ANGIOGRAFIA CORONARIA FUNCIONAL

SOLACI

LIMA, PERU 16 y 17 de noviembre 2023

Dr. Ruben Piraino

ANGIOGRAFÍA CORONARIA

QCA

- ANALISIS CUANTITATIVO DE LA SEVERIDAD

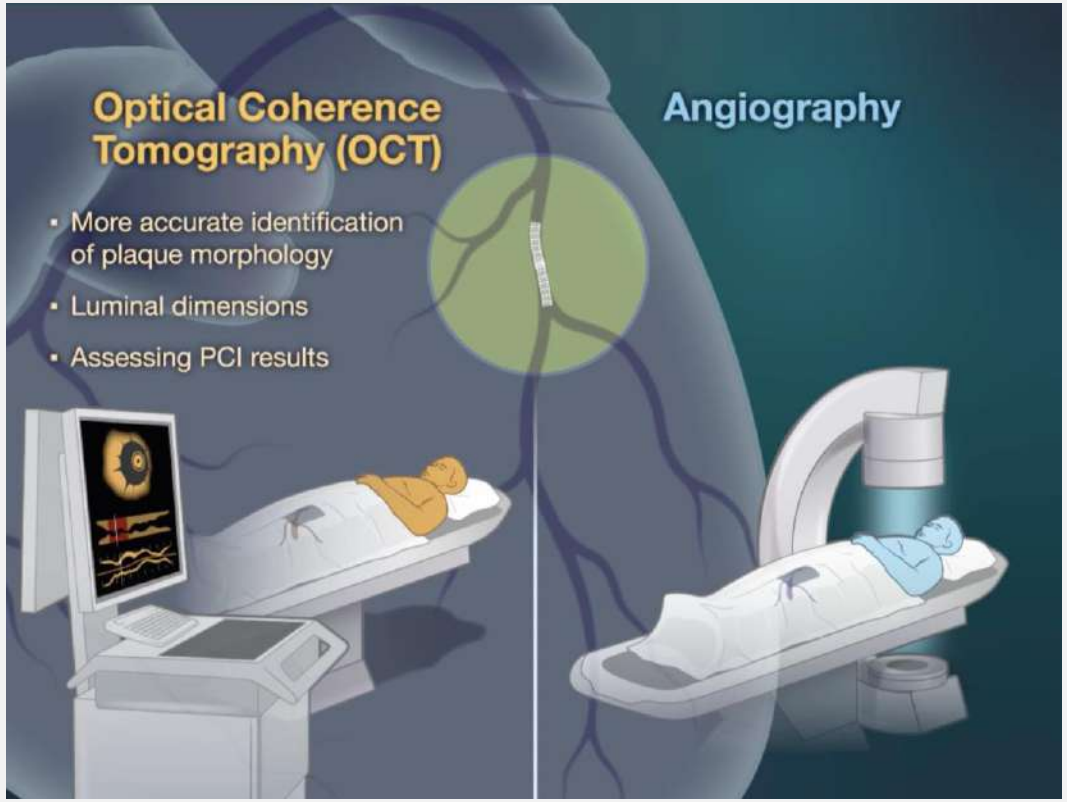
PROBLEMA

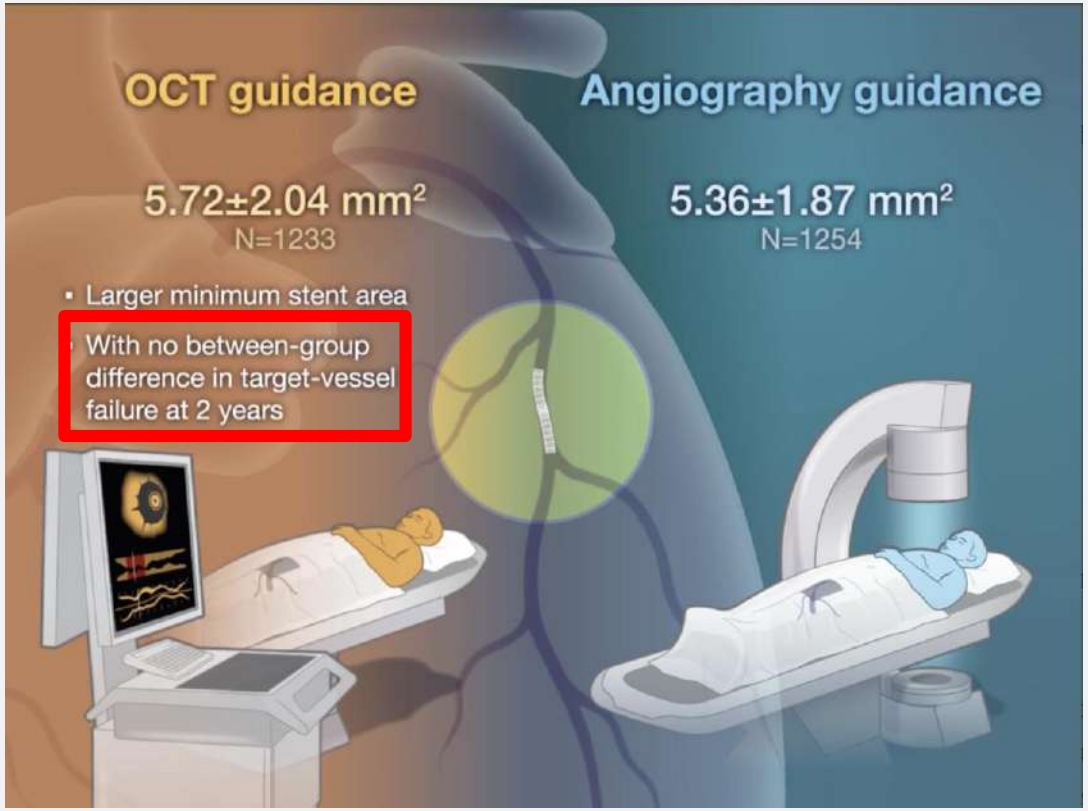
- ANALISIS CUANTITATIVO PLANAR
- NO REALIZA UNA EVALUACION ANATOMICA TOTAL

IVUS
OCT

- EVALUACION ANATOMICA INVASIVA
- NO REALIZA EVALUACION FUNCIONAL

ANGIOPLASTIA GUIADA: OCT vs ANGIOGRAFIA

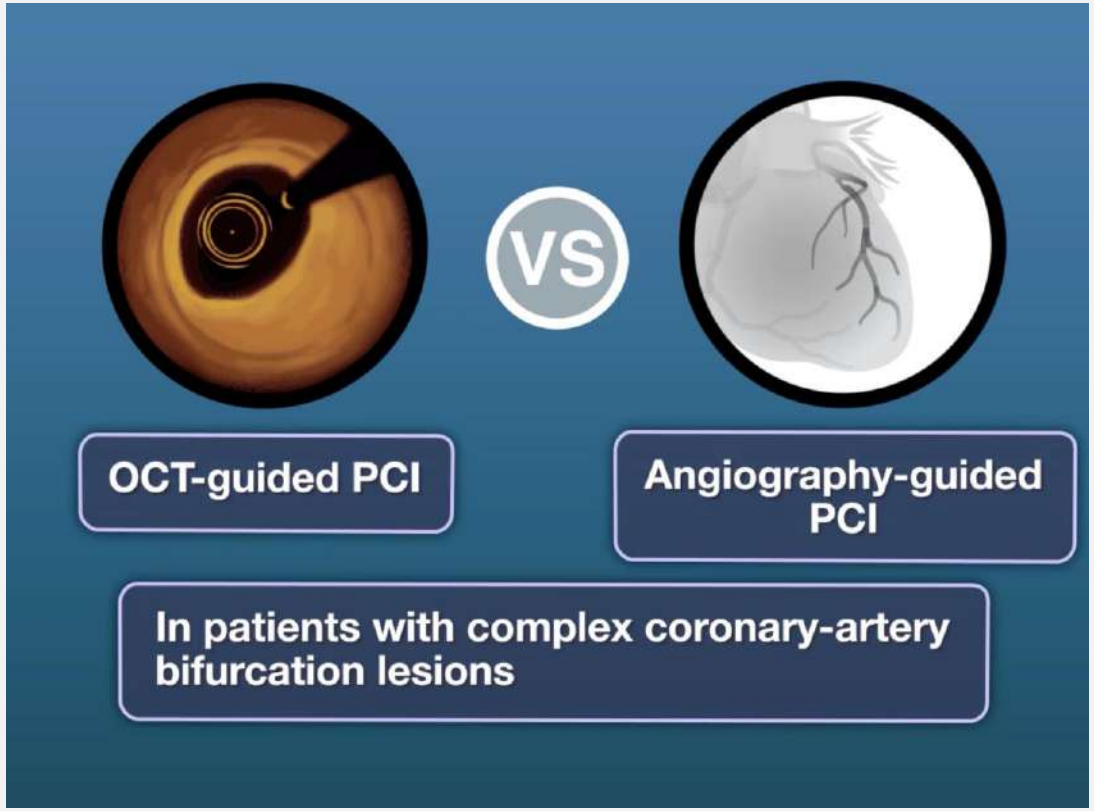


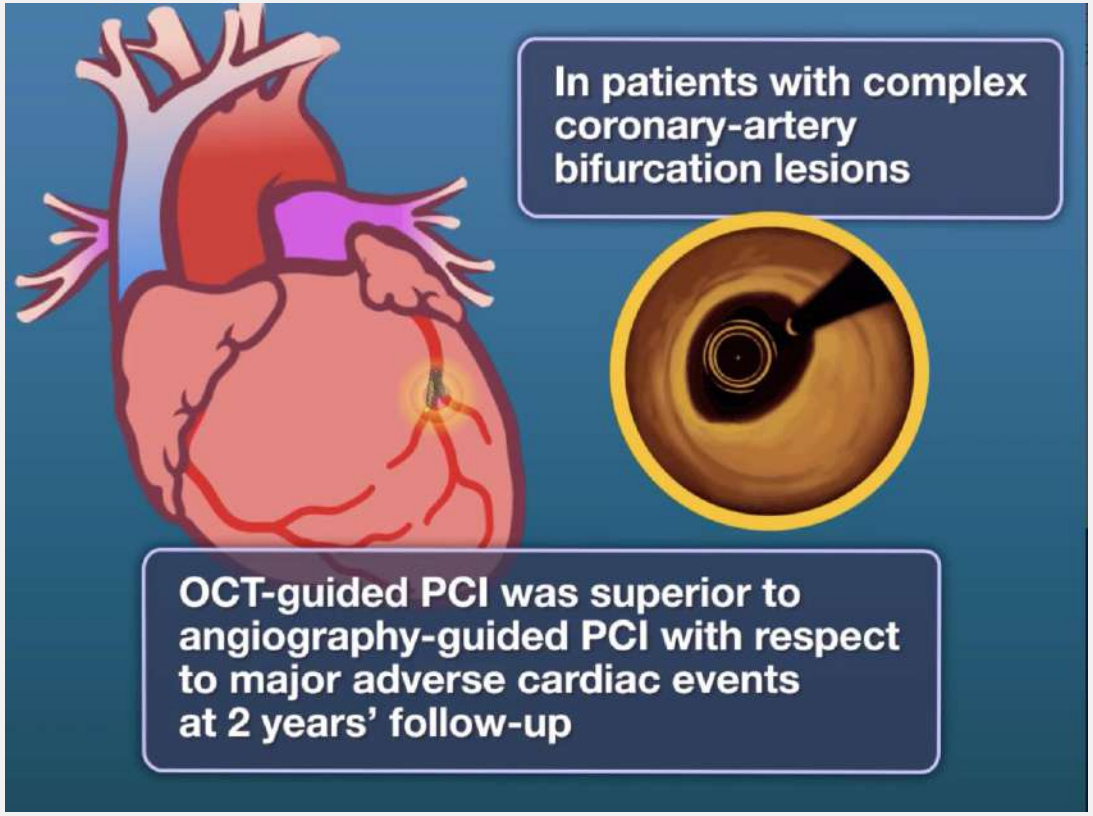


POCO USO

N Engl J Med 2023; 389:1466-1476

BIFURCACIONES: OCT vs ANGIOGRAFIA

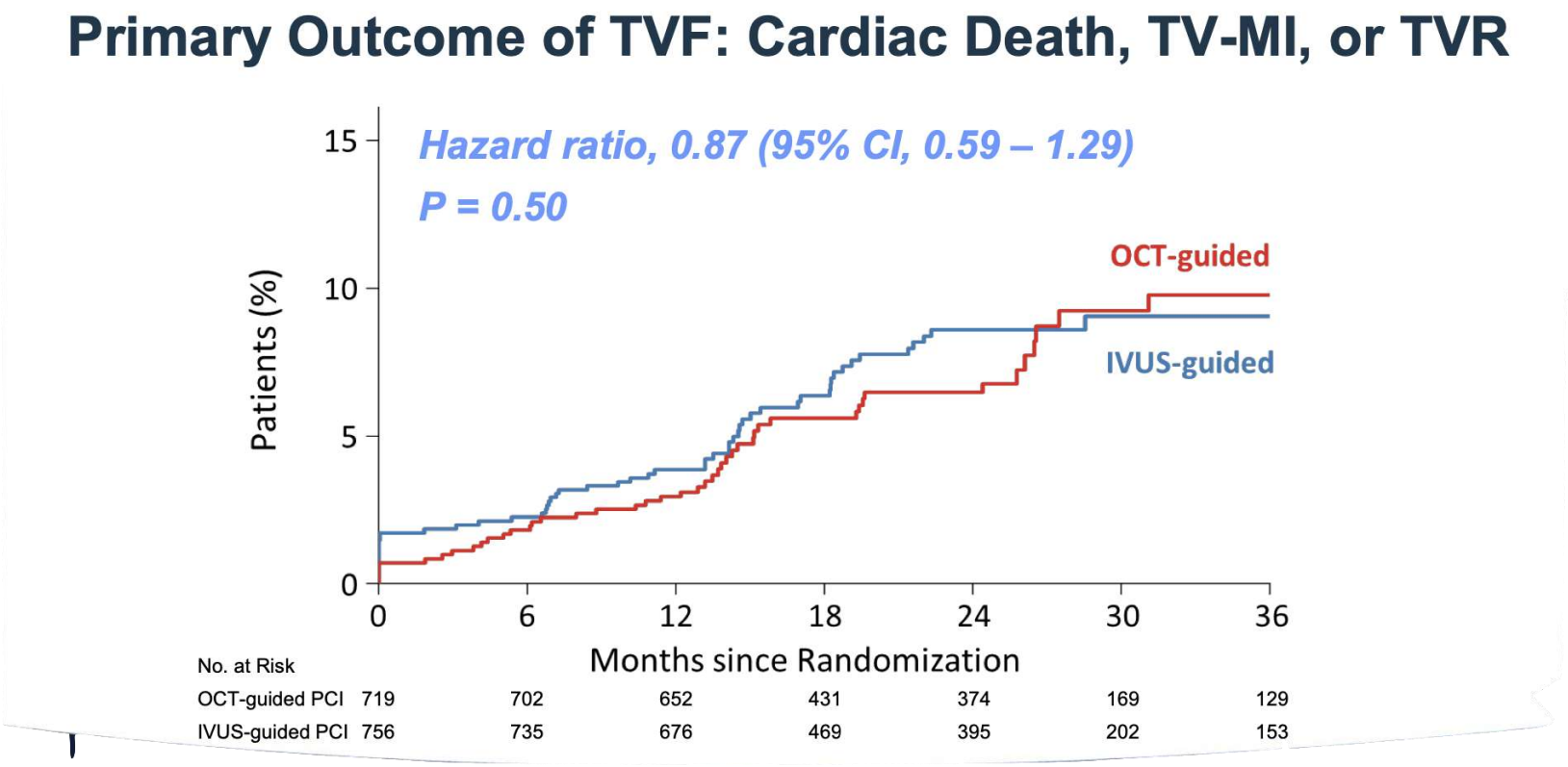




POCO USO

N.R. Holm and Others N Engl J Med 2023; 389:1477-1487

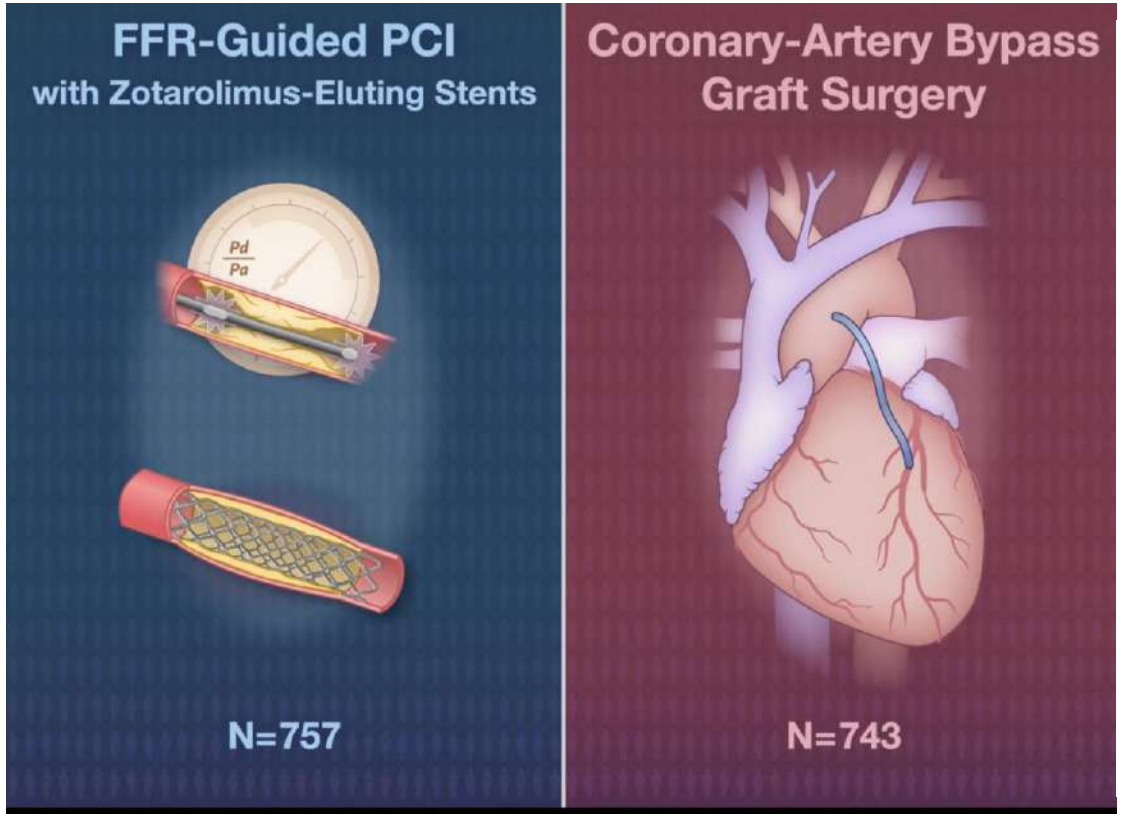
NO INFERIORIDAD OCT VS IVUS

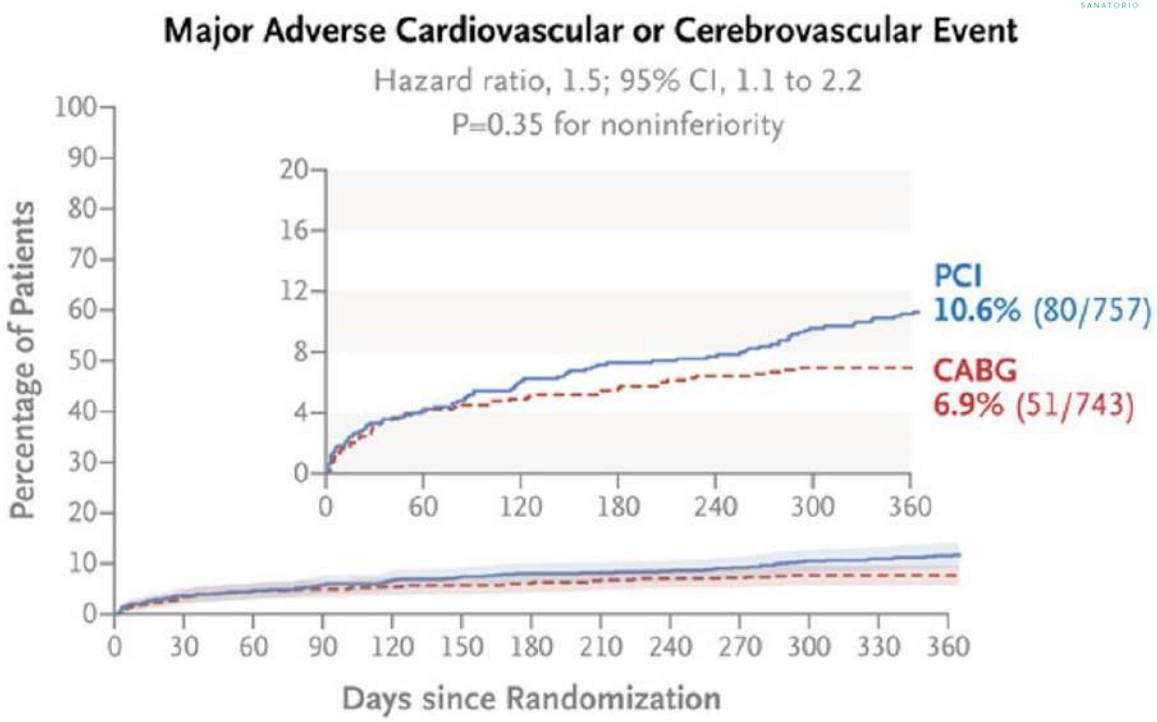


POCO USO

D-Y Kang and Others CIRCULATION 2023;148:1195

EVALUACION FUNCIONAL INVASIVA CON CUERDAS ANGIOPLASTIA GUIADA POR FFR vs CIRUGIA





POCO USO

N Engl J Med 2022; 386:128-137

ANGIOGRAFIA CORONARIA FUNCIONAL
DEFINICION

Evaluación fisiológica de la enfermedad de las arterias coronarias, sin necesidad de instrumentación intracoronaria (wire free) o administración de fármacos vasodilatadores

ANGIOGRAFÍA CORONARIA FUNCIONAL (FCA):

FFR

- ERA DE TECNOLOGIAS **CON** CUERDAS

POCO USO CAUSAS:

- inercial (es decir, aprensión del operador sobre los datos angiográficos y/o desconfianza en la fisiología coronaria) y
- Técnica (complejidad percibida de la infusión de adenosina, tiempo y costos del procedimiento)

ANGIOGRAFIA CORONARIA FUNCIONAL

- ERA DE TECNOLOGIAS **SIN** CUERDA (WIRE FREE)
- Extrae informacion desde la Coronariografia Invasiva y CCTA (coronariografia computalizada por Tomografia)

EuroIntervention 2023;19:203-221

Pasos a seguir para Estimacion del Q y P Derivada de la Angio

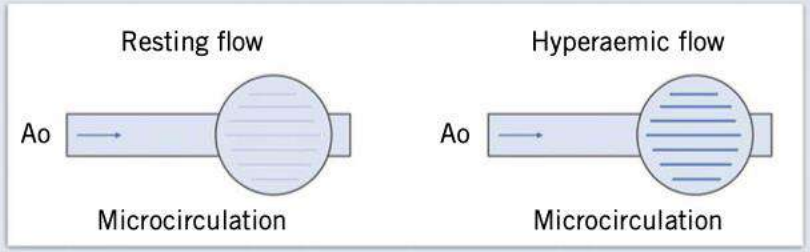
1

reconstrucción de un modelo tridimensional (3D) de las arterias coronarias

Adquisición de imágenes y reconstrucción de modelos 3D

2

modelo fisiológico de la microcirculación coronaria a partir de datos específicos del paciente



Se obtiene un modelo fisiológico de la microcirculación coronaria a partir de datos específicos del paciente siguiendo principios específicos

3

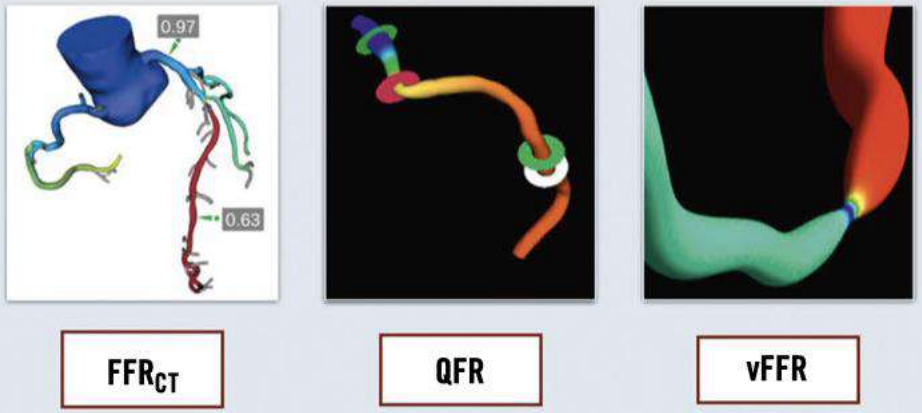
selección de ecuaciones de fluidos adecuada

$$\rho\left(\frac{\partial v}{\partial t} + v \cdot \nabla v\right) = -\nabla p + \nabla \cdot T + f$$

Las leyes físicas de la dinámica de fluidos se aplican para calcular el flujo sanguíneo coronario, resolviendo las ecuaciones de Navier-Stokes o ecuaciones simplificadas.

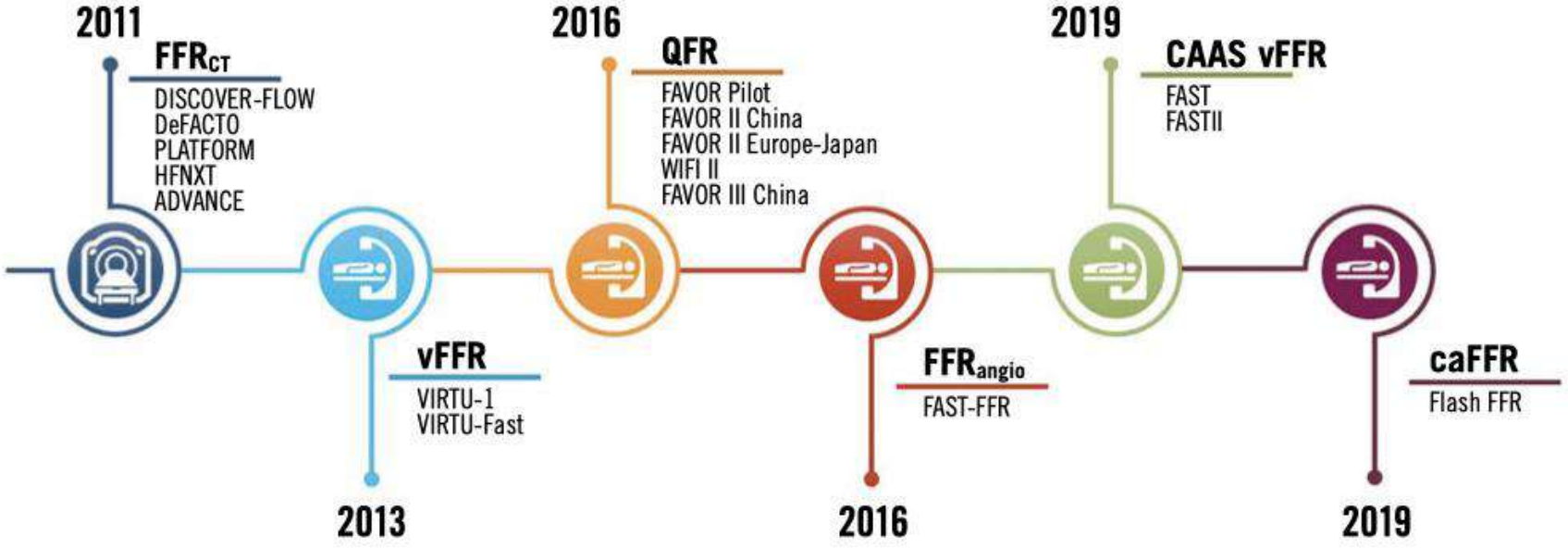
4

Eleccion del Indice Funcional



El índice funcional elegido se calcula en toda la arteria coronaria. FFRCT: reserva fraccionada de flujo derivada de tomografía computarizada; QFR: relación de flujo cuantitativa; vFFR: reserva de flujo fraccional virtual.

EVOLUCION DE LA FISIOLOGIA CORONARIA NO INVASIVA



Cronología de la evolución de la fisiología coronaria no invasiva y los respectivos estudios de referencia. CAAS vFFR: reserva de flujo fraccional del vaso; caFFR: FFR derivada de la dinámica computacional de presión-flujo; FFR: reserva fraccionaria de flujo; FFRangio : FFR derivado de angiografía; FFRCT : FFR derivada de la tomografía computarizada; QFR: relación de flujo cuantitativa; vFFR: reserva de flujo fraccional virtual

Table 1. Technical aspects of the different FCA indices and respective validation studies.

	Technique	Imaging modality	Inlet	Outlet	Flow	Pattern	Equation solution	Other	Studies (Ref)	Year	Design	Vessels	Sensitivity	Specificity	PPV	NPV	Corr. with invasive FFR
COMMERCIALLY AVAILABLE	QFR QUANTITATIVE FLOW RATIO	3D-QCA	Patient-averaged aortic pressure	Free	Fixed hyperaemic	Steady	Simplified equation	fQFR	FAVOR Pilot[17]	2016	Prospective offline	84	0.67	0.86	0.69	0.85	0.69
					TIMI frame count	Steady	Simplified equation	cQFR					0.74	0.91	0.80	0.88	0.77
					Adenosine-induced	Steady	Simplified equation	aQFR (hyperaemia)					0.78	0.91	0.81	0.90	0.72
			-	Free	TIMI frame count	Steady	Simplified equation	cQFR	FAVOR II China[16]	2017	Prospective online	328	0.95	0.92	0.86	0.97	0.86
									Yazaki et al[19]	2017	Retrospective offline	151	0.89	0.89	0.77	0.95	0.80
									FAVOR II Europe-Japan[18]	2018	Prospective online	317	0.87	0.87	0.76	0.93	0.83
									FAVOR III China[41]	2021	RCT	3,825	Lower events at 1-year follow-up: difference –3.0% [95% CI: –4.7 to –1.4]; hazard ratio 0.65 [95% CI: 0.51 to 0.83]				
									WIFI II[39]	2018	Prospective offline	240	0.77	0.86	0.75	0.87	0.70
				Free	Fixed hyperaemic	Steady	Simplified equation	fQFR	Ties et al[21]	2018	Retrospective offline	151	0.57	0.93	0.67	0.89	0.71
					TIMI frame count	Steady	Simplified equation	cQFR					0.67	0.96	0.82	0.92	0.70
				Free	Fixed hyperaemic	Steady	Simplified equation	fQFR	Koltowski et al[20]	2018	Retrospective offline	306	0.90	0.63	0.64	0.89	0.72
					TIMI frame count	Steady	Simplified equation	vQFR (vessel cQFR)					0.91	0.70	0.69	0.91	0.78
								iQFR (lesion cQFR)					0.49	0.97	0.91	0.72	0.70
								iQFR (index cQFR)					0.84	0.87	0.82	0.88	0.85
				Free	TIMI frame count	Steady	Simplified equation	cQFR	Mejía-Rentería et al[22]	2018	Retrospective offline	300	0.89	0.87	0.85	0.91	0.83
				Free	Fixed hyperaemic	Steady	Simplified equation	fQFR	Emori et al[25]*	2018	Retrospective offline	75	0.94	0.62	0.69	0.92	0.84
					TIMI frame count	Steady	Simplified equation	cQFR					0.92	0.82	0.83	0.91	0.88
				Free	TIMI frame count	Steady	Simplified equation	cQFR	Emori et al[23]	2018	Retrospective offline	100	0.97	0.87	0.94	0.93	0.89
									Spitaleri et al[36]**	2018	Prospective offline	45	0.88	0.97	0.94	0.94	0.90
									Smit et al[29]***	2018	Retrospective offline	82	0.71	0.95	0.85	0.89	0.74

Delta
SANATORIO

Table 1. Technical aspects of the different FCA indices and respective validation studies (cont'd).

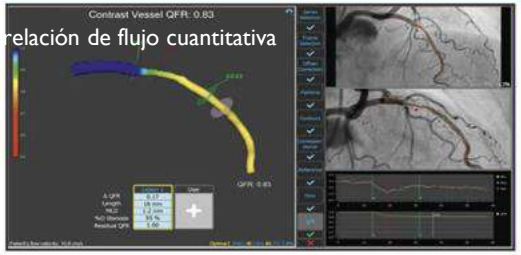
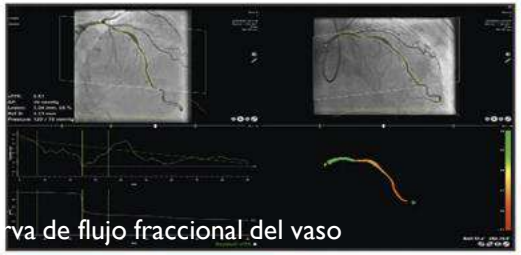
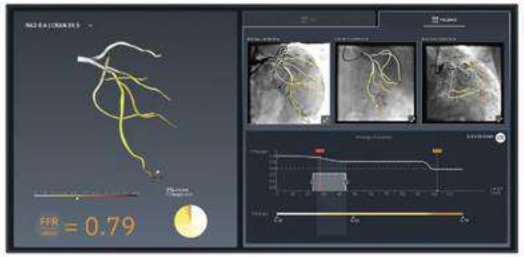
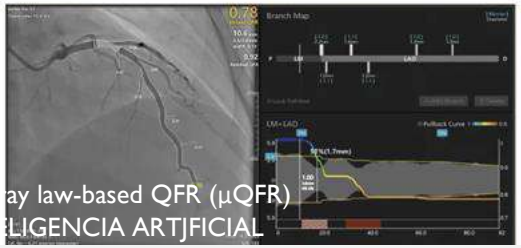
	Technique	Imaging modality	Inlet	Outlet	Flow	Pattern	Equation solution	Other	Studies (Ref)	Year	Design	Vessels	Sensitivity	Specificity	PPV	NPV	Corr. with invasive FFR
COMMERCIALLY AVAILABLE	QFR	3D-QCA	-	Free	TIMI frame count	Steady	Simplified equation	cQFR	Smit et al[24]	2019	Retrospective offline	334	0.70	0.92	0.77	0.89	0.81
									Stähli et al[26]	2019	Prospective offline	516	0.75	0.98	0.89	0.94	0.82
									Hwang et al[27]	2019	Retrospective offline	358	0.92	0.90	0.86	0.95	0.86
									Tanigaki et al[37]	2019	Retrospective offline	233	0.90	0.82	0.81	0.90	0.78
									Lauri et al[31]	2019	Retrospective offline	159	0.86	0.80	0.78	0.87	0.75
									Asano et al[35]	2019	Retrospective offline	310	0.74	0.74	0.86	0.57	-
									Rubimura et al[30]****	2019	Retrospective offline	93	-	-	-	-	0.79
COMMERCIALLY AVAILABLE	FFR_{angio} FFR ANGIO	ICA (2 views)	Measured mean aortic pressure	Resistance lumped model	Derived from healthy artery cross section + heart rate	Steady	CFD	-	Kornowski et al[45]	2016	Prospective offline	101	0.97	0.93	0.88	0.95	0.97
									Tröbs et al[57]	2016	Retrospective offline	113	0.79	0.94	0.85	0.92	0.85
		ICA (3 views)	Mean aortic pressure measured at hyperaemia	Resistance lumped model	Derived from 3D geometry and scaling	Steady	Fluid equation	-	Pellicano et al[46]	2017	Prospective offline	203	0.91	0.93	0.88	0.95	0.96
									FAST-FFR[47]	2019	Retrospective offline	319	0.94	0.91	0.89	0.95	0.80
									Omori et al[58]	2019	Prospective online	118	0.92	0.92	-	-	0.83
COMMERCIALLY AVAILABLE	vFFR VESSEL FFR CAAS vFFR	Rotational ICA + 3D reconstruction ICA 3D-QCA	Measured aortic pulsatile waveform	Resistance lumped model	-	Pulsatile	CFD	vFFR transient CFD	VIRTU-1[55]	2013	Prospective offline	35	0.86	1	1	0.97	0.84
			Measured aortic pulsatile waveform	Resistance lumped model	-	Pulsatile	CFD + fluid equation	vFFR pseudo-transient steady state	VIRTU-Fast[56]	2017	Prospective offline	73	1	1	1	1	1
			Measured mean aortic pressure	Resistance lumped model	-	Steady	CFD + fluid equation	vFFR steady state					1	1	1	1	1
			Measured mean aortic pressure at hyperaemia	Free	Derived from patient aortic pressure + 3D sizing	Steady	Fluid equation	-	FAST[49]	2019	Retrospective offline	319	-	-	-	-	0.89
									FASTII[50]	2021	Prospective observational	330	-	-	-	-	-
	FFR_{CT}	CTA	Lumped heart model	Resistance lumped model	-	Pulsatile/ steady	CFD/ simplified equations	-	DISCOVER-FLOW[64]	2011	Prospective offsite	159	0.88	0.82	0.74	0.92	0.72
									DeFACTO[65]	2012	Prospective offsite	407	0.90	0.54	0.67	0.84	0.63
									HFNXT[66]	2014	Prospective onsite	484	0.84	0.86	0.61	0.95	0.82

Table 1. Technical aspects of the different FCA indices and respective validation studies (cont'd).

	Technique	Imaging modality	Inlet	Outlet	Flow	Pattern	Equation solution	Other	Studies (Ref)	Year	Design	Vessels	Sensitivity	Specificity	PPV	NPV	Corr. with invasive FFR
NOT COMMERCIALLY AVAILABLE	caFFR	ICA (2 views)	Measured mean aortic pressure	Free	TIMI frame count	Steady	CFD	-	Flash FFR[51]	2019	Prospective online	328	0.90	0.99	0.97	0.95	0.89
	vFAI	ICA 3D-QCA	Average human aortic pressure (100 mmHg)	Free	Fixed	Steady	CFD	Derived from DP-flow curve	Papafaklis et al[54]	2014	Retrospective offline	139	0.90	0.86	0.80	0.94	0.78
	FFRQCA	ICA 3D-QCA	Measured mean aortic pressure	Free	TIMI frame count	Steady	CFD	Need of hyperaemia	Tu et al[59]	2014	Retrospective offline	80	0.78	0.93	0.92	0.91	0.81

*Postmyocardial infarction patients. **Patients with ST-elevation myocardial infarction from ARYOSTO. ***Patients with diabetes. ****Pre-percutaneous coronary intervention. 3D: three-dimensional; aQFR: adenosine-flow QFR; CAAS vFFR: vessel FFR; caFFR: computational pressure-flow dynamics derived FFR; CFD: computational fluid dynamics; cQFR: contrast-flow QFR; CTA: computed tomography angiography; DP: differential pressure; FFR: fractional flow reserve; FFR^{angio}: angiography-derived FFR; FFR^{CT}: coronary computed tomography-derived FFR; fQFR: fixed-flow QFR; ICA: invasive coronary angiography; NPV: negative predictive value; PPV: positive predictive value; ps-trans: vFFR computed with the pseudotransient steady-state method; QCA: quantitative coronary analysis; QFR: quantitative flow ratio; TIMI: Thrombolysis in Myocardial Infarction; trans: vFFR computed with full transient CFD; vFAI: virtual functional assessment index; vFFR: virtual FFR

Índices funcionales disponibles comercialmente basados en angiografía coronaria invasiva.

	User display	Projections needed	Pressure sensor	Microcirculation	Side branches	Available data
QFR		2	No	Yes	No	
CAAS vFFR		2	No	No	No	
caFFR		2	Yes	Yes	No	
FFR angio		3	Yes	No	Yes	
µQFR		1	No	Yes	Yes	

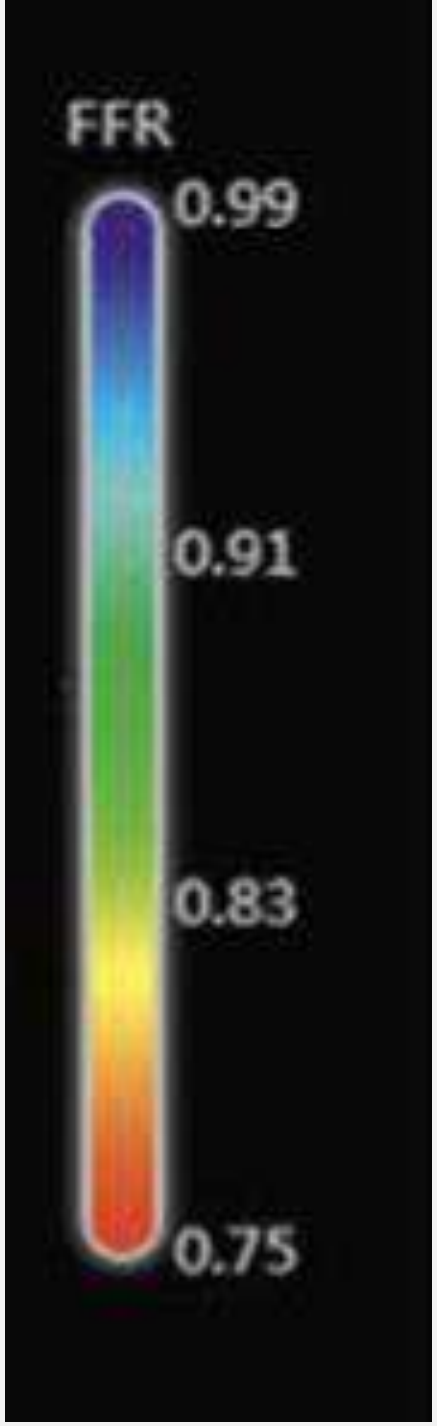
QFR: relación de flujo cuantitativa

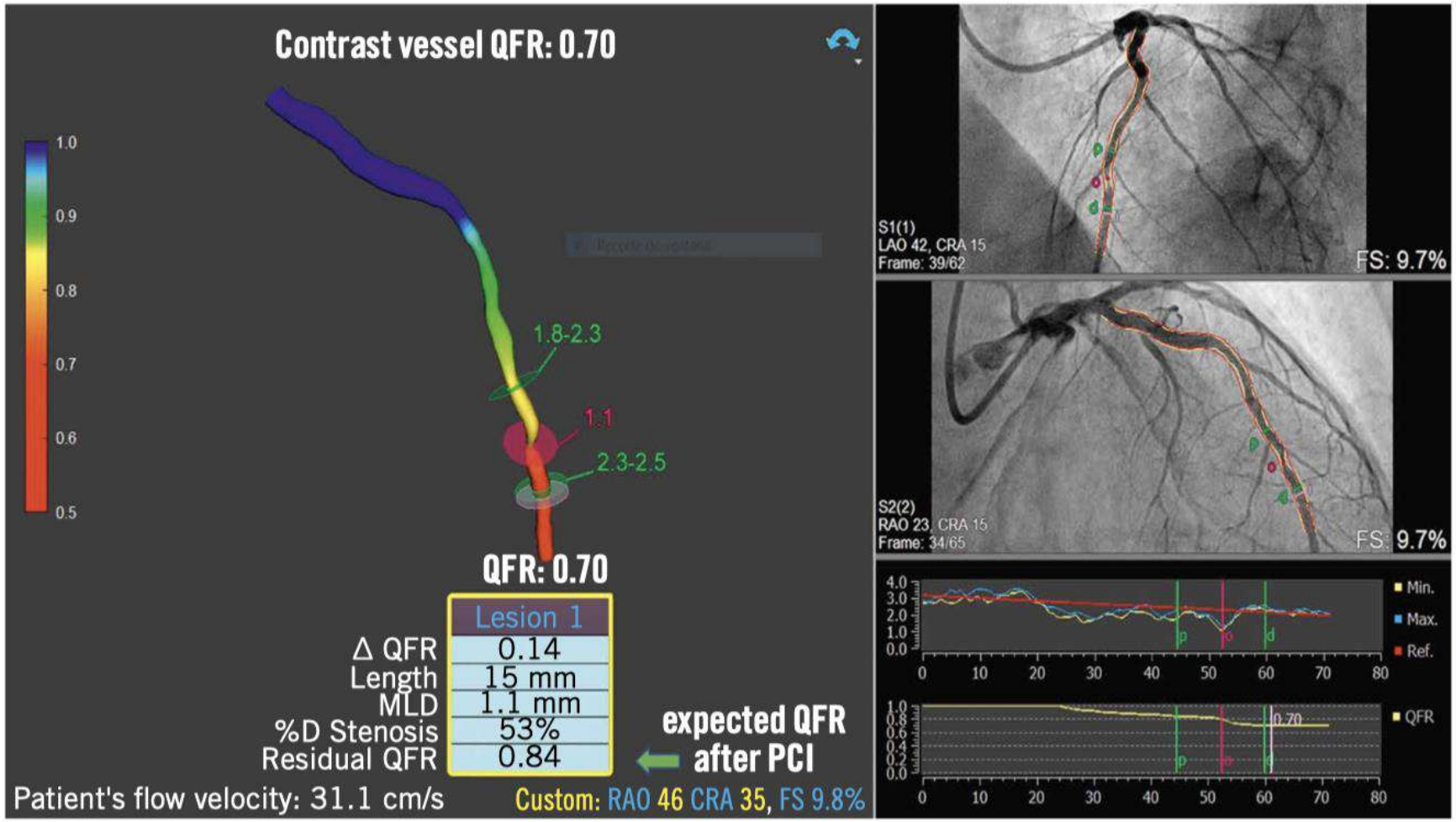
reserva de flujo fraccional del vaso

derivada de la dinámica computacional de presión-flujo
NO DISPONIBLE

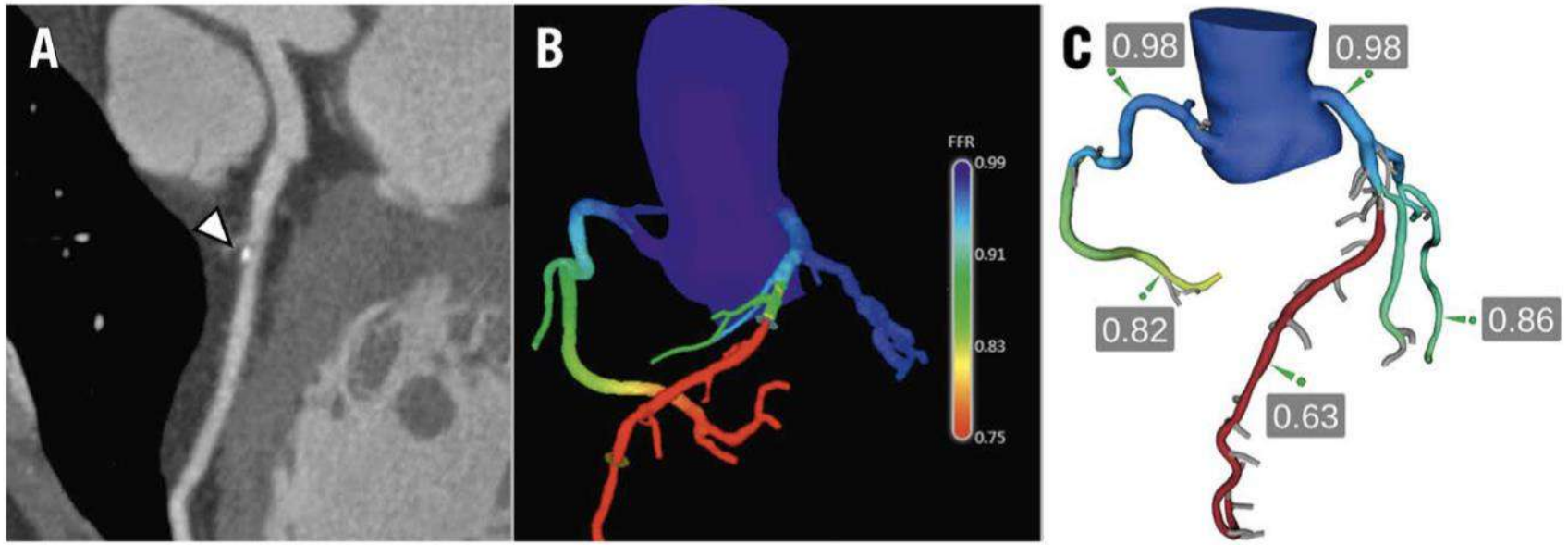
Murray law-based QFR (µQFR)
INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Las columnas de izquierda a derecha muestran la visualización de la interfaz de usuario después del cálculo del índice; número de proyecciones angiográficas necesarias; necesidad de aporte de presión aórtica media; capacidad para proporcionar evaluación de la resistencia microcirculatoria; interrogación fisiológica simultánea de la rama lateral; y la calidad y cantidad de la evidencia publicada. Código de color: verde = ventaja; amarillo: ameno; rojo = desventaja. CAAS vFFR: reserva de flujo fraccional del vaso; caFFR: FFR derivada de la dinámica computacional de presión-flujo; FFR: reserva fraccionaria de flujo; FFRangio : FFR derivado de angiografía; QFR: relación de flujo cuantitativa; µQFR: QFR basado en la ley de Murray

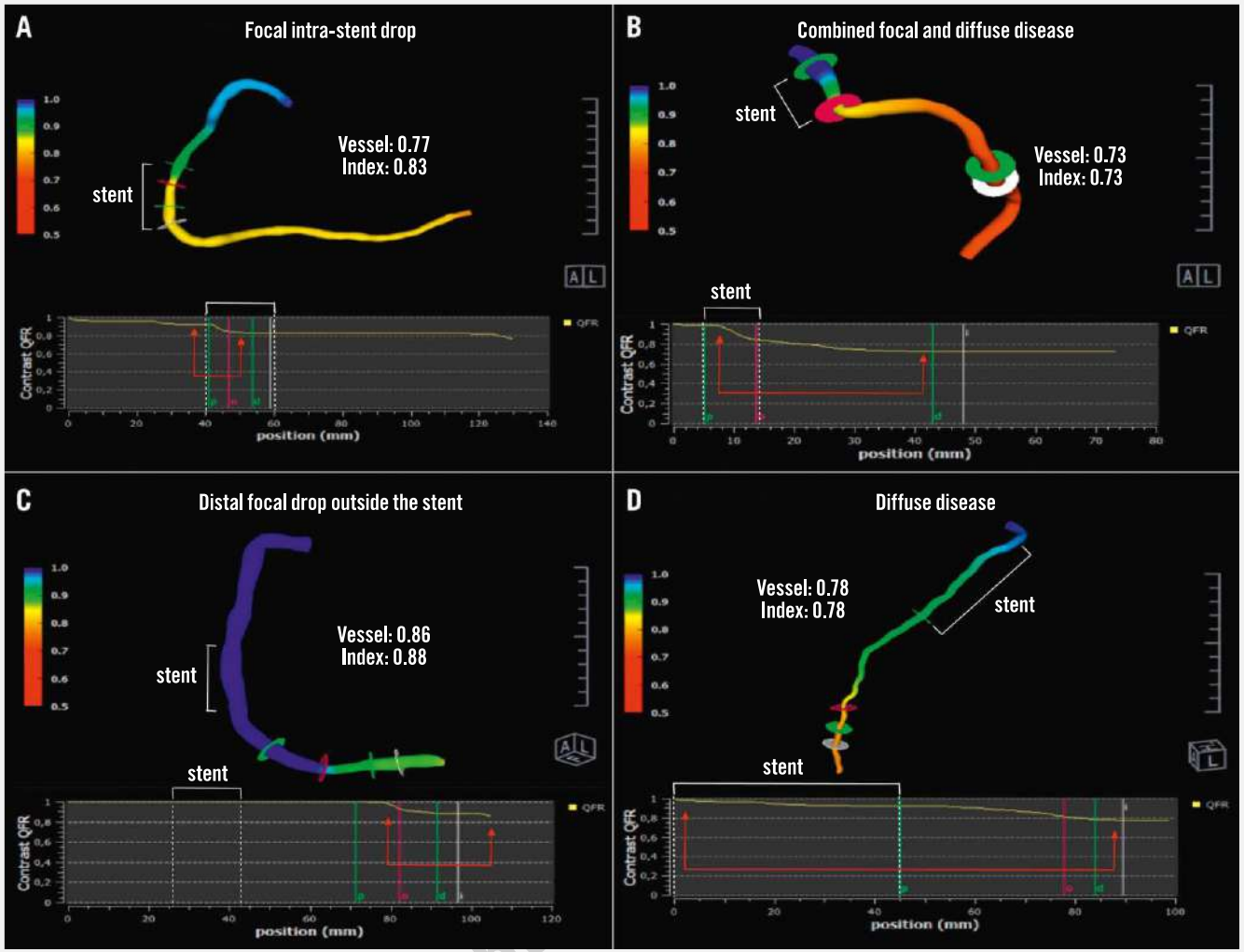

FFR
0.99
0.91
0.83
0.75



QFR con contraste para la arteria descendente anterior. La coronariografía mostró una lesión intermedia en la arteria descendente anterior media. El QFR de contraste en el mismo vaso fue positivo para isquemia funcional significativa (0,70). La angioplastia virtual en un segmento pequeño (entre los marcadores verdes) mostró un QFR final esperado de 0,84 después de la colocación del stent. MLD: diámetro mínimo del lumen; ICP: intervencionismo coronario percutáneo; QFR: relación de flujo cuantitativa; %D: % de diámetro



Reserva fraccional de flujo derivada de tomografía computarizada coronaria. A) Se muestra la ATCC de la arteria LAD. La punta de flecha indica una placa calcificada en el segmento medio con estenosis de 50% de diámetro. B) Se genera un modelo anatómico cuantitativo 3D codificado por colores. C) La TC FFR se calcula en todo el árbol coronario. El valor de TC FFR de 0,63 en la arteria distal de la DA sugiere la presencia de una estenosis funcionalmente significativa después de la aparición de la primera rama diagonal. Cortesía del Dr. Joo Myung Lee. ATCC: angiografía coronaria por tomografía computarizada; FFR: reserva fraccionaria de flujo; FFRCT : FFR derivada de la tomografía computarizada coronaria; DA: descendente anterior



Establecer la causa de los resultados de ICP funcional subóptimos con QFR. Los corchetes blancos indican el segmento con stent. Las flechas rojas apuntan a la caída principal de QFR durante el retroceso. A) Caída focal intra-stent. B) Gota focal intrastent combinada y enfermedad difusa distal. C) Caída focal distal fuera del stent. D) Enfermedad difusa. Cortesía de la Dra. Simone Biscaglia. ICP: intervencionismo coronario percutáneo; QFR: relación de flujo cuantitativa

QUE NECESITA CONOCER EL INTERVENCIONISTA

SINERGIA

- IMÁGENES INTRAVASCULARES
- FISIOLOGIA CORONARIA

ENFASIS

- TECNOLOCIAS WIRE FREE

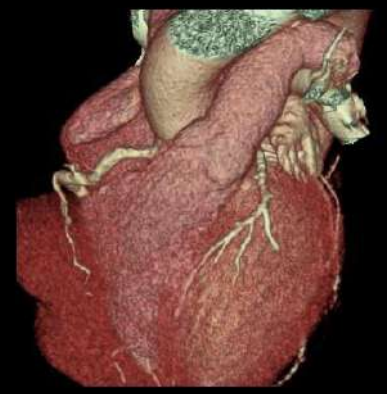
VALORACION

- PLACA VULNERABLE

QUE NECESITA CONOCER EL INTERVENCIONISTA

Delta SANATORIO

Volume Rendering

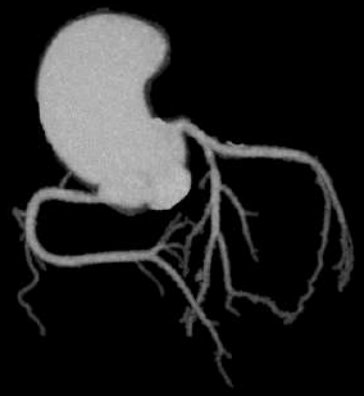


Overview of the heart anatomy

Myocardial bridges

Non-coronary structures

3D MIP

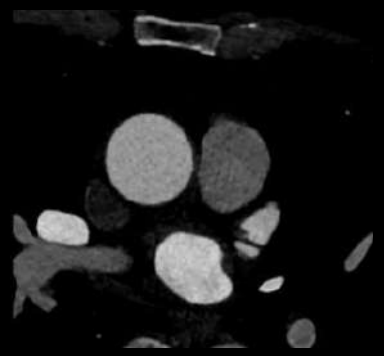


3D of the coronary tree

Distribution and severity of calcium

Location of stenosis

Axial images



Ostium take off

Dominance

Complete diagnostic evaluation

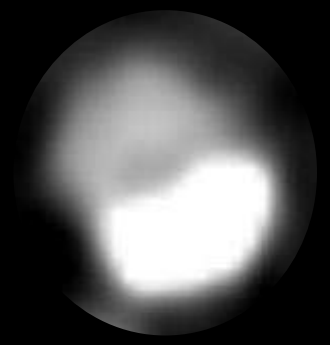
Curved MPR

Stenosis and plaque assessment

Plaque composition

Myocardial bridges

Cross-section

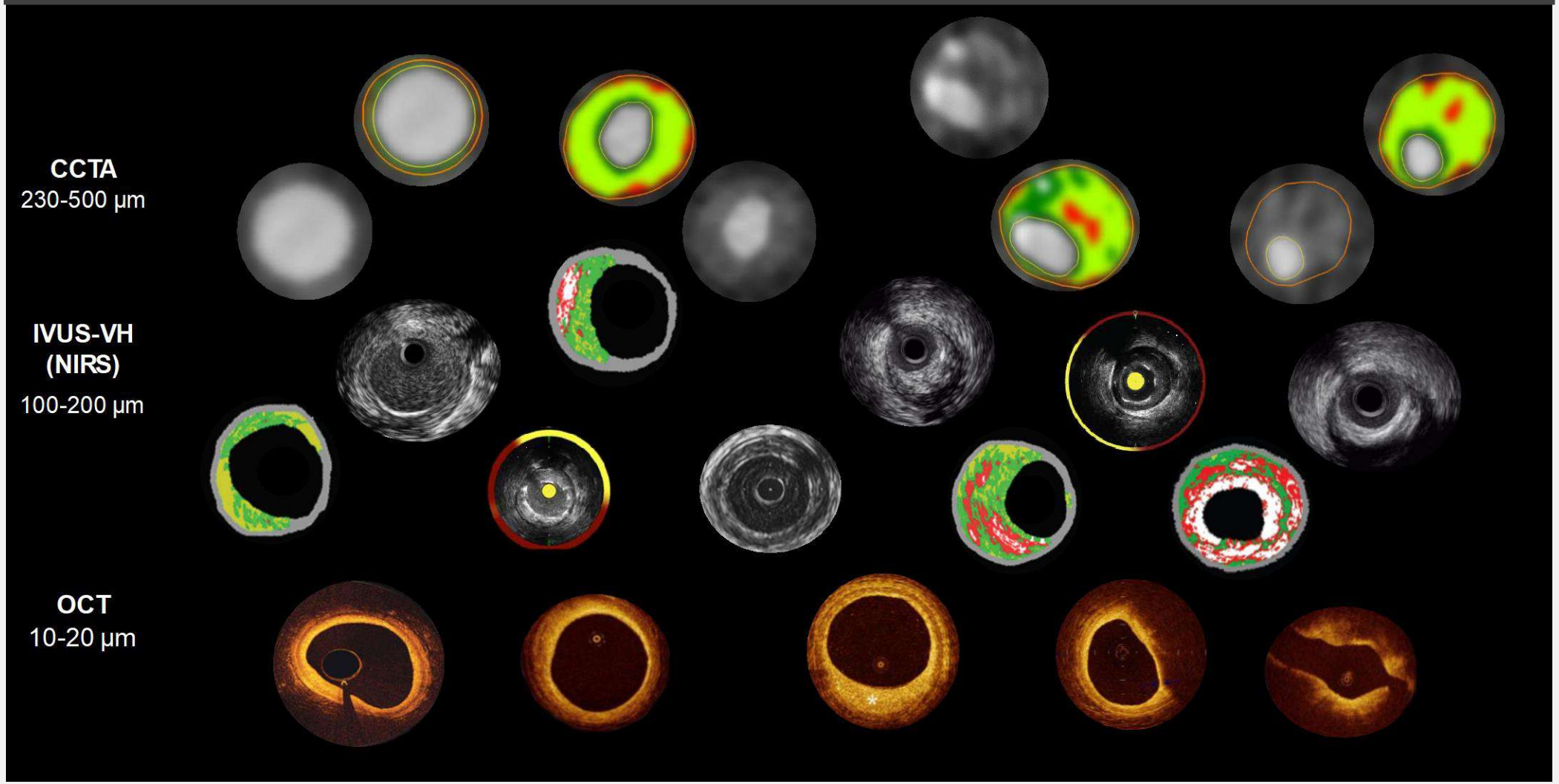


Plaque composition

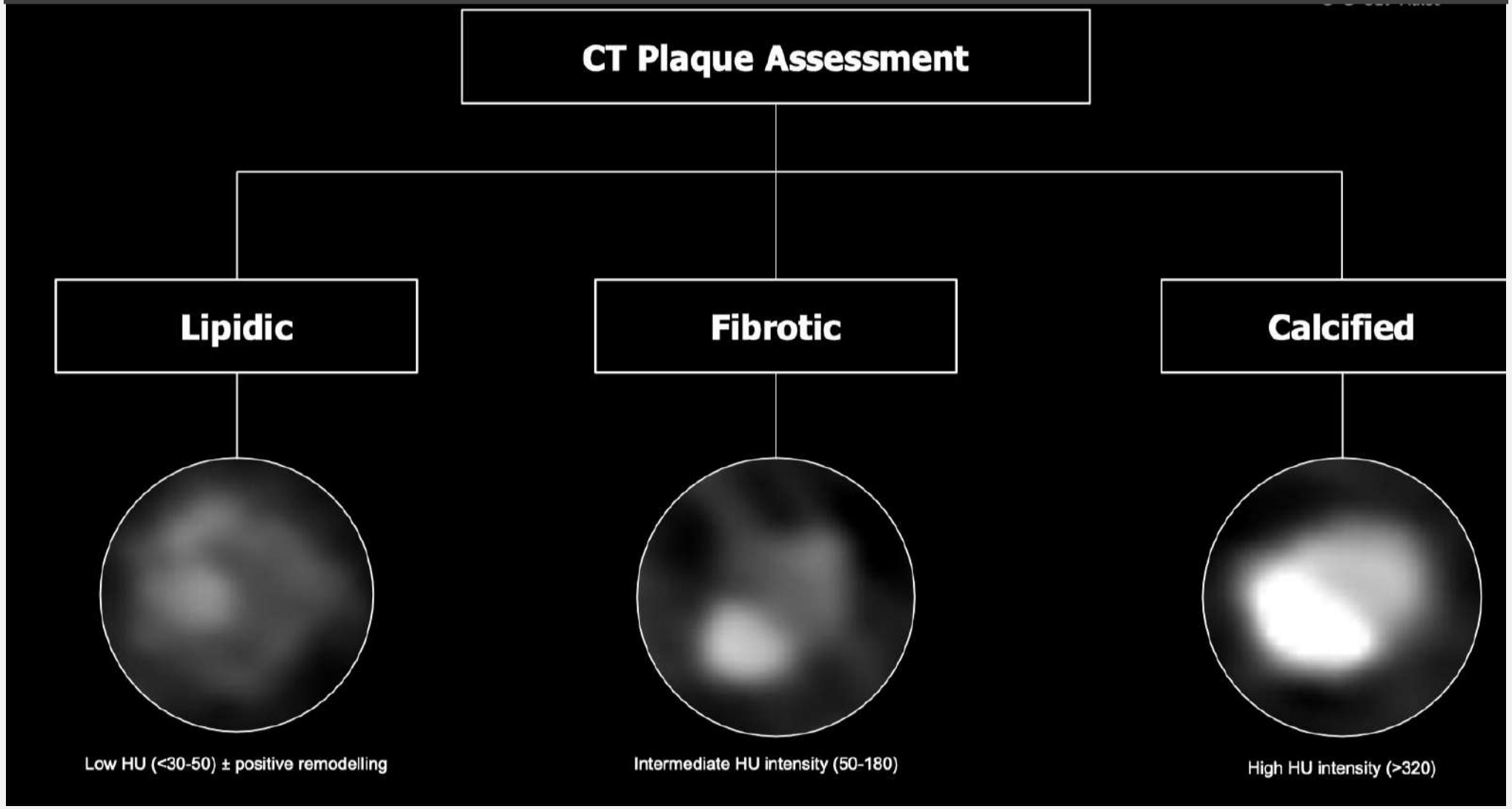
Plaque burden

Calcium arc

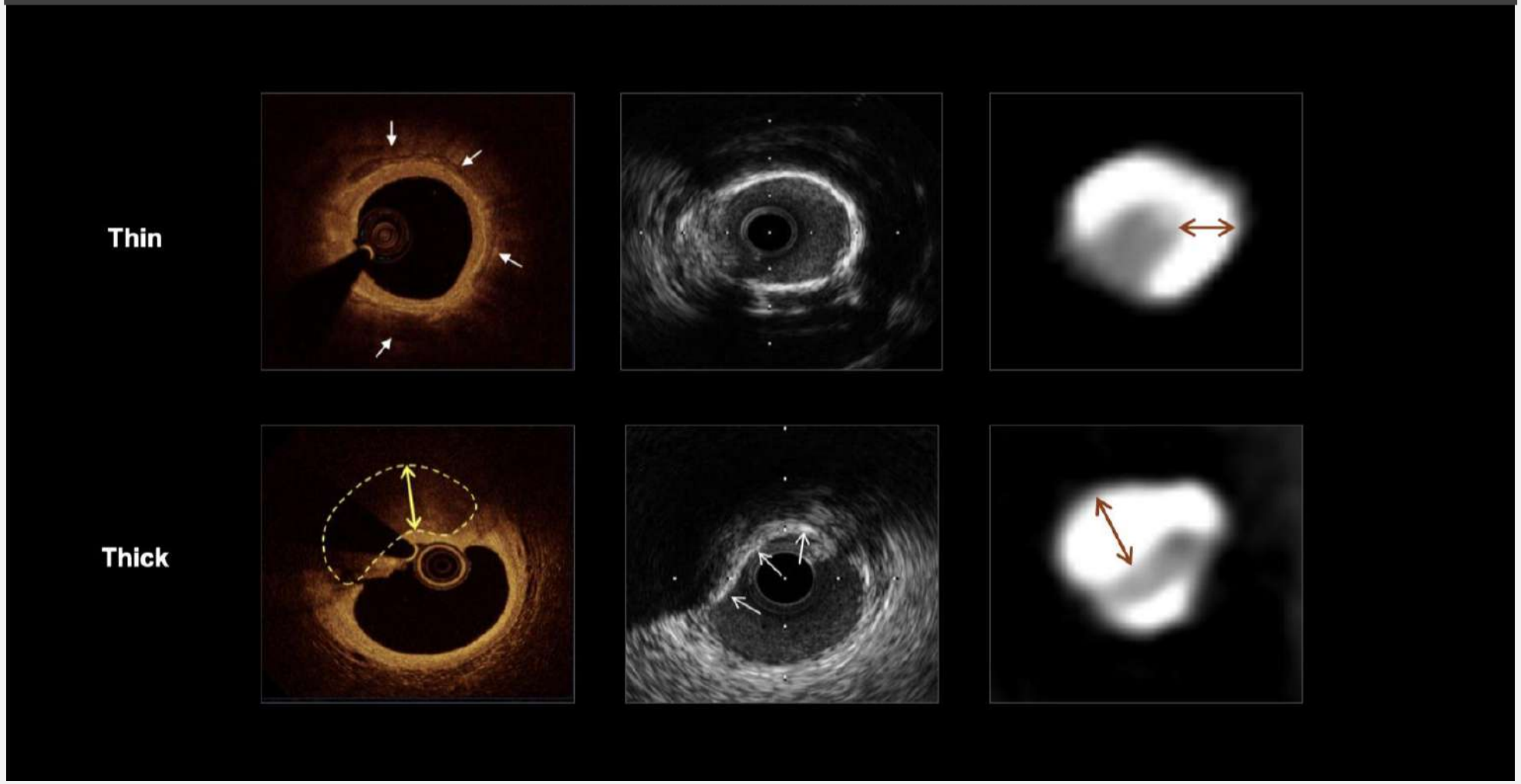
IMAGENES ATEROCLEROTICAS



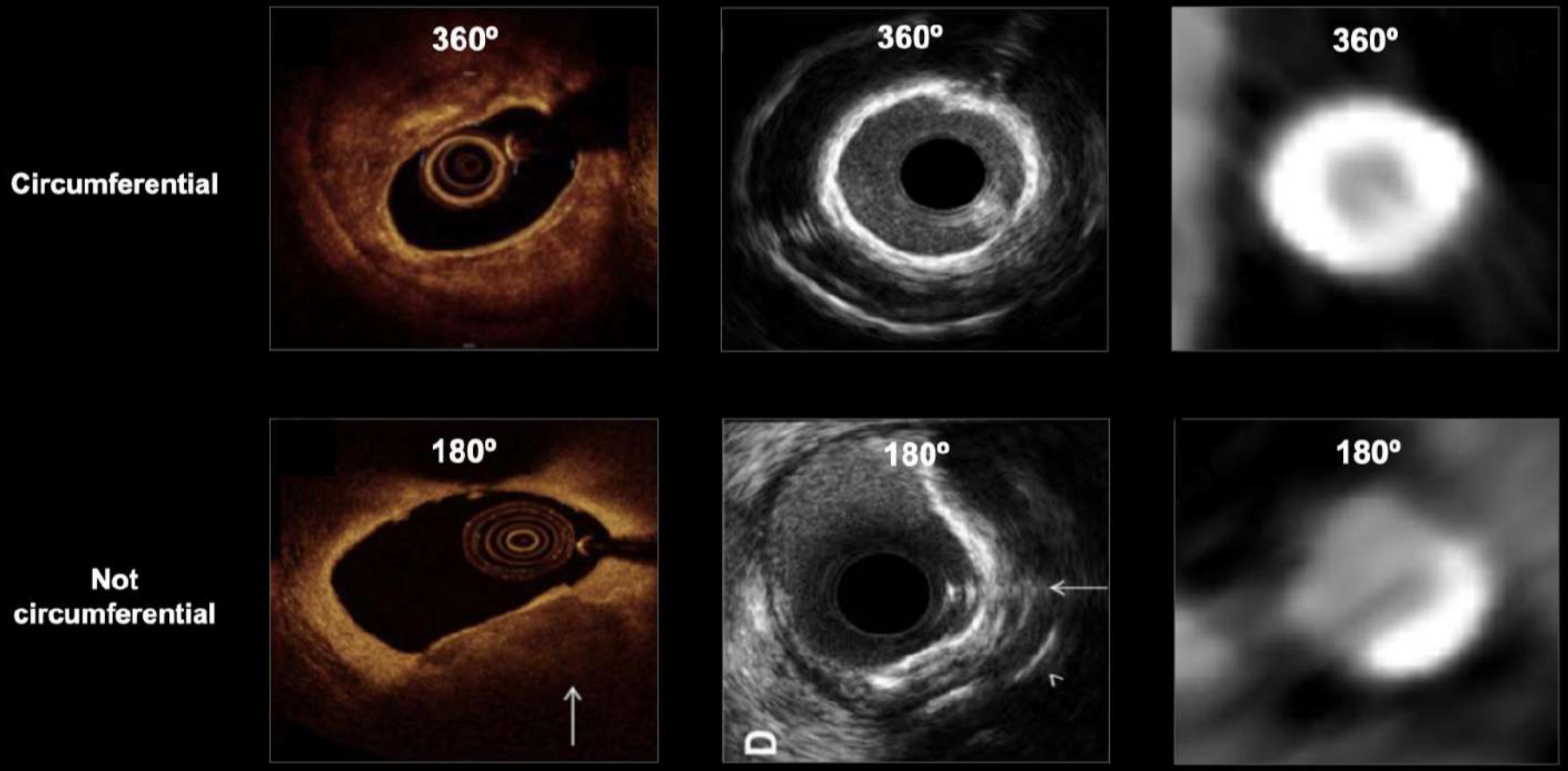
VALORACION DE LA PLACA POR TOMOGRAFIA



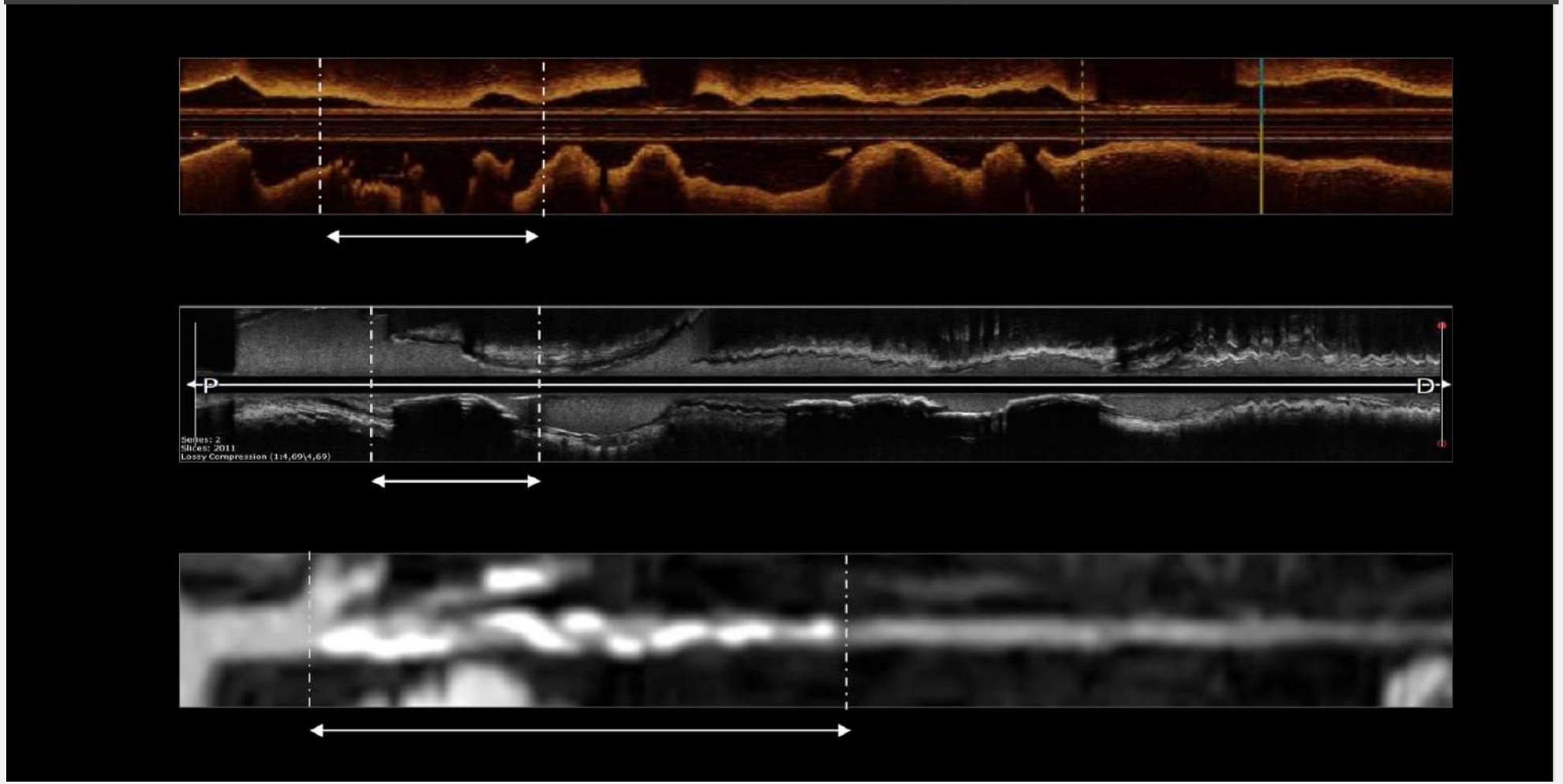
ESPESOR DEL CALCIO



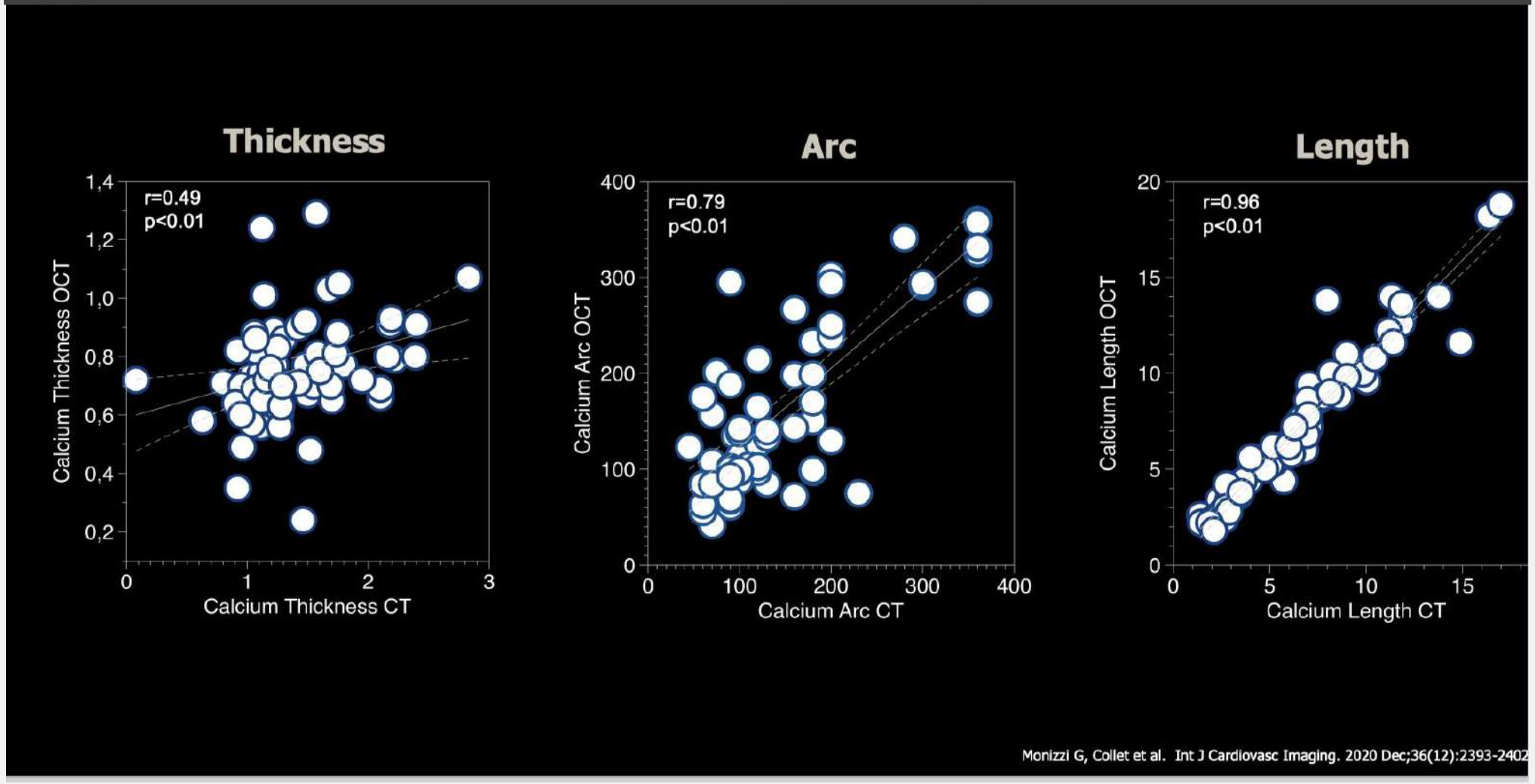
ARCO DEL CALCIO



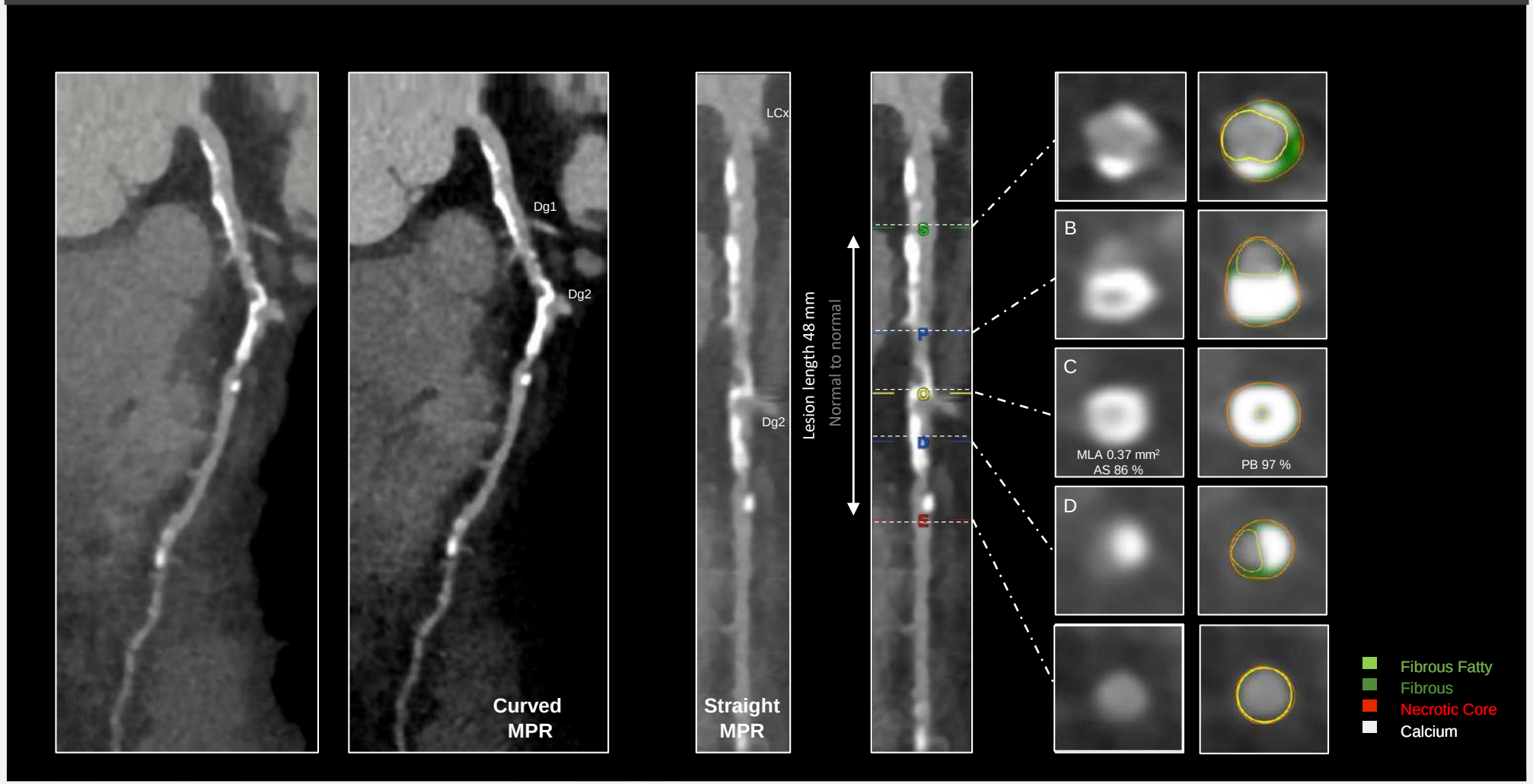
LONGITUD DEL CALCIO

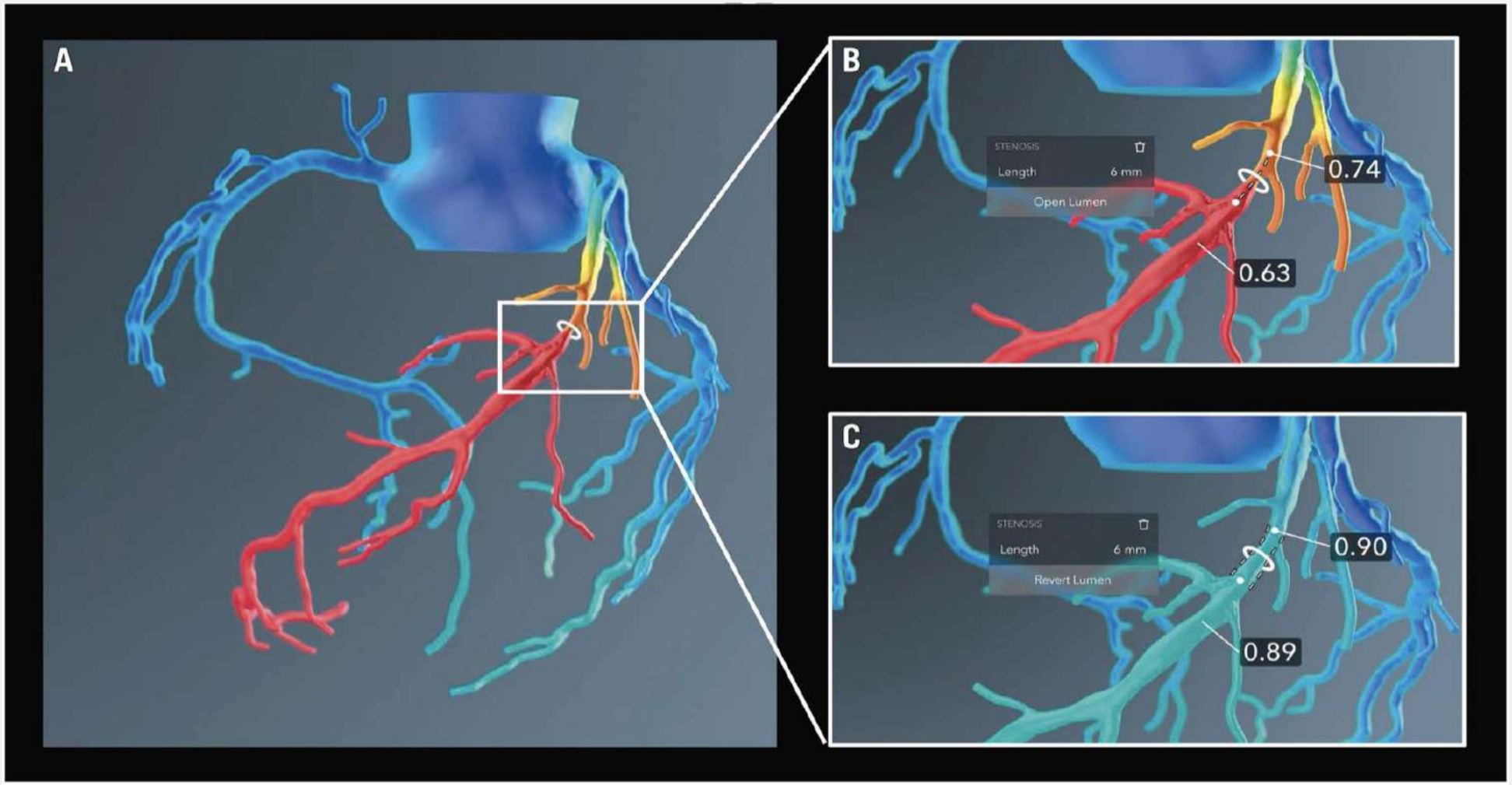


CORRELACION CALCIO: OCT vs CTA



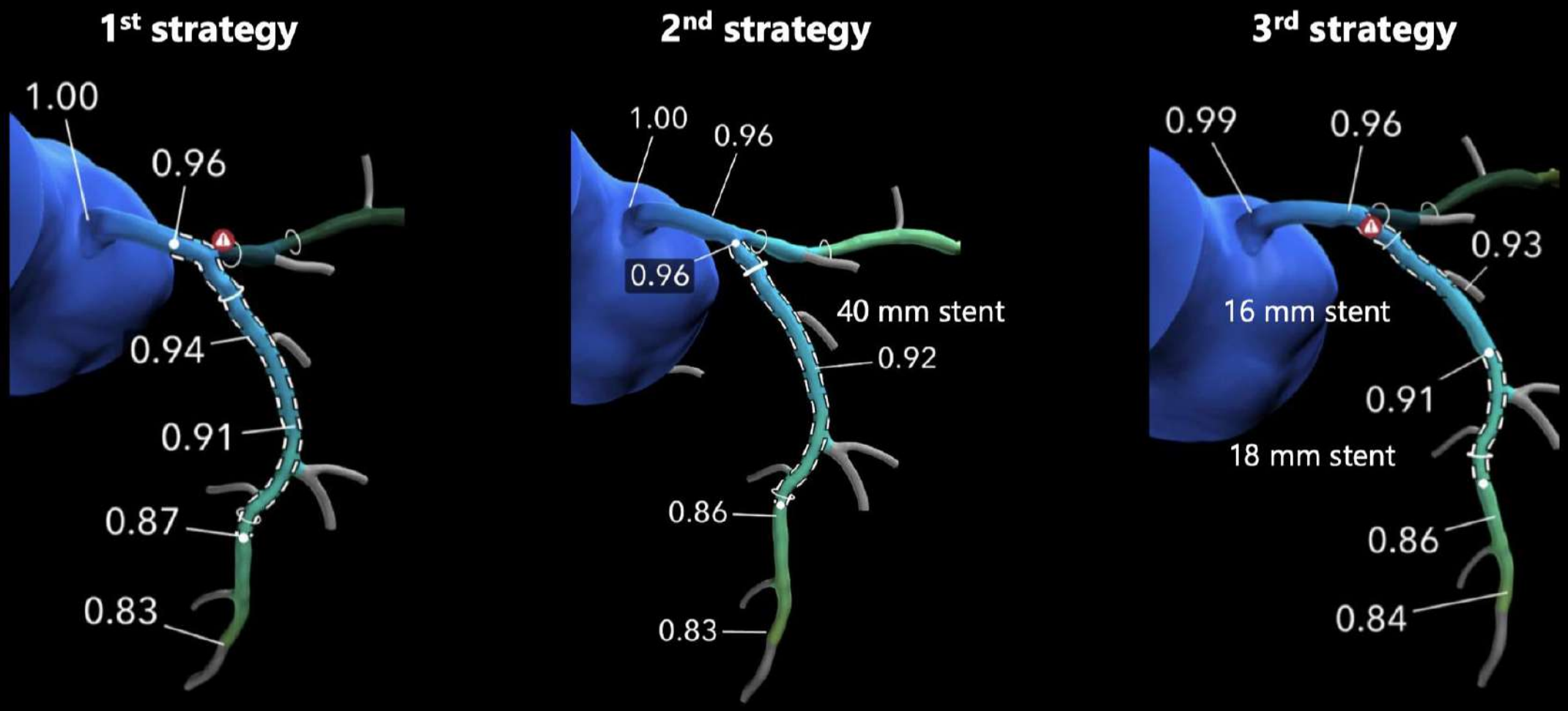
VALORACION DEL CALCIO POR CTA



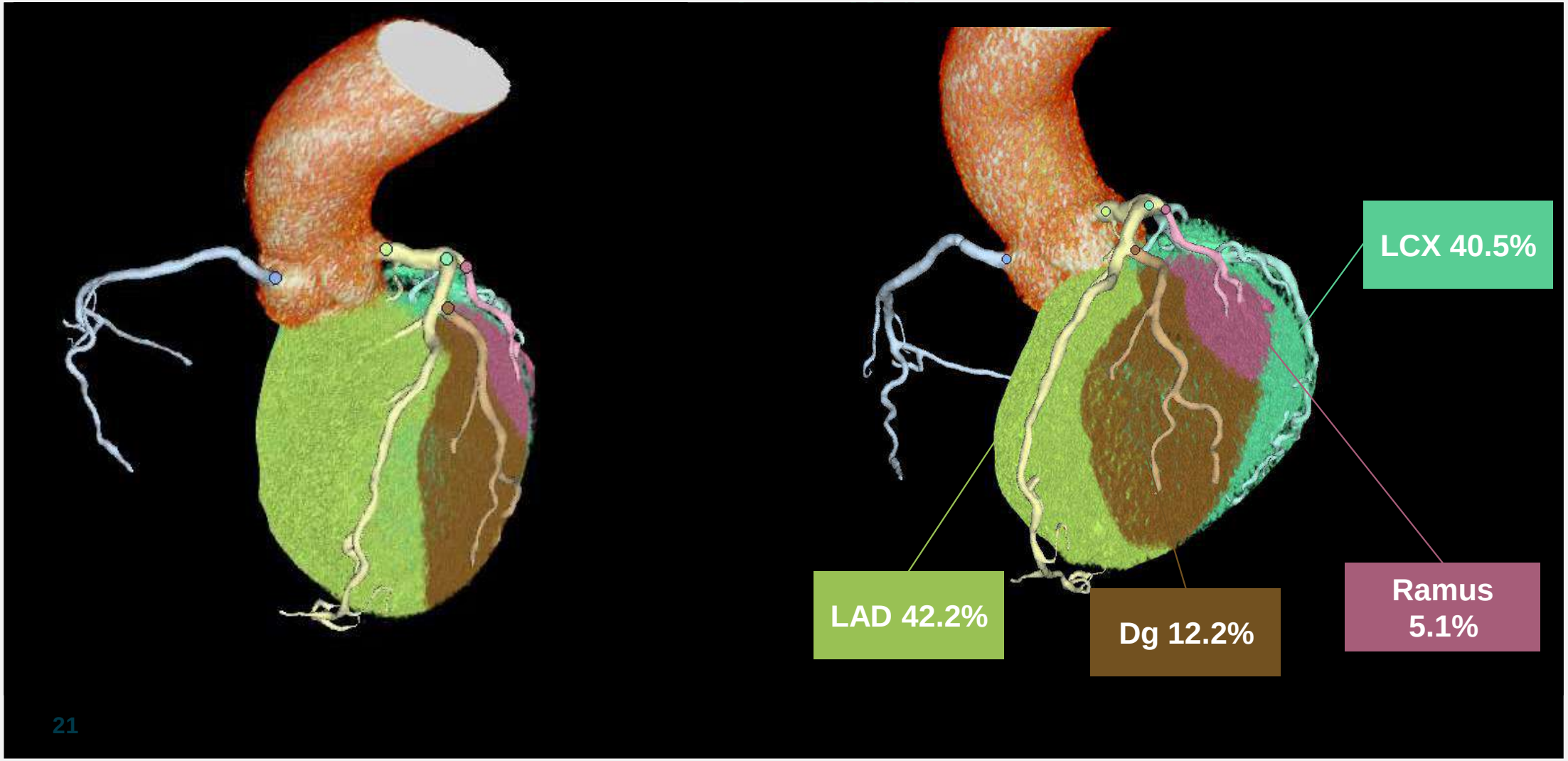


Simulación de los resultados de la ICP mediante TC FFR. A) Coronariografía funcional basada en TC que muestra una estenosis limitante del flujo en el segmento medio de la arteria descendente anterior B) Simulación de los resultados de la ICP después de elegir los resultados de la ICP mediante TC FFR. A) Coronariografía funcional basada en TC que muestra estenosis limitante de flujo en el segmento medio de la arteria descendente anterior B) Simulación de los resultados de la ICP tras la elección del segmento diana a tratar y C) resultados hemodinámicos esperados tras lograr la revascularización. FFRCT – reserva fraccional de flujo derivada de la tomografía computarizada coronaria; ICP: intervencionismo coronario percutáneo, segmento diana a tratar y C) resultados hemodinámicos esperados tras lograr la revascularización. FFRCT : reserva fraccionada de flujo derivada de tomografía computarizada coronaria; ICP: intervención coronaria percutánea

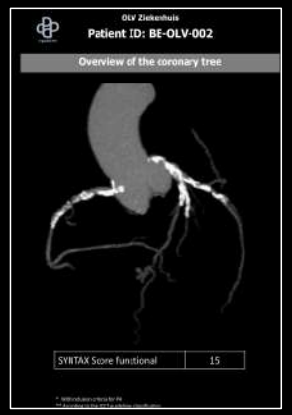
FFR_{CT} Planner

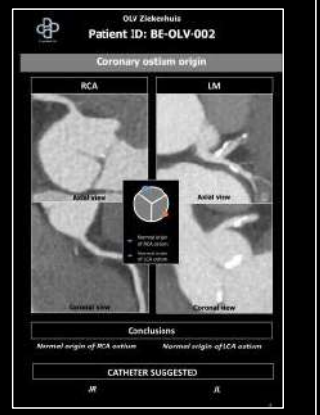


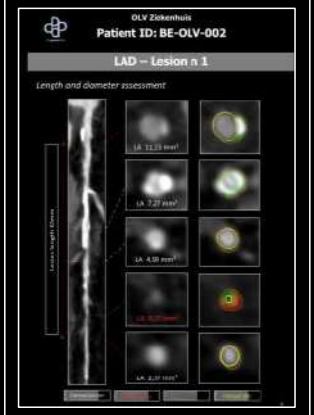
CALCULO DE LA MASA MIOCARDICA EN RIESGO

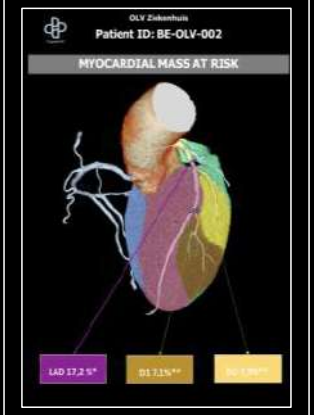


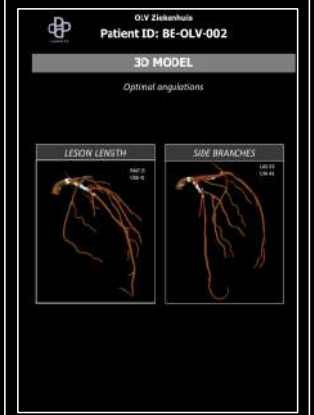
CT Based PCI Planning

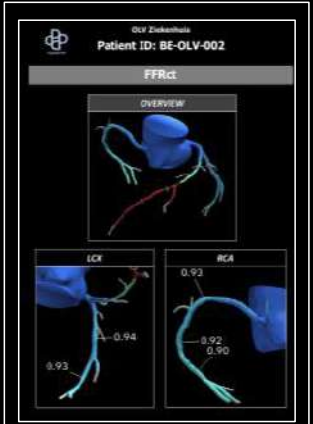


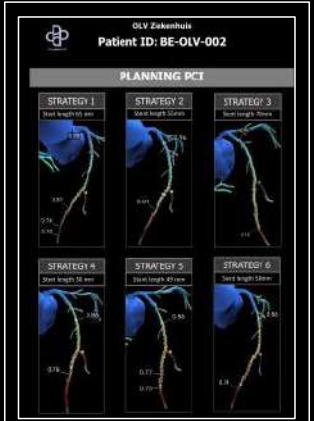












3D coronary anatomy
Global distribution of calcium
Position of the ostium
Tortuosity ~ Calcium ~ Lesion location
Expected level of guiding support

Lesion location
Plaque composition
Lesion length

Myocardial mass at risk
Side branch protection

Best achievable projection

Lesion significance
Pattern of CAD

Prediction of post-PCI FFR

Catheter selection
Anticipate case complexity

Lesion preparation
(Probability of stent under-expansion)
Stent length

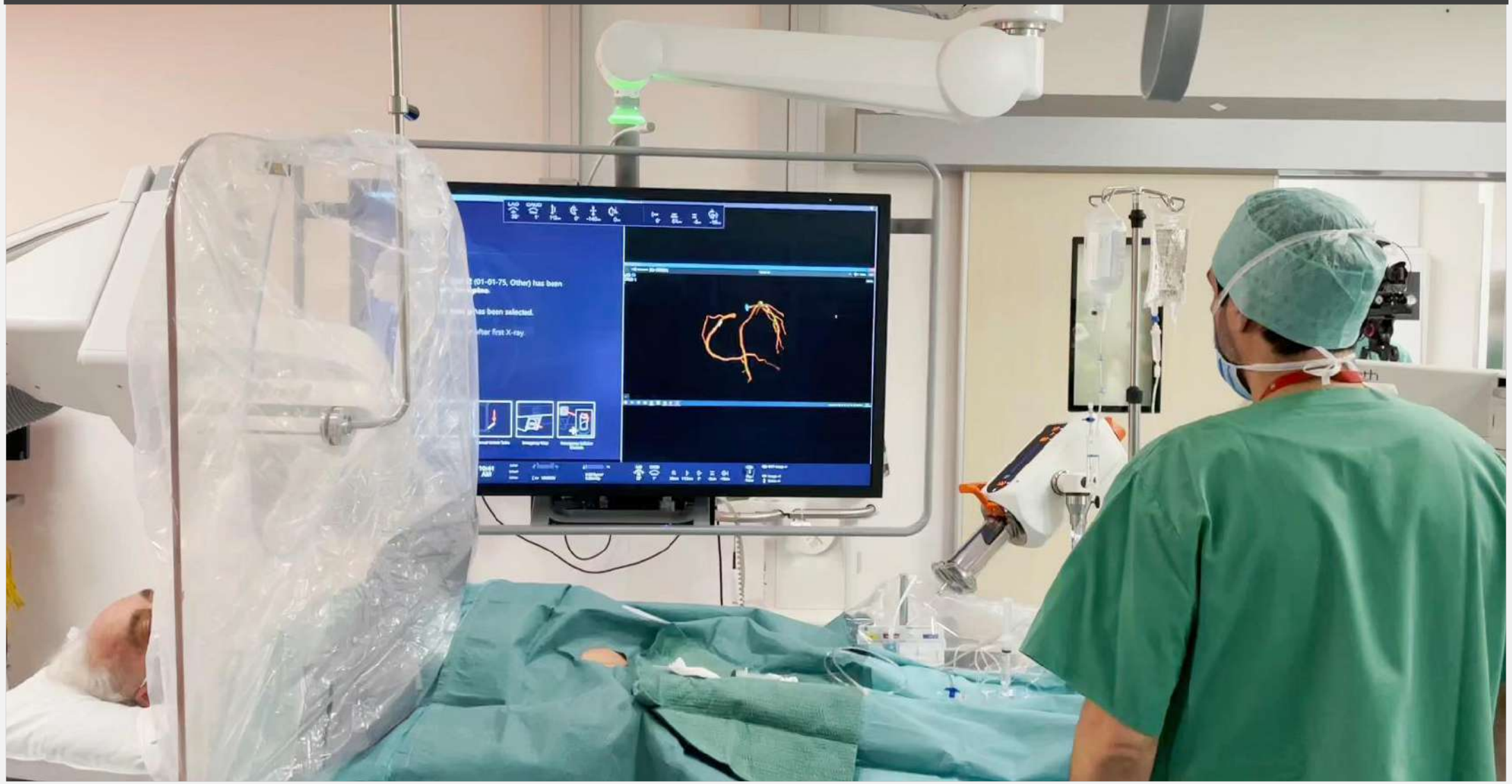
SB wire protection or stenting

C-arm angulation
Awareness of sub-optimal projection

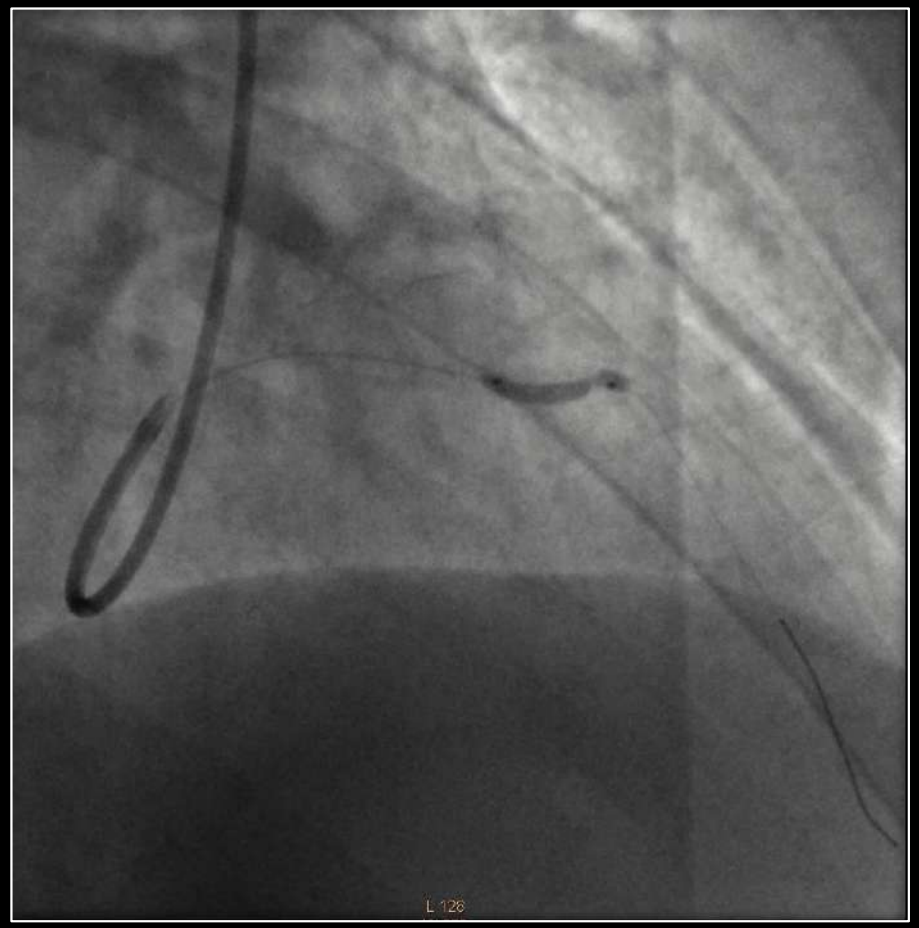
Appropriateness of PCI
Awareness of diffuse disease

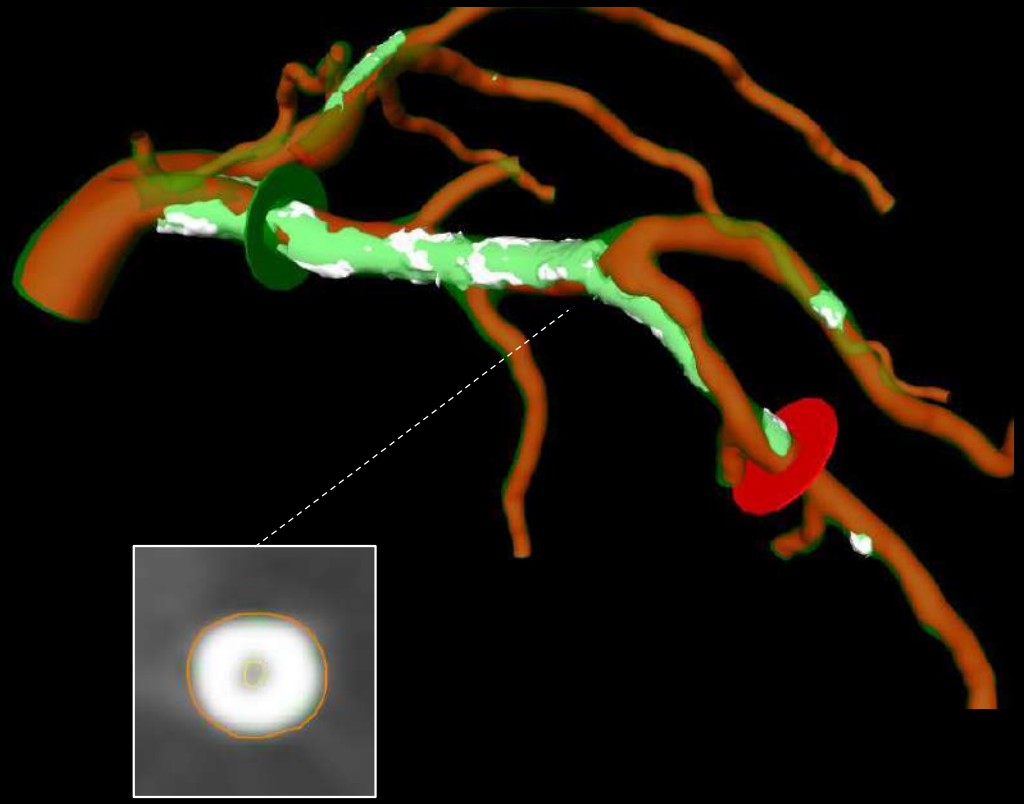
PCI strategy

ANGIOPLASTIA GUIADA POR TOMOGRAFIA ON LINE



ANGIOPLASTIA GUIADA POR TOMOGRAFIA ON LINE





QUE HACEMOS NOSOTROS?

FLUJO DE RESERVA ESTENOTICO

FLUJO DE RESERVA ESTENOTICO:

El SFR es un método WIRE FREE, de detección de isquemia derivado de la angiografía cuantitativa, que calcula la caída de la presión a través de una estenosis coronaria tomando en cuenta las condiciones del flujo, realizando complejos cálculos matemáticos a partir de la angiografía cuantitativa. El SFR se valido con eco-stress y FFR. Se considero Test con isquemia a SFR menor de 3.51.

VALIDACION SFR

	QFR < 0.80 vs FFR(2)	SFR < 3.51 vs FFR (1)	SFR <2.8 vs Eco stress (3)	SFR < 3.51 vs Eco/CG (4)
Sensibilidad (%)	88.1	56	100	86
Especificidad (%)	94.4	86	90	75
VPP (%)	89.9	80		98
VPN (%)	93.4	66		27

1-Cardiovasc Diagn Ther. 2017 Feb; 7(1): 52–59
2-The International Multicenter FAVOR Pilot Study. *JACC Cardiovasc Interv*. 2016;9(19):2024-2035
3-Danzi et al. JACC Vol. 31, No. 3 March 1, 1998:526–33
4-Piraino et al. SOLACI 2022

FLUJO DE RESERVA ESTENOTICO

Estenosis	(%)
%Diámetro	69
%S. circ.	91
%S. dens	88

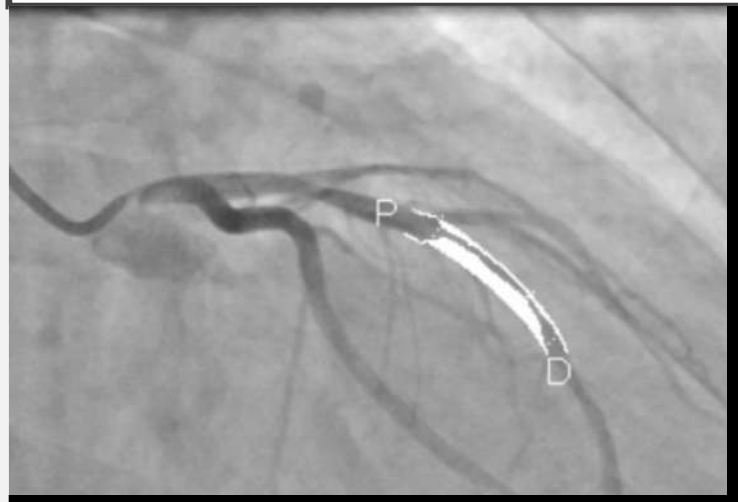
Segmento obstruido

	Diámetro (mm)	S. circ. (mm²)	S. dens (mm²)
Lesión	0,83	0,54	0,68
Ref	2,72	5,82	5,82
Media	1,34	1,54	1,76

D Prox	2,98	mm
D Dist	2,38	mm
Pos. prox.	4,08	mm
Longitud de la obstrucción	21,99	mm
Volumen de la obstrucción	33,06	mm³
Superf. placa	31,43	mm²
Volumen placa	85,11	mm³
Simetría de la placa	0,17	

Piraino et al. SOLACI 2022

FLUJO DE RESERVA ESTENOTICO

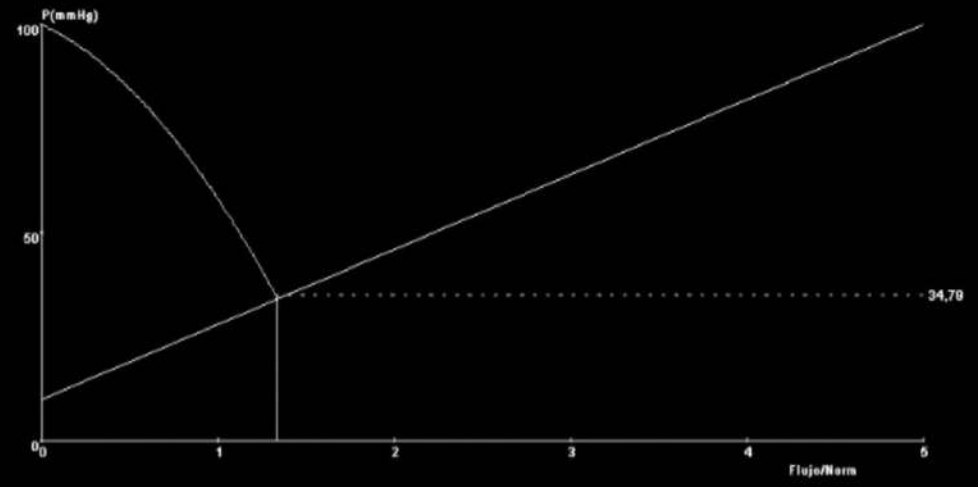


Reserva de flujo estenótico

RFE 1,34

STENOTIC FLOW RESERVE

1.34 NV. >35



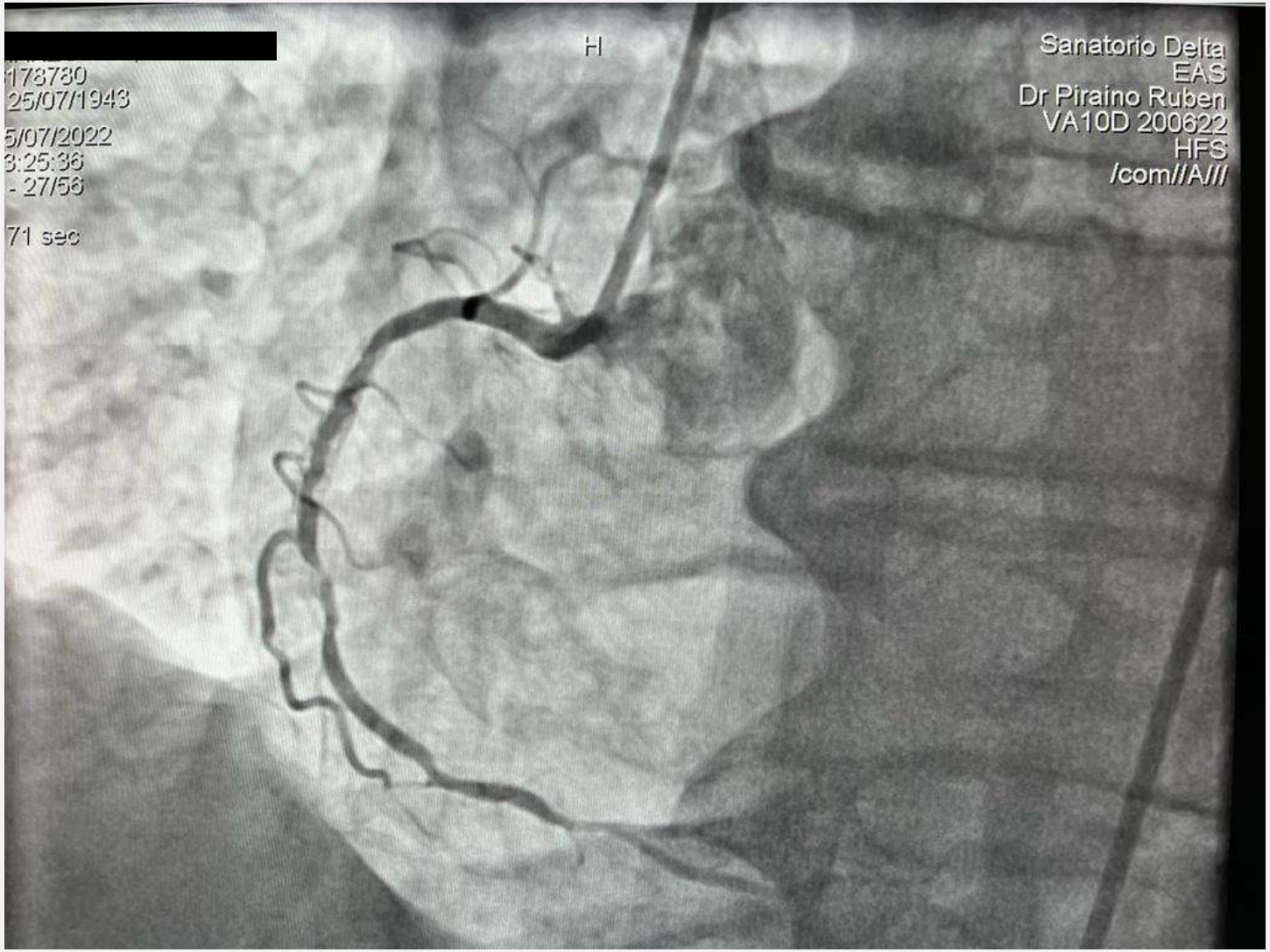
Flujo/Norm (-)	P (mmHg)	Delta P (mmHg)
1,00	58,04	41,96
1,34	34,10	65,90
2,00	-	-
3,00	-	-
4,00	-	-
5,00	-	-

R Poiseuille	1,03 (mmHg s/cm)
R Turbulent	0,05 (mmHg s²/cm²)
Flujo normal	1,16 (ml/s)

El software genera los parámetros dinámica de los fluidos de SFR, Resistencia poiseuille (PR) y resistencia turbulenta (TR). SFR es una caída de presión teórica calculada a través de una estenosis coronaria que asume la velocidad del flujo coronario en reposo (15 cm/s) y tiene en cuenta la resistencia al flujo laminar y resistencia al flujo turbulento . Ambos son de importancia como flujo laminar el patrón opera en la porción más proximal de la lesión hasta el punto de la estenosis máxima y distal a esta predomina el flujo turbulento. El cálculo de la RP incorpora la longitud de la lesión, área transversal de la estenosis y viscosidad sanguínea asumida. TR incorpora el área transversal de la estenosis y el vaso de referencia adyacente a la estenosis asumiendo la velocidad y densidad de la sangre.

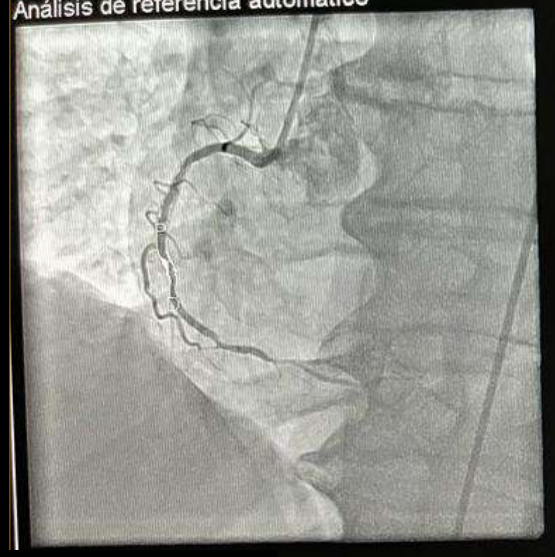
Piraino et al. SOLACI 2022

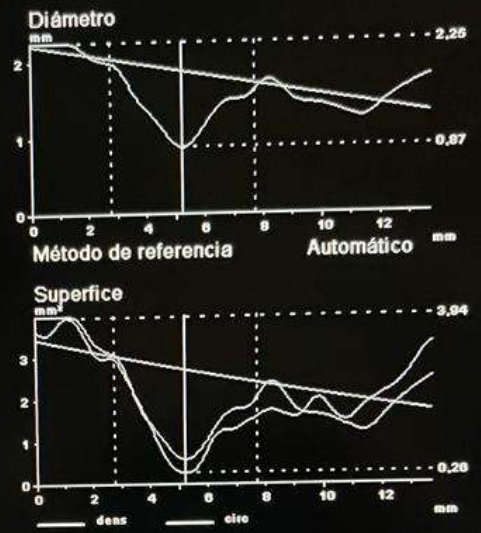
SFR


[redacted]
178780
25/07/1943
5/07/2022
3:25:36
- 27/56
71 sec
H
Sanatorio Delta
EAS
Dr Piraino Ruben
VA10D 200622
HFS
/com//A///

SFR

Análisis de referencia automático





ID	6178780
Sexo	Hombre
Fecha de nacimiento	25/7/1943
Nº de acceso	
ID del estudio	1
Médico	Dr Piraino Ruben
Hospital	Sanatorio Delta
Fecha de adquisición	25/7/2022
Nom. escena	Coro
Número de imagen	27
Rot. / Ang.	29,70 ; -0,10 °
Nombre del segmento	
Nombre est. clínico	
Intervención	
Factor calibr.	0,1248 mm/pix
Objeto calibr.	6,00 French Catéter (Curved)

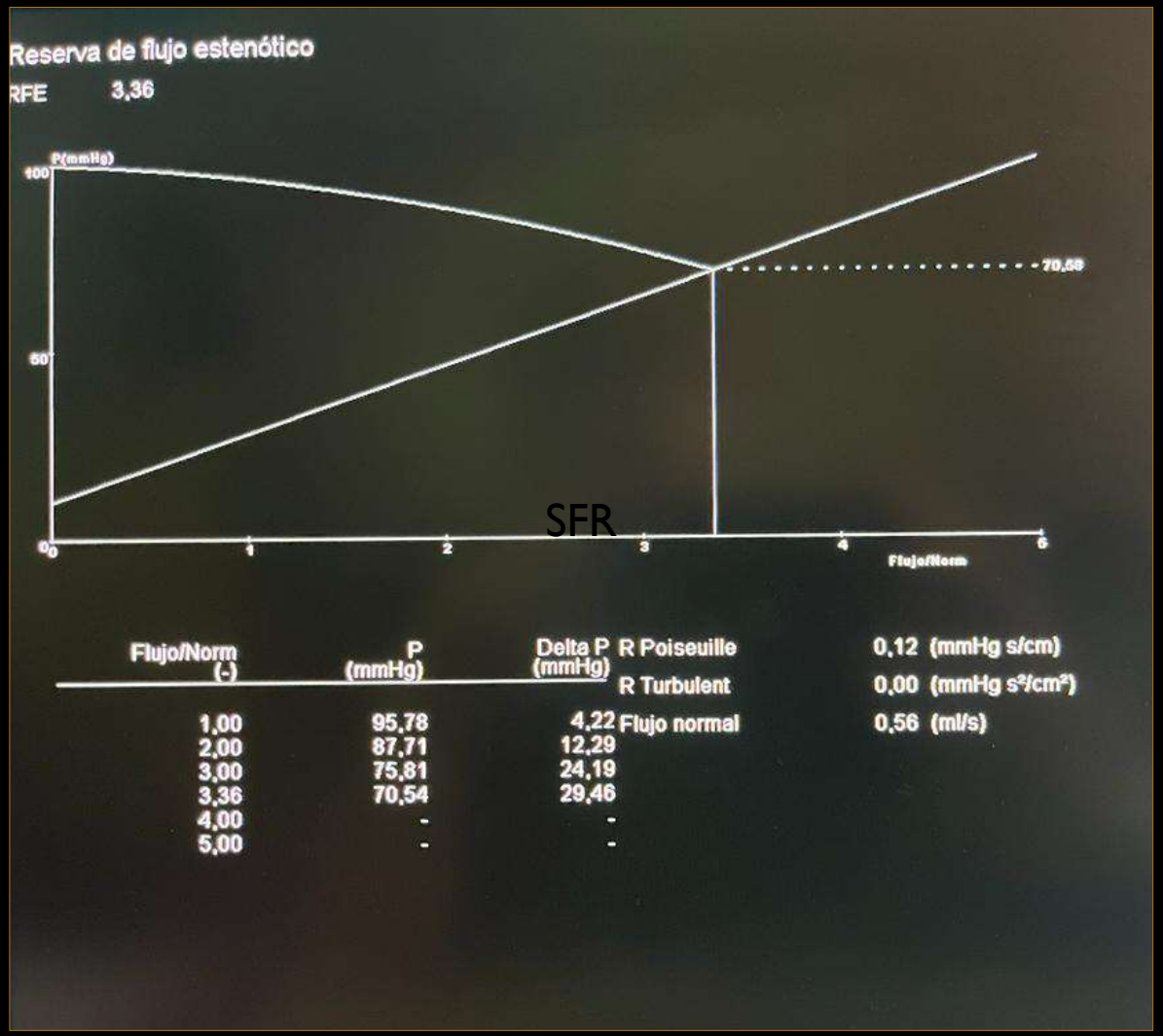
Estenosis	(%)
%Diámetro	54
%S. circ.	79
%S. dens	91

Segmento obstruido

	Diámetro (mm)	S. circ. (mm²)	S. dens (mm²)
Lesión	0,87	0,59	0,26
Ref	1,89	2,79	2,79
Media	1,36	1,52	1,27

D Prox	1,97	mm
D Dist	1,62	mm
Pos. prox.	2,77	mm
Longitud de la obstrucción	4,95	mm
Volumen de la obstrucción	7,53	mm³
Superf. placa	2,64	mm²
Volumen placa	6,83	mm³
Simetría de la placa	0,28	

SFR



Flujo/Norm (-)	P (mmHg)	Delta P (mmHg)
1,00	95,78	4,22
2,00	87,71	12,29
3,00	75,81	24,19
3,36	70,54	29,46
4,00	-	-
5,00	-	-

R Poiseuille	0,12 (mmHg s/cm)
R Turbulent	0,00 (mmHg s²/cm²)
Flujo normal	0,56 (ml/s)

ANGIOGRAFIA CORONARIA FUNCIONAL
TECNOLOGIAS WIRE FREE
CONCLUSIONES

No requerire:

- mediciones invasivas,
- inducción de hiperemia farmacológica
- ni incurrir en costos adicionales,

Las técnicas basadas en angiografía proporcionan una solución prometedora para realizar evaluaciones funcionales de estenosis coronaria on line u off line en el laboratorio de cateterismo

MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCION