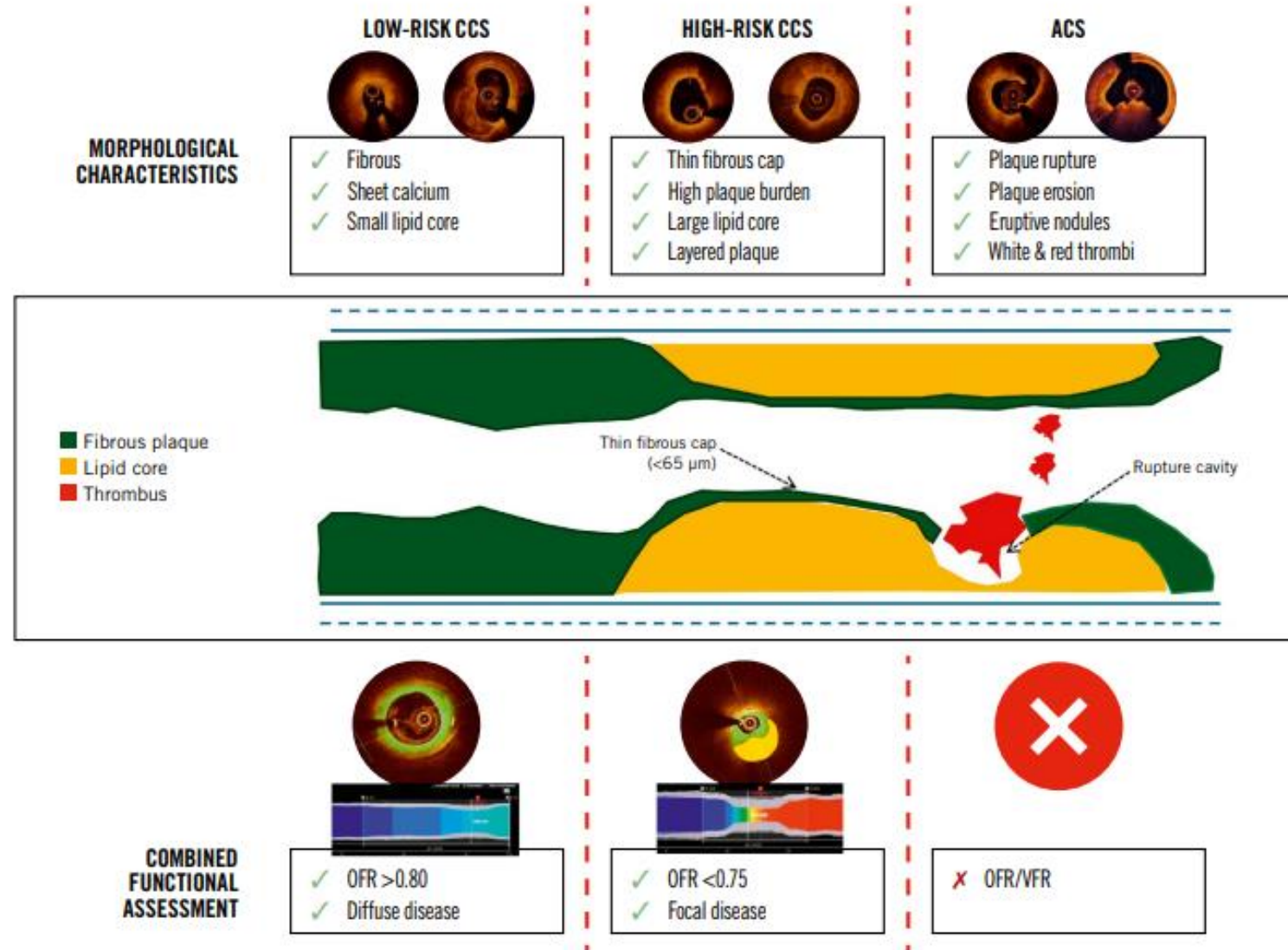


Figure 1. Morphofunctional lesion stratification with AI-enabled intracoronary imaging. ACS: acute coronary syndrome; AI: artificial intelligence; CCS: chronic coronary syndrome; OFR: optical coherence tomography-based fractional flow reserve; VFR: virtual flow reserve

Como a morfologia da placa muda a estratégia da ICP

- Placa calcificada → modificação do cálcio (litotripsia, aterectomia, balões especiais);
- Placa rica em lipídios → maior risco de slow/no-reflow
- IVUS/OCT no planejamento da ICP (comprimento da lesão, diâmetro do vaso, landing zones e otimização do stent).

Síndrome coronariana aguda

OCT: método de escolha na SCA

- Maior resolução espacial que o IVUS

Permite identificar:

- Ruptura de placa
- Erosão de placa
- Trombo branco × trombo vermelho
- Nódulo calcificado eruptivo

Exemplos de situações:

- Lesão culpada duvidosa após angiografia.
- IAM com coronárias não obstrutivas (MINOCA).
- Suspeita de vasoespasmo.
- Suspeita de SCAD.
- Suspeita de etiologia embólica ou microvascular.

Terapias guiadas pelo mecanismo de lesão

Estudo EROSION

- 55 Pacientes com erosão de placa (diagnóstico por OCT)
- Estratégia: tratamento antitrombótico isolado.
- Sem implante rotineiro de stent.
- Resultados:
- MACE: **7,5% em 1 ano.**
- Quase metade sem trombo residual no OCT de controle.

Estudo EROSION III

- 246 pacientes com STEMI.
- Comparação: OCT guiando o tratamento X Angiografia convencional.
- Resultados:
- Menor implante de stents:
 - **43,8% vs 58,8%**
- MACE semelhante em 1 ano.

Placa vulnerável: devemos tratá-la preventivamente?

1. Tratamento mecânico

- ICP preventiva guiada por imagem.

2. Terapias locais

- Drug-coated balloon (DCB).
- Crioterapia.

3. Tratamento farmacológico

- Estatinas de alta potência.
- Inibidores de PCSK9.
- Terapia anti-inflamatória.

PREVENT

- Lesões moderadas.
- FFR >0,80.
- Placas de alto risco ao IVUS/OCT/NIRS.

Comparação:

- ICP preventiva
- Tratamento clínico otimizado.

Resultados:

- ↓ 3% no desfecho primário em 2 anos.

Principalmente:

- ↓ hospitalização por angina.
- ↓ TVR.

TVR de apenas **1,7% em 4 anos** (revascularização do vaso alvo)

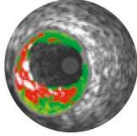
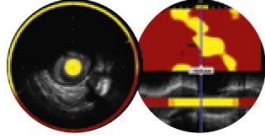
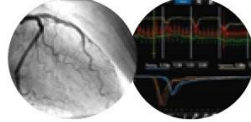
	RF-IVUS 	OCT 	NIRS-IVUS 	ANGIOGRAPHIC & FUNCTIONAL 
PROSPECT ABSORB n=182 (2020)	✓ Plaque burden >65%	✗	✗	✗ ACS culprit lesion ✓ <70% stenosis ✓ Negative FFR/iFR
PREVENT n=1,606 (2024)	✓ RF-IVUS TCFA ✓ MLA <4.0 mm ² ✓ Plaque burden >70%	✓ Cap thickness <65 μm & lipid arc >90° ✓ MLA <4.0 mm ²	✓ maxLCBI _{4mm} >315	✗ ACS culprit lesion ✓ 50-70% stenosis ✓ Negative FFR
DEBuT-LRP n=20 (2024)	✗	✗	✓ maxLCBI _{4mm} >325	✗ ACS culprit lesion ✓ Negative FFR
INTERCLIMA n~1,420 (Ongoing)	✗	✓ Cap thickness <75 μm ✓ MLA <3.5 mm ² ✓ Lipid arc >180° ✓ Macrophage clusters	✗	✗ ACS culprit lesion ✓ 40-70% stenosis
COMBINE-INTERVENE n~1,222 (Ongoing)	✗	✓ Cap thickness ≤75 μm ✓ Plaque rupture ✓ Plaque erosion with MLA <2.5 mm ² or 70% AS	✗	✓ ACS culprit lesion ✓ Multivessel disease ✓ >50% stenosis

Figure 2

Lesion stratification in clinical trials assessing device-based therapy for high-risk plaque.

O futuro: avaliação morfofuncional e inteligência artificial

Limitações atuais da imagem intracoronária:

- Interpretação dependente da experiência do operador.
- Tempo necessário para análise.
- Variabilidade entre observadores.

Inteligência Artificial (IA):

- Segmentação automática das imagens.
- Reconstrução tridimensional do vaso.
- Medidas automáticas: lúmen; dimensões arteriais; composição da placa.
- Integração em softwares de IVUS e OCT.

O futuro: avaliação morfofuncional e inteligência artificial

IA aplicada ao IVUS e OCT:

- Já é capaz de identificar automaticamente: cálcio; tecido fibroso; núcleo lipídico; espessura da capa fibrosa; arco lipídico; cristais de colesterol; infiltração por macrófagos.
- Tempo de análise: **≈25 segundos**

Síndrome coronária aguda:

- A IA pode auxiliar na identificação de: ruptura de placa; trombo luminal; erosão de placa.



Perspectivas futuras

Novos marcadores derivados da imagem:

- **OCT-derived maxLCBI4mm**
 - Quantifica conteúdo lipídico.
 - Validado contra o NIRS-IVUS.
 - **maxLCBI4mm >400**
 - ↑ morte cardíaca;
 - ↑ IAM;
 - ↑ TVR.

- **Lipid-to-Cap Ratio (LCR)**
 - Integra carga lipídica; espessura da capa fibrosa.
 - Associado ao OFR.
- **OFR baixo + LCR elevado**
 - HR **15,19** para IAM relacionado ao vaso e revascularização em 2 anos.

Perspectivas futuras

Dispositivos multimodais e Theranostics

Novas tecnologias:

- Fotoacústica intravascular.
- Autofluorescência infravermelha.
- Near-Infrared Fluorescence (NIRF).

Theranostics:

- Mesmo cateter poderá:
 - identificar a placa vulnerável;
 - liberar terapia local direcionada;
 - acompanhar a resposta ao tratamento.

Take-home message

1. A imagem intracoronária já é padrão na PCI complexa

Evidências robustas sustentam IVUS/OCT para otimização da angioplastia.

2. A caracterização da placa amplia o papel da imagem

Além do lúmen, permite avaliar composição, estabilidade e mecanismo da doença.

3. A placa vulnerável pode ser identificada

TCFA, conteúdo lipídico, macrófagos, plaque burden e layered plaque estão associados a maior risco de eventos.

4. O tratamento da placa vulnerável ainda está em evolução

Estudos iniciais são promissores, mas ainda não justificam intervenção rotineira.

5. O futuro será a integração

Morfologia + fisiologia + inteligência artificial.

Referências

MCGARVEY, Michael; DE SILVA, Kalpa; KEEBLE, Thomas R.; JOHNSON, Thomas W.; O'KANE, Peter; ALI, Ziad A.; TU, Shengxian; KALRA, Sundeep; PERERA, Divaka; MACCARTHY, Philip; HILL, Jonathan M.; BYRNE, Jonathan; DWORAKOWSKI, Rafal; PAREEK, Nilesh. **Lesion stratification with intracoronary imaging. EuroIntervention**, v. 22, p. e74-e89, 2026. DOI: 10.4244/EIJ-D-25-00266.

Obrigado.