

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE MEDICINA



UANL

**“RELACIÓN ENTRE LA CAPACIDAD FUNCIONAL DURANTE LA
PRUEBA DE ESFUERZO Y LOS HALLAZGOS DE LA
GAMMAGRAFÍA DE PERFUSIÓN MIOCÁRDICA EN PACIENTES
CON SOSPECHA DE ISQUEMIA MIOCÁRDICA”**

Por

EDINSON ANDRES BURGOS ARROYO

**Como requisito parcial para obtener el Grado de
ESPECIALIDAD EN MEDICINA NUCLEAR E IMAGEN
MOLECULAR**

Julio, 2026



UANL

HOJA DE APROBACIÓN POR EL COMITÉ DE TESIS

**RELACIÓN ENTRE LA CAPACIDAD FUNCIONAL DURANTE LA
PRUEBA DE ESFUERZO Y LOS HALLAZGOS DE LA
GAMMAGRAFÍA DE PERFUSIÓN MIOCÁRDICA EN PACIENTES
CON SOSPECHA DE ISQUEMIA MIOCÁRDICA**

Por

EDINSON ANDRES BURGOS ARROYO

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
ESPECIALIDAD EN MEDICINA NUCLEAR E IMAGEN MOLECULAR**

**Dr. José Humberto Treviño Ortiz
NOMBRE Y TÍTULO DEL MIEMBRO DEL COMITÉ DE TESIS
DIRECTOR DE TESIS**

**Dra. Irma Villarreal Garza
NOMBRE Y TÍTULO DEL SEGUNDO MIEMBRO DEL COMITÉ
CODIRECTOR DE TESIS**

**Dr. med Felipe Arturo Morales Martínez
SECRETARIO O SUBDIRECTOR DE POSGRADOS**



UANL

**RELACIÓN ENTRE LA CAPACIDAD FUNCIONAL DURANTE LA
PRUEBA DE ESFUERZO Y LOS HALLAZGOS DE LA
GAMMAGRAFÍA DE PERFUSIÓN MIOCÁRDICA EN PACIENTES
CON SOSPECHA DE ISQUEMIA MIOCÁRDICA**

**Este trabajo fue realizado en el Hospital Universitario Dr. José
Eleuterio González, del Departamento de Medicina Nuclear e
Imagen Molecular de la Universidad Autónoma de Nuevo León,
bajo la Dirección del Dr. José Humberto Treviño Ortiz y la
Codirectora Dra. Irma Villarreal Garza.**

**Dr. José Humberto Treviño Ortiz
DIRECTOR DE TESIS**

**Dra. Irma Villarreal Garza
CODIRECTOR DE TESIS**

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento a mi director de tesis, Dr. José Humberto Treviño Ortiz, a mi codirectora y jefa de residencia, Dra. Irma Villarreal Garza, por su orientación, enseñanza, disposición y valioso apoyo durante el desarrollo de este trabajo de investigación.

Agradezco al Hospital Universitario "Dr. José Eleuterio González" y al Servicio de Medicina Nuclear por brindarme el espacio, los recursos y la formación académica y profesional que hicieron posible la realización de esta tesis y contribuyeron a mi crecimiento como médico especialista.

A Dios, por permitirme llegar hasta este momento y darme la fortaleza para superar cada reto.

A mis padres y a mis hermanas, por su amor, confianza y apoyo incondicional en cada etapa de mi vida.

Finalmente, gracias a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a mi formación y me acompañaron durante este importante camino.

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada etapa de este camino, por darme la sabiduría y la perseverancia para alcanzar esta meta.

A mí mismo, por la disciplina, el esfuerzo y la constancia para superar cada desafío y no renunciar a este sueño.

A mis padres Edinson Burgos Doria y Enith Arroyo Serrano, por su amor incondicional, sus enseñanzas y el apoyo que siempre me brindan para alcanzar mis objetivos.

A mi hermana mayor Paola Burgos, por su acompañamiento en este proceso de desarrollar este trabajo; y a mi hermana menor Andrea Burgos, por su compañía y apoyo.

A mi pareja Jessica Henao, por su comprensión, amor, paciencia y motivación constante, acompañándome con cariño durante este proceso.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	IV
DEDICATORIA	IV
LISTA DE ABREVIATURAS	VI
LISTA DE TABLAS	VII
LISTA DE FIGURAS	VIII
RESUMEN.....	IX
ABSTRACT.....	X
I. INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO	3
II. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO	10
III. HIPÓTESIS	12
5.1 HIPÓTESIS ALTERNATIVA	12
5.2 HIPÓTESIS NULA	12
IV. OBJETIVOS	13
4.1. OBJETIVO GENERAL	13
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
5.1 DISEÑO DE ESTUDIO	14
5.1.1 <i>Tipo de estudio</i>	14
5.1.2 <i>Diseño muestral</i>	14
5.2 POBLACIÓN DE ESTUDIO	14
5.2.1. <i>Universo de trabajo</i>	14
5.2.2 <i>Población de estudio</i>	14
5.3 CRITERIOS DE SELECCIÓN.....	14
5.3.1. <i>Criterios de inclusión</i>	14
5.3.2. <i>Criterios de exclusión</i>	15
5.3.3. <i>Criterios de eliminación</i>	15
5.4 TEMPORALIDAD	15
5.5 TAMAÑO DE MUESTRA	16
5.6 PLAN DE ANÁLISIS	16
5.7 VARIABLES.....	17
TABLA 1. TABLA DE VARIABLES.....	17
VI. RESULTADOS	21
VII. DISCUSIÓN	29
VIII. CONCLUSIÓN	42
IX. REFERENCIAS.....	43

LISTA DE ABREVIATURAS

ACC	American College of Cardiology
AHA	American Heart Association
EAC	Enfermedad arterial coronaria
ECG	Electrocardiograma
FEVI	Fracción de eyección del ventrículo izquierdo
SPECT	Tomografía computarizada por emisión de fotón único
GPM	Gammagrafía de perfusión miocárdica
HAS	Hipertensión arterial sistémica
IMC	Índice de masa corporal
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
METs	Equivalentes metabólicos
OMS	Organización Mundial de la Salud
PE	Prueba de esfuerzo
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
SRS	Summed Rest Score
SSS	Summed Score Stress
SSD	Summed Score Difference
VO₂ máx.	Consumo máximo de oxígeno

LISTA DE TABLAS

NÚMERO	TÍTULO DE LA TABLA	PÁGINA
1	Tabla de variables	17
2	Características clínicas y sociodemográficas de los pacientes con sospecha de isquemia miocárdica según el grado de isquemia evidenciado en gammagrafía miocárdica.	21
3	Características funcionales obtenidas durante la prueba de esfuerzo y en gammagrafía según el grado de isquemia obtenido en la perfusión miocárdica.	23
4	Correlación entre la capacidad funcional, parámetros funcionales y hallazgos gammagráficos en pacientes con sospecha de isquemia miocárdica.	26

LISTA DE FIGURAS

NÚMERO	TÍTULO	PÁGINA
1	Distribución de la categorización de los hallazgos gammagráficos en estudios de perfusión miocárdica en pacientes con sospecha de isquemia miocárdica.	25
2	Diagrama de dispersión entre los METs alcanzados durante la prueba de esfuerzo y el puntaje SSD obtenido mediante gammagrafía de perfusión miocárdica.	27

RESUMEN

La enfermedad arterial coronaria continúa siendo una de las principales causas de morbilidad a nivel mundial, por lo que la identificación de herramientas que permitan mejorar la estratificación del riesgo cardiovascular resulta de gran importancia clínica. La prueba de esfuerzo y la gammagrafía de perfusión miocárdica constituyen métodos complementarios para la evaluación de pacientes con sospecha de isquemia miocárdica; sin embargo, en México existe escasa evidencia sobre la relación entre la capacidad funcional alcanzada durante el ejercicio y la severidad de la isquemia identificada mediante gammagrafía. El objetivo de este estudio fue determinar la correlación entre la capacidad funcional, medida en equivalentes metabólicos (METs), y los hallazgos de perfusión miocárdica en pacientes atendidos en el Servicio de Medicina Nuclear del Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González”. Se realizó un estudio observacional, analítico, transversal y retrospectivo que incluyó 40 pacientes mayores de 18 años sometidos a gammagrafía de perfusión miocárdica con estrés físico entre enero de 2024 y octubre de 2025. Se analizaron variables clínicas, sociodemográficas, capacidad funcional, índice de Duke y parámetros funcionales derivados de la gammagrafía, utilizando análisis descriptivo e inferencial y el coeficiente de correlación de Spearman para evaluar la asociación entre las variables. Los pacientes con mayor severidad de isquemia presentaron menor capacidad funcional, menor duración de la prueba de esfuerzo, menor fracción de eyección del ventrículo izquierdo y mayores volúmenes ventriculares. Se identificó una correlación negativa entre los METs alcanzados y el grado de isquemia ($\rho = -0.267$; $p = 0.048$), así como entre la clasificación de la capacidad funcional y la severidad de la isquemia ($\rho = -0.306$; $p = 0.028$). El índice de Duke mostró una correlación positiva moderada con el grado de isquemia ($\rho = 0.594$; $p < 0.0001$), mientras que los puntajes SSS y SSD presentaron una correlación muy fuerte con la severidad de la enfermedad. En conclusión, una menor capacidad funcional durante la prueba de esfuerzo se asoció significativamente con una mayor severidad de la isquemia evidenciada mediante gammagrafía de perfusión miocárdica. Estos hallazgos respaldan el valor de los METs como herramienta complementaria para la estratificación del riesgo cardiovascular y fortalecen la utilidad del análisis conjunto de la prueba de esfuerzo y la gammagrafía en la evaluación de pacientes con sospecha de enfermedad arterial coronaria.

ABSTRACT

Coronary artery disease remains one of the leading causes of morbidity and mortality worldwide, making the identification of tools that improve cardiovascular risk stratification of great clinical importance. Exercise stress testing and myocardial perfusion scintigraphy are complementary methods for evaluating patients with suspected myocardial ischemia; however, in Mexico, there is limited evidence regarding the relationship between functional capacity achieved during exercise and the severity of ischemia identified by myocardial perfusion scintigraphy. The aim of this study was to determine the correlation between functional capacity, measured in metabolic equivalents (METs), and myocardial perfusion findings in patients evaluated at the Nuclear Medicine Department of the "Dr. José Eleuterio González" University Hospital. An observational, analytical, cross-sectional, and retrospective study was conducted, including 40 patients older than 18 years who underwent exercise myocardial perfusion scintigraphy between January 2024 and October 2025. Clinical and sociodemographic variables, functional capacity, Duke Treadmill Score, and functional parameters derived from myocardial perfusion scintigraphy were analyzed using descriptive and inferential statistics, while Spearman's correlation coefficient was used to assess the association between variables. Patients with more severe ischemia exhibited lower functional capacity, shorter exercise duration, lower left ventricular ejection fraction, and larger ventricular volumes. A negative correlation was identified between achieved METs and the degree of ischemia ($\rho = -0.267$; $p = 0.048$), as well as between functional capacity classification and ischemia severity ($\rho = -0.306$; $p = 0.028$). The Duke Treadmill Score demonstrated a moderate positive correlation with ischemia severity ($\rho = 0.594$; $p < 0.0001$), whereas the Summed Stress Score (SSS) and Summed Difference Score (SSD) showed a very strong correlation with disease severity. In conclusion, lower functional capacity during exercise stress testing was significantly associated with greater ischemia severity identified by myocardial perfusion scintigraphy. These findings support the value of METs as a complementary tool for cardiovascular risk stratification and reinforce the usefulness of integrating exercise stress testing with myocardial perfusion scintigraphy in the evaluation of patients with suspected coronary artery disease.

I. INTRODUCCIÓN

La enfermedad arterial coronaria (EAC) es una de las principales causas de morbilidad y mortalidad a nivel mundial. Se estima que las enfermedades cardiovasculares representan aproximadamente 17.9 millones de muertes anuales en el mundo, lo que equivale al 32% de todas las muertes globales (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2021). En México, las estadísticas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) reportan que las enfermedades del corazón encabezan las causas de muerte desde hace más de una década, con tasas de mortalidad sostenidamente elevadas (INEGI, 2025). Ante esta realidad epidemiológica, la detección oportuna de isquemia miocárdica juega un papel esencial en la prevención de eventos cardiovasculares mayores como el infarto agudo de miocardio y la muerte súbita.

La evaluación diagnóstica de pacientes con sospecha de isquemia miocárdica incluye diversas herramientas no invasivas, entre las cuales destacan la prueba de esfuerzo (PE) y la gammagrafía de perfusión miocárdica (GPM). La PE permite no solo detectar signos de isquemia inducida por el ejercicio, sino también estimar la capacidad funcional del paciente, medida en equivalentes metabólicos (METs). Estudios previos han demostrado que una mayor capacidad funcional alcanzada durante la prueba de esfuerzo se asocia con un mejor pronóstico cardiovascular, independientemente del resultado electrocardiográfico (Myers et al., 2002).

Por otro lado, la Medicina Nuclear aporta herramientas diagnósticas fundamentales para la evaluación funcional del miocardio, siendo la gammagrafía de perfusión miocárdica (GPM) una de las más utilizadas y validadas. La GPM permite identificar defectos de perfusión inducidos por estrés, ya sea farmacológico o físico, lo cual facilita el diagnóstico de isquemia reversible, infarto previo (defectos fijos) y, en general, la estimación del riesgo coronario del paciente (Maddahi & Packard, 2014). Su valor radica en que no se limita a detectar alteraciones estructurales, sino que ofrece una evaluación dinámica de

la función miocárdica en condiciones de demanda aumentada, lo cual es fundamental para una adecuada estratificación del riesgo.

Uno de los aspectos centrales en la realización de una GPM es el tipo y calidad del estrés utilizado. En los protocolos convencionales, se puede inducir estrés ya sea mediante ejercicio físico (prueba de esfuerzo, PE) o por agentes farmacológicos como adenosina, dipiridamol o regadenosón. Cuando el paciente es capaz de realizar ejercicio, este suele ser preferido por su capacidad de aportar información clínica adicional, incluyendo la respuesta hemodinámica al esfuerzo, la aparición de síntomas, cambios en el electrocardiograma y, especialmente, la capacidad funcional alcanzada, expresada en equivalentes metabólicos (METs) (Berman et al., 2006).

En la práctica clínica, es común que tanto la PE como la GPM se utilicen en conjunto en pacientes con sospecha de isquemia, aun cuando algunos puedan presentar buena capacidad funcional sin evidencia de isquemia clínica. En este sentido, la relación entre la capacidad funcional estimada por METs y los hallazgos de perfusión en la GPM aún no está completamente esclarecida, y podría tener implicaciones importantes para la toma de decisiones clínicas y la optimización del uso de recursos diagnósticos.

Diversos estudios han demostrado que una capacidad funcional elevada alcanzada durante la prueba de esfuerzo se asocia inversamente con la probabilidad de isquemia miocárdica significativa en la gammagrafía de perfusión (Bourque et al., 2015). No obstante, dicha relación no es absoluta, y su poder predictivo puede verse influenciado por variables clínicas, demográficas y epidemiológicas locales. Por tanto, aunque existe una correlación reconocida entre ambas mediciones, aún persisten interrogantes relevantes sobre su solidez diagnóstica y pronóstica en diferentes contextos clínicos, lo que justifica la necesidad de investigaciones adicionales que analicen esta relación con mayor precisión.

ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

El abordaje diagnóstico de los síndromes isquémicos se sustenta en métodos no invasivos que permitan integrar información funcional, anatómica y perfusional del miocardio. Entre las herramientas más empleadas en la práctica clínica destacan la prueba de esfuerzo y la gammagrafía de perfusión miocárdica (GPM), ambas con sólida evidencia en la detección de isquemia inducible y en la estratificación del riesgo cardiovascular. Diversos estudios han demostrado que estas técnicas deben considerarse complementarias, ya que su interpretación conjunta proporciona una visión más integral del estado cardiovascular del paciente y facilita una toma de decisiones más precisa.

La GPM, mediante el uso de SPECT, ofrece una evaluación detallada de la perfusión miocárdica, permitiendo identificar zonas de isquemia, necrosis o viabilidad miocárdica con alta sensibilidad. Su capacidad para detectar alteraciones perfusionales incluso en pacientes asintomáticos o con pruebas de esfuerzo inconclusas la convierte en una herramienta fundamental en el abordaje de la enfermedad arterial coronaria (EAC). Estudios como el de Padrón García et al. (2016) han evidenciado que, en comparación con la ergometría convencional y el score de calcio coronario, la GPM presenta mayor sensibilidad y valor predictivo negativo frente a la coronariografía, consolidándola como una técnica de referencia en el diagnóstico no invasivo de EAC.

Paralelamente, la prueba de esfuerzo proporciona información funcional clave sobre la respuesta del sistema cardiovascular al ejercicio. Su utilidad pronóstica ha sido ampliamente documentada en la literatura, particularmente a través del análisis de la capacidad funcional expresada en equivalentes metabólicos (METs). Bourque et al. (2009) encontraron que los pacientes que alcanzaban ≥ 10 METs tenían un riesgo muy bajo de isquemia inducible, incluso con factores de riesgo presentes. Kwon et al. (2014) observaron que una baja capacidad funcional (< 7 METs) fue un predictor de mortalidad más potente que los hallazgos gammagráficos en adultos mayores, lo que resalta su valor como indicador pronóstico. Sin embargo, estos hallazgos no deben interpretarse como una

superioridad de la ergometría sobre la GPM, sino como una demostración de que ambas herramientas aportan dimensiones distintas, pero complementarias, en la evaluación del riesgo cardiovascular.

Otros estudios refuerzan esta complementariedad. Chan et al. (2011) aplicaron ergometría de brazos en pacientes con limitaciones para ejercicio convencional y hallaron que tanto los defectos de perfusión como la capacidad funcional predijeron eventos adversos mayores. De forma similar, Lee et al. (2011), en una cohorte de más de 9,600 pacientes, reportaron que alcanzar ≥ 10 METs se asoció con menor prevalencia de isquemia extensa en GPM, y que la severidad de los defectos perfusionales se correlacionó con un mayor riesgo de eventos cardiovasculares.

En el contexto latinoamericano y mexicano, los datos también respaldan la utilidad diagnóstica y pronóstica de ambos métodos. Vargas et al. (2015) encontraron que cada incremento de 1 MET en la prueba de esfuerzo se relacionaba con una reducción de entre 8 y 14 % en el riesgo de mortalidad, especialmente en pacientes con insuficiencia cardíaca. No obstante, subrayan que la GPM sigue siendo indispensable para confirmar o descartar isquemia, especialmente cuando la respuesta funcional es limitada o ambigua.

Investigaciones mexicanas también han explorado esta relación. Ochoa Estrada (2013), en el Instituto Nacional de Cardiología “Ignacio Chávez”, reportó una correlación significativa entre los resultados de la prueba de esfuerzo y la perfusión miocárdica evaluada por SPECT, lo que respalda su uso combinado. Baltazar González (2014) integró variables de capacidad funcional y función diastólica mediante GATED-SPECT, encontrando diferencias significativas en la respuesta hemodinámica al ejercicio en pacientes con y sin cardiopatía isquémica. Asimismo, Albarrán Bravo (2014) identificó que una menor tolerancia al ejercicio se asociaba con disfunción diastólica, incluso en ausencia de defectos perfusionales evidentes en la GPM, lo que sugiere la posible presencia de alteraciones isquémicas subclínicas.

En conjunto, los hallazgos revisados sustentan que la prueba de esfuerzo y la gammagrafía de perfusión miocárdica deben ser consideradas herramientas diagnósticas sinérgicas. La prueba de esfuerzo, a través de los METs, permite una evaluación funcional y dinámica de la capacidad cardiovascular ante el estrés físico, con valor pronóstico demostrado. Por su parte, la GPM ofrece una evaluación precisa y objetiva de la perfusión miocárdica y de la función ventricular, incluso en escenarios de baja capacidad funcional o síntomas atípicos. La integración sistemática de ambas modalidades diagnósticas contribuye a una estratificación de riesgo más precisa, una mejor selección terapéutica y una valoración pronóstica más completa en pacientes con sospecha de isquemia miocárdica (Sabharwal, 2003; Li et al., 2021).

Enfermedad arterial coronaria e isquemia miocárdica

La EAC es una afección cardíaca prevalente que se caracteriza por la acumulación de placa aterosclerótica en la luz arterial. La alteración del flujo sanguíneo reduce el aporte de oxígeno al miocardio y es una de las principales causas de mortalidad a nivel mundial y afecta significativamente la salud pública en México (Sánchez et. al., 2014). La isquemia miocárdica es una condición clínica caracterizada por la reducción del flujo sanguíneo al miocardio debido, en la mayoría de los casos, a obstrucciones parciales o totales en las arterias coronarias. Esta disminución en el suministro de oxígeno compromete la función celular del tejido cardíaco y, si persiste, puede producir daño miocárdico irreversible (De Jong et al., 2012). Fisiopatológicamente, la isquemia es el resultado de un desbalance entre la demanda de oxígeno del miocardio y su disponibilidad, lo cual puede deberse a estenosis coronarias ateroscleróticas, espasmos vasculares o trombosis coronaria.

Se distinguen varios tipos de isquemia, entre ellos la isquemia silenciosa (sin síntomas), la isquemia reversible, y la isquemia irreversible, esta última asociada a un riesgo mayor de eventos cardiovasculares agudos (Moreno, Portillo, 2016). La identificación precoz de esta condición permite aplicar estrategias terapéuticas que reducen la morbilidad y mortalidad cardiovascular.

Capacidad funcional cardiovascular

La capacidad funcional se define como la habilidad del sistema cardiovascular para realizar un esfuerzo físico, y representa un marcador indirecto de la reserva funcional del corazón. Definido por el consumo máximo de oxígeno (VO₂ máx.), es decir, el producto del gasto cardíaco y la diferencia de oxígeno arteriovenoso en el agotamiento físico (Arena, et al., 2007). El VO₂ máx. se ve afectado por la edad, el sexo, el estado de acondicionamiento y la presencia de enfermedades o medicamentos que influyen en sus componentes.

Dicha capacidad puede ser medida objetivamente a través del consumo máximo de oxígeno (VO₂ máx.) y, clínicamente, mediante la cantidad de equivalentes metabólicos (METs) alcanzados durante una prueba de esfuerzo (Harb, et. al., 2020). Los equivalentes metabólicos (METs) son una medida estandarizada del consumo de oxígeno durante el esfuerzo, donde 1 MET equivale al consumo en reposo (=3.5 ml O₂/kg/min). Una mayor capacidad funcional reflejada en METs se relaciona con mejor pronóstico cardiovascular (Arena, et al., 2007). Además, METs permiten estratificar funcionalmente al paciente en términos de riesgo.

El rendimiento en METs durante el ejercicio tiene una correlación significativa con el pronóstico cardiovascular. Numerosos estudios han demostrado que la baja capacidad funcional se asocia con un mayor riesgo de mortalidad por todas las causas, así como con eventos cardiovasculares adversos. Por ello, el nivel de tolerancia al ejercicio es actualmente considerado un predictor clínico clave en la evaluación del riesgo en pacientes con sospecha de enfermedad coronaria (Da Silva et. al. 2014; Jaeger et al., 2021).

Prueba de esfuerzo (PE)

La prueba de esfuerzo es una herramienta diagnóstica que evalúa la respuesta funcional del corazón al ejercicio físico o a agentes farmacológicos que simulan el estrés físico (Hernández et. al., 2024). Su objetivo principal es inducir condiciones de esfuerzo que revelen anormalidades eléctricas, hemodinámicas o sintomáticas no evidentes en reposo.

Existen dos modalidades principales: la prueba de esfuerzo con ejercicio (usualmente en cinta rodante o bicicleta) y la prueba farmacológica, que emplea vasodilatadores o inotrópicos como la adenosina, dipiridamol o dobutamina. Esta última se utiliza en pacientes que no pueden realizar ejercicio físico adecuado (Rozanski et al., 2020). Las indicaciones clínicas para la prueba de esfuerzo incluyen evaluación de dolor torácico, valoración pronóstica en pacientes con enfermedad coronaria establecida y control post-revascularización (Aros et al., 2000).

Gammagrafía de perfusión miocárdica (GPM)

La gammagrafía de perfusión miocárdica (GPM) es una técnica de imagen nuclear que evalúa la distribución del flujo sanguíneo en el miocardio en condiciones de reposo y estrés. Se utilizan radiofármacos como el 99m Tecnecio sestamibi o el 201 Talio, para identificar áreas de hipoperfusión transitoria (indicativas de isquemia) o fija (sugestivas de infarto previo) (Czaja et al., 2017). Este estudio permite la evaluación anatómica y funcional de la perfusión coronaria, con una alta sensibilidad para detectar enfermedad arterial coronaria significativa alrededor del 95 % y especificidad de 86 % (Padrón et al., 2016). Además, permite estimar variables funcionales como la fracción de eyección y la carga isquémica.

Su interpretación se basa en la presencia de defectos de perfusión, el grado de reversibilidad y su localización segmentaria en relación con los territorios coronarios. Sin embargo, presenta limitaciones, como artefactos por obesidad, artefactos causados por el movimiento, la atenuación o la actividad extra cardíaca, y menor disponibilidad en algunos entornos (Shams & Alzahrani, 2024).

Relación entre la capacidad funcional y los hallazgos en la gammagrafía de perfusión miocárdica

La integración de los datos obtenidos durante la prueba de esfuerzo con los hallazgos de la GPM proporciona una visión más completa del estado cardiovascular del paciente. Diversos estudios han demostrado que la capacidad funcional se correlaciona inversamente con la presencia de defectos de perfusión

en la gammagrafía (Bourque et al., 2009). Pacientes que alcanzan niveles elevados de METs durante la prueba de esfuerzo tienen una menor probabilidad de presentar isquemia significativa en los estudios de imagen.

En este contexto, la capacidad funcional actúa no solo como un indicador pronóstico, sino también como un modulador de la probabilidad pretest de enfermedad isquémica. Por ejemplo, en pacientes con síntomas atípicos pero baja tolerancia al ejercicio, la gammagrafía puede revelar isquemia oculta. Por otro lado, en pacientes con esta capacidad elevada, pero hallazgos anormales, el riesgo de eventos cardiovasculares aumenta significativamente (Peclat et al., 2019), lo cual indica que la GPM podría tener valor pronóstico residual.

Un estudio amplio demostró que incluso entre los pacientes con ≥ 10 METs, aquellos con defectos de perfusión significativos experimentaron mayor riesgo de eventos adversos; asimismo, la cantidad de isquemia en el ventrículo izquierdo se asoció directamente con riesgo de muerte, infarto o revascularización (Lee et al., 2011).

El estudio conjunto de la capacidad funcional y la perfusión miocárdica permite una mejor estratificación del riesgo cardiovascular. Esta integración facilita la toma de decisiones clínicas, como la necesidad de realizar una angiografía coronaria invasiva, iniciar terapias antianginosas, o intensificar intervenciones no farmacológicas, por ejemplo, ejercicio supervisado (Sánchez et al., 2014).

Aunque resultados internacionales indican que una capacidad funcional alta sugiere bajo riesgo, esto debe contextualizarse en poblaciones locales. En México, la prevalencia de pacientes con alto rendimiento funcional podría ser baja, y extrapolar criterios absolutos como los de ≥ 10 METs puede no ser adecuado (González et. al, 2015). Además, comprender la relación entre estos parámetros puede contribuir a una medicina más personalizada y eficiente.

Las principales guías internacionales de cardiología, como las del American College of Cardiology (ACC) y la American Heart Association (AHA), destacan la utilidad de la prueba de esfuerzo con evaluación de capacidad funcional como un

paso diagnóstico en pacientes con sospecha de enfermedad coronaria de riesgo bajo o intermedio. Asimismo, reconocen como herramienta diagnóstica de primera línea a los estudios de imagen como la Gammagrafía Perfusión Miocárdica para evaluar la extensión y severidad de la isquemia en pacientes seleccionados (Li et al., 2021). La combinación de datos funcionales e imagenológicos representa un enfoque integrador que refleja la realidad fisiopatológica y clínica del paciente, fortaleciendo así el papel de la Medicina Nuclear como herramienta clínica efectiva.

II. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

La detección precisa de isquemia miocárdica es fundamental para optimizar las decisiones terapéuticas, evitar procedimientos invasivos innecesarios y mejorar los desenlaces cardiovasculares. En este proceso, la Medicina Nuclear, mediante la gammagrafía de perfusión miocárdica (GPM), ofrece una evaluación funcional no invasiva que permite identificar áreas de isquemia reversible, necrosis o zonas de afectación mixta. Su elevada sensibilidad y especificidad, especialmente bajo condiciones óptimas de estrés, la posicionan como una herramienta esencial para la estratificación del riesgo en pacientes con sospecha de enfermedad coronaria.

Una indicación adecuada de la GPM requiere una evaluación integral del riesgo pretest, combinando factores clínicos y funcionales. Entre estos últimos, la capacidad funcional alcanzada durante la prueba de esfuerzo, medida en equivalentes metabólicos (METs), destaca por su valor pronóstico independiente. Este parámetro refleja la eficiencia cardiovascular frente al ejercicio y se ha asociado de forma inversa con la probabilidad de isquemia significativa y eventos cardiovasculares mayores.

Estudios han demostrado que alcanzar ≥ 10 METs se correlaciona con una probabilidad muy baja de presentar hallazgos positivos en la GPM, lo que sugiere que en ciertos perfiles de pacientes un buen pronóstico. Sin embargo, la mayoría de estos datos provienen de poblaciones en países desarrollados, y su aplicabilidad en contextos como el mexicano sigue siendo incierta y no siempre son extrapolables, donde las características clínicas, los factores de riesgo y las condiciones de salud pública son distintas.

En el Hospital Universitario "Dr. José Eleuterio González", no se cuenta con estudios que hayan evaluado la relación entre los METs alcanzados y los hallazgos de la GPM en pacientes con sospecha de isquemia miocárdica. Esta brecha de conocimiento limita el uso racional de los recursos diagnósticos y la toma de decisiones clínicas basadas en datos propios de la población atendida.

Por ello, esta investigación se justifica en dos planos. Primero, busca generar evidencia local sobre la utilidad pronóstica de la capacidad funcional en la predicción de hallazgos gammagráficos. Segundo, pretende fortalecer el papel de la Medicina Nuclear como especialidad crítica en la toma de decisiones diagnósticas estratégicas. Los resultados de este estudio podrían tener un impacto directo en la eficiencia del uso de la GPM, mejorando la calidad de atención y la seguridad del paciente.

III. HIPÓTESIS

5.1 Hipótesis Alternativa

- Existe una relación estadísticamente significativa entre la capacidad funcional alcanzada durante la prueba de esfuerzo (METs) y los hallazgos de isquemia o infarto en la gammagrafía de perfusión miocárdica en pacientes con sospecha de isquemia miocárdica.

5.2 Hipótesis Nula

- No existe una relación estadísticamente significativa entre la capacidad funcional alcanzada durante la prueba de esfuerzo (METs) y los hallazgos de isquemia o infarto en la gammagrafía de perfusión miocárdica en pacientes con sospecha de isquemia miocárdica.

IV. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

- Determinar la correlación entre la capacidad funcional alcanzada durante la prueba de esfuerzo (medida en METs) y los hallazgos de perfusión miocárdica obtenidos mediante gammagrafía en pacientes con sospecha de isquemia miocárdica atendidos en el Servicio de Medicina Nuclear del Hospital Universitario Dr. José Eleuterio González de Monterrey.

4.2. Objetivos específicos

- Establecer las características clínicas y sociodemográficas de los pacientes con sospecha de isquemia miocárdica atendidos en el servicio de medicina nuclear del Hospital Universitario Dr. José Eleuterio González de Monterrey.

- Clasificar los niveles de capacidad funcional según los METs alcanzados durante la prueba de esfuerzo de los pacientes con sospecha de isquemia miocárdica atendidos en el servicio de medicina nuclear del Hospital Universitario Dr. José Eleuterio González de Monterrey.

- Categorizar los hallazgos gammagráficos de los pacientes con sospecha de isquemia miocárdica atendidos en el servicio de medicina nuclear del Hospital Universitario Dr. José Eleuterio González de Monterrey.

- Comparar los rangos de capacidad funcional con los hallazgos gammagráficos de los pacientes con sospecha de isquemia miocárdica atendidos en el servicio de medicina nuclear del Hospital Universitario Dr. José Eleuterio González de Monterrey.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Diseño de Estudio

5.1.1 Tipo de estudio

- Estudio observacional, analítico, transversal y de fuente retrospectiva.

5.1.2 Diseño muestral

- Muestreo no probabilístico por conveniencia.

5.2 Población de Estudio

5.2.1. Universo de trabajo

- Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González.”

5.2.2 Población de estudio

- Pacientes mayores de 18 años referidos al Servicio de Medicina Nuclear con sospecha de cardiopatía isquémica para la realización de gammagrafía de perfusión miocárdica (GPM) con estrés físico.

5.3 Criterios de Selección

5.3.1. Criterios de inclusión

- Pacientes mayores de 18 años que hayan sido sometidos a estudio de gammagrafía de perfusión miocárdica (SPECT) con prueba de esfuerzo según protocolo de Bruce en el servicio de Medicina Nuclear y alcanzaron el 85% de la frecuencia cardíaca máxima.
- Pacientes con historia clínica completa de:
 - Datos clínicos (edad, sexo, peso, talla, antecedentes patológicos).

- Resultados de la prueba de esfuerzo analizada por el servicio de Cardiología
- Imágenes de la gammagrafía cardiaca e Informe de resultados interpretado por médico nuclear con experiencia.

5.3.2. Criterios de exclusión

- Pacientes sometidos a estudios con estrés farmacológico o sin estrés (Reposo-Reposo).
- Estudios con prueba de esfuerzo incompleta o interrumpida por causas no cardiovasculares.
- Pacientes con enfermedades musculoesqueléticas severas que limiten capacidad funcional.

5.3.3. Criterios de eliminación

- Paciente con historia clínica incompleta.
- Pacientes en que la prueba de esfuerzo o estudio de perfusión no fueron valorables por problemas técnicos.

5.4 Temporalidad

Se analizarán las historias clínicas de los pacientes que acudieron al servicio de Medicina Nuclear a realizarse Gammagrama de Perfusión Miocárdica Estrés - Reposo entre enero del 2024 y octubre del 2025 en el Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González”, de los cuales se obtendrán las siguientes variables a estudiar: edad, sexo, índice de masa corporal (IMC), Hipertensión arterial sistémica, Diabetes mellitus, Tabaquismo, Dislipidemia, duración del ejercicio, dolor de pecho durante el estrés, METs alcanzados, capacidad funcional, índice de Duke, resultado prueba de esfuerzo, FEVI, Volumen diastólico final, Volumen sistólico final, Summed score stress, Summed score diferencial, Resultado de Gammagrafía.

5.5 Tamaño de Muestra

La muestra utilizada en este estudio corresponde a una muestra poblacional de tipo censal. Se incluirán todos los pacientes que fueron atendidos en el Servicio de Medicina Nuclear del Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González” de Monterrey, Nuevo León, México, que cumplieron los criterios de inclusión y exclusión con resultados completos y disponibles en los registros institucionales.

El periodo de recolección abarca desde enero de 2024 hasta octubre de 2025, durante el cual se identificaron 40 pacientes que cumplieron con los criterios de inclusión. Debido al tamaño limitado y manejable de esta población, y a la disponibilidad total de los datos clínicos requeridos, se optó por incluir la totalidad de los casos existentes, sin aplicar técnicas de muestreo probabilístico.

Por tanto, no se realizó un cálculo previo del tamaño muestral, ya que el estudio se diseñó como un análisis exhaustivo de los pacientes atendidos bajo las condiciones previamente descritas. Esta estrategia permite reducir el riesgo de sesgo por selección, dado que se incorporaron todos los casos posibles, y no existe error muestral asociado al proceso de selección.

5.6 Plan de Análisis

Para el análisis descriptivo de los datos, las variables categóricas serán expresadas en términos de frecuencias absolutas y porcentajes. En el caso de las variables cuantitativas, se describirán utilizando medidas de tendencia central (media o mediana) y de dispersión (desviación estándar o rango intercuartílico según la distribución de los datos).

En cuanto al análisis inferencial, se examinará la distribución de los datos utilizando pruebas de normalidad como la de Shapiro-Wilk o Kolmogórov-Smirnov. En función del comportamiento de la distribución, se aplicarán pruebas paramétricas o sus equivalentes no paramétricos, para realizar las comparaciones estadísticas.

Las asociaciones entre variables categóricas se analizarán mediante la prueba de Chi-cuadrado de Pearson; en casos donde no se cumplan los supuestos necesarios, se utilizará el test exacto de Fisher. Para la comparación de variables numéricas entre dos grupos independientes, se utilizarán la prueba T de Student en el caso de datos con distribución normal, o la prueba U de Mann-Whitney si la distribución no es normal.

Asimismo, con el objetivo de determinar la correlación entre la capacidad funcional medida en METs alcanzados durante la prueba de esfuerzo y los hallazgos gammagráficos de isquemia, se emplearán los coeficientes de correlación de Pearson o Spearman, de acuerdo con la distribución de los datos. Este análisis permitirá establecer si existe una asociación estadísticamente significativa entre los niveles de METs y el grado de isquemia observado, así como interpretar la magnitud de dicha relación.

Se considerará como estadísticamente significativo un valor de p menor a 0.05 y un intervalo de confianza al 95%. Todos los análisis serán realizados utilizando el software estadístico SPSS versión 25 (IBM Corp., Armonk, NY).

5.7 Variables

Tabla 1. Tabla de Variables

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	ESCALA
Edad	Cuantitativa Discreta	Tiempo que ha vivido una persona en años al momento de realizar el estudio.	Años
Sexo	Cualitativa Nominal	Características biológicas y fisiológicas inherentes que definen a un ser como masculino o femenino	a) Masculino b) Femenino
Índice de Masa corporal (IMC)	Cualitativa Ordinal	Método que utiliza la altura y el peso de un adulto para determinar su categoría de peso	a) Peso Bajo b) Peso Normal c) Sobrepeso d) Obesidad

Hipertensión arterial sistémica	Cualitativa Nominal	Enfermedad crónica, controlable de etiología multifactorial, que se caracteriza por un aumento sostenido en las cifras de la presión arterial	a) Presencia b) Ausencia
Diabetes mellitus	Cualitativa Nominal	Enfermedad metabólica que se caracterizan por tener niveles elevados de glucosa en la sangre, debido a que el cuerpo no produce suficiente insulina o no la utiliza correctamente	a) Presencia b) Ausencia
Tabaquismo	Cualitativa Nominal	Enfermedad crónica y reincidente, caracterizada por la adicción a la nicotina y la exposición constante a diversos tóxicos presentes en el tabaco	a) Presencia b) Ausencia
Dislipidemia	Cualitativa Nominal	Síndrome que implica un desequilibrio en los niveles de lípidos en la sangre, que incluyen el colesterol y los triglicéridos	a) Presencia b) Ausencia
Duración del ejercicio	Cuantitativa Continua	Tiempo máximo que tolero o soporto en la ejecución de la prueba de esfuerzo.	Minutos y segundos
Dolor de pecho durante el estrés	Cualitativa Nominal	Sensación de dolor, presión, molestia, opresión, pesadez o ardor en el pecho desencadenado y producido por el esfuerzo	a) Presencia b) Ausencia
METs alcanzados	Cuantitativa continua	Cantidad de Equivalentes Metabólicos que una persona logra realizar durante una actividad física (prueba de esfuerzo), que sirven como un indicador de la capacidad funcional de una persona.	Puntos
Grado de capacidad funcional	Cualitativa ordinal	Medida de la aptitud física de una persona para realizar actividades diarias, categorizada según los METs alcanzados durante la prueba de esfuerzo.	a) Deficiente capacidad (<4 puntos) b) Moderada capacidad (4 a 6,9 puntos) c) Buena capacidad (7 a 9,9 puntos) d) Excelente capacidad (≥10 puntos)

Índice de Duke	Cualitativa Ordinal	Sistema de puntuación para predecir la mortalidad a 5 años basado en una prueba de esfuerzo. Se calcula en base a esta fórmula= Tiempo de ejercicio (minutos) - (5 x desviación ST en mm) - (4 x índice de angina)	a) Riesgo bajo (≥ 5 puntos) b) Riesgo intermedio (-10 a +4 puntos) c) Riesgo alto (≤ -11 puntos)
Resultado prueba de esfuerzo	Cualitativa Nominal	Conclusión que se obtiene al valorar una serie de parámetros que mide la función del corazón mientras el corazón está bajo estrés (prueba de esfuerzo).	a) Positiva b) Negativa
FEVI	Cuantitativa Discreta	Medida que indica el porcentaje de sangre que el ventrículo izquierdo del corazón expulsa en cada latido determinada por medicina nuclear	Porcentaje
Volumen diastólico final	Cuantitativa Discreta	Cantidad de sangre que hay en el ventrículo del corazón al final de su fase de relajación (diástole), justo antes de la contracción, medida por medicina nuclear.	Mililitros
Volumen sistólico final	Cuantitativa Discreta	Cantidad de sangre que permanece en el ventrículo después de que este se ha contraído (sístole), medida por medicina nuclear.	Mililitros
Summed score stress (SSS)	Cuantitativa discreta	Medida dada por el software informático, utilizada para cuantificar la severidad y extensión de la disminución del flujo sanguíneo al corazón (ventrículo izquierdo) bajo estrés. Se obtiene de la suma de las puntuaciones individuales de los 17 segmentos del mapa polar.	Puntos
Grado de perfusión	Cualitativa ordinal	Categorización del déficit perfusorio basado en la puntuación obtenida en el SSS	a) Perfusión normal (0 a 3 puntos) b) Perfusión ligeramente anormal (4 a 8 puntos) c) Perfusión moderadamente anormal (9 a 13 puntos)

			d) Perfusión severa (> a 13 puntos)
Summed score diferencial (SSD)	Cuantitativa discreta	Medida dada por el software informático usada para describir el grado de reversibilidad del déficit/ isquemia en el corazón. Se calcula restando la puntuación sumada de reposo (SRS) de la puntuación sumada de estrés (SSS).	Puntos
Grado de isquemia	Cualitativa ordinal	Categorización de la isquemia basado en la puntuación obtenida en el SSD	a) Ausencia isquemia (0 a 1 puntos). b) Isquemia leve (2 a 4 puntos). c) Isquemia moderada (5 a 6 puntos). d) Isquemia severa (7 o más puntos).
Resultado de Gammagrafía cardiaca	Cualitativa Ordinal	Conclusión del estudio de acuerdo con el grado de isquemia, basándose en una evaluación visual cualitativa dado por medico nuclear experto	a) Normal b) Isquemia leve c) Isquemia moderada d) Isquemia severa

VI. RESULTADOS

El estudio incluyó 40 pacientes que acudieron al servicio de medicina nuclear del Hospital Universitario Dr. José Eleuterio González, con sospecha de isquemia miocárdica. En la Tabla 2 se observan las variables clínicas y sociodemográficas evaluadas en el estudio.

Tabla 2. Características clínicas y sociodemográficas de los pacientes con sospecha de isquemia miocárdica según el grado de isquemia evidenciado en la gammagrafía de perfusión miocárdica

Variables	Escala	Isquemia Leve	Isquemia Moderada	Isquemia Severa	Total	p (<0.05)
Edad	Años	66±8.41	65.33±9.45	65.64±10.58	65.6±9.72	0.991
Sexo	Hombre	4	5	17	26	0.114
	Mujer	2	7	5	14	
Índice de masa corporal	Normal	2	2	5	9	0.074
	Sobrepeso	4	2	10	16	
	Obesidad	0	8	7	15	
Hipertensión	Ausencia	1	2	4	7	0.992
	Presencia	5	10	18	33	
Diabetes Mellitus	Ausencia	4	4	16	24	0.076
	Presencia	2	8	6	16	
Tabaquismo	Ausencia	6	10	17	33	0.429
	Presencia	0	2	5	7	
Dislipidemias	Ausencia	5	7	12	24	0.439
	Presencia	1	5	10	16	

La edad promedio fue de 65.6 ± 9.72 años, sin observarse diferencias estadísticamente significativas entre los pacientes con isquemia leve, moderada y severa ($p = 0.991$). Predominó el sexo masculino, con 26 pacientes (65%), mientras que 14 pacientes (35%) correspondieron al sexo femenino. Aunque el grupo con isquemia severa presentó una mayor proporción de hombres (17 de 22 pacientes), esta distribución no mostró una asociación estadísticamente significativa ($p = 0.114$).

En relación con el estado nutricional, 16 pacientes (40%) presentaron sobrepeso, 15 (37.5%) obesidad y 9 (22.5%) tuvieron un índice de masa corporal dentro de parámetros normales, sin observarse diferencias significativas entre los distintos grados de isquemia ($p = 0.074$).

La hipertensión arterial fue el antecedente clínico más frecuente, presente en 33 pacientes (82.5%), mientras que 7 pacientes (17.5%) no presentaban este antecedente. La diabetes mellitus estuvo presente en 16 pacientes (40%), mientras que 24 pacientes (60%) no eran diabéticos. Por su parte, el antecedente de tabaquismo se identificó en 7 pacientes (17.5%), predominando los no fumadores (82.5%). Asimismo, 16 pacientes (40%) presentaban dislipidemia y 24 (60%) no tenían este antecedente.

En conjunto, las variables clínicas y sociodemográficas evaluadas no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes grados de isquemia ($p > 0.05$), lo que sugiere una distribución homogénea de estas características en la población estudiada (ver Tabla 2).

Posterior a la caracterización clínica y sociodemográfica, como se puede evidenciar en la Tabla 3, se analizaron variables de la prueba de esfuerzo y algunas características funcionales obtenidas en gammagrafía, con el fin de clasificar la capacidad funcional de los pacientes mediante los METs alcanzados.

Tabla 3. Características funcionales obtenidas durante la prueba de esfuerzo y en gammagrafía según el grado de isquemia obtenido en la perfusión miocárdica

Variables	Escala	Isquemia Leve	Isquemia Moderada	Isquemia Severa	Total	p (<0.05)
METs alcanzados ¹	Puntos	5.48 (5.11-6.68)	3.92 (1.27-4.00)	3.93 (3.91-4.21)	3.95 (3.91-4.91)	0.006
Duración	Segundos	336.5 (300-407.25)	116.5 (96.50-221.25)	116 (90.50-198)	120 (98.25-292.5)	0.007
Grado de Capacidad Funcional	Deficiente	0	8	14	22	0.64
	Moderada	5	3	7	15	
	Buena	1	1	1	3	
	Excelente	0	0	0	0	
Índice de Duke	Riesgo Bajo	6	0	1	7	<0.0001
	Riesgo Intermedio	0	12	19	31	
	Riesgo Alto	0	0	2	2	
Resultado de Prueba de Esfuerzo	Negativa	6	11	14	31	0.062
	Positiva	0	1	8	9	
Angina durante la Prueba	Ausencia	6	12	19	37	0.265
	Presencia	0	0	3	3	
FEVI ²	Porcentaje	74 (58.25-79.75)	73 (67-78.75)	58.5 (44-69.75)	66.5 (53.75-76)	0.005
Volumen Diastólico Final	Mililitros	71.5 (53.75-110.75)	69.5 (65.5-82.75)	83 (70-112.75)	75.5 (67-108)	0.163

Volumen Sistólico Final	Mililitros	22 (12-38)	19.5 (15.25-22.5)	36.5 (19.5-51.25)	23.5 (17-38.75)	0.009
-------------------------	------------	------------	-------------------	-------------------	-----------------	-------

1. METs alcanzados: Equivalentes Metabólicos alcanzados; 2. FEVI: Fracción de eyección del ventrículo izquierdo.

La capacidad funcional mostró una asociación significativa con la severidad de la isquemia. Los pacientes con isquemia leve alcanzaron una mediana de 5.48 METs, superior a la observada en los pacientes con isquemia moderada (3.92 METs) e isquemia severa (3.93 METs) ($p = 0.006$). De igual forma, el tiempo de duración de la prueba de esfuerzo fue mayor en el grupo con isquemia leve (336.5 segundos) comparada con los grupos de isquemia moderada y severa (116.5 y 116 segundos, respectivamente; $p = 0.007$).

Al clasificar la capacidad funcional, predominó la categoría deficiente, identificada en 22 pacientes (55%), seguida de la capacidad funcional moderada en 15 pacientes (37.5%) y buena en únicamente 3 pacientes (7.5%); ningún paciente alcanzó una capacidad funcional excelente.

De acuerdo con el Índice de Duke, predominó la categoría de riesgo intermedio entre los pacientes evaluados (77.5%), mientras que el 17.5% presentó riesgo bajo y únicamente el 5% riesgo alto, observándose diferencias altamente significativas entre los grupos de isquemia ($p < 0.0001$).

Aunque la mayor parte de las pruebas de esfuerzo fueron negativas (77.5%), se evidenció una tendencia hacia una mayor frecuencia de pruebas positivas conforme aumentó la severidad de la isquemia, sin alcanzar significancia estadística ($p = 0.062$). De igual forma, la presencia de angina durante la prueba fue poco frecuente (7.5%) y no se identificaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de estudio ($p = 0.265$).

En cuanto a la FEVI, varió significativamente de acuerdo con el grado de isquemia ($p = 0.005$), observándose valores más elevados en los pacientes con isquemia leve y moderada en comparación con aquellos con isquemia severa. En contraste, el volumen diastólico final no presentó diferencias estadísticamente significativas ($p = 0.163$). Sin embargo, el volumen sistólico final fue

significativamente mayor en el grupo con isquemia severa ($p = 0.009$) (ver Tabla 3).

En conjunto, estos resultados evidencian que los pacientes con mayor grado de isquemia presentaron una menor capacidad funcional, menor duración del ejercicio y una reducción de la función ventricular izquierda, hallazgos consistentes con un mayor compromiso cardiovascular.

Posterior se realizó la categorización de los hallazgos gammagráficos en los pacientes, encontrándose que en la población estudiada ($n = 40$) el hallazgo más frecuente fue la isquemia severa, observada en 22 pacientes (55,0%), seguida de la isquemia moderada en 12 pacientes (30,0%) y de la isquemia leve en 6 pacientes (15,0%). En la Figura 1 se observa la proporción de estudios clasificados con los diferentes grados de alteración sugestivos de isquemia miocárdica, permitiendo describir el comportamiento de los resultados gammagráficos dentro de la población evaluada.

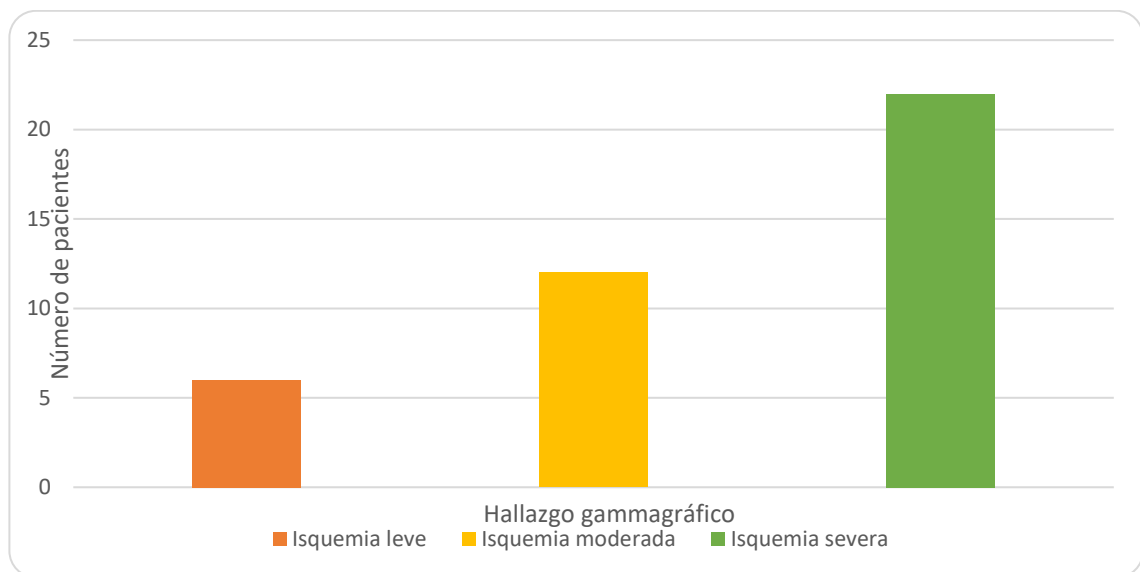


Figura 1. Distribución de la categorización de los hallazgos gammagráficos en estudios de perfusión miocárdica en pacientes con sospecha de isquemia miocárdica

Estos resultados muestran que más del 50% de los pacientes remitidos para gammagrafía de perfusión miocárdica presentaron alteraciones compatibles con isquemia severa, encontrándose una elevada carga de enfermedad isquémica en los pacientes atendidos en el Servicio de Medicina Nuclear del Hospital Universitario. Asimismo, la menor proporción de pacientes con isquemia leve sugiere que la mayoría de los estudios positivos correspondieron a defectos de perfusión de mayor extensión o severidad, probablemente relacionados con un mayor riesgo cardiovascular y con la necesidad de una evaluación clínica y terapéutica más intensiva.

En el análisis final presentado en la Tabla 4, se determinó la relación entre la capacidad funcional alcanzada durante la prueba de esfuerzo y los hallazgos de la gammagrafía de perfusión miocárdica mediante el coeficiente de correlación de Spearman.

Tabla 4. Correlación entre la capacidad funcional, parámetros funcionales y hallazgos gammagráficos en pacientes con sospecha de isquemia miocárdica

Variables	Coeficiente de Correlación (ρ)	IC 95%	Valor de p (<0.05)
METs alcanzados ¹	-0.267	(1-0.003)	0.048
Grado de Capacidad Funcional	-0.306	(1-0.045)	0.028
Resultado de Prueba de Esfuerzo	0.37	(0.118-1)	0.009
Índice de Duke	0.594	(0.391-1)	<0.0001
FEVI ²	-0.477	(1-0.243)	0.001
Volumen Diastólico Final	0.281	(0.019-1)	0.039
Volumen Sistólico Final	0.452	(0.214-1)	0.002
SSS ³	0.88	(0.803-1)	<0.0001
SSD ⁴	0.901	(0.836-1)	<0.0001

1. METs alcanzados: Equivalentes Metabólicos alcanzados; 2. FEVI: Fracción de eyección del ventrículo izquierdo; 3. SSS: Summed Score Stress o Puntuación de Estrés; 4. SSD: Summed Score Diferencial o Puntuación Diferencial

Se identificó una relación negativa débil entre los METs alcanzados y el grado de isquemia ($\rho = -0.267$; $p = 0.048$), indicando que, a mayor severidad de la isquemia, menor capacidad funcional del paciente. Este hallazgo se observa mejor en la Figura 2, donde se observa la distribución de los pacientes según la capacidad funcional alcanzada durante la prueba de esfuerzo (METs) y el grado de isquemia cuantificado mediante el puntaje SSD, evidenciando una tendencia inversa entre ambas variables, de tal forma que una menor capacidad funcional se asoció con valores más elevados de SSD. No obstante, la amplia dispersión de los datos evidencia de esta asociación es de magnitud débil, aunque estadísticamente significativa, lo cual concuerda con el análisis de correlación de Spearman, hallazgo esperado y causado por el carácter multifactorial de la capacidad funcional (variabilidad biológica) y por el tamaño de nuestra muestra.

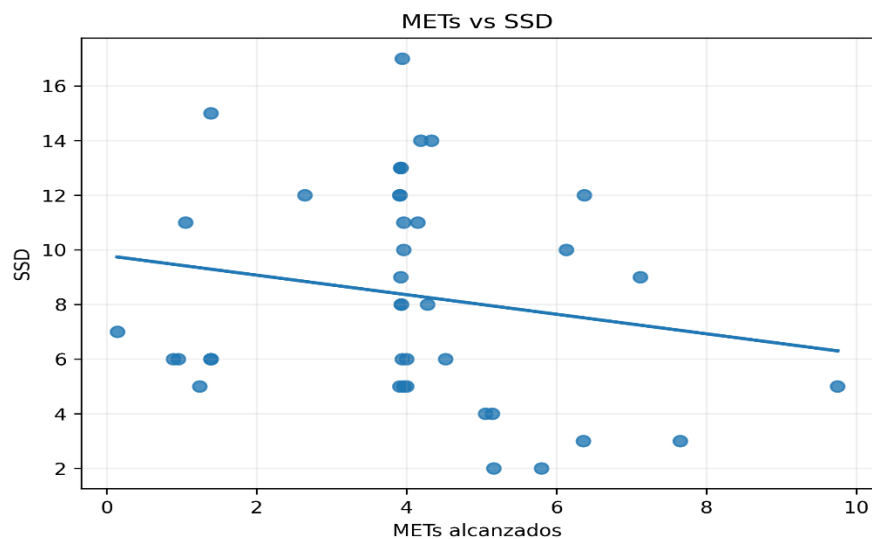


Figura 2. Diagrama de dispersión entre los METs alcanzados durante la prueba de esfuerzo y el puntaje SSD obtenido mediante gammagrafía de perfusión miocárdica

De igual manera, el grado de capacidad funcional se correlacionó inversamente con la severidad de la isquemia, observándose una relación negativa estadísticamente significativa ($\rho = -0.306$; $p = 0.028$).

De manera opuesta, el resultado de la prueba de esfuerzo presentó una asociación directa con el grado de isquemia, reflejada en una relación positiva y

estadísticamente significativa ($p = 0.370$; $p = 0.009$). Asimismo, el Índice de Duke evidenció una relación positiva de intensidad moderada con la severidad de la isquemia ($p = 0.594$; $p < 0.0001$), sugiriendo una adecuada asociación entre este índice pronóstico y la severidad del compromiso isquémico.

Las asociaciones más fuertes se observaron con las variables propias de la gammagrafía de perfusión miocárdica. El score SSS, que evidencia el grado de perfusión, mostró una correlación muy fuerte con la severidad de la isquemia ($p = 0.88$; $p < 0.0001$), al igual que el puntaje de SSD ($p = 0.901$; $p < 0.0001$), lo que demuestra que los parámetros semicuantitativos derivados del SPECT cardiaco presentan una excelente concordancia con la severidad de la isquemia.

Respecto a la función ventricular, la FEVI presentó una correlación negativa moderada ($p = -0.477$; $p = 0.001$), mientras que el volumen diastólico final ($p = 0.281$; $p = 0.039$) y el volumen sistólico final ($p = 0.452$; $p = 0.002$) mostraron correlaciones positivas, indicando que un mayor grado de isquemia se asocia con un incremento de los volúmenes ventriculares y una disminución de la función sistólica.

En términos generales, los hallazgos obtenidos respaldan que una menor capacidad funcional durante la prueba de esfuerzo se asocia con una mayor severidad del compromiso isquémico identificado mediante gammagrafía y con un deterioro concomitante de la función ventricular izquierda.

VII. DISCUSIÓN

La enfermedad arterial coronaria continúa siendo la principal causa de morbilidad cardiovascular a nivel global, por lo que la identificación de variables que permitan mejorar la clasificación del riesgo y optimizar la selección de pacientes candidatos a estudios de imagen constituye un aspecto de gran relevancia clínica. En ese sentido, la capacidad funcional obtenida durante la prueba de esfuerzo ha demostrado ser un marcador pronóstico relevante, mientras que la gammagrafía de perfusión miocárdica continúa siendo uno de los métodos no invasivos con mayor evidencia para la detección de isquemia miocárdica y la valoración del riesgo cardiovascular. El presente estudio tuvo como objetivo determinar la relación entre ambas variables en una población de pacientes con sospecha de isquemia miocárdica, encontrando una asociación estadísticamente significativa entre la disminución de la capacidad funcional y un mayor grado de isquemia en la gammagrafía de perfusión miocárdica.

Entre los hallazgos más relevantes del presente estudio se encontró la existencia de una correlación negativa entre los METs alcanzados durante la prueba de esfuerzo y el grado de isquemia identificado mediante gammagrafía ($\rho = -0.267$; $p = 0.048$), así como entre la clasificación de la capacidad funcional y la severidad de la isquemia ($\rho = -0.306$; $p = 0.028$). Aunque la fuerza de ambas correlaciones fue débil, su significancia estadística sugiere que el deterioro progresivo de la capacidad funcional se relaciona de un incremento en la probabilidad de presentar defectos de perfusión miocárdica clínicamente significativos evidenciados en gammagrafía, respaldando y apoyando así la hipótesis planteada desde el inicio del estudio.

Es importante señalar que la magnitud relativamente baja del coeficiente de correlación no debe interpretarse como una ausencia de asociación clínica. La capacidad funcional representa un parámetro complejo y multifactorial que depende no únicamente de la presencia de isquemia miocárdica, sino también de factores relacionados con la edad, sexo, estado nutricional, grado de entrenamiento físico, enfermedades pulmonares concomitantes, alteraciones

musculoesqueléticas, enfermedad vascular periférica, anemia, limitaciones ortopédicas e incluso factores psicológicos como la motivación durante la realización del ejercicio. En consecuencia, resulta esperable que la relación entre la capacidad funcional y la extensión de la isquemia no sea perfecta, ya que múltiples variables independientes influyen simultáneamente sobre el rendimiento físico del paciente. Esta explicación fisiopatológica ha sido descrita previamente por Arena et al. (2007), quienes resaltan que la capacidad funcional refleja de manera integral el estado cardiovascular y sistémico del individuo, más que un reflejo exclusivo de la circulación coronaria. De manera consistente, Ross et al. (2016) señalaron que la capacidad cardiorrespiratoria es el resultado de la interacción entre los diferentes sistemas como cardiovascular, respiratorio y musculoesquelético, por lo que su disminución no puede atribuirse exclusivamente a la presencia de enfermedad coronaria o isquemia miocárdica.

Desde una perspectiva fisiopatológica, los hallazgos de este estudio son congruentes con el comportamiento esperado de la enfermedad arterial coronaria. Durante el ejercicio ocurre un aumento progresivo de la demanda miocárdica de oxígeno determinado por el incremento de la frecuencia cardíaca, la presión arterial sistólica y la contractilidad ventricular. En presencia de estenosis coronarias hemodinámicamente significativa, la reserva de flujo coronario resulta insuficiente para satisfacer este aumento de la demanda metabólica, produciéndose un desequilibrio entre la oferta y los requerimientos de oxígeno miocárdico. Como consecuencia aparecen alteraciones regionales de la perfusión miocárdica, inicialmente reversibles, que posteriormente pueden manifestarse mediante alteraciones segmentarias de la contractilidad, cambios electrocardiográficos y finalmente síntomas de angina. Este fenómeno explica por qué los pacientes con mayor carga isquémica tienden a suspender el ejercicio de forma más temprana y alcanzan menores niveles de capacidad funcional.

Esta asociación ha sido ampliamente descrita en estudios previos que identifican la capacidad funcional como uno de los predictores pronósticos más importantes en pacientes sometidos a pruebas de esfuerzo. En concordancia con estos

resultados, Myers et al. (2002) señalaron que la capacidad de ejercicio constituye un marcador pronóstico independiente, relacionado con el riesgo de mortalidad cardiovascular y mortalidad por cualquier causa. De manera similar, Mandsager et al. (2018), demostraron que un mejor nivel de condición cardiorrespiratoria ejerce un efecto protector, al relacionarse con una disminución progresiva del riesgo de mortalidad a largo plazo, incluso en poblaciones con factores de riesgo cardiovascular establecidos.

De manera adicional, nuestros hallazgos indican que la duración del ejercicio se comportó como una variable asociada con la severidad de la isquemia, observándose tiempos significativamente mayores en los pacientes con isquemia leve en comparación con los grupos de isquemia moderada y severa ($p = 0.007$). Este comportamiento es consistente con la relación fisiológica entre la tolerancia al ejercicio y la carga isquémica miocárdica, dado que un mayor tiempo de esfuerzo refleja una mejor respuesta cardiovascular al estrés y una mayor capacidad para aumentar el gasto cardíaco durante el ejercicio. De forma paralela, los pacientes con mayor severidad de isquemia alcanzaron valores de METs considerablemente inferiores, hallazgo que concuerda con la evidencia reciente, la cual demuestra que una menor capacidad funcional se asocia con un mayor compromiso de la perfusión miocárdica e incremento el riesgo de eventos cardiovasculares adversos. En este sentido, estudios contemporáneos como Ahmed et al. (2023) han evidenciado que los METs alcanzados durante la prueba de esfuerzo aportan información pronóstica incremental a los hallazgos de la gammagrafía miocárdica, y que una menor capacidad funcional constituye un marcador de mayor carga de enfermedad coronaria y peor pronóstico cardiovascular.

Desde la perspectiva de la medicina nuclear, estos resultados son afines con el estudio de Bourque et al. (2009), quienes demostraron que los pacientes capaces de alcanzar cargas de ejercicio iguales o superiores a 10 METs presentan una probabilidad muy baja de desarrollar isquemia significativa en la gammagrafía de perfusión miocárdica. Aunque en nuestra cohorte ningún paciente alcanzó dichos

niveles de ejercicio y la mayoría presentó una capacidad funcional deficiente o moderada, la tendencia observada fue similar: conforme disminuyeron los METs, aumentó la frecuencia de hallazgos gammagráficos compatibles con isquemia moderada y severa. Esta coincidencia fortalece la validez externa de nuestros resultados y demuestra que, incluso en poblaciones con menor rendimiento físico, la capacidad funcional conserva un importante valor clínico.

De igual manera, Smith et al. (2018), evaluaron posteriormente una población de adultos mayores (382 pacientes ≥ 65 años) y confirmaron que alcanzar cargas superiores a 10 METs se relaciona con una incidencia muy baja de eventos cardiovasculares mayores y con una escasa probabilidad de encontrar defectos significativos de perfusión en la gammagrafía miocárdica. Aunque las características demográficas de su población difieren parcialmente de las del presente estudio, ambos trabajos coinciden en señalar que la capacidad funcional constituye uno de los predictores pronósticos más robustos disponibles durante una prueba de esfuerzo convencional.

Nuestros resultados también son consistentes con las observaciones de González et al. (2015) en Chile, quienes encontraron que los pacientes con adecuada capacidad metabólica presentaban un excelente pronóstico clínico durante el seguimiento y una baja incidencia de eventos cardiovasculares. Si bien nuestro estudio no evaluó desenlaces clínicos a largo plazo, la asociación encontrada entre menor capacidad funcional y mayor severidad de isquemia permite inferir que estos pacientes probablemente pertenezcan a un grupo de mayor riesgo cardiovascular, aspecto ampliamente respaldado por la literatura internacional.

Un aspecto particularmente interesante de nuestros resultados es que más de la mitad de los pacientes (55%) mostraron una capacidad funcional deficiente, mientras que únicamente tres pacientes alcanzaron una capacidad funcional considerada buena y ninguno obtuvo una capacidad funcional excelente. Este hallazgo probablemente refleja las características propias de la población atendida en el Servicio de Medicina Nuclear del Hospital Universitario Dr. José

Eleuterio González de Monterrey, donde suelen concentrarse pacientes con múltiples factores de riesgo cardiovascular y una elevada probabilidad pretest de enfermedad coronaria. Asimismo, puede explicar parcialmente la elevada proporción de pacientes con isquemia moderada y severa observada en nuestra muestra, lo que diferencia esta cohorte de otras investigaciones realizadas en poblaciones con menor carga de comorbilidades.

Debe destacarse que las características clínicas y sociodemográficas analizadas (edad, sexo, índice de masa corporal, hipertensión arterial, diabetes, tabaquismo y dislipidemia) no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los distintos grados de isquemia ($p > 0.05$). Aunque pudiera esperarse una mayor frecuencia de factores de riesgo en pacientes con enfermedad más severa, este comportamiento puede explicarse por el tamaño relativamente pequeño de la muestra y por la elevada prevalencia basal de estos factores en toda la población estudiada. En consecuencia, la ausencia de diferencias significativas no implica necesariamente que dichas variables carezcan de relevancia clínica, sino que probablemente el estudio no tuvo suficiente potencia estadística para detectar asociaciones de menor magnitud.

Además de la relación observada entre la capacidad funcional y la severidad de la isquemia, uno de los hallazgos más relevantes del presente estudio fue la asociación encontrada entre el índice de Duke y los hallazgos gammagráficos. Se observó una correlación positiva moderadamente fuerte ($\rho = 0.594$; $p < 0.0001$), siendo una de las asociaciones clínicas más importantes identificadas durante el análisis estadístico. Este comportamiento era esperable, dado que el índice de Duke constituye una herramienta de estratificación pronóstica que integra simultáneamente la duración del ejercicio, la magnitud de las alteraciones electrocardiográficas inducidas por el esfuerzo y la presencia de angina durante la prueba, proporcionando una valoración global del riesgo cardiovascular superior a la obtenida mediante cualquiera de estos parámetros de manera aislada.

En nuestro estudio, prácticamente todos los pacientes con isquemia moderada y severa (82%) fueron clasificados dentro del grupo de riesgo intermedio o alto según el índice de Duke, mientras que los pacientes con isquemia leve correspondieron predominantemente al grupo de bajo riesgo. Este hallazgo respalda la utilidad clínica del índice de Duke como complemento de la gammagrafía de perfusión miocárdica durante la evaluación inicial de pacientes con sospecha de enfermedad arterial coronaria. En concordancia con nuestros resultados, diversos estudios como Vítola et. al. (2016) y El Kersh et. al. (2022), han demostrado que el índice de Duke conserva un importante valor pronóstico para la estratificación del riesgo al integrar la capacidad funcional, la magnitud de las alteraciones del segmento ST inducidas por el ejercicio y la presencia de angina durante la prueba de esfuerzo. Además, la combinación del índice de Duke con la gammagrafía de perfusión miocárdica mejora la estratificación pronóstica, permitiendo una mejor estratificación inicial del riesgo y facilitando la identificación de pacientes que podrían requerir una evaluación diagnóstica adicional mediante estudios funcionales o anatómicos, de acuerdo con el contexto clínico y las recomendaciones de las guías de práctica clínica.

No obstante, los resultados obtenidos también evidencian que el índice de Duke y la gammagrafía de perfusión miocárdica no deben considerarse herramientas competitivas, sino complementarias. Mientras que el índice de Duke proporciona una estimación del riesgo clínico global al integrar la capacidad funcional, la respuesta electrocardiográfica y la presencia de angina durante el ejercicio, la gammagrafía de perfusión aporta información anatómico-funcional adicional al identificar la localización, extensión y severidad de la isquemia, cuantificar la carga isquémica mediante puntajes semicuantitativos y evaluar simultáneamente la función ventricular izquierda. En conjunto, ambas herramientas permiten una estratificación del riesgo más completa que cualquiera de ellas por separado. Nuestros hallazgos son concordantes con los descritos por Liao et al. (2005), quienes demostraron el valor pronóstico incremental de combinar el índice de Duke con la gammagrafía de perfusión miocárdica. De igual manera, las Guías de la Sociedad Europea de Cardiología (Vrints et al., 2024) para el manejo del

síndrome coronario crónico continúan reconociendo que la prueba de esfuerzo, especialmente cuando incorpora variables como la capacidad funcional y el índice de Duke, mantiene utilidad para la estratificación inicial del riesgo y para orientar la necesidad de estudios diagnósticos adicionales, particularmente cuando sus resultados se interpretan de manera integrada con las técnicas de imagen de perfusión miocárdica.

Otro hallazgo de especial importancia fue la disminución progresiva de la fracción de expulsión del ventrículo izquierdo (FEVI) conforme aumentó la severidad de la isquemia ($p = 0.005$). Los pacientes con isquemia leve presentaron una mediana de FEVI del 74 %, mientras que aquellos con isquemia severa mostraron una reducción hasta aproximadamente el 58 %, lo que demuestra una estrecha relación entre el deterioro de la perfusión miocárdica y el compromiso de la función sistólica ventricular. Este comportamiento es consistente con la fisiopatología de la cardiopatía isquémica, donde la disminución del flujo sanguíneo coronario produce alteraciones reversibles o permanentes en la contractilidad miocárdica, dependiendo de la intensidad de la lesión isquémica.

La correlación negativa encontrada entre la FEVI y la severidad de la isquemia ($p = -0.477$; $p = 0.001$) adquiere una relevancia clínica considerable, ya que la función ventricular izquierda constituye uno de los principales determinantes pronósticos en pacientes con enfermedad coronaria. Diversos estudios han manifestado que la combinación de defectos extensos de perfusión y disminución de la FEVI identifica a los pacientes con mayor riesgo de muerte cardiovascular, infarto agudo de miocardio y necesidad futura de revascularización. En este sentido, la incorporación rutinaria del estudio SPECT Gatillado representa una de las mayores fortalezas de la gammagrafía moderna, permitiendo obtener en un único procedimiento información anatómica funcional y pronóstica que difícilmente puede ser reemplazada por la prueba de esfuerzo convencional.

De forma paralela, el volumen sistólico final mostró una correlación positiva significativa con la severidad de la isquemia ($p = 0.452$; $p = 0.002$), mientras que el volumen diastólico final presentó una asociación más discreta ($p = 0.281$; $p =$

0.039). Este comportamiento también resulta fisiológicamente coherente, ya que la progresión de la enfermedad arterial coronaria favorece alteraciones en el remodelado ventricular secundaria a episodios repetidos de isquemia miocárdica y, en estadios más avanzados, a pérdida irreversible de miocardio viable. La disminución de la contractilidad regional incrementa el volumen residual al final de la sístole, lo que se traduce en un aumento del volumen sistólico final y, con la progresión de la enfermedad, puede conducir a dilatación ventricular progresiva como mecanismo compensador y termina con deterioro de la función sistólica. En el contexto de la gammagrafía de perfusión miocárdica gatillada (SPECT), la cuantificación de los volúmenes ventriculares aporta información pronóstica incremental respecto a la perfusión miocárdica aislada, ya que el incremento del volumen sistólico final y del volumen diastólico final se ha asociado de forma independiente con una mayor incidencia de eventos cardiovasculares, remodelado ventricular adverso y mortalidad. Por ello, la integración de los parámetros funcionales derivados del SPECT Gatillado con la evaluación de la perfusión permite una caracterización más completa de la repercusión funcional de la enfermedad coronaria y optimiza la estratificación del riesgo cardiovascular (Sharir et al., 2001; Diego et al., 2008; Calabretta et al., 2022).

Debe resaltarse que la ausencia de diferencias significativas en el volumen diastólico final probablemente obedezca al reducido tamaño muestral y a la variabilidad fisiológica inherente a esta medición. Asimismo, diversos estudios como San Miguel et al. (2023) y Romero et al., 2023, basados en gammagrafía de perfusión miocárdica con SPECT Gatillado han demostrado que el incremento del volumen diastólico final constituye principalmente un marcador de remodelado ventricular establecido y suele observarse en pacientes con cardiopatía isquémica más extensa o con deterioro significativo de la función ventricular. En contraste, el aumento del volumen sistólico final refleja de manera más directa la reducción de la eficiencia contráctil y la disminución del vaciamiento ventricular, por lo que puede evidenciar alteraciones funcionales antes de que se establezca una dilatación ventricular importante. Estos hallazgos

son concordantes con los resultados obtenidos en el presente estudio, en el que el volumen sistólico final mostró diferencias significativas entre los grupos, mientras que el volumen diastólico final permaneció sin diferencias estadísticamente significativas.

Uno de los hallazgos que aporta mayor solidez a los resultados obtenidos fue la excelente correlación encontrada entre el grado de perfusión informado en la gammagrafía y los puntajes semicuantitativos SSS y SDS ($p = 0.880$ y $p = 0.901$, respectivamente; $p < 0.0001$). Desde el punto de vista técnico, este resultado confirma la consistencia interna del estudio y demuestra que la clasificación visual de la severidad de la isquemia fue concordante con la cuantificación objetiva obtenida mediante los puntajes estandarizados de perfusión. Esta concordancia incrementa la confiabilidad de los resultados y disminuye la posibilidad de errores derivados exclusivamente de la interpretación visual del estudio.

Actualmente, tanto las guías de la American Society of Nuclear Cardiology como de la European Association of Nuclear Medicine recomiendan complementar siempre la interpretación visual con parámetros cuantitativos como el Summed Score Stress (SSS), el Summed Rest Score (SRS) y el Summed Score Difference (SSD), debido a su demostrado valor diagnóstico y pronóstico. Dentro de los parámetros derivados de la gammagrafía de perfusión miocárdica, el SDS destaca como un indicador de isquemia reversible con valor pronóstico, al haberse asociado de forma consistente con la aparición de eventos cardiovasculares mayores y con el beneficio potencial de la revascularización miocárdica. En consecuencia, la elevada correlación observada en el presente estudio entre la clasificación clínica y estos parámetros semicuantitativos respalda la calidad metodológica del análisis realizado.

Un aspecto interesante es que únicamente nueve pacientes presentaron una prueba de esfuerzo positiva desde el punto de vista electrocardiográfico, mientras que la gammagrafía identificó un número considerablemente mayor de pacientes con isquemia moderada o severa. A pesar de no alcanzar el umbral de

significancia estadística ($p = 0.062$), este hallazgo pone de manifiesto una de las principales fortalezas de la imagen molecular en cardiología: la capacidad para detectar alteraciones de la perfusión antes de la aparición de cambios electrocardiográficos evidentes. Desde el punto de vista fisiopatológico, esta observación resulta completamente lógica, ya que la denominada "cascada isquémica" establece que las alteraciones del flujo coronario y de la perfusión miocárdica preceden a las alteraciones de la contractilidad, a los cambios del segmento ST e incluso al desarrollo de síntomas de angina.

Este concepto explica por qué un porcentaje importante de pacientes con enfermedad coronaria significativa puede presentar una prueba de esfuerzo convencional negativa y, sin embargo, demostrar defectos reversibles de perfusión mediante gammagrafía. La evidencia obtenida en este estudio se alinea con múltiples publicaciones internacionales como Knuuti et al., 2019 y Wolk et al., 2013 que continúan considerando a la gammagrafía de perfusión miocárdica como una herramienta con mayor sensibilidad diagnóstica para detectar isquemia inducible que la prueba de esfuerzo electrocardiográfica convencional, especialmente en pacientes con probabilidad pretest intermedia, alteraciones basales del electrocardiograma o limitaciones para alcanzar una carga adecuada de ejercicio. Asimismo, un metaanálisis realizado por Jaarsma et al. (2012) demostró que la gammagrafía de perfusión miocárdica presenta una sensibilidad cercana al 88 % para la detección de enfermedad coronaria obstructiva, superior a la obtenida mediante la prueba de esfuerzo convencional basada únicamente en cambios electrocardiográficos, lo que respalda su utilidad como método no invasivo para la identificación de isquemia miocárdica.

Los resultados obtenidos respaldan la creciente tendencia promovida por las guías actuales de cardiología nuclear, las cuales recomiendan que la interpretación de una gammagrafía de perfusión miocárdica no se limite exclusivamente a describir la presencia o ausencia de defectos de perfusión. Por el contrario, la evaluación integral debe incorporar la capacidad funcional alcanzada, la respuesta clínica durante el esfuerzo, el índice de Duke, la función

ventricular izquierda, los volúmenes ventriculares y los parámetros cuantitativos de perfusión, ya que la integración de todos estos elementos proporciona una estratificación pronóstica mucho más precisa que cualquiera de ellos considerado de manera aislada. Precisamente, uno de los principales aportes del presente estudio consiste en demostrar que la capacidad funcional constituye un componente adicional que debe interpretarse conjuntamente con los hallazgos gammagráficos, fortaleciendo el papel de la Medicina Nuclear dentro del abordaje multidisciplinario de la enfermedad coronaria.

Finalmente, los resultados de este estudio permiten realizar una reflexión importante acerca del papel que desempeña la capacidad funcional dentro del proceso diagnóstico de la enfermedad arterial coronaria. Aunque históricamente la prueba de esfuerzo convencional ha sido utilizada como una herramienta inicial para la evaluación de pacientes con sospecha de isquemia miocárdica, el desarrollo de las técnicas de imagen funcional ha demostrado que la capacidad funcional, por sí sola, resulta insuficiente para establecer la presencia o ausencia de enfermedad coronaria significativa. En este sentido, nuestros hallazgos muestran que existe una asociación estadísticamente significativa entre la capacidad funcional y el grado de isquemia evidenciado mediante gammagrafía de perfusión miocárdica; sin embargo, la magnitud de dicha correlación fue únicamente débil.

Este hallazgo debe interpretarse con prudencia, considerando que el coeficiente de correlación de Spearman de -0.267 indica que la disminución de los METs explica solamente una parte del comportamiento observado en la perfusión miocárdica. Lejos de representar una debilidad metodológica, este resultado refleja adecuadamente la complejidad fisiopatológica de la enfermedad coronaria. La tolerancia al ejercicio está determinada por múltiples sistemas fisiológicos que incluyen la función cardiovascular, respiratoria, muscular, metabólica y neurológica, además de factores relacionados con la edad, el sexo, el índice de masa corporal, el grado de entrenamiento físico, la presencia de enfermedades pulmonares, limitaciones osteomusculares y el estado funcional

basal del paciente. En consecuencia, resulta esperable que pacientes con una carga isquémica similar puedan alcanzar capacidades funcionales diferentes dependiendo de estas variables.

Desde la perspectiva de la Medicina Nuclear, este comportamiento confirma que la capacidad funcional debe interpretarse como un marcador complementario y no como un sustituto de la gammagrafía de perfusión miocárdica. Mientras que los METs proporcionan información acerca de la respuesta global del organismo al ejercicio, la gammagrafía identifica directamente las alteraciones regionales de la perfusión, cuantifica la extensión de la isquemia y permite valorar simultáneamente la función ventricular izquierda. La integración de ambos parámetros incrementa significativamente la capacidad de estratificación pronóstica y favorece una toma de decisiones clínicas más precisa.

Otro aspecto relevante observado en esta investigación fue la ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre los distintos grados de isquemia respecto a variables clásicas como edad, sexo, hipertensión arterial, diabetes mellitus, tabaquismo, dislipidemia e índice de masa corporal. Aunque estos factores constituyen determinantes ampliamente reconocidos para el desarrollo de enfermedad aterosclerótica, su comportamiento dentro de nuestra cohorte probablemente se vio influenciado por la elevada prevalencia basal de estos factores de riesgo en todos los pacientes incluidos, así como por el tamaño relativamente pequeño de la muestra. Es probable que una población más numerosa permitiera demostrar asociaciones que no alcanzaron significancia estadística en el presente estudio.

Debe considerarse igualmente que la población analizada corresponde a pacientes remitidos con sospecha clínica de cardiopatía isquémica. Este hecho incrementa la probabilidad pretest de enfermedad coronaria y condiciona un importante sesgo de selección respecto a estudios realizados en pacientes con menor carga de factores de riesgo cardiovascular. En consecuencia, la extrapolación de estos resultados a otras poblaciones deberá realizarse con cautela.

No obstante, esta característica también constituye una fortaleza del estudio, ya que representa con mayor fidelidad el escenario clínico al que habitualmente se enfrenta el especialista en Medicina Nuclear. En la práctica diaria, la mayoría de los pacientes remitidos para gammagrafía de perfusión miocárdica presentan múltiples factores de riesgo cardiovascular, capacidad funcional limitada y una probabilidad intermedia o alta de enfermedad coronaria obstructiva. Por ello, los resultados obtenidos poseen una elevada aplicabilidad clínica para centros hospitalarios con características similares.

Otra fortaleza importante consiste en la utilización de parámetros funcionales obtenidos mediante SPECT Gatillado, incluyendo la fracción de expulsión ventricular izquierda y los volúmenes ventriculares, además de los puntajes semicuantitativos SSS y SDS. La incorporación simultánea de variables clínicas, funcionales y cuantitativas permitió realizar una evaluación integral del paciente, incrementando la robustez metodológica del estudio. La elevada correlación observada entre el grado visual de isquemia y los puntajes semicuantitativos confirma la adecuada consistencia interna del análisis y disminuye la posibilidad de sesgos relacionados con la interpretación subjetiva de las imágenes.

Desde una perspectiva clínica, los hallazgos del presente estudio respaldan el papel actual de la gammagrafía de perfusión miocárdica como una herramienta fundamental dentro del algoritmo diagnóstico de la enfermedad arterial coronaria. Sin embargo, la capacidad funcional continúa siendo un marcador pronóstico ampliamente reconocido, nuestros resultados demuestran que la información aportada por la imagen molecular proporciona una caracterización mucho más completa del paciente al identificar la localización, extensión y severidad de la isquemia, además de evaluar simultáneamente la función ventricular. Por tanto, ambas herramientas deben considerarse complementarias y no excluyentes, favoreciendo una valoración integral que permita mejorar la estratificación del riesgo y orientar de forma más precisa las decisiones terapéuticas.

VIII. CONCLUSIÓN

El presente estudio demostró que existe una correlación negativa entre la capacidad funcional alcanzada durante la prueba de esfuerzo, medida mediante los METs, y la severidad de la isquemia identificada por gammagrafía de perfusión miocárdica en pacientes con sospecha de enfermedad arterial coronaria, evidenciando que una menor capacidad funcional se asocia con una mayor carga isquémica. Asimismo, se observó que los pacientes con mayor grado de isquemia presentaron una menor duración del ejercicio, disminución de la fracción de expulsión del ventrículo izquierdo, incremento del volumen sistólico final y una estratificación de riesgo más desfavorable según el índice de Duke, hallazgos que respaldan la relación fisiopatológica entre el deterioro de la capacidad funcional y la progresión de la enfermedad coronaria. No obstante, la fuerza de la correlación encontrada indica que la capacidad funcional, aunque constituye un importante marcador clínico y pronóstico, no debe considerarse de forma aislada para predecir la presencia o severidad de la isquemia miocárdica, debido a que está influenciada por múltiples factores cardiovasculares y extracardíacos. En este contexto, la gammagrafía de perfusión miocárdica continúa desempeñando un papel fundamental dentro de la evaluación integral del paciente, al proporcionar información objetiva sobre la localización, extensión y severidad de la isquemia, además de permitir la valoración simultánea de la función ventricular izquierda. En conjunto, los resultados de esta investigación apoyan la integración de la capacidad funcional obtenida durante la prueba de esfuerzo con los hallazgos de la gammagrafía de perfusión miocárdica como una estrategia que mejora la estratificación del riesgo, fortalece la toma de decisiones diagnósticas y terapéuticas en pacientes con sospecha de cardiopatía isquémica, reforzando así el papel del especialista en Medicina Nuclear dentro del abordaje multidisciplinario de estos pacientes.

IX. REFERENCIAS

1. Ahmed, A. I., Al Rifai, M., Alahdab, F., Alfawara, M. S., Han, Y., Nayfeh, M., Mahmarian, J. J., Nabi, F., Soliman, A., Patel, K., Zoghbi, W. A., & Al-Mallah, M. H. (2023). Prognostic interplay between exercise capacity and PET-derived myocardial flow reserve: FIT-PET Study. *Journal of the American College of Cardiology: Cardiovascular Imaging*, 17(4), 495-505. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2023.11.002>
2. Albarrán Bravo, Tzitziki. (2014). Correlación entre capacidad de ejercicio por prueba de esfuerzo y función diastólica evaluada por tomografía por emisión de fotón único sincronizada [Tesis de especialidad, Instituto Nacional de Cardiología "Ignacio Chávez", Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/426758>
3. Arena, R., Myers, J., Williams, M. A., Gulati, M., Kligfield, P., Balady, G. J., Collins, E., & Fletcher, G. (2007). Assessment of Functional Capacity in Clinical and Research Settings. *Circulation*, 116(3), 329-343. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.106.184461>
4. Arós Fernando, Boraita Araceli, Alegría Eduardo, Alonso Ángel M, Bardají Alfredo, Lamiel Ramiro, Luengo Emilio, Rabadán Manuel, Alijarde Manuel, Aznar Joaquín, Baño Antonio, Cabañero Mercedes, Calderón Carmen, Camprubí Mercedes, Candell Jaime, Crespo Marisa, de la Morena Gonzalo, Fernández Almudena, Ferrero José A, Gayán Ricardo, García Bolao Ignacio, Hernández Magdalena, Maceira Alicia, Marín Emilio, Muela de Lara Antonio, Placer Luis, San Román José A, Serratosa Luis, Sosa Valeriano, Subirana María Teresa, Wilke Manuel. Guías de práctica clínica de la Sociedad Española de Cardiología en pruebas de esfuerzo (2000), *Revista Española de Cardiología*, Vol. 53. Núm. 8. Páginas 1063-1094. <https://www.revespcardiolog.org><https://www.revespcardiolog.org/es-guias-de-practica-clinica-de-la-sociedad-articulo-X0300893200108041>
5. Baltazar González, Ó. G. (2014). Evaluación de la función diastólica mediante tomografía computada con emisión de fotón único sincronizada (GATED SPECT): respuesta al ejercicio en sujetos normales y con

cardiopatía isquémica [Tesis de especialidad, Instituto Nacional de Cardiología "Ignacio Chávez", Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/274778>.

6. Berman DS, Hachamovitch R, Shaw LJ, Friedman JD, Hayes SW, Thomson LE, Fieno DS, Germano G, Slomka P, Wong ND, Kang X, Rozanski A. (2006). Roles of nuclear cardiology, cardiac computed tomography, and cardiac magnetic resonance: assessment of patients with suspected coronary artery disease. *Journal Of Nuclear Medicine*. Jan;47(1):74-82. <https://jnm.snmjournals.org/content/47/1/74.long>
7. Bourque, J. M., Holland, B. H., Watson, D. D., Beller, G. A. (2009). Achieving an Exercise Workload of ?10 Metabolic Equivalents Predicts a Very Low Risk of Inducible Ischemia: Does Myocardial Perfusion Imaging Have a Role? *Journal Of The American College Of Cardiology*, 54(6), 538-545. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2009.04.042>
8. Calabretta, R., Castello, A., Giglioli, C., Cecchi, E., Cerisano, G., Hacker, M., Sciagrà, R. (2022). Prognostic value of divergent pattern detection by 99mTc-sestamibi gated SPECT in patients with anterior acute myocardial infarction. *Journal Of Nuclear Cardiology*, 29(6), 3115-3122. <https://doi.org/10.1007/s12350-021-02874-6>
9. Chan, A. K., Ilias Khan, N. A., Xian, H., Inman, C., Martin III, W. H. (2011). Arm exercise stress perfusion imaging predicts clinical outcome. *Journal of Applied Physiology*, 111(6), 1546-1553. Doi: 10.1152/japplphysiol.00725.2011.
10. Czaja, M., Wygoda, Z., Duszanska, A., Szczerba, D., Glowacki, J., Gasior, M., & Wasilewski, J. P. (2017). Interpreting myocardial perfusion scintigraphy using single-photon emission computed tomography. Part 1. *Polish Journal Of Cardio-Thoracic Surgery*, 3, 192-199. <https://doi.org/10.5114/kitp.2017.70534>
11. Da Silva, A. K. F., Da Costa de R Barbosa, M. P., Bernardo, A. F. B., Vanderlei, F. M., Pacagnelli, F. L., Vanderlei, L. C. M. (2014). Cardiac risk stratification in cardiac rehabilitation programs: a review of protocols.

Brazilian Journal Of Cardiovascular Surgery. <https://doi.org/10.5935/1678-9741.20140067>

12. De Jong, M. C., Genders, T. S. S., van Geuns, R.-J., Moelker, A., Hunink, M. G. M. (2012). Diagnostic performance of stress myocardial perfusion imaging for coronary artery disease: a systematic review and meta-analysis. *European Radiology*, 22(9), 1881-1895. <https://doi.org/10.1007/s00330-012-2434-1>
13. Diego Domínguez, M., Muxí Pradas, M. A. (2008). Pronóstico de la enfermedad coronaria crónica mediante gated-SPECT de perfusión miocárdica. *Revista Española de Cardiología Suplementos*, 8(2), 25B-34B. [https://doi.org/10.1016/s1131-3587\(08\)73544-1](https://doi.org/10.1016/s1131-3587(08)73544-1)
14. El Kersh, A. M., El Deeb, H. M. A., & Yousof, A. M. M. (2022). Prognostic value of Duke treadmill score in prediction of myocardial perfusion imaging result. *European Heart Journal Supplements*, 24 (Supplement. G), suac049.010. <https://doi.org/10.1093/eurheartjsupp/suac049.010>
15. Fihn, S. D., Gardin, J. M., Abrams, J., Berra, K., Blankenship, J. C., Dallas, A. P., Douglas, P. S., Foody, J. M., Gerber, T. C., Hinderliter, A. L., King, S. B., Kligfield, P. D., Krumholz, H. M., Kwong, R. Y., Lim, M. J., Linderbaum, J. A., Mack, M. J., Munger, M. A., Prager, R. L., Williams, S. V. (2012). 2012 ACCF/AHA/ACP/AATS/PCNA/SCAI/STS Guideline for the Diagnosis and Management of Patients with Stable Ischemic Heart Disease. *Journal Of the American College of Cardiology*, 60(24), e44-e164. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2012.07.013>
16. González, J., Prat, H., Swett, E., Berrocal, I., Fernández, R., Zhindon, J. P., Castro, A., Massardo, T. (2015). Seguimiento clínico en pacientes con buena capacidad metabólica en la prueba de esfuerzo con SPECT miocárdico. *Revista Médica de Chile*, 143(11), 1426-1434. <https://doi.org/10.4067/s0034-98872015001100008>
17. Harb, S. C., Bhat, P., Cremer, P. C., Wu, Y., Cremer, L. J., Berger, S., Cho, L., Menon, V., Gulati, M., & Jaber, W. A. (2020). Prognostic Value of Functional Capacity in Different Exercise Protocols. *Journal Of The*

American Heart Association, 9(13).
<https://doi.org/10.1161/jaha.119.015986>

18. Hernández-Pacheco, G., Cano, V., Armendáriz-González, G., Valencia-Cañedo, C. A., Martínez-Rosas, M., Hernández-Pacheco, G., Cano, V., Armendáriz-González, G., Valencia-Cañedo, C. A., & Martínez-Rosas, M. (2024). La prueba de esfuerzo, diferencias en la respuesta fisiológica entre sedentarios y deportistas recreativos. *Horizonte sanitario* vol.23 no.3. <https://doi.org/10.19136/hs.a23n3.5882>
19. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI. (2025). Sala de prensa. <https://www.inegi.org.mx/app/saladeprensa/noticia/9585>
20. Jaarsma, C., Leiner, T., Bekkers, S. C. A. M., Crijns, H. J. G. M., Wildberger, J. E., Nagel, E., Nelemans, P. J., Schalla, S. (2012). Diagnostic performance of noninvasive myocardial perfusion imaging using single-photon emission computed tomography, cardiac magnetic resonance, and positron emission tomography imaging for the detection of obstructive coronary artery disease: A meta-analysis. *Journal of the American College of Cardiology*, 59(19), 1719-1728. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2011.12.040>
21. Jaeger, C., Burkard, T., Kamber, F., Seeberger, E., Bolliger, D., Pfister, O., Buse, G. L., & Mauermann, E. (2021). Quantification of metabolic equivalents (METs) by the MET-REPAIR questionnaire: A validation study in patients with a high cardiovascular burden. *Journal Of Clinical Anesthesia*, 76, 110559. <https://doi.org/10.1016/j.jclinane.2021.110559>
22. Knuuti, J., Wijns, W., Saraste, A., Capodanno, D., Barbato, E., Funck-Brentano, C., Prescott, E., Storey, R. F., Deaton, C., Cuisset, T., Agewall, S., Dickstein, K., Edvardsen, T., Escaned, J., Gersh, B. J., Svitil, P., Gilard, M., Hasdai, D., Hatala, R., Bax, J. J. (2019). ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes. *European Heart Journal*, 41(3) January 2020, 407-477. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz425>

23. Kwon, D. H., Menon, V., Houghtaling, P., Lieber, E., Brunken, R. C., Cerqueira, M. D., Jaber, W. A. (2014). Predictive value of exercise myocardial perfusion imaging in the Medicare population: the impact of the ability to exercise. *Cardiovascular Diagnosis and Therapy*, 4(1), 5-12. doi: 10.3978/j.issn.2223-3652.2014.02.09
24. Lee, D. S., Verocai, F., Husain, M., Khdair, D. A., Wang, X., Freeman, M., Iwanochko, R. M. (2011). Cardiovascular outcomes are predicted by exercise-stress myocardial perfusion imaging: Impact on death, myocardial infarction, and coronary revascularization procedures. *American Heart Journal*, 161(5), 900-907. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2011.01.019>
25. Li, D. L., & Kronenberg, M. W. (2021). Myocardial Perfusion and Viability Imaging in Coronary Artery Disease: Clinical Value in Diagnosis, Prognosis, and Therapeutic Guidance. *The American Journal Of Medicine*, 134(8), 968-975. <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2021.03.011>
26. Liao, L., Borges-Neto, S., Shaw, L. K., et al. (2005). Prediction of death and nonfatal myocardial infarction in high-risk patients: A comparison between the Duke treadmill score, peak exercise radionuclide angiography, and SPECT perfusion imaging. *Journal of Nuclear Medicine* Jan 2005, 46 (1) 5-11. <https://jnm.snmjournals.org/content/46/1/5>
27. Maddahi, J., Packard, R. R. S. (2014). Cardiac SPECT and PET imaging. In *Braunwald's Heart Disease: A Textbook of Cardiovascular Medicine* (10th ed., pp. 217-233). Elsevier.
28. Mandsager, K., Harb, S., Cremer, P., Phelan, D., Nissen, S. E., Jaber, W. (2018). Association of Cardiorespiratory Fitness With Long-term Mortality Among Adults Undergoing Exercise Treadmill Testing. *JAMA Network Open*, 1(6), e183605. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2018.3605>
29. Moreno, P. R., Del Portillo, J. H. (2016). Isquemia miocárdica: conceptos básicos, diagnóstico e implicaciones clínicas. Segunda parte. *Revista Colombiana de Cardiología*, 23(6), 500-507. <https://doi.org/10.1016/j.rccar.2016.01.024>

30. Myers, J., Prakash, M., Froelicher, V., Do, D., Partington, S., Atwood, J. E. (2002). Exercise capacity and mortality among men referred for exercise testing. *New England Journal of Medicine*, 346(11), 793-801. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa011858>
31. Ochoa Estrada, Z. H. (2013). Relación entre prueba de esfuerzo y perfusión miocárdica con radionúclidos SPECT [Tesis de especialidad, Instituto Nacional de Cardiología "Ignacio Chávez", Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/275644>
32. Organización Mundial de la Salud. (2021). Enfermedades cardiovasculares. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds))
33. Padrón García, K. M., Glez, A. T. P., Rodríguez, L. o. C., Reyes, N., Rodríguez-Nande, L., López, L. F., & Chacón, D. (2016). Gammagrafía de perfusión miocárdica versus otras técnicas en el diagnóstico de enfermedad arterial coronaria. *Revista cubana cardiología y cirugía cardiovascular*, vol. 22, núm. 1, 25-33. <https://revcardiologia.sld.cu/index.php/revcardiologia/article/view/627>
34. Peclat, T. R., De Souza, A. C. D. A., Souza, V. F., Nakamoto, A. M., Neves, F. M., Silva, I. C., Lima, R. S. (2019). The additional prognostic value of myocardial perfusion SPECT in patients with known coronary artery disease with high exercise capacity. *Journal Of Nuclear Cardiology*, 28(5), 2056-2066. <https://doi.org/10.1007/s12350-019-01960-0>
35. Pellikka, P. A., Arruda-Olson, A., Chaudhry, F. A., Chen, M. H., Marshall, J. E., Porter, T. R., Sawada, S. G. (2019). Guidelines for Performance, Interpretation, and Application of Stress Echocardiography in Ischemic Heart Disease: From the American Society of Echocardiography. *Journal Of the American Society Of Echocardiography*, 33(1), 1-41. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2019.07.001>
36. Romero Farina G, Aguadé Bruix S, Garcia E, Castell-Conesa J. (2023). Integration of ventricular remodeling, synchrony and filling rate parameters to improve the assessment of left ventricular systolic function. *Revista*

Española de Medicina Nuclear e Imagen Molecular (English Edition). 42(6), 393-402. <https://doi.org/10.1016/j.remnie.2023.09.003>

37. Ross, R., Blair, S. N., Arena, R., Church, T. S., Després, J.-P., Franklin, B. A., Haskell, W. L., Kaminsky, L. A., Levine, B. D., Lavie, C. J., Myers, J., Niebauer, J., Sallis, R., Sawada, S. S., Sui, X., Wisløff, U. (2016). Importance of assessing cardiorespiratory fitness in clinical practice: A case for fitness as a clinical vital sign. *Circulation*, 134(24), e653-e699. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000461>
38. Rozanski, A., Berman, D. S., Iskandrian, A. E. (2020). The imperative to assess physical function among all patients undergoing stress myocardial perfusion imaging. *Journal Of Nuclear Cardiology*, 29(3), 946-951. <https://doi.org/10.1007/s12350-020-02378-9>
39. Sabharwal, N. K. (2003). Role of myocardial perfusion imaging for risk stratification in suspected or known coronary artery disease. *Heart*, 89(11), 1291-1297. <https://doi.org/10.1136/heart.89.11.1291>
40. Sánchez Valcárcel, S. M., Llanes, K. R., Cortina, I. R., García, G. M., Garmendia, C. R. (2021). La gammagrafía de perfusión miocárdica en la cardiopatía isquémica. *Revista Finlay*, 11(3), 287-297. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2221-24342021000300287&lng=es&tlng=es.
41. San Miguel, L., Goldschmidt, E., Brisbin, A. K., Redruello, M., Masoli, O. H. (2023). A new perspective on an old method: Gated SPECT imaging for left ventricular contractile function assessment. *Journal of Nuclear Cardiology*, 30(6), 2658-2665. <https://doi.org/10.1007/s12350-023-03340-1>
42. Shams, P., Alzahrani, T. (2024). Myocardial perfusion scan. *StatPearls - NCBI Bookshelf*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK539772/>
43. Sharir T., Germano G., Kang X., Lewin H. C., Miranda R-, Cohen I., Agafitei R. D., Friedman J. D., Berman D. S. (2001). Prediction of myocardial infarction versus cardiac death by gated myocardial perfusion SPECT: risk stratification by the amount of stress-induced ischemia and the poststress

- ejection fraction. *Journal of Nuclear Medicine* Jun 2001, 42 (6) 831-837.
<https://jnm.snmjournals.org/content/42/6/831>
44. Smith, L., Myc, L., Watson, D., Beller, G. A., Bourque, J. M. (2018). A high exercise workload of ≥ 10 METS predicts a low risk of significant ischemia and cardiac events in older adults. *Journal Of Nuclear Cardiology*, 27(5), 1486-1496. <https://doi.org/10.1007/s12350-018-1376-7>
 45. Taqueti, V. R., Dorbala, S., Wolinsky, D., Abbott, B., Heller, G. V., Bateman, T. M., Mieres, J. H., Phillips, L. M., Wenger, N. K., Shaw, L. J. (2017). Myocardial perfusion imaging in women for the evaluation of stable ischemic heart disease: state of the evidence and clinical recommendations. *Journal Of Nuclear Cardiology*, 24(4), 1402-1426. <https://doi.org/10.1007/s12350-017-0926-8>
 46. Vargas, J. L., Ilaraza-Lomelí, H., Saldivia, M. G., Ayala, L. B. (2015). Utilidad pronóstica de la prueba de esfuerzo en la estratificación de riesgo de pacientes con insuficiencia cardiaca. *Archivos de Cardiología de México*, 85(3), 201-206. <https://doi.org/10.1016/j.acmx.2015.05.003>
 47. Vítola J., Wanderley M., Cerci R., Pereira C., Kormann O., França O., Da Silva J., Shin-Ike I., Stier A. (2016). Outcome of patients with high-risk Duke treadmill score and normal myocardial perfusion imaging on SPECT. *Journal of Nuclear Cardiology*, 23(6), 1291-1300. <https://doi.org/10.1007/s12350-015-0156-x>
 48. Vrints, C. J. M., Andreotti, F., Knuuti, J., et al. (2024). 2024 ESC Guidelines for the management of chronic coronary syndromes. *European Heart Journal*, 45(36), 3415-3537. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehae177>
 49. Wolk, M. J., Bailey, S. R., Doherty, J. U., Douglas, P. S., Hendel, R. C., Kramer, C. M., Min, J. K., Patel, M. R., Rosenbaum, L., Shaw, L. J., Stainback, R. F., & Allen, J. M. (2013). ACCF/AHA/ASE/ASNC/HFSA/HRS/SCAI/SCCT/SCMR/STS 2013 multimodality appropriate use criteria for the detection and risk assessment of stable ischemic heart disease. *Journal of the American College of*

Cardiology 2014; 63(4): 380-406.
<https://doi.org/10.1016/j.jacc.2013.11.009>