Zum Thema: Nichtinvasive Isotopenuntersuchungen in der Kardiologie: Myokardszintigraphie
Radionuclides in cardiology: Myocardial scintigraphy

M. Schwaiger, S. Silber, U. Klein, W. Rudolph

Klinik für Herz- und Kreislauferkrankungen (Direktor: Prof. Dr. W. Rudolph), Deutsches Herzzentrum München

Myokardszintigraphie mit Thallium-201: Eine Zwischenbilanz

Zusammenfassung

Die Thallium-201-Szintigraphie stellt ein wichtiges, nicht-invasives Untersuchungsverfahren in der Diagnostik der koronaren Herzerkrankung dar.

Angaben über die Wertigkeit sind – unter Berücksichtigung gegebener Limitationen der Szintigraphie mit niederenergetischer Gamma-Strahlung – von der Auswertungsmethode und der Zusammensetzung des untersuchten Krankengutes abhängig. Sensitivität und Spezifität zum Nachweis einer myokardialen Minderdurchblutung werden mit 57 bis 99% bzw. 69 bis 100% angegeben.

Drei-Gefäß-Erkrankungen werden szintigraphisch in einem höheren Prozentsatz entdeckt als Ein- oder Zwei-Gefäß-Erkrankungen. Die Zuordnung eines Thallium-201-Speicherdefekts zur Koronaranatomie ist nur bedingt, eine Abschätzung des Schweregrades der Ischämie kaum möglich. Eine Beurteilung des Ergebnisses einer koronaren Bypass-Operation kann in den meisten Fällen unter Kenntnis des prä- und postoperativen Befundes erfolgen. Bei Patienten mit akutem Myokardinfarkt beträgt die Sensitivität innerhalb der ersten sechs Stunden 100%. Im weiteren Verlauf nimmt die Sensitivität ab und ist dann im wesentlichen von der Infarktausdehnung abhängig. Die szintigraphische Infarktgrößenbestimmung ist problematisch.

Die Thallium-201-Szintigraphie ist zum Nachweis der koronaren Herzerkrankung bei Patienten mit „mittlerer" Vor-Test-Wahrscheinlichkeit indiziert, weiter bei Patienten mit akutem oder abgelaufenem Myokardinfarkt.

Ferner ergeben sich Indikationen zur Überprüfung des Ergebnisses einer koronaren Bypass-Operation sowie zum Nachweis einer hämodynamischen Wirksamkeit 50- bis 75%iger Stenosen bei angiographisch gesicherter Ein-Gefäß-Erkrankung.

Summary: Myocardial scintigraphy with thallium-201: the current status

Thallium-201 myocardial scintigraphy is an important non-invasive method for assessment of coronary artery disease. Other applications of the method such as delineation of the right ventricular free wall in right ventricular overload, or the detection of hypertrophic cardiomyopathies or myocardial infiltrations are of subordinate importance. In heart disease such as congestive cardiomyopathy and mitral valve prolapse thallium-201 uptake defects have been described, the clinical implications of these findings, however, cannot be adequately interpreted at this time. Myocardial uptake of thallium-201 is an active process, dependent on and proportional to perfusion. Differentiation between myocardial ischemia and myocardial scar is based on the presence or absence of thallium-201 "redistribution". That is, in the presence of acute reversible ischemia there is increased thallium-201 uptake in the post-ischemic phase in previously hypoperfused myocardium and, subsequently, equilibrium of the initially registered activity differences. "Redistribution" has also been described in the resting scintigram of patients with severe coronary artery disease and chronic hypoperfusion.

Due to substantial absorption activity variance in regions distant from the camera cannot be as accurately assessed as those near to the camera. Additionally, "compression" of the 3-dimensional structure of the heart into a 2-dimensional display renders difficult an exact anatomic localization of the thallium-201 uptake defect. Tomographic methods enable generation of cross-sectional images for reconstruction of a 3-dimensional display of the heart. The visual assessment of thallium-201 scintigrams incurs the problem of borderline findings, the classification of which may decisively influence the sensitivity and specificity. On classification of borderline findings as pathologic, a higher sensitivity can be gained but only at the cost of a lower specificity (Figure 1). On the other hand, classification of borderline findings as normal yields a specificity of 100% so that in the individual case a pathologic finding can be regarded as diagnostic for a regional hypoperfusion (Figure 1). The quantitative analysis of the thallium-201 scintigram offers the clear advantage of reducing inter-observer and intra-observer variability. To date, however, there are no uniformly standard methods for quantitative evaluation. According to some authors, the quantitative analysis enables attainment of a high sensitivity and higher specificity.

The sensitivity and specificity of the thallium-201 scintigram in the detection of coronary artery disease has been reported to range between 57 and 99% or 69 and 100% respectively (Table 1). The varying results of the individual investigators, under the assumption of standardized methods, appears most likely due to the heterogeneous composition of the respective patient

populations. On exclusion of patients with prior myocardial infarction, sensitivities for the detection of coronary artery disease range between 57 and 68%. Patients with 3-vessel disease demonstrate a higher percentage of pathologic thallium-201 scintigrams than those with single or double vessel disease. Employment of tomographic methods documented increased sensitivity and specificity in the diagnosis of coronary artery disease (Table 1, Figure 2). The coronary-anatomic delineation of the thallium-201 defect can only be achieved in the antero-septal and postero-lateral regions (left anterior descending and circumflex arteries). In the apico-inferior region, however, there is considerable overlapping of perfusion from the three major coronary arteries. The thallium-201 scintigram does not enable assessment of the extent of decrease in perfusion. In patients with angiographically-documented single vessel disease of borderline luminal compromise, the thallium-201 scintigram, especially that obtained during exercise, may be useful in determining if the stenosis is hemodynamically significant. Assessment of the results of coronary artery bypass surgery can be successfully achieved in most cases provided a preoperative scintigram is available for comparison.

In patients with acute myocardial infarction, the sensitivity of the thallium-201 scintigram within the first six hours after onset of pain is 100%. After this time, there is decreasing sensitivity. The sensitivity in the detection of prior myocardial infarction is decisively influenced by the extent of infarction. Visual detection of small infarcts in regions of both the inferior and anterior walls has a low yield due to superimposition. Quantitative methods for assessment should provide considerable improvement in the sensitivity for detection of transmural infarction. In patients with prior myocardial infarction and angina pectoris, the scintigraphic detection of ischemic regions is not without difficulty and can be achieved if there is good separation between the infarct scar and the ischemic region, for example, in patients with inferior infarction and additional left anterior descending artery stenosis.

The indications for thallium-201 scintigraphy are based on considerations of the sensitivity and specificity with respect to the pretest-probability. This estimates the probability of the presence or absence of coronary artery disease, in the individual prior to performing a scintigraphic study. A thallium-201 scintigram is indicated for patients with "intermediate" pretest probabilities, since in this case a pathologic or normal thallium-201 scintigram, respectively, can decisively increase or decrease the probability of the presence of myocardial hypoperfusion. The pretest probability can be regarded as "intermediate" in patients with atypical chest pain in which angina pectoris cannot be ruled out and/or an equivocal or non-interpretable exercise ECG (i.e. bundle branch block, pacemaker, pre-excitation syndrome), expecially in the presence of documented coronary artery calcification and/or additional risk factors. This is also applicable for asymptomatic patients with a markedly pathologic exercise ECG. In patients with a "very high" pretest probability, for example, in the presence of typical angina pectoris with an unequivocally-positive exercise ECG, the thallium-201 scintigram is not capable of improving diagnostic accuracy with respect to the presence of coronary artery disease. In patients with "very low" pretest probabilities, that is, in young patients with completely atypical chest pain, unremarkable exercise ECG with no evidence of risk factors, a borderline pathologic thallium scintigram would be of extremely limited value since the probability of the presence of coronary artery disease would hardly be altered (Figure 1). A markedly pathologic thallium-201 scintigram, independent of the pretest probability, is unequivocally indicative of the presence of myocardial hypoperfusion (Figure 1). Since the incidence of coronary artery disease in the group of patients with "very low" pretest probabilities is extremely low, the diagnostic gain of the thallium-201 scintigram is disproportionately limited with respect to the substantial costs of the study. Estimation of the pretest probability for the individual patient is based on age, sex, symptoms, and risk factors according to epidemiologic studies in combination with the results of other non-invasive studies performed prior to thallium scintigraphy. The use of thallium-201 scintigraphy for detection of acute myocardial infarction is meaningful only if previous infarction can be ruled out. In the case of electrocardiographically and enzymatically documented infarction, the thallium-201 scintigram may provide additional information relevant to estimation of infarct size. The thallium-201 scintigram is not indicated for detection of prior myocardial infarction if the history and electrocardiogram are equivocal since, at least on employment of qualitative assessment, these infarcts tend to be too small for delineation with conventional scintigraphic methods. In patients with single-vessel disease with 50 to 75% stenosis, the thallium-201 scintigram is indicated to assess the hemodynamic significance of the stenosis in particular during exercise. The results of coronary artery bypass surgery can be meaningfully assessed with the thallium-201 scintigram, especially if a preoperative scintigram is available for comparison.

Die Thallium-201-Myokardszintigraphie stellt ein wichtiges, nicht-invasives Untersuchungsverfahren im Rahmen der Diagnostik der koronaren Herzerkrankung dar. Andere Anwendungsbereiche, z. B. die Darstellung der rechtsventrikulären freien Wand bei Rechtsherzbelastung oder der Nachweis von hypertrophen Kardiomyopathien sowie Myokardinfiltrationen, sind von untergeordneter Bedeutung [6, 34]. Bei der kongestiven Kardiomyopathie und dem Mitralklappenprolaps-Syndrom wurden Thallium-201-Speicherdefekte beschrieben, deren klinische Aussagekraft zum jetzigen Zeitpunkt nicht beurteilt werden kann [13, 21, 26]. Thallium-201, das zur Gruppe der Kaliumanaloga zählt, wird in Abhängigkeit von der Durchblutung aktiv vom Myokard aufgenommen [36, 41]. Somit ist es möglich, beim szintigraphischen Nachweis relativer Aktivitätsunterschiede auf Veränderungen der regionalen Durchblutung zu schließen. Die Unterscheidung zwischen Myokardischämie und Myokardnarbe erfolgt anhand einer eventuellen „Rückverteilung" des Thalliums [27]. Unter „Rückverteilung" versteht man die innerhalb von Stunden erfolgende Rückbildung initial nachweisbarer Thallium-Speicherdefekte [31]. Bei akuten, reversiblen Ischämien während ergometrischer Belastung, medikamentöser Koronardilatation oder spontaner Angina

pectoris wird Thallium-201 in der postischämischen Phase in zuvor minderspeicherndem Myokard vermehrt aufgenommen, so daß initial registrierte Aktivitätsunterschiede nicht mehr nachweisbar sind [11, 15, 22, 30]. Auch bei Patienten mit schwerer koronarer Herzerkrankung und chronischer Minderperfusion des Myokards wurde im Ruhe-Szintigramm eine „Rückverteilung" beschrieben [1, 24], die durch eine verzögerte Thalliumaufnahme aus dem Blut bei unveränderter Minderperfusion erklärt werden kann [40].

Wertigkeit der Thallium-201-Szintigraphie in der Diagnostik der koronaren Herzerkrankung

Angaben über die Wertigkeit der Thallium-201-Szintigraphie sind – unter Berücksichtigung der gegebenen physikalisch-technischen Limitationen – von der Interpretation grenzwertiger Befunde und von der Zusammensetzung des untersuchten Krankengutes hinsichtlich des Schweregrades der koronaren Herzerkrankung abhängig. Aufgrund der beträchtlichen Absorption der mit 80 keV niederenergetischen Gamma-Strahlung (Halbwertschichtdicke etwa 3,8 cm) [18] können Aktivitätsänderungen in kamerafernen nicht in gleichem Maß wie in kameranahen Myokardbezirken erfaßt werden. Hinzu kommt die Compton-Streustrahlung und die „Kompression" der dreidimensionalen Struktur des Herzens zu einem zweidimensionalen Bild, die eine genaue anatomische Zuordnung von Thallium-Speicherdefekten erschweren. Experimentelle Studien zeigten, daß minderperfundiertes Myokard szintigraphisch erkannt werden kann, wenn die Flußreduktion mindestens 50% beträgt und die Ausdehnung einen Durchmesser von über 2 cm aufweist [8, 15]. Aus diesem Grund wird versucht, mit der Thallium-201-Tomographie durch Schnittbildrekonstruktion das Myokard dreidimensional zu erfassen [38].

Die visuelle Beurteilung von Thallium-Szintigrammen führt häufig zu grenzwertigen Befunden, deren Einstufung als positiv, d.h. pathologisch, oder als negativ, d.h. normal, die Sensitivität und Spezifität beeinflußt [32, 33]. Bei Einordnung grenzwertiger Befunde als positiv wird eine hohe Sensitivität erzielt, die Spezifität nimmt jedoch ab, so daß bei Vorliegen eines positiven Befundes nicht mehr mit Sicherheit auf eine koronare Herzerkrankung geschlossen werden kann (Abbildung 1). Andererseits wird bei Einordnung grenzwertiger Befunde als negativ eine Spezifität von 100% erreicht, so daß bei Vorliegen eines positiven Befundes im Einzelfall sicher eine regionale Minderdurchblutung zu diagnostizieren ist; die Sensitivität nimmt bei diesem Vorgehen allerdings ab [32, 33] (Abbildung 1).

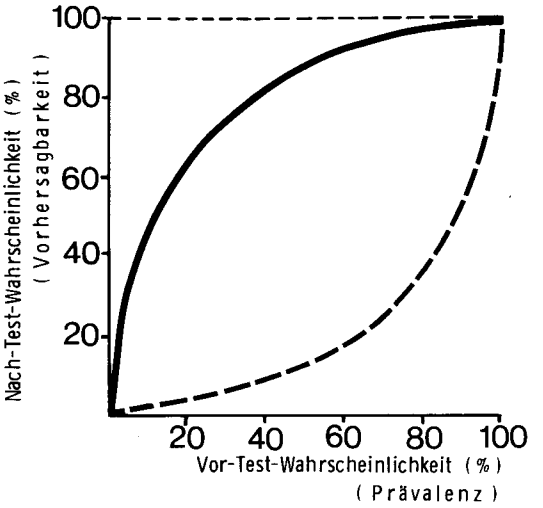

Abbildung 1. Beziehung zwischen Vor-Test-Wahrscheinlichkeit (Abszisse) und Nach-Test-Wahrscheinlichkeit (Ordinate) in Abhängigkeit von Sensitivität und Spezifität der Thallium-201-Szintigraphie zum Nachweis einer koronaren Herzerkrankung bei Patienten ohne Myokardinfarkt [33]. Die Kurven wurden entsprechend dem Bayesschen Theorem ermittelt [28]. Werden grenzwertige Thallium-Szintigramme als positiv (= pathologisch) eingestuft, ergibt sich eine Sensitivität von 83% bei einer Spezifität von 80% [33]. Die aus diesen Werten ermittelten Kurven zum Nachweis einer regionalen Minderdurchblutung bei positivem Szintigramm (———) und zum Ausschluß einer regionalen Minderdurchblutung bei negativem (= normalem) Szintigramm (– – –) sind dargestellt. Bei Patienten mit „sehr niedriger" und „sehr hoher" Vor-Test-Wahrscheinlichkeit erbringt die Thallium-Szintigraphie bei positiven und negativen Befunden wenig Information. Dagegen kann bei Patienten mit „mittlerer" Vor-Test-Wahrscheinlichkeit die Wahrscheinlichkeit des Vorliegens einer regionalen Minderdurchblutung beträchtlich erhöht bzw. erniedrigt werden. Unter ausschließlicher Berücksichtigung eindeutig pathologischer Thallium-Szintigramme ergibt sich eine Sensitivität von 57% bei einer Spezifität von 100%, so daß, unabhängig von der Vor-Test-Wahrscheinlichkeit, mit Sicherheit eine regionale Minderdurchblutung angenommen werden kann (– – –).

Figure 1. Relationship between pretest probability (abscissa) and the posttest probability (ordinate) with respect to the sensitivity and specificity of the thallium-201-scintigram in the detection of coronary artery disease in patients with no prior myocardial infarction [33]. The curves were calculated according to Bayes' theorem [28]. On classification of borderline findings as pathologic, the sensitivity was 83% and the specificity 80% [33]. The curves derived from the latter values are demonstrated for the detection of a regional hypoperfusion in the presence of a pathologic scintigram (———) and for exclusion of a regional hypoperfusion in the presence of a normal scintigram (– – –). In patients with "very low" and "very high" pretest probabilities, pathologic or normal findings in the thallium scintigram provide only limited additional information. In contrast, in patients with "intermediate" pretest probabilities, the probability of the presence of a regional hypoperfusion can be decisively increased or decreased respectively. On consideration of markedly pathologic scintigrams only, a sensitivity of 57% is yielded with a specificity of 100% (– – –), independent of the pretest probability, so that a regional hypoperfusion can be assumed with certainty to be present.

Quantitative Verfahren bieten gegenüber der visuellen Auswertung den wesentlichen Vorteil, die Szintigramme unabhängig vom subjektiven Urteil verschiedener Untersucher zu befunden. Bislang liegen jedoch keine einheitlichen standardisierten quantitativen Verfahren vor [5]. Nach Angaben einiger Autoren [12, 17, 19, 30] wird mit quantitativen Auswertungsverfahren eine hohe Sensitivität bei hoher Spezifität erreicht (Tabelle 1). Allerdings bleiben auch bei quantitativen Auswertungsmethoden die grundsätzlichen Limitationen der Thallium-201-Szintigraphie bestehen.

Myokardiale Minderdurchblutung

Sensitivität und Spezifität der Thallium-201-Szintigraphie zum Nachweis einer koronaren Herzerkrankung werden mit 57 bis 99% bzw. 69 bis 100% angegeben (Tabelle 1). Die unterschiedlichen Ergebnisse der einzelnen Arbeitsgruppen sind, standardisierte Methodik vorausgesetzt, zum Teil auf eine heterogene Zusammensetzung des jeweils untersuchten Krankengutes zurückzuführen. Werden Patienten mit abgelaufenem Myokardinfarkt ausgeschlossen, beträgt die Sensitivität zum Nachweis einer koronaren Herzerkrankung lediglich 57 bis 68% (Tabelle 1). Patienten mit einer Drei-Gefäß-Erkrankung weisen in einem höheren Prozentsatz ein pathologisches Thallium-Szintigramm auf als Patienten mit einer Ein- oder Zwei-Gefäß-Erkrankung [3, 17, 30, 33].

	Sensitivität (%)	Spezifität (%)
Konventionelle Szintigraphie		
Visuelle Auswertung:		
Botvinick et al. [3]	85	89
Hamilton et al. [16]	75	93
Lösse et al. [20]	99	69
Silber et al.* [33]	57	100
Turner et al.* [37]	68	97
Quantitative Auswertung:		
Fletcher et al. [12]	75	88
Hirzel et al. [17]	91	86
Lenaers et al. [19]	95	93
Sauer et al. [30]	91	94
Tomographie		
Vogel et al. [38]	95	96

* ausschließlich Patienten ohne Myokardinfarkt.

Tabelle 1. Sensitivität und Spezifität der Thallium-201-Belastungsszintigraphie in der Diagnostik der koronaren Herzerkrankung.

Table 1. Sensitivity and specificity of the thallium-201 exercise scintigram in the detection of coronary artery disease.

Eine hohe Sensitivität und Spezifität der Thallium-201-Tomographie in der Diagnostik der koronaren Herzerkrankung zeigen erste klinische Untersuchungen (Tabelle 1, Abbildung 2). Auch unter Verwendung tomographischer Methoden ist jedoch bei Patienten mit koronarer Herzerkrankung ohne Myokardinfarkt eine Sensitivität von 100% nicht erreicht worden, so daß ein negatives Thallium-Szintigramm eine myokardiale Minderdurchblutung nicht ausschließt (Abbildung 1). Die Zuordnung eines Thallium-Speicherdefekts zur Koronaranatomie gelingt nur im Anteroseptal- und im Posterolateralbereich, die vom Ramus interventricularis anterior bzw. von der Arteria circumflexa versorgt werden (Abbildung 2). Im apikal-inferioren Bereich überlagern sich die Versorgungsgebiete der drei großen Koronararterien, so daß die in diesem Bereich häufig zu beobachtenden Speicherdefekte den einzelnen Koronararterien nicht zugeordnet werden können [23].

Bislang wurde nicht untersucht, ob die Thallium-201-Tomographie die Lokalisationsdiagnostik von Speicherdefekten verbessern kann.

Der Schweregrad einer Perfusionsminderung kann im Thallium-201-Szintigramm kaum beurteilt werden, da szintigraphisch nur Perfusionsunterschiede, nicht absolute Flußraten erfaßt werden, so daß allein aufgrund eines szintigraphischen Befundes keine Rückschlüsse auf die „Gefährdung" eines Patienten gezogen werden können [9].

Bei Patienten mit koronarangiographisch nachgewiesener Ein-Gefäß-Erkrankung und 50- bis 75%iger Stenosierung kann die Thallium-201-Szintigraphie Informationen über die hämodynamische Wirksamkeit dieser Stenosen – besonders unter Belastungsbedingungen – erbringen.

Bei der Beurteilung des Erfolgs einer koronaren Bypass-Operation kann mit Sicherheit ein gutes Operationsergebnis angenommen werden, wenn präoperativ ein positives und postoperativ ein negatives Szintigramm vorliegen [35]. Ohne Kenntnis des präoperativen Szintigramms ist bei postoperativ negativem Szintigramm keine Aussage über das Operationsergebnis möglich, da etwa ein Drittel der Patienten schon präoperativ ein negatives Szintigramm aufweist [35]. Bei postoperativ positivem Thallium-Szintigramm kann auch ohne Kenntnis des präoperativen Befundes auf eine unvollständige Revaskularisation, einen Bypass-

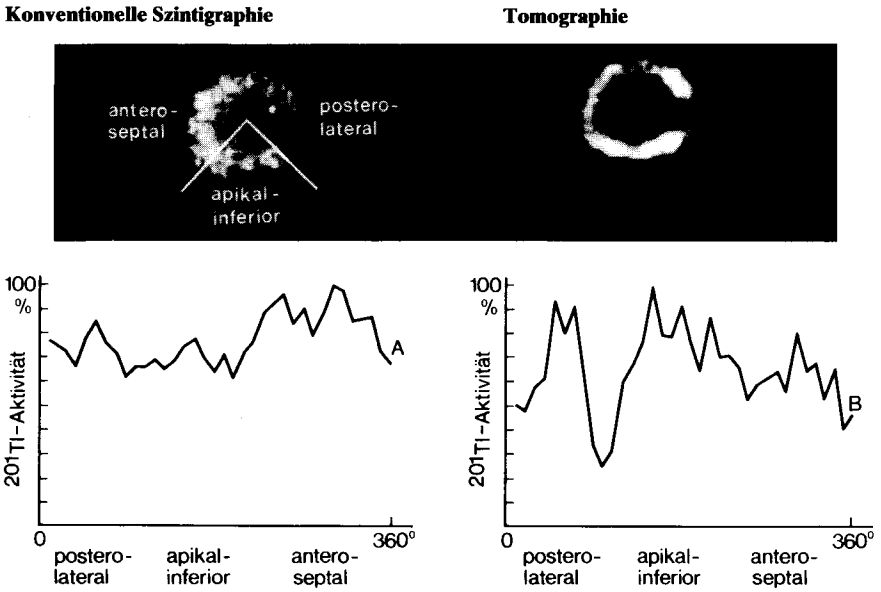

Abbildung 2. Thallium-201-Belastungs-Szintigramme eines Patienten mit hämodynamisch wirksamer Stenose der Arteria circumflexa und Hypokinese im Bereich der Lateralwand (45° linksschräge Projektion). Während im konventionellen Szintigramm (oben links) nur eine grenzwertige Minderspeicherung im posterolateralen Segment erkennbar ist, kann diese im mit dem „Seven-Pinhole-Kollimator" angefertigten Tomogramm (oben rechts) sicher diagnostiziert werden. Im unteren Teil der Abbildung ist die quantitative Auswertung der Szintigramme dargestellt. Die Szintigramme wurden, beginnend bei „12.00 Uhr", im Uhrzeigersinn in 36 Segmente eingeteilt. Die in jedem Segment gemessene Thallium-Speicherung ist in Prozent vom Myokard-Maximum angegeben. Die quantitative Auswertung des tomographischen Szintigramms läßt den Speicherdefekt deutlicher als die des konventionellen Szintigramms erkennen.

Figure 2. Thallium-201-exercise-scintigrams from a patient with hemodynamically-significant stenosis of the circumflex artery and hypokinesis in the region of the lateral wall (45° left anterior oblique projection). While the conventional scintigram does not permit clear recognition of a relative hypoperfusion, (borderline finding), its presence in the postero-lateral segment is readily detected (upper right) by the "seven-pinhole-collimator" tomogram. The quantitative analysis of the scintigram is demonstrated in the lower panel. The scintigrams are divided into 36 segments beginning at "12:00 o'clock." The thallium uptake in the respective segments is expressed in percent of the myocardial maximum. The quantitative analysis of the tomographic scintigrams enables detection of the uptake defect substantially better than the conventional scintigrams.

Verschluß oder perioperativen Infarkt geschlossen werden [29, 35].

Myokardinfarkt

Bei Patienten mit akutem Myokardinfarkt beträgt die Sensitivität der Thallium-Szintigraphie innerhalb der ersten sechs Stunden nach dem Schmerzereignis 100% [2, 39], so daß, nach diesen Angaben, ein negatives Thallium-Szintigramm in diesem Zeitraum einen akuten Myokardinfarkt ausschließt. Im weiteren zeitlichen Verlauf nach Infarktbeginn nimmt die Sensitivität auf etwa 75% ab [39]. Dies wird mit einem Rückgang der den Infarkt umgebenden Minderperfusion erklärt [39].

Die Sensitivität zum Nachweis abgelaufener Myokardinfarkte wird neben dem Schweregrad der Wandbewegungseinschränkung entscheidend von der Infarktausdehnung beeinflußt. Ausgedehnte Vorderwandinfarkte weisen, wie auch ausgedehnte Hinterwandinfarkte, in 95 bis 100% einen Speicherdefekt auf. Die Sensitivität bei nicht ausgedehnten Vorderwandinfarkten entspricht mit etwa 50% der bei nicht ausgedehnten Hinterwandinfarkten, so daß die Infarktlokalisation nahezu ohne Bedeutung für den Nachweis abgelaufener Myokardinfarkte ist [32]. Die Wertigkeit tomographischer Methoden zum Nachweis kleinerer Infarkte ist bislang nicht untersucht worden. Bei quantitativer Auswertung der konventionellen Szintigramme soll die Sensitivität zum Nachweis transmuraler Infarkte auch zwei Wochen nach dem Schmerzereignis höher sein als bei visueller Auswertung [14].

Aufgrund der bei zweidimensionaler Darstellung unvermeidlichen Überlagerung verschiedener Myokardbereiche kann bei nicht ausgedehnten Thallium-Speicherdefekten nicht auf die tatsächliche Infarktgröße rückgeschlossen werden [32]. Dies gelingt dagegen bei ausgedehnten Speicherdefekten, so daß in diesen Fällen Aussagen über die wahre Infarktgröße und Prognose möglich sind [7, 25, 32].

Eine Unterscheidung zwischen infarktbedingter Hypokinese und Akinese kann mittels quantitativer Bestimmung der Thallium-Minderspeicherung im Infarktareal nicht getroffen werden [4]. Die szintigraphische Erfassung der ischämischen Bezirke ist bei Patienten mit abgelaufenem Myokardinfarkt und Angina pectoris problematisch [35]. Bei deutlicher räumlicher Trennung zwischen Infarkt- und Ischämiegebiet, wie bei Patienten mit Hinterwandinfarkt und Stenosen im Bereich des Ramus interventricularis anterior, kann die Ischämie im Anteroseptal-Bereich gut erfaßt werden [14].

Indikationen zur Thallium-201-Szintigraphie

Die Indikationen ergeben sich, unter Berücksichtigung von Sensitivität und Spezifität der Thallium-201-Szintigraphie, in Abhängigkeit von der Vortest-Wahrscheinlichkeit. Diese gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit vor der Durchführung der szintigraphischen Untersuchung eine koronare Herzerkrankung angenommen bzw. ausgeschlossen werden kann [10, 28] (Abbildung 1). Bei Patienten mit „mittlerer" Vortest-Wahrscheinlichkeit ist die Durchführung eines Thallium-Szintigramms indiziert, da bei diesen Patienten ein positives bzw. negatives Thallium-Szintigramm die Wahrscheinlichkeit des Vorliegens einer myokardialen Minderdurchblutung entscheidend erhöht bzw. vermindert (Abbildung 1). Eine „mittlere" Vortest-Wahrscheinlichkeit besteht bei Patienten mit atypischen Brustschmerzen, die eine Angina pectoris jedoch nicht ausschließen lassen, und/oder einem nicht eindeutig auf eine Ischämie hinweisenden oder eingeschränkt beurteilbaren Belastungs-EKG, z.B. Schenkelblock, Schrittmacherrhythmus oder WPW-Syndrom, besonders in Verbindung mit nachgewiesenem Koronarkalk und/oder Risikofaktoren. Gleiches gilt für Patienten mit eindeutig positivem Belastungs-EKG ohne Symptomatik.

Bei Patienten mit „sehr hoher" Vortest-Wahrscheinlichkeit, z.B. bei Vorliegen einer typischen Angina pectoris mit eindeutig pathologischem Belastungs-EKG, erbringt die Thallium-201-Szintigraphie keine wesentliche zusätzliche diagnostische Information bezüglich des Vorliegens einer koronaren Herzerkrankung.

Bei Patienten mit „sehr niedriger" Vortest-Wahrscheinlichkeit, d.h. bei jungen Patienten mit völlig untypischen Brustschmerzen, unauffälligem Belastungs-EKG ohne Nachweis von Risikofaktoren, besitzt ein grenzwertig pathologisches Thallium-Szintigramm keine Aussagekraft, da es die Wahrscheinlichkeit einer koronaren Herzerkrankung nur unwesentlich verändert (Abbildung 1).

Ein eindeutig pathologisches Thallium-Szintigramm ist, unabhängig von der Vortest-Wahrscheinlichkeit, mit Sicherheit Ausdruck einer myokardialen Minderdurchblutung [33] (Abbildung 1). Da das Vorkommen einer koronaren Herzerkrankung in der Patientengruppe mit „sehr niedriger" Vortest-Wahrscheinlichkeit sehr selten ist, steht der diagnostische Gewinn der Thallium-201-Szintigraphie in keinem Verhältnis zu den relativ hohen Kosten der Untersuchung.

Eine Berechnung der Vortest-Wahrscheinlichkeit für den einzelnen Patienten ist in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht, Symptomatik und Risikofaktoren anhand epidemiologischer Untersuchungen in Kombination mit den Ergebnissen anderer, der Thallium-Szintigraphie vorausgehender, nichtinvasiver Untersuchungsmethoden möglich [10].

Zum Nachweis eines akuten Myokardinfarkts ist die Anwendung der Thallium-201-Szintigraphie sinnvoll, sofern kein Anhalt für einen bereits vorausgegangenen Infarkt vorliegt. Bei elektrokardiographisch und enzymatisch gesichertem Infarkt kann die Thallium-201-Szintigraphie zusätzliche Information zur Beurteilung der Infarktgröße erbringen.

Zum Nachweis eines abgelaufenen Infarkts ist die Durchführung eines Thallium-201-Szintigramms nicht indiziert, wenn eine Infarktanamnese ohne eindeutiges Infarkt-EKG besteht, da diese Infarkte in der Regel zu klein sind, um mit den konventionellen szintigraphischen Methoden zumindest bei qualitativer Auswertung nachweisbar zu sein.

Bei Patienten mit einer Ein-Gefäß-Erkrankung und 50- bis 75%igen Koronararterienstenosen ist ein Thallium-201-Szintigramm indiziert, wenn die hämodynamische Wirksamkeit dieser Stenose unter Belastungsbedingungen überprüft werden soll.

Zur Beurteilung des Ergebnisses einer koronaren Bypass-Operation kann die Thallium-201-Szintigraphie angewandt werden. Ihre Aussagekraft ist besonders hoch, wenn präoperative Szintigramme zum Vergleich vorliegen.

Literatur

1. Berger, B.C., D.D. Watson, L.R. Burwell, I.K. Crosby, H.A. Wellons, C.D. Teates, G.A. Beller: Redistribution of thallium at rest in patients with stable and unstable angina and the effect of coronary artery bypass surgery. Circulation 60 (1979), 1114.
2. Berger, H.J., A. Gottschalk, B.L. Zaret: Dual radionuclide study of acute myocardial infarction. Ann. intern. Med. 88 (1978), 145.
3. Botvinick, F.H., M.R. Taradash, D.M. Shames, W.W. Parmley: Thallium-201 myocardial perfusion scintigraphy for the clinical clarification of normal, abnormal and equivocal electrocardiographic stress tests. Amer. J. Cardiol. 41 (1978), 43.
4. Büll, U., B.E. Strauer, H.P. Niendorf: Correlation of degree of LAD-stenosis, myocardial motion and myocardial function with the regional thallium-201 uptake evaluated by a scintimetric method. Herz 2 (1977), 138.
5. Büll, U., B.E. Strauer, J. Witte: Segmental analysis of Tl-201 stress myocardial scintigraphy: The problem of using uniform normal values of Tl-201 myocardial uptake. J. nucl. Med. 18 (1978), 1240.
6. Bulkley, B.H., J.R. Rouleau, J.Q. Whitaker, W.H. Strauss, B. Pitt: The use of 201-thallium for myocardial perfusion imaging in sarcoid heart disease. Chest 72 (1977), 27.

7. Bulkley, B.H., K. Silverman, M. Weisfeldt, R. Burow, M. Poud, L.C. Becker: Pathologic basis of thallium-201 scintigraphic defects in patients with fatal myocardial injury. Circulation 60 (1979), 785.
8. Cook, D.J., I. Bailey, H.W. Strauss, J. Rouleau, H.N. Wagner jr., B. Pitt: Thallium-201 for myocardial imaging: Appearance of the normal heart. J. nucl. Med. 17 (1976), 583.
9. Dash, H., B.M. Massie, E.H. Botvinick, B.H. Brundage: The noninvasive identification of left main and three-vessel coronary artery disease by myocardial stress perfusion scintigraphy and treadmill exercise electrocardiography. Circulation 60 (1079), 276.
10. Diamond, G.A., J.S. Forrester: Analysis of probability as an aid in the clinical diagnosis of coronary artery disease. New Engl. J. Med. 300 (1979), 1350.
11. Fleck, E., K.-L. Froer, M. Bierner, S. Silber, W. Rudolph: Diagnostisches und therapeutisches Vorgehen bei Patienten mit spontaner Angina pectoris. Herz 5 (1980), 1.
12. Fletcher, J.W., K.E. Walter, K.F. Witztum, J.L. Daly, F.K. Herbig, H.S. Mueller, R.M. Donati: Diagnosis of coronary artery disease with 201-thallium. Radiology 128 (1978), 423.
13. Gaffney, F.A., A.J. Wohl, C.G. Blomqvist, R.W. Parkey, J.T. Willerson: Thallium-201 myocardial perfusion studies in patients with the mitral valve prolapse syndrome. Amer. J. Med. 64 (1978), 21.
14. Gibson, R.S., G.J. Taylor, D.D. Watson, B.C. Berger, G.A. Beller: Thallium-201 imaging in inferior myocardial infarction: detection of associated left anterior descending coronary artery disease. Clin. Res. 27 (1979), 169A.
15. Gould, K.L.: Noninvasive assessment of coronary stenoses by myocardial perfusion imaging during pharmacologic vasodilatation. Amer. J. Cardiol. 41 (1978), 267.
16. Hamilton, G.W., B. Trobaugh, J.L. Ritchie, K.L. Gould: Myocardial imaging at rest and during exercise. Herz 2 (1977), 146.
17. Hirzel, H.O., K. Nuesch, H.P. Krayenbühl, G. Sialer, W. Horst: Thallium-201-Myokardszintigraphie. Aussagekraft und Stellenwert in der Diagnostik der koronaren Herzkrankheit. Schweiz. med. Wschr. 109 (1979), 1641.
18. Janowitz, W.R., D.D. Watson, A.N. Serafini: Myocardial imaging with Tl-201. In: Serafini, A.N., et al.: Nuclear cardiology, principles and methods. Plenum Medical Book Co., New York–London 1977, p. 145.
19. Lenaers, A., P. Block, E. van Thiel, M. Lebedelle, P. Becquevort, F. Erbsmann, A. Ermans: Segmental analysis of TL-201 stress myocardial scintigraphy. J. nucl. Med. 18 (1977), 509.
20. Lösse, B., J. Krönert, B. Rafflenbeul, L.E. Feinendegen, F. Loogen: Empfindlichkeit und Treffsicherheit der Thallium-201-Myokardszintigraphie bei der Diagnostik der koronaren Herzkrankheit und bei Myokardschäden anderer Ursache. Z. Kardiol. 68 (1979), 429.
21. Lösse, B., H. Kuhn, H. Krönert, D. Rafflenbeul, L.E. Feinendegen, F. Loogen: Exercise thallium-201 myocardial perfusion imaging in patients with normal coronary angiogram and ventriculogram. Circulation 59/60 (1979), II–148.
22. Maseri, A., O. Parodi, S. Severi, A. Pesala: Transient transmural reduction of myocardial blood flow, demonstrated by thallium-201 scintigraphy as a cause of variant angina. Circulation 94 (1976), 280.
23. McKillop, J.H., R.G. Murray, J.G. Turner, R.G. Bessent, A.R. Loyimer, W.R. Greig: Can the extent of coronary artery disease be predicted from thallium-201 myocardial images? J. nucl. Med. 20 (1979), 715.
24. McKillop, J.H., J.G. Turner, H.W. Gray, R.G. Bessent, W.R. Greig: Clinical value of delayed thallium-201 myocardial imaging and suspected acute myocardial infarction. Brit. Heart J. 40 (1978), 870.
25. Niess, G.S., J.R. Logic, R.O. Russel, C.E. Rackley, W.J. Rogers: Usefulness and limitations of thallium-201 myocardial scintigraphy in delineating location and size of prior myocardial infarction. Circulation 59 (1979), 1010.
26. Pachinger, O., W. Ogris, H. Sochor, P. Probst, H. Zasmeta, F. Kaindl: Radionuclide assessment of cardiac performance and myocardial perfusion in congestive cardiomyopathies. Clin. Cardiol. 2 (1979), 264.
27. Pohost, G.M., L.M., Zir, R.H. Moore, K.A. McKusick, T.E. Guiney, G.A. Beller: Differentiation of transiently ischemic from infarcted myocardium by serial imaging after a single dose of thallium-201. Circulation 55 (1977), 294.
28. Rifkin, R.D., W.B. Hood: Bayesian analysis of electrocardiographic exercise stress testing. New Engl. J. Med. 297 (1977), 681.
29. Ritchie, J.L., K.A. Narahara, G.B. Trobaugh, D.L. Williams, G.W. Hamilton: Thallium-201 myocardial imaging before and after coronary revascularization: Assessment of regional myocardial blood flow and graft patency. Circulation 56 (1977), 830.
30. Sauer, E., H. Sebening, J. Dressler, L. Lutilsky, K. Ulm, G. Hör, H.W. Pabst, H. Blömer: Thallium-201-Serienmyokardszintigraphie bei koronarer Herzkrankheit. Vergleich mit der Elektrokardiographie und Koronarangiographie. Z. Kardiol. 68 (1979), 454.
31. Schelbert, H.R., G. Schuler, W.L. Ashburn, J.W. Covell: Course of "redistribution" of thallium-201 administered during transient ischemia. Europ. J. nucl. Med. 4 (1979), 351.
32. Silber, S., E. Fleck, M. Bierner, U. Klein, W. Rudolph: Szintigraphischer Nachweis abgelaufener transmuraler Myokardinfarkte mit 201-Thallium. Einfluß von Lokalisation, Ausdehnung und Schweregrad der linksventrikulären Wandbewegungseinschränkung. Herz 4 (1979), 428.
33. Silber, S., E. Fleck, U. Klein, W. Rudolph: Wertigkeit der Thallium-201-Belastungsszintigraphie im Vergleich zur Belastungselektrokardiographie bei Patienten mit koronarer Herzerkrankung ohne Myokardinfarkt. Herz 4 (1979), 359.
34. Silber, S., U. Klein, L. Goppel, H. Rinke, M. Weber, W. Rudolph: Thallium-201 myocardial imaging in patients with hypertrophic cardiomyopathy and with right ventricular overload. Herz 2 (1977), 176.
35. Silber, S., M. Schwaiger, E. Fleck, U. Klein, W. Rudolph: Beurteilung des Ergebnisses einer koronaren Bypass-Operation mittels 201-Thallium-Szintigraphie. Z. Kardiol. 68 (1979), 630.
36. Strauss, H.W., K. Harrison, J.K. Langan, E. Lebowitz, B. Pitt: Thallium-201 for myocardial imaging. Relation of thallium-201 to regional perfusion. Circulation 51 (1975), 641.
37. Turner, D.A., W.E. Battle, H. Deshmukh, M.A. Colandrea, G.L. Snyder, E.W. Fordham, J.W. Messer: The predictive value of myocardial perfusion scintigraphy after stress in patients without previous myocardial infarction. J. nucl. Med. 19 (1978), 249.
38. Vogel, R.A., D.L. Kirch, M.T. LeFree, J.O. Rainwater, D.P. Jensen, P.P. Steele: Thallium-201 myocardial perfusion scintigraphy: Results of standard and multi-pinhole tomographic techniques. Amer. J. Cardiol. 43 (1979), 787.
39. Wackers, F.J.Th., K.I. Lie, E.B. Sokole, J. Res., J.B. van der Schoot, D. Durrer: Prevalence of right ventricular involvement in inferior wall infarction assessed with myocardial imaging with thallium-201 and technetium-99m-pyrophosphate. Amer. J. Cardiol. 42 (1978), 358.
40. Watson, D.D., G.A. Beller, J.F. Irving, C.D. Teates: A kinetik model for thallium myocardial redistribution. J. nucl. Med. 19 (1978), 680.
41. Weich, H., H.W. Strauss, B. Pitt: The extraction of thallium-201 by the myocardium. Circulation 56 (1977), 188.

Für die Verfasser: Prof. Dr. Werner Rudolph, Direktor der Klinik für Herz- und Kreislauferkrankungen, Deutsches Herzzentrum, Lothstraße 11, D-8000 München 2.