

Deformación longitudinal territorial para predecir la ubicación y el grado de estenosis significativa en la cardiopatía isquémica estable

Mohamed Abdelfatah Hashem*, Ahmed Rezq, Ahmed Elmahmoudy Nayel, Ahmed Kadry Araquib y Hussein Shaalan

Department of Cardiology, Faculty of Medicine, Ain Shams University, El Cairo, Egipto

RESUMEN

Introducción y objetivos: Existen pocos datos sobre la deformación longitudinal territorial (DLT) como marcador ecocardiográfico en la enfermedad arterial coronaria (EAC) estable. El objetivo fue evaluar el valor predictivo de la DLT en la EAC estable para identificar la localización y el grado de estenosis coronaria significativa.

Métodos: Se incluyó a pacientes con dolor torácico y se excluyó a aquellos con infarto de miocardio, arritmia, angiografía coronaria normal, intervención coronaria percutánea o cirugía de revascularización aortocoronaria previas, o ventana ecocardiográfica deficiente. De los 738 pacientes incluidos se seleccionó a 199 con EAC estable, a los que se realizó una ecocardiografía con rastreo de marcas.

Resultados: La deformación longitudinal regional (DLR) identificó estenosis significativa en al menos 1 de las arterias coronarias, con una sensibilidad del 89,4%, una especificidad del 87,8% y un área bajo la curva (AUC) de 0,947 ($p < 0,001$). La comparación de las curvas ROC mostró que la DLR tenía el mejor valor predictivo para identificar estenosis significativa con un punto de corte $\geq -16\%$ en comparación con la deformación radial regional (DRR) (la diferencia entre las AUC de la DLR y la DRR es 0,149; IC95%, 0,132-0,167; $p \leq 0,0001$), la alteración de la contractilidad segmentaria (ACS) (la diferencia entre las AUC de la DLR y la ACS es de 0,277; IC95%, 0,262-0,293; $p \leq 0,0001$) y la deformación circunferencial regional (la diferencia entre las AUC de la DLR y de la deformación circunferencial regional es de 0,348; IC95%, 0,327-0,368; $p \leq 0,0001$). La DLT predijo una estenosis significativa de la arteria descendente anterior izquierda proximal si al menos 4 de los 7 segmentos territoriales estaban afectados, una estenosis significativa de la arteria circunfleja izquierda proximal si al menos 3 de los 5 segmentos territoriales estaban afectados, y una estenosis significativa de la arteria coronaria derecha proximal si al menos 3 de los 5 segmentos territoriales estaban afectados.

Conclusiones: La DLT predijo la ubicación y el grado de estenosis coronaria significativa en pacientes con EAC estable. [Número de registro del estudio: Md 110/2021].

Palabras clave: Enfermedad arterial coronaria. Ecocardiografía. Disfunción ventricular. Deformación longitudinal global.

Territorial longitudinal strain to predict the location and severity of significant stenosis in stable coronary artery disease

ABSTRACT

Introduction and objectives: There is limited data on territorial longitudinal strain (TLS) as an echocardiographic marker in stable coronary artery disease (CAD). We evaluated the predictive role of TLS in stable CAD for identifying the location and severity of significant coronary artery stenosis.

Methods: We included patients presenting with chest pain, whereas those with myocardial infarction, arrhythmia, normal coronary angiography, previous percutaneous coronary intervention or coronary artery bypass grafting, and inadequate echocardiographic window were excluded. Among the 738 patients enrolled, a total of 199 study participants with stable CAD were selected and underwent speckle tracking echocardiography.

Results: Regional longitudinal strain (RLS) identified significant stenosis in at least 1 of the coronary arteries with sensitivity and specificity rates of 89.4% and 87.8%, respectively, and an area under curve (AUC) of 0.947 ($P < .001$). Receiver operating characteristic curve comparison demonstrated RLS had the highest predictive value for identifying significant stenosis with an optimal cutoff of $\geq -16\%$ compared with regional radial strain (RRS) [AUC difference, 0.149; 95%CI, 0.132-0.167; $P \leq .0001$], regional wall motion abnormality (RWMA) [AUC difference, 0.277; 95%CI, 0.262-0.293; $P \leq .0001$], and regional circumferential strain (RCS) [AUC difference, 0.348; 95%CI, 0.327-0.368; $P \leq .0001$].

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: mohamed.abdelfatah.elsharef@gmail.com (M.A. Hashem).

Recibido el 30 de junio de 2025. Aceptado el 6 de febrero de 2026.

Full English text available from: <https://www.recintervcardiol.org/en>.

2604-7306 / © 2026 Sociedad Española de Cardiología. Publicado por Permanyer Publications. Este es un artículo *open access* bajo la licencia CC BY-NC-ND 4.0.

Cómo citar este artículo: Hashem MA, et al. Deformación longitudinal territorial para predecir la ubicación y el grado de estenosis significativa en la cardiopatía isquémica estable. *REC Interv Cardiol*. 2026. <https://doi.org/10.24875/RECIC.M26000579>.

TLS predicted significant proximal left anterior descending coronary artery stenosis when ≥ 4 of 7 territorial segments were impaired, significant proximal left circumflex artery stenosis when ≥ 3 of 5 territorial segments were impaired, and significant proximal right coronary artery stenosis when ≥ 3 of 5 territorial segments were impaired.

Conclusions: TLS predicted the location and severity of significant coronary artery stenosis in patients with stable CAD. [Trial registration No. Md 110/2021].

Keywords: Coronary artery disease. Echocardiography. Ventricular dysfunction. Global longitudinal strain.

Abreviaturas

ACS: alteración de la contractilidad segmentaria. **DCG:** deformación circunferencial global. **DLG:** deformación longitudinal global. **DLR:** deformación longitudinal regional. **DRR:** deformación radial regional. **EC:** enfermedad coronaria.

INTRODUCCIÓN

La enfermedad coronaria (EC) es un problema importante de salud pública tanto en España como a nivel mundial. En 2021 se diagnosticaron más de 254 millones de casos de EC en todo el mundo, con una tasa de incidencia de 403,89 casos nuevos por cada 100.000 habitantes y una tasa de mortalidad de 113,94 muertes por cada 100.000 habitantes¹. En Egipto, la EC es la enfermedad cardiovascular más prevalente tanto en varones como en mujeres, con una prevalencia global del 4,27%¹. Los factores de riesgo más importantes de la EC son el tabaquismo, el sexo, la diabetes, la hipertensión y la dislipemia, con una tasa 2 veces mayor en varones que en mujeres². La tomografía computarizada es la técnica de imagen diagnóstica estándar para el tratamiento de la EC estable y la proteína C reactiva de alta sensibilidad se recomienda para predecir la EC estable. Aunque la alteración de la contractilidad segmentaria (ACS) es el marcador ecocardiográfico de referencia para la EC estable, no resulta tan eficaz en la detección del daño miocárdico subclínico³.

El análisis de deformación mediante ecocardiografía bidimensional (2D) con rastreo de marcas (STE) mide la deformación miocárdica, proporciona un estudio más fiable de la mecánica miocárdica y supera las limitaciones propias de la ACS en la identificación del daño miocárdico sutil⁴. La evidencia del mundo real sugiere que la deformación longitudinal global (DLG) y regional (DLR) ofrecen mayor precisión diagnóstica y reproducibilidad en la detección de la EC estable⁵⁻⁷. La DLG mide el acortamiento ventricular desde la base hasta el ápex para calcular la deformación global del ventrículo izquierdo (VI) y la DLR la deformación en determinados segmentos del VI. Otros métodos de análisis de la deformación son la deformación radial global (DRG), la deformación circunferencial global (DCG), la deformación longitudinal territorial (DLT), la deformación radial regional (DRR) y la deformación circunferencial regional (DCR). Cada una mide aspectos distintos de la deformación miocárdica⁸. El objetivo de nuestro estudio fue valorar el papel predictivo de la DLT en la EC estable en la identificación de lesiones coronarias significativas con un porcentaje de estenosis por diámetro $\geq 70\%$.

MÉTODOS

Diseño del estudio

Se realizó un estudio transversal de 24 meses, de etiqueta abierta, de cohorte única y unicéntrico en la sala de hemodinámica de un hospital universitario terciario. Los investigadores no estuvieron cegados al grupo del estudio. Antes de su realización, tanto el diseño como el protocolo fueron revisados, aprobados y registrados por el comité de ética del Ain Shams University Hospital Human el 1 de julio de 2021 con No. de registro Md 110/2021.

Se obtuvo el consentimiento informado por escrito de todos los participantes. Se protegieron estrictamente los derechos de privacidad de los participantes, los datos fueron anonimizados y las intervenciones se realizaron de conformidad con los criterios establecidos en la declaración de la *Egyptian National Commission for Bioethics* sobre conducta ética en investigación con seres humanos. Asimismo, el estudio se realizó de conformidad con las guías SAGER sobre posibles sesgos de sexo y género.

Participantes del estudio

En el estudio se incluyeron pacientes con dolor torácico anginoso típico o atípico valorados tanto en consulta externa como en la sala de hemodinámica entre agosto de 2021 y agosto de 2023. Por otro lado, se excluyeron pacientes con síndrome coronario agudo, infarto de miocardio, ritmo no sinusal, coronariografía (CAG) normal, intervención coronaria percutánea o cirugía de revascularización coronaria previas, ventana ecocardiográfica inadecuada, valvulopatía o miocardiopatía.

Procedimientos del estudio

Se incluyeron 738 pacientes de quienes se recopiló información sobre sexo, edad, diabetes mellitus, hipertensión, tabaquismo, dislipemia, enfermedad renal crónica, enfermedad arterial periférica, accidente cerebrovascular, sedentarismo, infarto previo y antecedentes familiares de EC. También se realizaron mediciones de la presión arterial de los participantes y exploraciones cardiológicas completas incluidos estudios de hallazgos auscultatorios anómalos, antecedentes de cirugía cardíaca, cardiomegalia e insuficiencia cardíaca. También se realizó en todos los pacientes un electrocardiograma de 12 derivaciones, una ecocardiografía y STE bidimensionales con el ecógrafo IE 33 (Philips, Países Bajos) con transductor sectorial matricial X5-1, CAG con adquisición digital de imágenes y almacenamiento, un hemograma completo, se obtuvo el perfil lipídico, se realizaron pruebas hepáticas y renales y estudios de coagulación (tiempo de protrombina, tiempo de tromboplastina parcial activado e índice internacional normalizado) y medición seriada de las enzimas cardíacas. La ecocardiografía 2D se realizó antes de la CAG y el STE 2D después. Los cardiólogos que realizaron la ecocardiografía y el STE bidimensionales contaban con competencia de nivel III en ecocardiografía de acuerdo con el currículo de la *European Society of Cardiology* y estaban cegados a los datos angiográficos⁹. Los cardiólogos intervencionistas que analizaron las CAG también estaban cegados a los resultados ecocardiográficos. Los datos documentados mediante la CAG fueron la gravedad de la estenosis coronaria según el *Coronary Artery Disease-Reporting and Data System* y la distribución regional del

territorio irrigado por la arteria coronaria epicárdica conforme al modelo de 17 segmentos del VI. Se consideraron significativas todas aquellas lesiones coronarias cuyo porcentaje de estenosis por diámetro fuese $\geq 70\%$, casos que se clasificaron como pacientes con EC estable grave¹⁰. Se seleccionaron consecutivamente 199 pacientes elegibles con EC estable grave y se asignaron a un único grupo (figura 1). Los hemodinamistas que realizaron la ecocardiografía y el STE bidimensionales estaban cegados a los datos de la CAG. Los datos documentados mediante ecocardiografía y STE bidimensionales incluyeron la ACS, el índice de motilidad parietal (IMP) y un análisis de la deformación. La ACS se clasificó como normal (puntuación de 1), hipocinética (puntuación de 2), acinética (puntuación de 3) y discinética (puntuación de 4). El IMP representa la media de la ACS de los 17 segmentos territoriales analizados en el modelo de 17 segmentos del VI¹¹. La función miocárdica según el análisis de deformación se evaluó fotograma a fotograma mediante el seguimiento automático de marcadores acústicos (*speckles*) durante todo el ciclo cardiaco en un modelo de 17 segmentos del VI y la DLG se obtuvo promediando la función miocárdica de los 17 segmentos. Los bordes endocárdicos se trazaron en el fotograma telestático de las imágenes bidimensionales obtenidas en las 3 proyecciones apicales para el análisis de la deformación longitudinal. La DCR se analizó a partir de las 3 proyecciones paraesternales en eje corto. El análisis de la DRR desde las 3 proyecciones apicales se realizó manualmente mediante el seguimiento de la excursión radial sistólica máxima media para cada segmento entre 2 puntos

(endocárdico y epicárdico) de 3 niveles para cada uno de los 17 segmentos. Se obtuvieron deformaciones sistólicas máximas para 17 segmentos longitudinales, 17 radiales y 16 circunferenciales del VI. Todos los valores segmentarios se promediaron para obtener la DLG y DCG de cada participante y se representaron automáticamente en un mapa polar o «bull's eye». A continuación, se muestra cómo la DLT midió el número de territorios afectados con relación a los puntos de corte obtenidos en el análisis de la DLR en los segmentos irrigados por las coronarias correspondientes en el modelo de 17 segmentos del VI: 7 segmentos para la descendente anterior (DA), 5 para la coronaria derecha (CD) y 5 para la circunfleja izquierda (CXI)¹².

Objetivos

El objetivo del estudio fue evaluar el papel predictivo de la DLT en el tratamiento de la EC estable en la identificación de la localización y gravedad de lesiones coronarias significativas con un porcentaje de estenosis por diámetro $\geq 70\%$.

Análisis estadístico

Nuestro estudio fue un estudio transversal, de etiqueta abierta, de una única cohorte y unicéntrico. Los resultados de la evaluación ecocardiográfica se codificaron y los datos se analizaron con el paquete de *software* estadístico SPSS v29 (IBM, Estados Unidos). La normalidad de los datos se evaluó mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Los datos cualitativos se expresaron como frecuencias (número de casos) y frecuencias relativas (porcentajes) y los cuantitativos como medias, desviaciones estándar, medianas y rangos intercuartílicos. Las comparaciones de las variables cuantitativas con distribución paramétrica se realizaron empleando la prueba t de Student o el análisis de la varianza (ANOVA) y aquellas con distribución no paramétrica mediante la prueba U de Mann-Whitney. Las comparaciones de las variables cualitativas se realizaron mediante la prueba de la χ^2 o la prueba exacta de Fisher, según correspondiera^{13,14}. La variabilidad inter e intraobservador se evaluó mediante un nuevo análisis de los datos de 18 participantes del estudio seleccionados aleatoriamente y se expresó como coeficiente de correlación intraclase (CCI), cuya escala va de 0 a 1, donde 1 representa fiabilidad perfecta sin error de medición y 0 ausencia de fiabilidad. Un valor de CCI $< 0,5$ indica poca fiabilidad; entre 0,5 y 0,75, una fiabilidad moderada; entre 0,75 y 0,9, fiabilidad buena y $> 0,90$, una fiabilidad excelente¹⁵. Se calculó el área bajo la curva (AUC) para determinar el punto de corte óptimo de sensibilidad y especificidad de las deformaciones regionales. La comparación de curvas ROC se realizó utilizando MedCalc versión 10.3.1.0 (MedCalc Software, Estados Unidos). El intervalo de confianza se estableció en el 95% y el margen de error aceptado en el 5%. Los valores de $p < 0,05$ se consideraron estadísticamente significativos y los valores $p < 0,01$ altamente significativos. Los análisis finales se realizaron según abordaje por protocolo.

RESULTADOS

Características basales y sociodemográficas

Tanto las características basales como las sociodemográficas de la cohorte del estudio se muestran en la tabla 1. El predominio masculino fue la característica sociodemográfica principal de los participantes incluidos (56,5%) y la media de edad, $60,4 \pm 9,9$ años. Los factores de riesgo y las comorbilidades basales incluyeron la hipertensión en el 68,5% de los casos, la diabetes mellitus en el 70%, la dislipemia en el 66% y el tabaquismo en el 47%, respectivamente. No hubo abandonos y todos los participantes completaron el estudio.

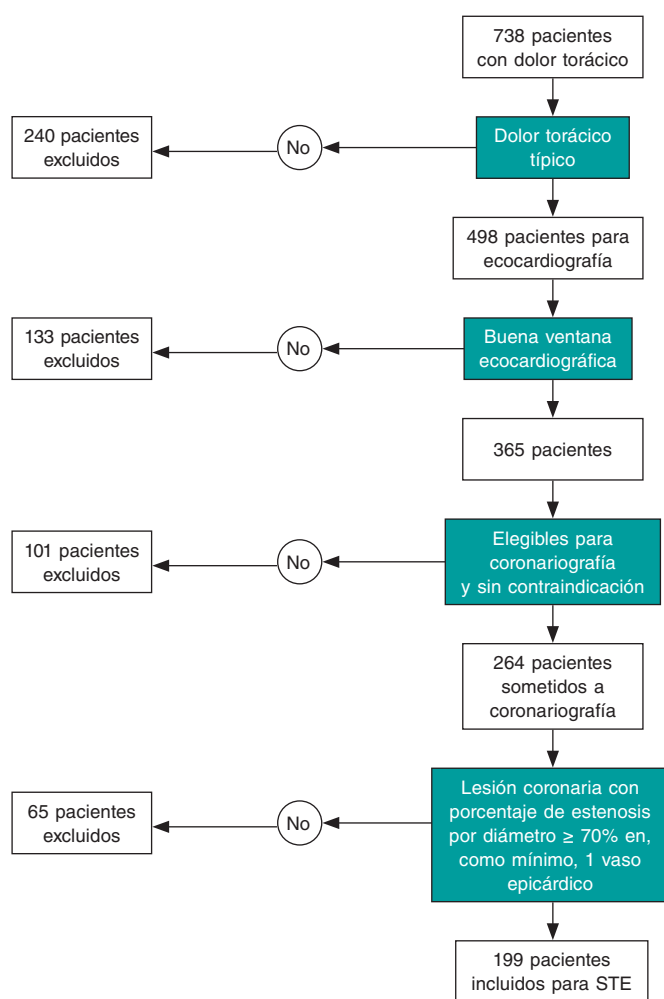


Figura 1. Diagrama de flujo de selección de la cohorte con cardiopatía isquémica estable. CAG: coronariografía; STE: ecocardiografía con rastreo de marcas.

Tabla 1. Características basales y rasgos sociodemográficos de la cohorte con cardiopatía isquémica estable

Variable	Cohorte con cardiopatía isquémica estable (n = 199)	
	Media ± DE	Rango
Edad (años)	60,4 ± 9,9	38-81
Fracción de eyección del ventrículo izquierdo	53,9 ± 6,5	40-66
Hipertensión	137	68,5%
Diabetes mellitus	140	70%
Dislipemia	132	66%
Tabaquismo activo	94	47%
Sexo		
Varón	112 (56,6%)	–
Mujer	87 (43,5%)	–

Salvo que se indique lo contrario, los datos expresan número (n) y porcentaje (%) o media ± desviación estándar (DE).

Características de la coronariografía de la cohorte con cardiopatía isquémica estable

La localización y gravedad de las lesiones coronarias significativas con un porcentaje de estenosis por diámetro $\geq 70\%$ se muestran en la [tabla 2](#). La mayoría de los participantes presentaban enfermedad de un único vaso (68%). Sesenta y tres lesiones significativas (22%) se localizaron en la circunfleja izquierda (CXI), 121 (43%) en la descendente anterior (DA) y 98 (35%) en la coronaria derecha (CD).

Análisis de deformación en la cohorte con cardiopatía isquémica estable

El análisis de deformación global mostró un rango de DLG entre el -26% y el -8% , un valor medio de $-16,4 \pm 3,6\%$, un rango de DCG entre el -35% y el -10% y un valor medio del $-18,4 \pm 4,9\%$. El análisis regional de deformación (ARD) de 3.383 segmentos mostró ACS en 3.378 segmentos (99,8%), un IMP medio de $1,3 \pm 0,2$ y tasas de sensibilidad y especificidad del 88 y 61%, respectivamente; también se identificó DLG en 3.365 segmentos (99,5%), DCG en 3.184 segmentos (100%), deformación radial global en 3.352 segmentos (99%), hipoperfusión significativa (lesiones coronarias con un porcentaje de estenosis por diámetro $\geq 70\%$) en 1.472 segmentos (43%) y perfusión normal o hipoperfusión leve-moderada (lesiones coronarias con un porcentaje de estenosis por diámetro $< 70\%$) en 1.911 segmentos (57%). Las medianas y los rangos intercuartílicos de los parámetros de deformación regional para lesiones coronarias con porcentajes de estenosis por diámetro $\geq 70\%$ mostraron diferencias significativas con respecto a los parámetros correspondientes de lesiones coronarias con porcentajes de estenosis por diámetro $< 70\%$. La mediana de la DLR fue del -20% (RIC = -23 a -17%) para lesiones con porcentajes de estenosis por diámetro < 70 frente al -12% (RIC = -14 a -9%) para lesiones $\geq 70\%$ ($p < 0,001$). La mediana de la DRR fue del 40% (RIC = 38 a 43%) para lesiones < 70 frente al 33% (RIC = 21 a 39%) para lesiones $\geq 70\%$ ($p < 0,001$) ([figura 2](#)). La mediana de la DCR fue del -19% (RIC = -24 a -14%) para lesiones con porcentajes de estenosis por diámetro < 70 frente al -17% (RIC = -22 a -12%) para lesiones $\geq 70\%$ ($p < 0,001$). Se detectaron ACS en el 38% de los segmentos irrigados por lesiones significativas con porcentajes de estenosis por diámetro ≥ 70 frente al 6% de los segmentos irrigados por lesiones con porcentajes de estenosis por diámetro $< 70\%$ ($p < 0,001$).

Tabla 2. Características de la coronariografía de la cohorte con cardiopatía isquémica estable

Variable	Cohorte con cardiopatía isquémica estable (n = 199)					
	Enfermedad de 1 vaso		Enfermedad de 2 vasos		Enfermedad de 3 vasos	
Localización de lesiones coronarias significativas con porcentajes de estenosis por diámetro $\geq 70\%$ (N, %)	N	%	N	%	N	%
	135	68	45	23	19	10
Nivel de lesiones coronarias significativas con porcentajes de estenosis por diámetro $\geq 70\%$ (N, %)	DA		CXI		CD	
	No.	%	No.	%	No.	%
Proximal	74	61	40	63	51	52
Medio	42	35	0	0	16	16
Distal	5	4	23	37	31	32
Total	121	100	63	100	98	100

CD: coronaria derecha; CXI: circunfleja izquierda; DA: descendente anterior.

Viabilidad y reproducibilidad de la cohorte con cardiopatía isquémica estable

El CCI para la variabilidad inter e intraobservador de las deformaciones segmentarias se calculó en 21 de los 199 pacientes de la cohorte (11%). Los valores del CCI inter e intraobservador fueron 0,91 y 0,96 para la DLG, 0,94 y 0,97 para la DCG y 0,86 y 0,92 para la DRG.

Análisis de curva ROC y área bajo la curva en pacientes con cardiopatía isquémica estable

Se calculó el AUC para determinar el punto de corte óptimo de sensibilidad y especificidad de las deformaciones regionales ([tabla 3](#)). El AUC para la DLR fue 0,947 ($p < 0,001$) e identificó un punto de corte $\geq -16\%$ para unos valores óptimos de sensibilidad y especificidad. La comparación de curvas ROC reveló que la DLR tuvo el mayor valor predictivo de todos para la identificación segmentos significativamente hipoperfundidos (con porcentajes de estenosis por diámetro $\geq 70\%$) con un punto de corte ≥ -16 frente a la DRR (diferencia entre las AUC de 0,149; IC95%, 0,132-0,167; $p \leq 0,0001$), la ACS (diferencia entre las AUC de 0,277; IC95%, 0,262-0,293; $p \leq 0,0001$) y la DCG (diferencia entre las AUC de 0,348; IC95%, 0,327-0,368; $p \leq 0,0001$), respectivamente ([figura 3](#)).

Análisis ROC de la deformación longitudinal regional en pacientes con cardiopatía isquémica estable

Guiado por el punto de corte $\geq -16\%$ para unos valores óptimos de sensibilidad y especificidad de la DLR, se exploró el papel predictivo de la DLT en el tratamiento de la EC estable para la identificación de la localización y gravedad de lesiones coronarias significativas con porcentajes de estenosis por diámetro $\geq 70\%$ ([tabla 4](#)). El análisis de la curva ROC demostró que el número óptimo de segmentos territoriales afectados para la predicción de la localización y gravedad de lesiones significativas con porcentajes de estenosis por diámetro $\geq 70\%$ fue ≥ 3 segmentos afectados de los 7 segmentos territoriales de la DA para la predicción de lesiones proximales o significativas en la DA media y ≥ 3 segmentos afectados de los 5 segmentos territoriales de la CXI o CD para la predicción de lesiones proximales significativas en la CXI o la CD ([figura 4](#)).

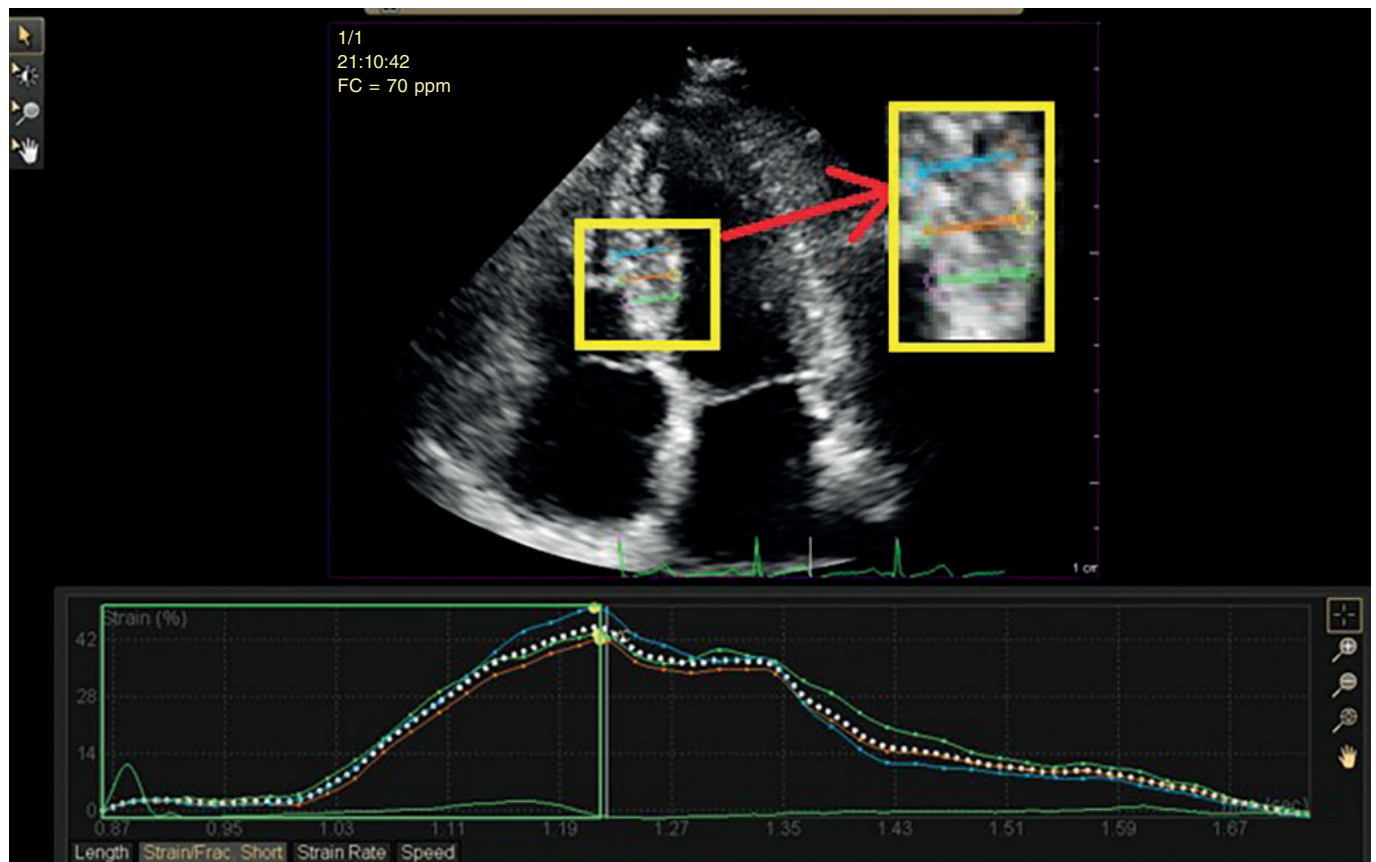


Figura 2. Análisis de deformación radial regional de un participante del estudio con cardiopatía isquémica estable que muestra un 42% de deformación en el segmento inferoseptal medio.

Tabla 3. Área bajo la curva para la detección del punto de corte óptimo de sensibilidad y especificidad de las deformaciones regionales

Variable	Punto de corte	AUC	IC95%	Sensibilidad (%)	Especificidad (%)	Valor de p
DLR	≥ -16	0,947	0,938-0,953	89,4	87,8	$< 0,001^*$
DCR	≥ -19	0,599	0,582-0,617	60,7	54,4	$< 0,001^*$
DRR	≤ 35	0,8	0,786-0,813	57,8	92,3	$< 0,001^*$

Los datos expresan porcentajes.

IC95%, intervalo de confianza del 95%; AUC, área bajo la curva; DCR: deformación circunferencial regional; DLR, deformación longitudinal regional; DRR, deformación radial regional.

* Valor de p estadísticamente significativo.

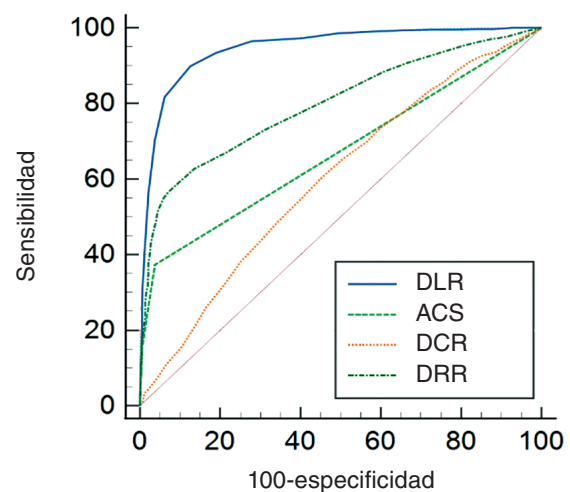


Figura 3. Comparación de curvas ROC de la cohorte con cardiopatía isquémica estable entre deformación longitudinal regional, deformación radial regional, deformación circunferencial regional y alteraciones de la contractilidad segmentaria en la predicción de porcentajes significativos de estenosis por diámetro $\geq 70\%$. ACS: alteración de la contractilidad segmentaria; DCR: deformación circunferencial regional; DLR: deformación longitudinal regional; DRR: deformación radial regional.

DISCUSIÓN

A pesar de ser el marcador ecocardiográfico de referencia para la EC estable, la ACS no es efectiva para la detección del daño miocárdico subclínico³. Nuestro estudio tuvo como objetivo valorar la capacidad predictiva de la DLT en la identificación de la localización y la gravedad de lesiones coronarias significativas con porcentajes de estenosis por diámetro $\geq 70\%$.

Los participantes de nuestro estudio tenían una media de edad de $60,4 \pm 9,9$ años (rango de 38 a 81 años) y 112 eran varones (56,5%). La mayoría presentaba enfermedad de un único vaso (68%), 45 (23%) de 2 vasos y 19 (10%) de 3 vasos. Las lesiones coronarias significativas con porcentajes de estenosis por diámetro $\geq 70\%$ se

localizaron en la CXI, la DA y la CD en 63 (22%), 121 (43%) y 98 casos (35%), respectivamente. Koulaouzidis et al. también confirmaron que el 57% de sus participantes presentaban enfermedad de un

Tabla 4. Análisis de la curva característica operativa del receptor (ROC) de la deformación longitudinal regional

Vaso	Nivel	N.º	AUC	Sensibilidad (%)	Especificidad (%)	IC95%	Valor de p
DA (7 segmentos)	Proximal	≥ 4	0,952	93,20	83,30	0,913-0,977	< 0,001*
	Medio	≥ 3	0,911	92,20	73,80	0,862-0,946	< 0,001*
	Distal	≥ 2	0,902	95,80	68,30	0,852-0,939	< 0,001*
CXI (5 segmentos)	Proximal	≥ 3	0,897	87,50	85	0,846-0,935	< 0,001*
	Distal	≥ 2	0,870	92	70,80	0,815-0,913	< 0,001*
CD (5 segmentos)	Proximal	≥ 3	0,928	88,20	83,90	0,883-0,960	< 0,001*
	Medio	≥ 3	0,942	88	92,50	0,900-0,970	< 0,001*
	Distal	≥ 2	0,932	91,80	80,40	0,888-0,963	< 0,001*

Análisis de la curva característica operativa del receptor (ROC) de la deformación longitudinal regional en la cardiopatía isquémica estable para estudiar el papel de la deformación longitudinal territorial en la predicción de la localización y el nivel de porcentaje significativo de estenosis por diámetro ≥ 70%. AUC: área bajo la curva; CD: coronaria derecha; CXI: circunfleja izquierda; DA: descendente anterior; IC95%: intervalo de confianza del 95%.

* Valor de p estadísticamente significativo.

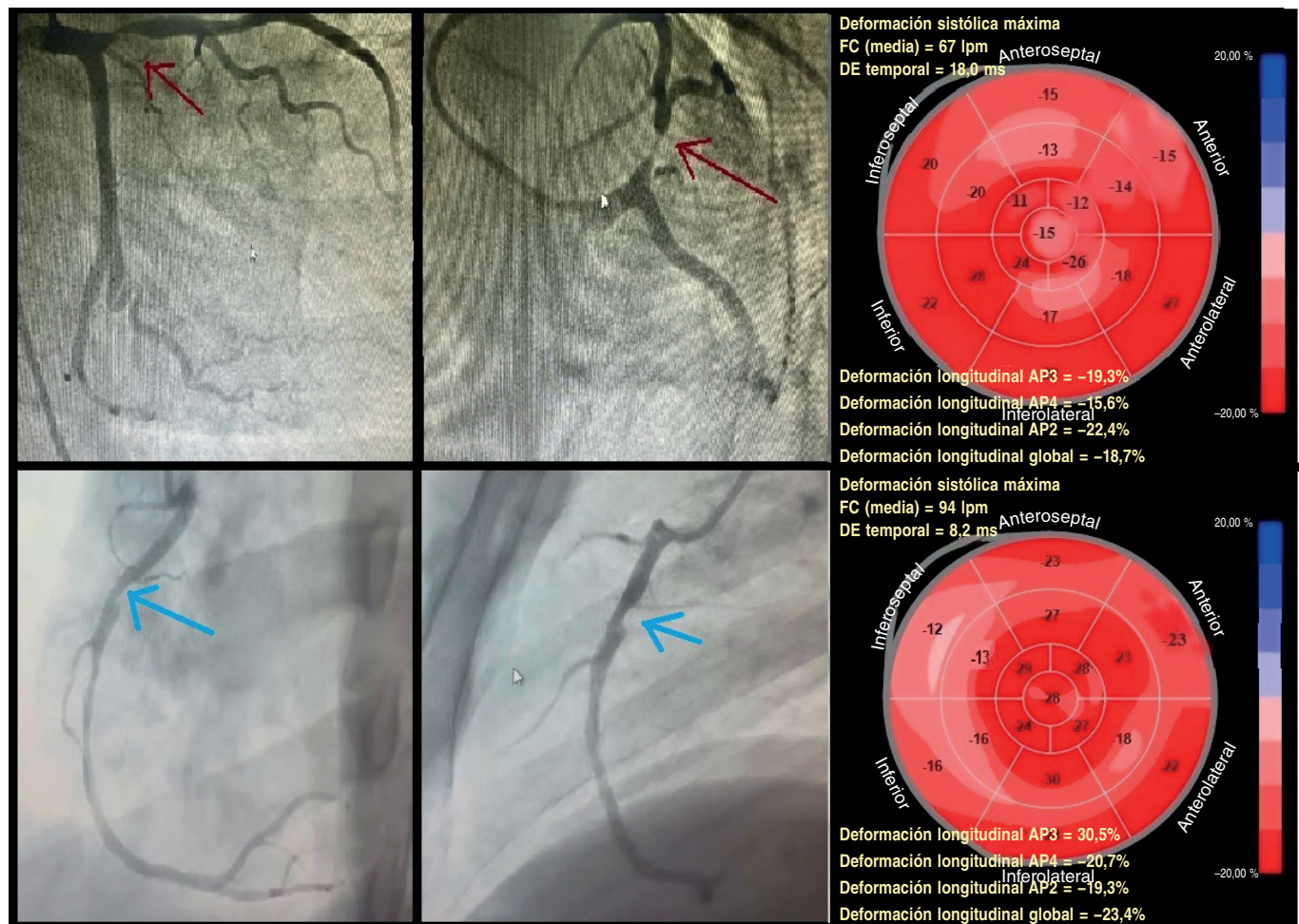


Figura 4. Deformación longitudinal territorial en participantes con cardiopatía isquémica estable. Fila superior: participante representativo del estudio con lesión proximal significativa en la descendente anterior (porcentaje de estenosis por diámetro ≥ 70%; flecha roja). La deformación longitudinal global fue del -18,7%. Siete segmentos dentro del territorio de la descendente anterior (segmentos anteroseptales, anteriores y ápex) mostraron deformación alterada (≥ -16%), lo cual corresponde a verdaderos positivos, mientras que los territorios de la circunfleja izquierda y la coronaria derecha presentaron deformación conservada (< -16%), lo cual corresponde a verdaderos negativos. Fila inferior: participante representativo del estudio con una lesión proximal significativa en la coronaria derecha (porcentaje de estenosis por diámetro ≥ 70%; flecha azul). La deformación longitudinal global fue del -23,3%. Cuatro segmentos dentro del territorio de la coronaria derecha (segmentos medio, basal inferior e inferoseptal) mostraron deformación alterada (≥ -16%), lo cual corresponde a verdaderos positivos, mientras que los territorios de la descendente anterior y la circunfleja izquierda presentaron deformación conservada (< -16%), lo cual corresponde a verdaderos negativos.

único vaso con porcentajes de estenosis por diámetro $\geq 50\%$. Estudios observacionales sugieren que la mayoría de las oclusiones coronarias de un único vaso ocurren en la DA proximal^{17,18}.

En nuestro estudio transversal, la DLG se situó entre el -26 y el -8% , con una media de $-16,4 \pm 3,6\%$ y la DLR en el -20% (RIC = -23 a -17%) para lesiones con porcentajes de estenosis por diámetro < 70 frente al -12% (RIC = -14 a -9%) para lesiones $\geq 70\%$ ($p < 0,001$). Norum et al. concluyeron que un punto de corte de DLG entre el $-17,4$ y el $-20,3\%$ era predictivo de EC en pacientes con dolor torácico y tasas de sensibilidad entre el 51 y el 81% y de especificidad entre el 58 y el 81% ¹⁹. Son pocos los datos del mundo real sobre ARD en la EC estable. Montgomery et al. observaron que la suma de la deformación segmentaria de la DA tuvo una sensibilidad y especificidad del 66% con un punto de corte del $-20,3\%$ para predecir lesiones en la DA con porcentajes de estenosis por diámetro $\geq 50\%$ ²⁰. Shimoni et al. demostraron que el análisis segmentario utilizando el percentil 10 más bajo de la deformación sistólica máxima (DSM) tuvo un mejor rendimiento que la DSM global y la DLG²¹. Biering-Sørensen et al. observaron que la estenosis significativa del tronco común izquierdo ($\geq 70\%$) se asoció a una mayor afectación de la deformación longitudinal apical (DLA) que las lesiones significativas localizadas en la DA o la CXI, a pesar de que los valores de DLG fueron similares²². Carstensen et al. estudiaron la EC asintomática en pacientes con estenosis aórtica utilizando un modelo de 18 segmentos del VI y hallaron que solo la DLA y la deformación longitudinal media fueron predictores independientes significativos, lo cual coincide con otros estudios que señalan que las lesiones proximales afectan a todas las regiones definidas^{23,25}. Liu et al. demostraron que un punto de corte $\geq -23,5\%$ para la DLR endocárdica y la DLG de la DA tuvo una mayor capacidad para identificar estenosis significativas en la DA ($\geq 50\%$) frente a valores de deformación de otras capas²⁶.

Nuestros hallazgos indican que, con un punto de corte $\geq -16\%$, la DLT es capaz de predecir la localización y gravedad de lesiones coronarias significativas con porcentajes de estenosis por diámetro $\geq 70\%$. En concreto, la afectación de ≥ 3 de los 7 segmentos territoriales correspondientes a la DA predijo lesiones proximales o significativas en la DA media, mientras que la afectación de ≥ 3 de los 5 segmentos territoriales correspondientes a la CXI o la CD predijo lesiones proximales significativas. La DLT no se ha estudiado ampliamente en la EC estable. Eek et al. hallaron que, utilizando un punto de corte $\geq -14\%$, la afectación del riego sanguíneo en ≥ 4 segmentos territoriales permitió predecir oclusiones coronarias agudas con una mayor sensibilidad (85%) y especificidad (70%) que la fracción de eyección del ventrículo izquierdo¹². Sarvari et al. observaron que, aunque la DLT, la DLG y la DCG se encontraban alteradas en pacientes con infarto agudo de miocardio sin elevación del segmento ST, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre la DLG y la DLT²⁴. Caspar et al. demostraron que la DLT posee un alto valor predictivo para la detección de lesiones coronarias significativas (porcentaje de estenosis por diámetro $\geq 50\%$) en los 3 principales territorios coronarios²⁵.

La principal conclusión de nuestro estudio es que la DLT potencia la capacidad diagnóstica de la DLR y predijo con precisión tanto la localización como la gravedad de lesiones coronarias significativas con porcentajes de estenosis por diámetro $\geq 70\%$. Aunque varios métodos no invasivos presentan una sensibilidad y especificidad aceptables²⁷, suelen mostrar limitaciones en cuanto a su disponibilidad y coste. La ecocardiografía es una técnica ampliamente accesible y el análisis de deformación se puede realizarse de forma *offline*, lo que la convierte en una herramienta útil en pacientes con dolor torácico y permite realizar evaluaciones antes de tener que recurrir a intervenciones invasivas o pruebas de imagen más costosas. No obstante, se requieren estudios adicionales que aclaren la relevancia diagnóstica y pronóstica de la DLT en pacientes con dolor torácico.

Fortalezas y limitaciones

Nuestro estudio se llevó a cabo en una cohorte bien equilibrada en cuanto a factores de riesgo y características basales, sin pérdida de datos, lo cual permitió un análisis sólido por protocolo. Los cardiólogos intervencionistas que analizaron las CAG estaban cegados a los resultados ecocardiográficos y los investigadores que realizaron la ecocardiografía y el STE bidimensionales estaban cegados a los datos ecocardiográficos, lo cual minimizó el sesgo del observador. No obstante, a pesar de estas fortalezas, deben considerarse varias limitaciones. En primer lugar, al tratarse de un estudio transversal unicéntrico, no fue posible investigar la relación cronológica entre los datos ecocardiográficos y angiográficos en pacientes con EC estable. Tampoco se pudo realizar una evaluación funcional invasiva del flujo coronario mediante reserva fraccional del flujo, la DRR se evaluó manualmente y se incluyeron 36 participantes (18%) con función miocárdica deteriorada (fracción de eyección del ventrículo izquierdo $\leq 50\%$). Asimismo, se excluyó a todos aquellos pacientes con EC estable y enfermedad microvascular coronaria (angina microvascular) con CAG normal, así como a aquellos con EC estable y CAG anómala con lesiones con porcentajes de estenosis por diámetro $< 70\%$, lo cual podría haber sobreestimado la DLR en la cohorte. El hecho de haber incluido únicamente a pacientes con EC estable y CAG anómalas con lesiones con porcentajes de estenosis por diámetro $\geq 70\%$ limita cualquier posible extrapolación de los resultados a toda la población con EC estable. Por último, el análisis ROC de la DLR en la EC estable se basó únicamente en métricas clínicas limitadas (sensibilidad y especificidad). En este sentido, la elevada estimación del rendimiento diagnóstico de la DLR ($0,947$) podría estar sesgada y el punto de corte $\geq -16\%$ podría resultar engañoso. El IMP no se incluyó en el análisis, razón por la cual no fue posible establecer el valor diagnóstico incremental de la DLR en comparación con dicho índice.

CONCLUSIONES

La DLR mostró potencial relevancia clínica en el diagnóstico de la EC estable y la DLT una capacidad significativa para predecir la localización y el grado de lesiones coronarias significativas con porcentajes de estenosis por diámetro $\geq 70\%$ en pacientes con EC estable.

DISPONIBILIDAD DE LOS DATOS

Los datos están disponibles previa solicitud justificada al autor de correspondencia.

FINANCIACIÓN

Ninguna.

CONSIDERACIONES ÉTICAS

Tanto el diseño como el protocolo del estudio fueron aprobados por el comité de ética en investigación con seres humanos del *Ain Shams University Hospital* antes de iniciar el estudio el 1 de julio de 2021 . El estudio se registró con el No. Md $110/2021$. Se obtuvo el consentimiento informado por escrito de todos los participantes, incluido el consentimiento a efectos de publicación. La confidencialidad de los participantes se protegió rigurosamente y todos los datos fueron anonimizados. El estudio se realizó de conformidad con la declaración de la *Egyptian National Commission for Bioethics* sobre conducta ética en investigación en seres humanos. Se siguieron las guías SAGER en relación con posibles sesgos de sexo/género.

DECLARACIÓN SOBRE EL USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Los autores declaran que no se utilizó ningún tipo de inteligencia artificial generativa para la redacción del manuscrito, así como tampoco para la elaboración de imágenes, figuras o tablas.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

El estudio fue diseñado por A. Rezq y H. Shaalan. Los datos fueron recopilados, analizados e interpretados por M.A. Hashem y A.E. Nayel. El manuscrito fue redactado por M.A. Hashem y revisado críticamente por A. Rezq, A.K. Araquib, A.E. Nayel y H. Shaalan. A. Rezq, A.E. Nayel, A.K. Araquib y H. Shaalan aprobaron la versión final. Los autores asumen plena responsabilidad por la fiabilidad, ausencia de sesgo y correcta interpretación de los datos presentados.

CONFLICTO DE INTERESES

Ninguno.

¿QUÉ SE SABE DEL TEMA?

- La EC es la enfermedad cardiovascular más prevalente en varones y mujeres egipcios, con una prevalencia global del 4,27%. La tomografía computarizada es la técnica de imagen de referencia en la evaluación de la EC estable mientras que la proteína C reactiva ultrasensible se recomienda como marcador para su predicción.
- Aunque la ACS es el marcador ecocardiográfico de referencia, no es capaz de detectar la presencia de daño miocárdico subclínico.
- La evidencia del mundo real confirma que los métodos de análisis de deformación mediante STE bidimensional, incluidas la DLR, DLG, DCG, DLT y DRR, ofrecen una mejor precisión diagnóstica y reproducibilidad para la detección de la EC estable, permiten una evaluación más fiable de la mecánica miocárdica en la EC estable y abordan las limitaciones propias de la ACS en la identificación del daño miocárdico sutil.

¿QUÉ APORTA DE NUEVO?

- Nuestro estudio reveló que, utilizando un punto de corte $\geq -16\%$, la DLR resulta un biomarcador de imagen óptimo para predecir porcentajes significativos de estenosis por diámetro $\geq 70\%$ en el tratamiento de la EC estable.
- La DLT es un biomarcador prometedor para predecir la localización y un porcentaje significativo de estenosis por diámetro $\geq 70\%$ en la evaluación de la EC estable.

BIBLIOGRAFÍA

- GBD Results. Institute for Health Metrics and Evaluation. 2025. Disponible en: <https://vizhub.healthdata.org/gbd-results>. Consultado 15 May 2025.
- Gao Z, Chen Z, Sun A, Deng X. Gender differences in cardiovascular disease. *Med Nov Technol Devices*. 2019;4:100025.
- Bansal M, Kasliwal RR. How do I do it? Speckle-tracking echocardiography. *Indian Heart J*. 2013;65:117-123.
- Muraru D, Niero A, Rodriguez-Zanella H, Cherata D, Badano L. Three-dimensional speckle-tracking echocardiography: benefits and limitations of integrating myocardial mechanics with three-dimensional imaging. *Cardiovasc Diagn Ther*. 2018;8:101-117.
- Reant P, Labrousse L, Lafitte S, et al. Experimental validation of circumferential, longitudinal, and radial 2-dimensional strain during dobutamine stress echocardiography in ischemic conditions. *J Am Coll Cardiol*. 2008; 51:149-157.
- Bajracharya P, Acharya KP, Banerjee SK, et al. Correlation between Myocardial Strain by 2-D Speckle-Tracking Echocardiography and Angiographic findings by Coronary Angiogram in Stable Angina. *Maedica (Bucur)*. 2020; 15:365-372.
- Norum IB, Otterstad JE, Ruddox V, Bendz B, Edvardsen T. Novel regional longitudinal strain by speckle tracking to detect significant coronary artery disease in patients admitted to the emergency department for chest pain suggestive of acute coronary syndrome. *J Echocardiogr*. 2022; 20:166-177.
- Cerqueira MD, Weissman NJ, Dilsizian V, et al. Standardized myocardial segmentation and nomenclature for tomographic imaging of the heart. A statement for healthcare professionals from the Cardiac Imaging Committee of the Council on Clinical Cardiology of the American Heart Association. *Circulation*. 2002;105:539-542.
- Popescu BA, Andrade MJ, Badano LP, et al. European Association of Echocardiography recommendations for training, competence, and quality improvement in echocardiography. *Eur J Echocardiogr*. 2009;10:893-905.
- Knipe H, Martínez Juárez D, Silverstone L, et al. Coronary artery disease. Radiology Reference Article. *Radiopaedia*. 2026. <https://doi.org/10.53347/rID-43406>.
- Steeds RP, Wheeler R, Bhattacharyya S, et al. Stress echocardiography in coronary artery disease: a practical guideline from the British Society of Echocardiography. *Echo Res Pract*. 2019;6:G17-G33.
- Eek C, Grenne B, Brunvand H, et al. Strain echocardiography predicts acute coronary occlusion in patients with non-ST-segment elevation acute coronary syndrome. *Eur J Echocardiogr*. 2010;11:501-508.
- Chan YH. Biostatistics 102: quantitative data - Parametric & non-parametric Tests. *Singap Med J*. 2003;44:391-396.
- Chan YH. Biostatistics 103: qualitative data -tests of Independence. *Singap Med J*. 2003;44:498-503.
- Koo TK, Li MY. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med*. 2016;15:155-163.
- Koulaouzidis G, Kleitsioti P, Kalaitzoglou M, et al. Left Ventricular Longitudinal Strain Detects Ischemic Dysfunction at Rest, Reflecting Significant Coronary Artery Disease. *Diagnostics (Basel)*. 2025;15:1102.
- Ahmed IAM, Khalid NHM, Abd-Elmagid AEM, Abdullah MAM, Musa AMI, Al-Qarni NO. Common coronary artery occlusions in patients with myocardial infarction. *Pan Afr Med J*. 2022;42:254.
- Wang TY, Zhang M, Fu Y, et al. Incidence, distribution, and prognostic impact of occluded culprit arteries among patients with non-ST-elevation acute coronary syndromes undergoing diagnostic angiography. *Am Heart J*. 2009;157:716-723.
- Norum IB, Ruddox V, Edvardsen T, Otterstad JE. Diagnostic accuracy of left ventricular longitudinal function by speckle tracking echocardiography to predict significant coronary artery stenosis. A systematic review. *BMC Med Imaging*. 2015;15:25.
- Montgomery DE, Puthumana JJ, Fox JM, Ogunyankin KO. Global longitudinal strain aids the detection of non-obstructive coronary artery disease in the resting echocardiogram. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2012; 13:579-587.
- Shimoni S, Gendelman G, Ayzenberg O, et al. Differential effects of coronary artery stenosis on myocardial function: the value of myocardial strain analysis for the detection of coronary artery disease. *J Am Soc Echocardiogr*. 2011;24:748-757.
- Biering-Sørensen T, Hoffmann S, Mogelvang R, et al. Myocardial strain analysis by 2-dimensional speckle tracking echocardiography improves diagnostics of coronary artery stenosis in stable angina pectoris. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2014;7:58-65.
- Carstensen HG, Larsen LH, Hassager C, Kofoed KF, Jensen JS, Mogelvang R. Association of ischemic heart disease to global and regional longitudinal strain in asymptomatic aortic stenosis. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2015; 31:485-495.
- Sarvari SI, Haugaa KH, Zahid W, et al. Layer-specific quantification of myocardial deformation by strain echocardiography may reveal significant CAD in patients with non-ST-segment elevation acute coronary syndrome. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2013;6:535-544.
- Caspar T, Samet H, Ohana M, et al. Longitudinal 2D strain can help diagnose coronary artery disease in patients with suspected non-ST-elevation acute coronary syndrome but apparent normal global and segmental systolic function. *Int J Cardiol*. 2017;236:91-94.
- Liu C, Li J, Ren M, et al. Multilayer longitudinal strain at rest may help to predict significant stenosis of the left anterior descending coronary artery in patients with suspected non-ST-elevation acute coronary syndrome. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2016;32:1675-1685.
- Danad I, Szymonifka J, Twisk JWR, et al. Diagnostic performance of cardiac imaging methods to diagnose ischaemia-causing coronary artery disease when directly compared with fractional flow reserve as a reference standard: a meta-analysis. *Eur Heart J*. 2017;38:991-998.