

# Persönliche PDF-Datei für J. vom Dahl, W. Schäfer

Mit den besten Grüßen vom Georg Thieme Verlag

[www.thieme.de](http://www.thieme.de)

## Myokardszintigrafie: aktueller Stand

**DOI** 10.1055/s-0042-116226  
Aktuel Kardiol 2016; 5: 410–416

Dieser elektronische Sonderdruck ist nur für die Nutzung zu nicht-kommerziellen, persönlichen Zwecken bestimmt (z. B. im Rahmen des fachlichen Austauschs mit einzelnen Kollegen und zur Verwendung auf der privaten Homepage des Autors). Diese PDF-Datei ist nicht für die Einstellung in Repositorien vorgesehen, dies gilt auch für soziale und wissenschaftliche Netzwerke und Plattformen.

**Verlag und Copyright:**  
© 2016 by  
Georg Thieme Verlag KG  
Rüdigerstraße 14  
70469 Stuttgart  
ISSN 2193-5203

Nachdruck nur  
mit Genehmigung  
des Verlags

 **Thieme**

# Myokardszintigrafie: aktueller Stand

## Myocardial Scintigraphy: Current Status

### Autoren

J. vom Dahl<sup>1</sup>, W. Schäfer<sup>2</sup>

### Institute

<sup>1</sup> Klinik für Kardiologie, Kliniken Maria Hilf GmbH Mönchengladbach

<sup>2</sup> Klinik für Nuklearmedizin, Kliniken Maria Hilf GmbH Mönchengladbach

### Schlüsselwörter

- Myokardperfusion
- Nuklearmedizin
- Prognose
- SPECT
- Ischämie
- koronare Herzkrankheit

### Key words

- myocardial perfusion
- nuclear imaging
- prognosis
- SPECT
- ischemia
- coronary artery disease

### Was ist wichtig?

- **SPECT:** Die Myokardszintigrafie in SPECT-Technik, bei der aktuell aus Strahlenschutzgründen nur noch Tc-99m-markierte Perfusionstracer zum Einsatz kommen sollen, erlaubt die Detektion von belastungsinduzierbaren und persistierenden Myokardischämien. Hierbei kann einfach und sicher die Quantifizierung der relativen Ischämiebelastung (entweder gemessen in Scorepunkten oder in % des LV-Myokards) erfolgen, ebenso können linksventrikuläre Ejektionsfraktion (LVEF) und Ventrikelvolumina ohne großen Zusatzaufwand bestimmt werden.
- **Vortestwahrscheinlichkeit beachten:** Bei mittlerer Vortestwahrscheinlichkeit (15–85%) kann mit der Myokardszintigrafie mit hoher Sensitivität und Spezifität eine hämodynamisch und prognostisch relevante koronare Herzkrankheit (KHK) nachgewiesen oder ausgeschlossen werden. Bei sehr niedriger oder hoher Vortestwahrscheinlichkeit reduziert sich die diagnostische Genauigkeit entsprechend dem Bayes'schen Theorem.
- **Pharmakologische Belastung:** Da bei vielen Patienten, die zur Myokardszintigrafie überwiesen werden, eine sinnvolle ergometrische Belastung nicht möglich ist, gewinnt die pharmakologische Belastung mit Adenosin oder Regadenoson (einem selektiven A<sub>2</sub>a-Agonisten) immer mehr an Bedeutung. Daher muss sie in entsprechenden Institutionen möglich sein.
- **Prognostische Implikation:** Das Risiko für kardiovaskuläre Komplikationen steigt mit der Schwere und Ausdehnung einer belastungsinduzierten Ischämie. Ab einer Ischämie > 10% des linksventrikulären Myokards ist auch ein prognostischer Benefit durch Revaskularisationsmaßnahmen zu erwarten.

### Einleitung

In den letzten 2 Jahrzehnten hat sich zunehmend gezeigt, dass neben den morphologischen Veränderungen (z. B. Verkalkungs- und Stenosegrad) bei der KHK den funktionellen Aspekten (Ischämieausdehnung und -schwere) eine, insbesondere für die Prognoseabschätzung, erhebliche Bedeutung zukommt. Die myokardiale Perfusions-

untersuchung (MPS) mittels nuklearmedizinischer Verfahren stellt hierbei die am längsten etablierte nicht invasive Untersuchungsmethode im Rahmen der KHK-Diagnostik dar. War in den 70er- und 80er-Jahren die planare Szintigrafie mit Thallium-201 die überwiegend eingesetzte Untersuchungsmethode, so hat sich seit den 90er-Jahren die Myokard-Einzelphotonen-Emissionscomputertomografie (Myokard-SPECT) in

### Bibliografie

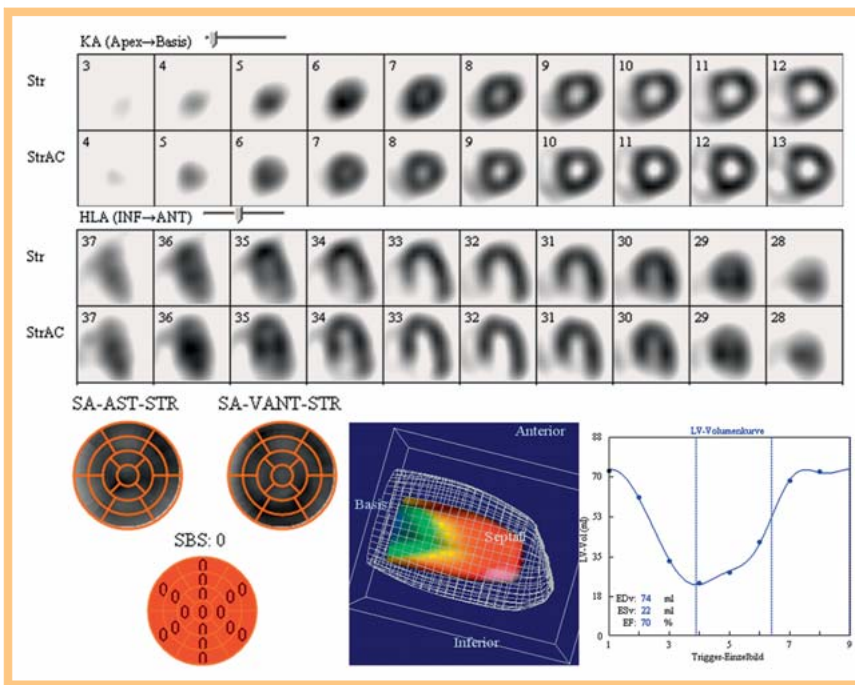
DOI <http://dx.doi.org/10.1055/s-0042-116226>  
 Aktuell Kardiologie 2016; 5: 410–416  
 © Georg Thieme Verlag KG  
 Stuttgart · New York ·  
 ISSN 2193-5203

### Korrespondenzadresse

**Prof. Jürgen vom Dahl**  
 Klinik für Kardiologie  
 Kliniken Maria Hilf GmbH  
 Mönchengladbach  
 Viersener Straße 450  
 41061 Mönchengladbach  
 Tel.: 021 61/892 47 00  
 Fax: 021 61/892 47 02  
 vomDahlJ@mariahilf.de

### Glossar

COPD	chronisch-obstruktive Lungenerkrankung	PET	Positronen-Emissions-Tomografie
FFR	fraktionale Flussreserve	SBS	summierter Belastungsscore
KHK	koronare Herzkrankheit	SDS	Summed Difference Score
LVEF	linksventrikuläre Ejektionsfraktion	SPECT	Single Photon Emission computed Tomography
MPS	myokardiale Perfusionsuntersuchung	SRS	summierter Ruhescore
NVL	Nationale Versorgungsleitlinie		



**Abb. 1** 51-jährige Patientin mit V. a. KHK. Stress-only-Untersuchung ohne (Str) und mit (StrAC) Schwächungskorrektur. Es zeigt sich ein unauffälliger Befund in den kurzen Achsen (KA) und den horizontalen Langachsen (HLA). Der summierte Belastungsscore (SBS) beträgt 0, die LVEF 70%. Strahlendosis 1,975 mSv.

Verbindung mit Technetium-Tracern in der Klinik durchgesetzt. Die nachfolgende Übersicht stellt den aktuellen technischen Stand der Methode, die diagnostische Wertigkeit bei verschiedenen Szenarien der KHK und vor allem die gut etablierte prognostische Bedeutung und Aussagekraft der MPS dar.

Die zusätzlichen Möglichkeiten, mittels nuklearmedizinischer Verfahren, hier insbesondere der Positronen-Emissions-Tomografie (PET), und Tracern auch andere Fragestellungen klinisch (z. B. quantitative Perfusionsmessungen, Vitalitätsdiagnostik, Darstellung der kardialen Innervation) oder experimentell (z. B. Plaque-Imaging, Apoptose) zu untersuchen, können aus Platzgründen nicht im Detail diskutiert werden.

## Technische Aspekte

### Untersuchungsablauf

Um mit nuklearmedizinischen Methoden eine KHK zu detektieren oder ihre hämodynamische Relevanz zu beurteilen, ist in der Regel eine Darstellung der Myokardperfusion unter Belastungs- und Ruhebedingungen erforderlich (Stress-Rest-Protokoll). Für die Belastungsuntersuchung ist die Myokardperfusion maximal zu steigern, dies kann ergometrisch oder medikamentös erfolgen. Die Perfusionsdarstellung mittels Radiotracer basiert auf der – über einen möglichst großen Flussbereich – weitgehend flussproportionalen Aufnahme im Myokard. Die Datenaufnahme erfolgt in 3-D-Technik als SPECT an einer Gammakamera. Die Datenaufnahme sowohl der Belastungs- als auch der Ruhestudie sollte dabei EKG-getriggert erfolgen, um neben der Perfusion auch funktionelle und volumetrische Aspekte darstellen zu können.

Die Perfusionsdaten werden nach der Akquisition achsengerecht dargestellt, visuell und in aller Regel auch quantitativ analysiert. Die Befundung erfolgt dann synoptisch unter Zugrundelegung der visuellen und der quantitativen Auswertung der Perfusionsverhältnisse, aber auch unter Berücksichtigung der funktionellen und volumetrischen Parameter.

## Protokolle

### 1-Tages-Protokoll/2-Tages-Protokoll

Beim 1-Tages-Protokoll erfolgen sowohl die Belastungs- als auch die Ruheuntersuchung am gleichen Tag, hier ist allerdings eine mehrfach höhere Aktivitätsmenge bei der 2. Applikation erforderlich, um die residuelle Aktivität der 1. Untersuchung zu „überspritzen“.

Der Untersuchungsablauf beginnt in der Regel mit der Belastungsuntersuchung. Bei initialer Ruheuntersuchung ergibt sich das Problem, dass entweder die Ruheuntersuchung ohne herzwirksame Medikation durchgeführt werden muss oder aber, dass die Belastungsuntersuchung unter vollständiger Medikation erfolgen muss, was kritisch diskutiert wird.

Beim 2-Tages-Protokoll erfolgen beide Untersuchungsteile an getrennten Tagen, es kann bei beiden Untersuchungen die gleich niedrige Aktivität eingesetzt werden, was aus Strahlenschutzaspekten zu bevorzugen ist.

### Stress-only-Protokoll

Bei einer vollständig unauffälligen Belastungsuntersuchung inkl. der funktionellen Parameter kann auf eine Ruheuntersuchung verzichtet werden (Stress-only-Protokoll), da diese in aller Regel keinen weiteren diagnostischen Zugewinn erbringt [1] (► **Abb. 1**).

## Radiopharmaka

### Technetium-(Tc)-99m-markierte Perfusionsmarker (MIBI und Tetrofosmin)

Tc-99m ist nahezu ubiquitär verfügbar, hat eine physikalische Halbwertszeit von 6 Stunden und eine Photonenenergie von 140 keV. Nach der flussproportionalen myokardialen Aufnahme werden Tc-99m-MIBI und Tc-99m-Tetrofosmin [2] in den Mitochondrien relativ fest gebunden und nur zu einem sehr geringen Anteil wieder ausgewaschen.

Beim 2-Tages-Protokoll und einer eingesetzten Aktivität von je etwa 250–300 MBq pro Untersuchung beträgt die gesamte effektive Dosis etwa 4–5 mSv, beim 1-Tages-Protokoll und einer Aktivität von insgesamt etwa 1000 MBq etwa 8–9 mSv. Beim Stress-

only-Protokoll und einer eingesetzten Aktivität von etwa 250 MBq beträgt die gesamte effektive Dosis knapp unter 2 mSv.

### Thallium-(Tl)-201

Tl-201 ist ein  $K^+$ -Analogon, die Linearität zwischen Uptake und Blutfluss ist für Tl-201 besser als für die Tc-99m-markierten Perfusionsmarker [2]. Aufgrund einer relativ langen Halbwertszeit von 73 Stunden und einer niedrigeren Photonenenergie ist die einsetzbare Aktivität und die damit erzielbare Bildqualität aber deutlich niedriger als bei den Tc-99m-markierten Perfusionsmarkern bei einer deutlich höheren Strahlenexposition.

Bei einer eingesetzten Aktivität von etwa 75 MBq des Tl-201 beträgt die effektive Dosis 16,5 mSv. Derzeit kommt Tl-201 routinemäßig kaum zum Einsatz, mit den neuen hochempfindlichen Kamerasystemen kann Tl-201 aufgrund seiner besseren physiologischen Eigenschaften [2] bei niedrigeren eingesetzten Aktivitäten ggf. eine Renaissance erleben [3].

### Belastungsverfahren Ergometrie

Falls eine Ergometrie möglich ist, erfolgt diese stufenweise bis zur submaximalen Ausbelastung. Die Injektion des Perfusionsmarkers erfolgt auf der höchsten Belastungsstufe, die nachfolgend für 1–2 min aufrechterhalten werden soll.

### Adenosin/Regadenoson

Falls eine Ergometrie nicht möglich (z. B. Immobilität) oder nicht sinnvoll (z. B. beim Linksschenkelblock) ist, erfolgt eine pharmakologische – A<sub>2</sub>a-Rezeptor-vermittelte – Vasodilatation mittels Adenosin oder Regadenoson.

Adenosin steigert die Myokardperfusion auf das 3–5-Fache der Ruheperfusion, hat eine sehr kurze Plasmahalbwertszeit von wenigen Sekunden und ist damit gut steuerbar. Adenosin wird mit 140 µg/kg/min über 4–6 min infundiert, die Injektion des Perfusionstracers erfolgt nach der Hälfte der angestrebten Injektionsdauer. Adenosin ist bei höhergradigen AV-Blockierungen sowie Asthma bronchiale und schwerer chronisch obstruktiver Lungenerkrankung (COPD) kontraindiziert.

Regadenoson ist ein selektiver A<sub>2</sub>a-Agonist, der bei Patienten mit Asthma bronchiale und bei schwerer COPD sicher eingesetzt werden kann [4]. Regadenoson wird als Bolus von 0,4 mg über 10 s gewichtsunabhängig injiziert. 20–30 s später erfolgt die Tracerinjektion. Die Halbwertszeit von Regadenoson beträgt in der initialen Phase 2–4 min, in der intermediären Phase ca. 30 min, eine Antagonisierung mit Theophyllin ist möglich.

Eine pharmakologische Belastung lässt sich zur besseren Verträglichkeit gut mit einer Low-Level-Ergometrie von 25–50 W kombinieren.

### Aufnahme- und Auswertetechnik Datenakquisition/Kameratechnik

Bei konventionellen Gammakameras rotieren i. d. R. 2 in 90° zueinander stehende Kameraköpfe um den Patienten und detektieren die vom myokardial retinierten Perfusionstracer ausgehende Strahlung. Einige dedizierte Herzkameras erlauben eine transmissionsbasierte Schwächungskorrektur mittels Quellen. Mittels Rekonstruktion und Reorientierung werden aus den Emissionsdaten herzachsengerechte Perfusionsbilder generiert.

Neue Kameratechnologien mit Halbleiterdetektoren (CZT-Systeme) arbeiten mit stationären Detektoren. Sie weisen eine höhere Empfindlichkeit als herkömmliche SPECT-Systeme auf, was zur Reduktion der eingesetzten Aktivität und/oder der Aufnahme-

dauer genutzt werden kann [5,6]. Auch gibt es erste Ansätze zur Bestimmung des absoluten myokardialen Blutflusses und der Flussreserve mit den neuen Kamerasystemen [7].

Bei Hybridgeräten (SPECT-CT) kann die Low-Dose-CT-Komponente zur anatomischen Korrelation (dies ggf. als Fusionsbrücke zur CT-Koronarangiografie) und zur Schwächungskorrektur der SPECT-Aufnahmen eingesetzt werden. Eine Koronarkalkbestimmung ist teilweise möglich [8].

### Auswertung

Die quantitative Analyse der Perfusion erfolgt durch einen segmentweisen Abgleich der relativen Uptake-Werte mit einer (im Idealfall institutseigenen) Normaldatenbank. Es werden entweder Scorewerte (summierter Belastungs- und summierter Ruhescore – SBS, SRS) oder prozentuale Abweichungen von der Norm für die Belastungs- und die Ruhestudie separat berechnet, aus der Differenz lässt sich die relative reversible Ischämie last abschätzen (Beispiele **Abb. 2–4**).

Aus den EKG-getriggerten Daten können neben der Perfusion auch die enddiastolischen und -systolischen Ventrikelvolumina und die resultierende globale Ventrikel funktion berechnet werden (Beispiel **Abb. 1**). Zusätzlich kann eine regionale Wandbewegungsanalyse anhand der bewegten Daten erfolgen [9].

### Befundung

Bei der Befundung kommt es zu einer synoptischen Beurteilung der Perfusionsverhältnisse der Belastungs- und der Ruheuntersuchung anhand der Bilddaten und der quantitativen Parameter. Unterschieden werden reversible und persistierende Perfusionsdefizite sowie ein Mischbild von beidem.

Bei einer pathologischen Belastungsuntersuchung mit vollständiger Normalisierung in Ruhe sprechen wir von einer rein induzierbaren Ischämie, bei nur partieller Normalisierung wird der Befund als teils reversible, teils persistierende Ischämie gewertet. Befunde, die in der Belastungs- und der Ruhestudie weitestgehend identisch pathologisch sind, werden als rein persistierende Perfusionsstörung gewertet. Mittels Tc-99m-markierter Perfusionstracer ist eine sichere Aussage zur Vitalität des Myokards im Bereich persistierender Perfusionsstörungen schwierig.

In die Befundung fließen auch die quantitativen Parameter für die LVEF ein, bei auffallend großem Ventrikel ist auch eine Angabe des enddiastolischen Volumens sinnvoll.

### Kurzgefasst

Die Myokardszintigrafie ist ein langjährig etabliertes robustes Verfahren, das beim Einsatz Tc-99m-markierter Perfusionstracer mit gut vertretbarer Strahlenexposition die Detektion von belastungsinduzierbaren und persistierenden Myokardischämien erlaubt. Die Stärke des Verfahrens liegt u. a. in der einfachen und sicheren Quantifizierung der relativen Ischämie last (entweder gemessen in Scorepunkten oder in % des LV-Myokards). Die valide Bestimmung der LVEF und der Ventrikelvolumina kann dabei ohne großen Zusatzaufwand erfolgen.

### Stellenwert der Myokard-SPECT in den Leitlinien

#### ▼ Nationale Versorgungsleitlinie „Chronische KHK“

Die aktualisierte Version der Nationalen Versorgungsleitlinie (NVL) „Chronische KHK“ [10] sieht die Hauptindikation bei dem Verdacht auf eine stabile stenosierende KHK bei Patienten mit

**Tab. 1** Indikation zu nicht invasiven funktionellen diagnostischen Tests bei Patienten mit vermuteter KHK und stabilen Symptomen (Daten aus [11]).

	asymptomatisch		symptomatisch	
	Klasse/Level	Klasse/Level	Klasse/Level	Klasse/Level
KHK-Wahrscheinlichkeit		niedrig (< 15%)	mittel (15–85%)	hoch (> 85%)
Stress-Echo	III/A	III/A	I/A	III/A
SPECT	III/A	III/A	I/A	III/A
Stress-MR	III/B	III/C	I/A	III/B
PET-Perfusion	III/B	III/C	I/A	III/B

einer Vortestwahrscheinlichkeit von 15–85%. Dabei sollte die Wahl des nicht invasiven diagnostischen funktionellen Verfahrens von den vor Ort verfügbaren Technologien und der lokalen Untersucher-Expertise, aber auch von patientenbezogenen Aspekten (z. B. Strahlenbelastung, Schallbarkeit, physische Belastbarkeit, Körpergewicht, Metallimplantate usw.) abhängig gemacht werden.

### ESC-Leitlinien

Inhaltlich verfolgen die NVL und die aktuellen ESC-Leitlinien [11, 12] zwar einen etwas unterschiedlichen Ansatz bei der Diagnostik, die Einschätzung und Einordnung der bildgebenden Verfahren ist aber sehr ähnlich. **Tab. 1** und **2** geben den aktuellen Empfehlungsgrad und die publizierten diagnostischen Ergebnisse für unterschiedliche Untersuchungsverfahren in verschiedenen Szenarien wieder (nach [11, 12]). Auch hier zeigt sich der hohe Stellenwert der MPS bei der Diagnosestellung und Prognosebeurteilung bei vermuteter oder nachgewiesener KHK.

#### Kurzgefasst

Bei mittlerer Vortestwahrscheinlichkeit (15–85%) stellen nicht invasive funktionelle Verfahren zur Ischämiedetektion wie die Myokardszintigrafie das Verfahren der Wahl zur Detektion einer hämodynamisch und prognostisch relevanten KHK dar.

### Diagnostische und prognostische Wertigkeit bei der KHK-Diagnostik

Die diagnostische Genauigkeit der Myokard-SPECT bei der KHK wird allgemein als Fähigkeit definiert, angiografisch signifikante Stenosen nachzuweisen oder korrekt auszuschließen. In früheren Studien wurde daher großer Wert auf Sensitivität und Spezifität gegenüber dem Referenzverfahren Koronarangiografie gelegt. Im Genauigkeitsvergleich mit der Myokard-SPECT wurden koronarangiografische Stenosen je nach Studiendesign bereits ab 50% oder erst ab 75% als hämodynamisch signifikant gewertet. Entsprechend ändern sich die ermittelten „Gütekriterien“ Sensitivität und Spezifität der Myokard-SPECT. Die Koronarangiografie selbst ist als Referenzverfahren allerdings nur bedingt tauglich, da angiografisch nicht sichtbare endotheliale und mikrovaskuläre Faktoren, die die Perfusion beeinträchtigen können und sich dann szintigrafisch darstellen, nicht erfasst werden (vermeintlich „falsch positive“ Befunde). In mehreren Studien konnte nachgewiesen werden, dass pathologische SPECT-Befunde bei Ausschluss einer höhergradigen Koronarstenose in der Angiografie auf eine mikrovaskuläre Erkrankung oder eine endotheliale Dys-

**Tab. 2** Diagnostische Charakteristika verschiedener nicht invasiver funktioneller Testverfahren zur Detektion einer KHK (Daten aus [12]).

	KHK-Diagnose	
	Sensitivität (%)	Spezifität (%)
Belastungs-EKG	45–50	85–90
Belastungs-Stress-Echo	80–85	80–88
Belastungs-SPECT	73–92	63–87
Dobutamin-Stress-Echo	79–83	82–86
Dobutamin-Stress-MRT	79–88	81–91
Vasodilatator-Stress-Echo	72–79	92–95
Vasodilatator-Stress-SPECT	90–91	75–84
Vasodilatator-Stress-MRT	67–94	61–85

funktion hinweisen und mit einer schlechteren Prognose als Normalbefunde einhergehen [13].

Sensitivität und Spezifität sind somit als alleinige Deskriptoren der MPS nur bedingt geeignet. Bei vielen publizierten Studien liegt zusätzlich ein Referral Bias vor, der zu einer Überschätzung der Sensitivität und einer Unterschätzung der Spezifität führt. Der Grund liegt darin, dass bei einem pathologischen Befund häufiger eine Koronarangiografie durchgeführt wird als bei einem Normalbefund. Die Normalcy Rate (Anteil Patienten mit KHK-Wahrscheinlichkeit < 5% und normalem Befund) in der Myokard-SPECT beläuft sich auf 91% [14].

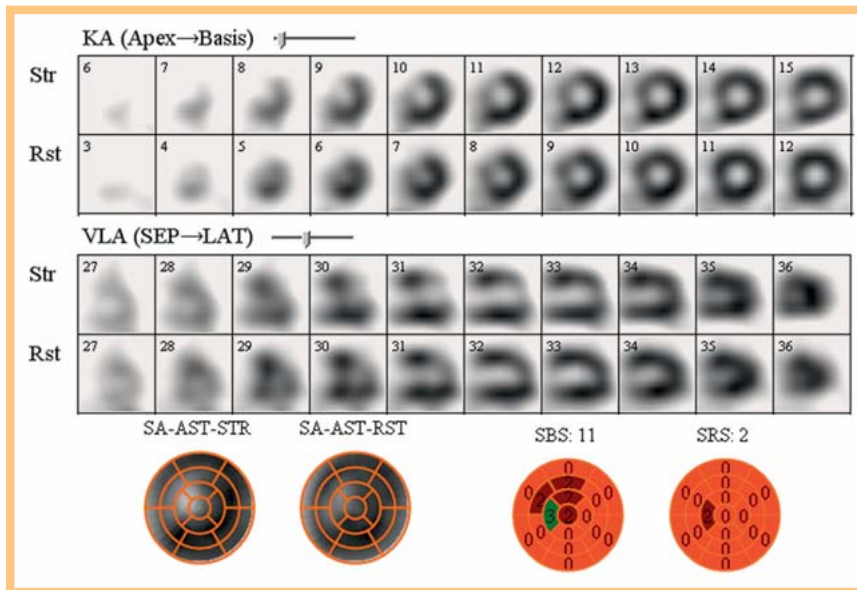
Bei der diffusen, hochgradigen 3-Gefäß-KHK mit global verminderter Perfusion ist die Genauigkeit der Myokard-SPECT eingeschränkt. In diesem KHK-Stadium fehlt das normal perfundierte Referenzareal, sodass bei Ischämien, die das gesamte Myokard gleichermaßen betreffen, das Ausmaß der Ischämie unterschätzt werden kann. Allerdings verbessert die Hinzunahme der Ruhe- und Post-Stress-LVEF die Erkennung einer Mehrgefäßerkrankung. Durch die Gated-SPECT ergibt sich eine Zunahme der Spezifität um 8%, mit der Schwächungskorrektur um 17% und mit der Kombination um 22%. Demzufolge kann eine Spezifität von 80–85% erreicht werden [15].

Inzwischen hat ein gewisser Wandel bei der Interpretation der szintigrafischen Ergebnisse stattgefunden. So gilt weniger die Frage „KHK ja oder nein“ als bedeutsam, sondern vielmehr die Frage, ob ein prognostisch relevanter Befund nachweisbar ist oder nicht. Hier besteht eine enge Beziehung zwischen dem Ausmaß und der Tiefe einer Ischämie sowie dem Nachweis einer Mehrgefäßerkrankung als prognostisch ungünstigem Faktor („Outcome-relevant“). Als relevante Ereignisse werden in den meisten Studien der kardiovaskuläre Tod sowie der (überlebte) Myokardinfarkt berücksichtigt. Zahlreiche Studien haben übereinstimmend zeigen können, dass bei einem unauffälligen Untersuchungsergebnis das Risiko für ein derartiges Ereignis mit dem der Normalbevölkerung vergleichbar ist. Ein unauffälliger Befund (Beispiel in **Abb. 1**) hat somit eine exzellente prognostische Wertigkeit mit einer Eventrate von < 1%/Jahr [16].

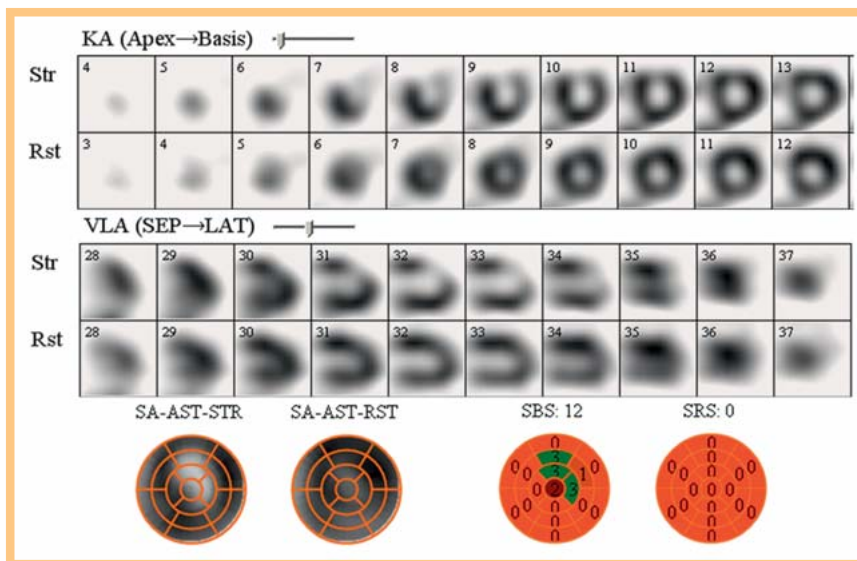
Bei einem pathologischen Befund (**Abb. 2**) liegt das Risiko 7–10-fach höher (0,85 vs. 5,9%/Jahr, 69655 Patienten, 39 Studien) [16] und sollte bei einer relevanten Ischämie invasiv abgeklärt werden (Beispiel in **Abb. 2**).

Dabei steigt das individuelle Risiko wie auch der zu erwartende prognostische Benefit durch eine Myokardrevaskularisation mit der Ausdehnung und der Schwere der Ischämie [17].

Die LVEF (aus der Gated-SPECT) liefert unabhängig von der Perfusion einen weiteren Informationsbaustein zur Risiko- und Prognoseeinschätzung. Das Letalitätsrisiko steigt mit sinkender LVEF und gleichzeitig mit der Ischämiebelastung.



**Abb. 2** 82-jährige Patientin mit V. a. KHK bei pathologischer Ergometrie. In der Belastungsuntersuchung (Str) sowohl in den kurzen Achsen (KA) als auch in den vertikalen Langachsen (VLA) ausgeprägte Perfusionsstörung anteroseptal, die sich in Ruhe (Rst) erheblich gebessert darstellt. Summierter Belastungsscore (SBS) 11, summierter Ruhescore (SRS) 2, somit Differenzscore 9, der einer relativen Ischämiebelastung von ca. 17% entspricht. Nachfolgend RIVA-Intervention.



**Abb. 3** 71-jähriger Patient mit Z. n. Koronarintervention RCX/Ramus-marginalis-I-Bifurkationsstenose bei NSTEMI. Verbliebene Stenosen von RIVA und RCA, hämodynamische Relevanz? In der Belastungsuntersuchung (Str) sowohl in den kurzen Achsen (KA) als auch in den vertikalen Langachsen (VLA) ausgeprägte Perfusionsstörung in der mittventrikulären Vorderwand und spitzennah lateral mit vollständiger Normalisierung in Ruhe (Rst). Summierter Belastungsscore (SBS) 12, summierter Ruhescore (SRS) 0, resultierende reversible Ischämiebelastung knapp über 20%. Somit Relevanz der RIVA-Stenosen, keine Relevanz der RCA-Stenosen, es erfolgte eine RIVA-Intervention.

Über das gesamte Ausprägungsspektrum der KHK, d. h. vom Verdacht auf eine KHK bis zur Mehrgefäßerkrankung, können mit der Myokard-SPECT Niedrigrisiko- und Hochrisiko-Patienten identifiziert werden ([16], Übersicht bei [18]).

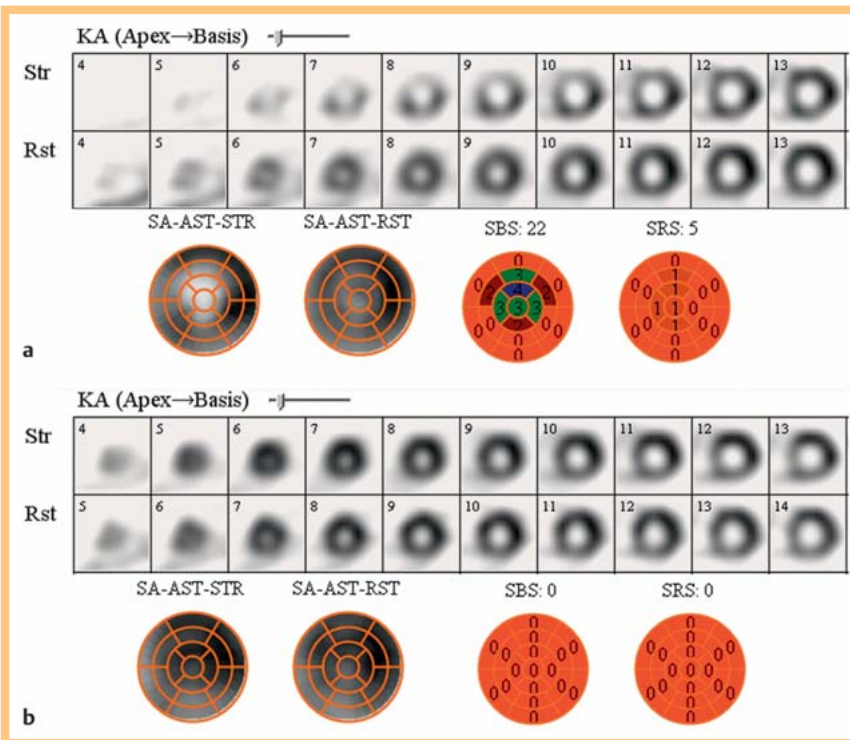
Das Ausmaß der Ischämie sollte für therapeutische Entscheidungsprozesse herangezogen werden und ist inzwischen Bestandteil der ESC-Leitlinie zur Myokardrevaskularisation [11]. Bei einer Ischämiebelastung < 10–12%, anhand des Summed Difference Score (SDS, s. o.) ermittelt, ist die kardiale Sterblichkeit bei einer optimalen konservativen Therapie geringer als bei einer Revaskularisation kombiniert mit einer optimalen kardialen Medikation. Oberhalb dieses Schwellenwerts, d. h. Ischämiebelastung > 10–12%, kehrt sich dieses Verhältnis um.

Dieser Ansatz beruht auf retrospektiven Registerdaten. Die Daten stehen aber in guter Übereinstimmung mit Ergebnissen anderer bildgebender Verfahren wie Stress-MRT und Stress-Echokardiografie oder auch der invasiven Messung der fraktionierten Flussreserve (FFR). Geeignete prospektive Studien stehen noch aus (siehe z. B. [www.ischemiatrial.org](http://www.ischemiatrial.org)). Aus dem Ergebnis der Myo-

kard-SPECT ist auf der Basis der Risiko- und Prognosedaten das weitere diagnostische und therapeutische Konzept ableitbar (Tab. 3). Zu betonen ist, dass für jeden Patienten, von der klinischen Situation und der Symptomatik abhängig, individuelle Entscheidungen zu treffen sind, wie in den Beispielen der Abb. 3 und 4 nochmals abschließend illustriert werden soll.

### Kurzgefasst

Während eine unauffällige Myokardszintigrafie mit einer ausgezeichneten Prognose und einem sehr niedrigen Risiko (ca. 0,7% pro Jahr) für gravierende kardiovaskuläre Ereignisse einhergeht, ist eine pathologische SPECT mit einem ca. 10-fach höheren Risiko vergesellschaftet. Dabei besteht eine gute Korrelation zum quantitativen Ausmaß der Ischämie sowie Hinweisen auf eine Mehrgefäßerkrankung. Ein prognostischer Benefit durch Revaskularisationsmaßnahmen ist nur bei einer Ischämie ab ca. 10% des linken Ventrikels zu erwarten.



**Abb. 4a** und **b** 66-jähriger Patient mit V. a. KHK. **a** Erstuntersuchung (1-Tages-Protokoll). Post Stress (Str) ausgedehnte Perfusionsstörung der Spitze und anteroseptal mit deutlicher Besserung in Ruhe (Rst). Summierter Belastungsscore (SBS) 22, summierter Ruhescore (SRS) 5 (reversible Ischämiebelast ca. 32%). Bei 1-Tages-Protokoll in der Ruheuntersuchung durchscheinende Perfusionsstörung. Invasiver Nachweis einer 3-Gefäß-Erkrankung, RIVA-Intervention. **b** Verlaufskontrolle (2-Tages-Protokoll). 8 Wochen später erfolgte mit der Frage nach der Vollständigkeit der Revaskularisation eine Kontrolluntersuchung. Völlig unauffälliges Befundmuster der Belastungsuntersuchung (Str) und der Ruheuntersuchung (Rst). Summierter Belastungsscore (SBS) 0, summierter Ruhescore (SRS) 0. Somit keine weitere Intervention erforderlich.

**Tab. 3** Risikobeurteilung und therapeutisches Konzept anhand des Ergebnisses der Myokard-SPECT (Daten aus [19]).

Ergebnis	Risiko	Behandlung
normal	kein erhöhtes Risiko (Risiko entspricht der Normalbevölkerung)	Risikofaktormodifikation
gering pathologisch	niedriges Letalitätsrisiko, mittleres Herzinfarktrisiko	aggressive Risikofaktormodifikation, medikamentöse Behandlung, Koronarangiografie nur bei Symptomen
mäßig bis deutlich pathologisch	mittleres bis hohes Risiko eines Herzinfarkts und eines Herztods	Koronarangiografie, Revaskularisation, Risikofaktormodifikation

### Zusammenfassung

Die Myokard-Einzelphotonen-Emissionscomputertomografie (Myokard-SPECT) ist ein seit mehreren Jahrzehnten gut etabliertes und validiertes Verfahren zur Detektion einer hämodynamisch relevanten koronaren Herzkrankheit (KHK). Aktuell ist es das am häufigsten eingesetzte nicht invasive diagnostische Untersuchungsverfahren zur Ischämiediagnostik. Mit einer Sensitivität und Spezifität von jeweils 80–90% ist die diagnostische Genauigkeit vergleichbar zur Stress-Echokardiografie oder Stress-MR-Tomografie. Die Einführung der Technetium-Tracer sowie der EKG-Triggerung und der Abschwächungskorrektur hat insbesondere die Spezifität nochmals deutlich verbessert. Hohe Kameraempfindlichkeiten sowie schnelle Datenakquisitionsprotokolle haben sowohl die Untersuchungsdauer als auch die Strahlenbelastung signifikant reduzieren können. Hervorzuheben ist die weitgehende Untersucherunabhängigkeit durch validierte und reproduzierbare Computeralgorithmen bei der Datenauswertung. Große prospektive und retrospektive Analysen haben den hohen prognostischen Wert in allen Stadien der KHK (Vorfeld-diagnostik, Postinfarktphase, Einschätzung der hämodyna-

mischen Relevanz einer angiografisch gesicherten Stenose, Therapiebeurteilung nach PCI oder ACB-Operation) eindrucksvoll demonstriert. Die Kombination mit morphologisch ausgerichteten nicht invasiven bildgebenden Verfahren (Hybridbildgebung in Kombination mit der CT-Koronarangiografie, SPECT-CT) stellt möglicherweise die nicht invasive Diagnostik der KHK der Zukunft dar, sofern kostenmäßig realisierbar.

### Abstract

Nuclear myocardial perfusion imaging using single photon emission computed tomography (SPECT) in combination with various tracers is for many years the most widely used technology for the non-invasive detection of hemodynamically significant coronary artery disease (CAD). Sensitivity and specificity range between 80 and 90% and are comparable to stress echocardiography and stress MR-imaging. Combining SPECT with technetium 99m tracers and using modern technologies such as ECG-triggering and soft tissue attenuation correction algorithms have further significantly improved the diagnostic accuracy. Modern cameras in combination with fast data acquisition have reduced the imaging times as well as radiation exposure of the patient. Semi-automated analysis software has improved reproducibility and validity of data analysis. Several large retrospective as well as prospective studies have demonstrated the prognostic value of SPECT perfusion imaging in all stages of CAD. Hybrid imaging using SPECT technology in combination with CT coronary angiography may further improve and fasten the diagnostic work-up of patients with suspected CAD and may reduce the need for overall diagnostic coronary angiography but may also lead to higher proportion of coronary angiography subsequently followed by necessary and indicated coronary revascularization.

## Interessenkonflikt



Die Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

## Literatur

- 1 *Bateman TM, Heller GV, McGhie AI et al.* Multicenter investigation comparing a highly efficient half-time stress-only attenuation correction approach against standard rest-stress Tc-99m SPECT imaging. *J Nucl Cardiol* 2009; 16: 726–735
- 2 *Meleca MJ, McGoron AJ, Gerson MC et al.* Flow versus uptake comparisons of thallium-201 with technetium-99m perfusion tracers in a canine model of myocardial ischemia. *J Nucl Med* 1997; 38: 1847–1856
- 3 *Kincl V, Kamínek M, Vašina J et al.* Feasibility of ultra low-dose thallium stress-redistribution protocol including prone imaging in obese patients using CZT camera. *Int J Cardiovasc Imaging* 2016; DOI: 10.1007/s10554-016-0919-8
- 4 *Salgado Garcia C, Jimenez Heffernan A, Sanchez de Mora E et al.* Comparative study of the safety of regadenoson between patients with mild/moderate chronic obstructive pulmonary disease and asthma. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2014; 41: 119–125
- 5 *Chowdhury FU, Vaidyanathan S, Bould M et al.* Rapid-acquisition myocardial perfusion scintigraphy (MPS) on a novel gamma camera using multipinhole collimation and miniaturized cadmium-zinc-telluride (CZT) detectors: prognostic value and diagnostic accuracy in a 'real-world' nuclear cardiology service. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2014; 15: 275–283
- 6 *van Dijk JD, Jager PL, Ottervanger JP et al.* Minimizing patient-specific tracer dose in myocardial perfusion imaging using CZT SPECT. *J Nucl Med Technol* 2015; 43: 36–40
- 7 *Nkoulou R, Fuchs TA, Pazhenkottil AP et al.* Absolute Myocardial Blood Flow and Flow Reserve Assessed by Gated SPECT with Cadmium-Zinc-Telluride Detectors Using 99mTc-Tetrofosmin: Head to Head Comparison with 13N-Ammonia PET. *J Nucl Med* 2016; DOI: 10.2967/jnumed.115.165498
- 8 *Engbers EM, Timmer JR, Mouden M et al.* Visual estimation of coronary calcium on computed tomography for attenuation correction. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2016; 10: 327–329
- 9 *Abidov A, Germano G, Hachamovitch R et al.* Gated SPECT in assessment of regional and global left ventricular function: an update. *J Nucl Cardiol* 2013; 20: 1118–1143
- 10 *AWMF.* Nationale Versorgungsleitlinie „Chronische KHK“. 4. Aufl. Februar 2016. Im Internet: [www.versorgungsleitlinie.de](http://www.versorgungsleitlinie.de); Stand: 16.07.2016
- 11 *Windecker S, Kolh P, Alfonso F et al.* 2014 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization. The Task Force on Myocardial Revascularization of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-thoracic Surgery (EACTS) Developed with the special contribution of the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions (EAPCI). *Eur Heart J* 2014; 35: 2541–2619
- 12 *Montalescot G, Sechtem U, Achenbach S et al.* 2013 ESC guidelines on the management of stable coronary artery disease: the Task Force on the management of stable coronary artery disease of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J* 2013; 34: 2949–3003
- 13 *Adamu U, Knollmann D, Almutairi B et al.* Stress/rest myocardial perfusion scintigraphy in patients without significant coronary artery disease. *J Nucl Cardiol* 2010; 17: 38–44
- 14 *Klocke FJ, Baird MG, Lorell BH et al.* ACC/AHA/ASNC guidelines for the clinical use of cardiac radionuclide imaging – executive summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *J Am Coll Cardiol* 2003; 42: 1318–1333
- 15 *Hendel RC, Corbett JR, Cullom SJ et al.* The value and practice of attenuation correction for myocardial perfusion SPECT imaging: a joint position statement from the American Society of Nuclear Cardiology and the Society of Nuclear Medicine. *J Nucl Cardiol* 2002; 9: 135–143
- 16 *Shaw LJ, Iskandrian AE.* Prognostic value of gated myocardial perfusion SPECT. *J Nucl Cardiol* 2004; 11: 171–188
- 17 *Shaw LJ, Berman DS, Maron DJ et al.* Optimal medical therapy with or without percutaneous coronary intervention to reduce ischemic burden: results from the Clinical Outcomes Utilizing Revascularization and Aggressive Drug Evaluation (COURAGE) trial nuclear substudy. *Circulation* 2008; 117: 1283–1291
- 18 *Lindner O, Rusche H, Schäfers M et al.* Aktuelle Konzepte zur Myokardperfusionsszintigraphie. *Dtsch Arztebl* 2007; 104: A952–A958
- 19 *Hachamovitch R, Berman DS.* The use of nuclear cardiology in clinical decision making. *Semin Nucl Med* 2005; 35: 62–72