

Leitlinien für den Einsatz der Computertomographie
in der Diagnostik des Herzens und der großen thorakalen Gefäße*

- A Beschreibung der Untersuchungstechniken
 - 1 Technische Grundlagen
 - 2 CT-Morphologie
 - 3 CT-Funktionsdiagnostik
 - 4 CT-Koronarkalkquantifizierung
 - 5 CT-Koronarangiographie
 - 6 CT-Angiographie der großen thorakalen Gefäße

- B Bewertung der verschiedenen Untersuchungstechniken
 - 1 Klinischer Nutzen in mehreren großen Patientenstudien erwiesen
 - 2 Klinischer Nutzen in einzelnen Patientenstudien erwiesen
 - 3 In wissenschaftlicher Erprobung

- C Bewertung der zu verwendenden Untersuchungstechniken bei verschiedenen Erkrankungen (I-IV/Inv wie "TASK Force on Assessment of Diagnostic and Therapeutic Cardiovascular Procedures")
 - I Klinisch relevante Information, üblicherweise eingesetzt, Methode der 1. Wahl
 - II Klinisch relevante Information, häufig eingesetzt, gleiche Information kann auch durch andere bildgebende Verfahren erzielt werden
 - III Klinisch relevante Information möglich, weniger häufig eingesetzt, da die gleiche Information durch andere bildgebende Verfahren ausreichend erzielt wird
 - IV Keine klinisch relevante Information
 - Inv Wahrscheinlich klinisch relevante Information, noch in Erforschung (Investigation)

*verabschiedet auf der Mitgliederversammlung der AG Herzdiagnostik der Deutschen Röntgengesellschaft am 19.5.04 in Wiesbaden

A Beschreibung der Untersuchungsmethoden

1 Technische Grundlagen

1.1 Herz

- Ein CT Scanner muss die räumliche und zeitliche Auflösung haben, um das Herz ohne Bewegungsartefakte soweit darzustellen, dass die relevanten anatomischen Details und Befunde dokumentiert werden können.
- Zur Durchführung von CT-Untersuchungen des Herzens muss obligat ein EKG-gesteuerter Aufnahmemodus am Untersuchungsgerät vorhanden sein. Nicht EKG-gesteuerte Aufnahmen des Herzens sind als obsolet anzusehen.
- Für die Durchführung kontrastverstärkter CT-Aufnahmen ist die Verwendung eines automatischen Injektors obligat, mit dem eine Flussrate von mindestens 4 ml/s erreicht werden kann.
- Für die Bildgebung des Herzens darf die zeitliche Auflösung maximal 250 ms betragen. Bewegungsartefakte sind dabei bei normalen und höheren Herzraten zu erwarten und können in Abhängigkeit von der Fragestellung in Kauf genommen werden.
- Für die morphologische kontrastverstärkte Bildgebung der Koronararterien werden Aufnahmen in der Diastole angefertigt. Die notwendige zeitliche Auflösung muss entweder durch eine Patientenvorbereitung mittels Betablocker zur Frequenzreduzierung oder über segmentierte Rekonstruktionsverfahren erreicht werden.
- Das EKG Signal sowie der Zeitpunkt der Bilderstellung müssen nach Abschluss der Untersuchung dokumentiert und archiviert sein.

1.2 Große Gefäße

- Ein CT Scanner muss die räumliche Auflösung haben, die relevanten anatomischen Details und Befunde der Gefäßstrombahn darzustellen. Die Untersuchungsgeschwindigkeit muss eine Abbildung des gesamten Gefäßvolumens innerhalb eines Atemzuges ermöglichen.
- Eine EKG-Steuerung ist - außer für die Darstellung der Aortenwurzel - nicht erforderlich
- Für die Durchführung kontrastverstärkter CT-Aufnahmen ist ein automatischer Bolusinjektor obligat, mit dem eine Flussrate von mindestens 2ml/s erreicht werden kann.

2 CT-Morphologie

- Für die morphologische Untersuchung des Herzens in der CT sollten zur Verminderung von Artefakten die Aufnahmen mittels EKG-Triggerung bzw. EKG-Gating in der Diastole durchgeführt werden. Die zeitliche Auflösung pro Schicht darf höchstens 250 ms betragen.
- Die Schichtdicke für die axiale Einzelschicht sollte ≤ 5 mm sein. Für multiplanare Rekonstruktionen ist eine Schichtdicke $\leq 1,25$ mm notwendig. Die Untersuchung muss das gesamte Herz darstellen, bei kongenitalen Herzerkrankungen ist die Untersuchung vom Aortenbogen bis zum Diaphragma unter Einschluss des gesamten Herzens durchzuführen.

Herzmorphologie	
Untersuchungsvolumen	Gesamtes Herz, ggf. einschließlich herznaher Gefäße
Notwendige Ansichten/Ebenen	Axial (ggf. multiplanare Rekonstruktion)
Messparameter: Kollimation Schichtdicke FoV Matrix Bildaufnahme/-berechnung i.v. Kontrastmittel	≤ 1 mm $\leq 1,25$ mm für axiale Quellenbilder ≤ 5 mm für axiale Schichten bzw. multiplanare Rekonstruktionen Sternum bis Wirbelsäule ≥ 512 Diastolisch Obligat
Sonstiges:	
Auswertung:	Beurteilung von: Ventrikelkonfiguration Vorhofkonfiguration Lage und Konfiguration der Gefäße Konnektion der Herzhöhlen zueinander Konnektion der Gefäße zu Herzhöhlen

3 CT-Funktionsdiagnostik

- Für die Funktionsdiagnostik in der Computertomographie ist die Anpassung an die anatomischen Herzachsen zu fordern. Hierzu gehören die horizontale und vertikale lange Herzachse sowie die kurze Herzachse. Für valide Funktionsuntersuchungen des Herzens ist eine zeitliche Auflösung ≤ 50 ms notwendig, um eine zuverlässige Bestimmung kardialer Funktionsparameter zu ermöglichen. Die Validität geringerer zeitlicher Auflösungen (≥ 50 ms) für die CT-Funktionsanalyse des Herzens ist derzeit Gegenstand der Forschung.
- Wiederholte Strahlenexpositionen zur Aufnahme verschiedener Blickrichtungen (Herzachsen) sollten vermieden werden. Mit der Aufnahme von dreidimensionalen Datensätzen ist die Reformatierung der verschiedenen Herzachsen jederzeit möglich.
- Die Schichtdicke für Funktionsdatensätze sollte ≤ 8 mm sein.

Herzfunktion	
Untersuchungsvolumen	Rechter und linker Ventrikel, volumendeckend von der AV-Klappenebene zur Herzspitze
Notwendige Ansichten/Ebenen	4-Kammerblick, 2-Kammerblick, kurze Herzachse senkrecht zur Längsachse
Messparameter: Kollimation Schichtdicke FoV Matrix Bildaufnahme/-berechnung i.v. Kontrastmittel	≤ 1 mm $\leq 1,25$ mm für axiale Quellenbilder ≤ 8 mm in den entsprechenden Achsen Sternum bis Wirbelsäule ≥ 512 enddiastolisch und endsystolisch Obligat
Sonstiges:	EKG-Triggerung/Gating Zeitliche Auflösung ≤ 50 ms
Auswertung:	Mindestens Angabe von: Enddiastolisches Volumen (EDV) Endsystolisches Volumen (ESV) Schlagvolumen (SV) Auswurfraction (EF) Normierung der Werte auf die Körperoberfläche (Index)

4 CT-Koronarkalkquantifizierung

- Das gesamte Herz muss in einem Atemanhaltezyklus abgetastet werden.
- Der Kalibrierfaktor für die absolute Quantifizierung sollte mit einem Standardphantom ermittelt werden bei definierten Scan- und Auswerteparametern (HU/Pixelthreshold).
- Die Schichtdicke darf nicht mehr als 3 mm betragen, das Rauschen im Phantom nicht mehr als 25 HU, die Ortsauflösung in der Ebene mindestens 6 Linienpaare pro cm.
- Die Aufnahmen zur Quantifizierung müssen mit EKG-Triggerung bzw. EKG-Gating in der Diastole erfolgen und sollten keine Bewegungsartefakte haben. Retrospektives Gating und prospektive Triggerung sind für die Koronarkalkquantifizierung als gleichwertig anzusehen. Liegen dennoch Bewegungsartefakte vor, sollten die Bilder mit den geringsten Bewegungsartefakten für die Quantifizierung herangezogen werden. Eine Detektion und Quantifizierung von Koronarkalk muss mit einer zeitlichen Auflösung von maximal 250 ms erfolgen.
- Die Mindestnachweisgrenze von Koronarkalk sollte bei 1 mg liegen.
- Die effektive Dosis muss minimal sein.
- Bei der Auswertung muss mindestens ein Wert für die Quantität des Koronarkalks angegeben werden. Nach Möglichkeit sollte diese Angabe als Masse in mg erfolgen
- Für Verlaufsuntersuchungen darf die mittlere Variabilität zwischen zwei aufeinanderfolgenden Messungen nicht über 10% liegen

Koronarkalkquantifizierung	
Untersuchungsvolumen	Gesamtes Herz
Notwendige Ansichten/Ebenen	Transversal
Messparameter:	
Kollimation	≤ 3 mm
Schichtdicke	≤ 3 mm
FoV	Sternum bis Wirbelsäule
Matrix	≥ 512
Bildaufnahme/-berechnung i.v. Kontrastmittel	Diastole nicht erforderlich
Sonstiges:	EKG-Triggerung/Gating Phantomkalibrierung obligat (s.o.)
Auswertung:	Quantitative Angabe der Summe aller Koronarverkalkungen

5 CT-Koronarangiographie

- Eine homogene Kontrastierung der Koronargefäße und des Ventrikellumens von mindestens 200 HU sollte erreicht werden.
- Für die Bildgebung der Koronargefäße darf die zeitliche Auflösung maximal 250 ms betragen. Die notwendige zeitliche Auflösung muss entweder durch eine Patientenvorbereitung mittels Betablocker zur Frequenzreduzierung oder über segmentierte Rekonstruktionsverfahren erreicht werden.
- Die Schichtdicke sollte so dünn wie möglich gewählt werden, aber nicht größer als 3 mm sein. Die Akquisition/Rekonstruktion der Schichten sollte mit 50% Überlappung erfolgen.
- Das gesamte Koronargefäßsystem muss in einer Atemanhaltephase untersucht werden.
- Bestimmung der Kontrastmittel-Transitzeit mit Testbolus oder Bolus-Tracking ist erforderlich.
- Bei starken Verkalkungen oder höhergradigen Arrhythmien ist die Durchführung der CT-Koronarangiographie zur Stenosendiagnostik aufgrund der zu erwartenden Artefakte nicht sinnvoll.

CTA der Koronarien	
Untersuchungsvolumen	Gesamtes Herz
Notwendige Ansichten/Ebenen	Transversal und eine weitere Ebene
Messparameter: Kollimation Schichtdicke FoV Matrix Bildaufnahme/-berechnung i.v. Kontrastmittel	$\leq 1\text{ mm}$ $\leq 1,25\text{ mm}$ für axiale Quellenbilder $\leq 3\text{ mm}$ für Rekonstruktionen Sternum bis Wirbelsäule ≥ 512 diastolisch (ggf. abhängig von der darzustellenden Koronararterie) Obligat
Sonstiges:	EKG-Triggerung/Gating Bolusoptimierung (Testbolus oder Bolus-Tracking)
Auswertung:	Beurteilung der Koronararterien anhand eines Segmentmodells (AHA)

6 CT-Angiographie der großen thorakalen Gefäße

- Die CT-Angiographie der großen thorakalen Gefäße kann ohne EKG-Triggerung durchgeführt werden. Als Ausnahme ist die Beurteilung der Aortenwurzel zu nennen. Hier ist eine EKG-gesteuerte Aufnahme obligat.
- Die Aufnahme in Spiraltechnik ist obligat. Die Schichtdicke für die CT-Angiographie sollte bei ≤ 3 mm liegen.
- Zur Erreichung einer optimalen Kontrastierung ist eine angepaßte Kontrastmittelinjektion notwendig. Alternativ kann hier eine Testbolusinjektion oder ein Bolustracking verwendet werden. Das Enhancement im Gefäß sollte mindestens 200 HU erreichen.
- Bei der Durchführung einer thorakalen CT-Angiographie reicht der Aufnahmebereich vom Zwerchfell bis zu den supraaortalen Gefäßen.
- Bei der Fragestellung Aortendissektion ist die Untersuchung der gesamten Aorta anzustreben.
- Die Vena cava superior wird von den zuführenden Gefäßen bis zum rechten Vorhof mit einer Schichtdicke ≤ 5 mm in Spiraltechnik in einer venösen Spätphase untersucht.

CT Angiographie der großen thorakalen Gefäße	
Untersuchungsvolumen: Aorta thoracalis Arteria pulmonalis	Zwerchfell bis einschließlich supraaortale Gefäße Zwerchfell bis Lungenspitze Lungenembolie: Aortenbogen bis Facies diaphragmatica des Herzens als Mindestanforderung
Notwendige Ansichten/Ebenen	Transversal ggf. multiplanare Rekonstruktion (MPR)
Messparameter: Kollimation Schichtdicke FoV Matrix Bildaufnahme/-berechnung	≤ 3 mm ≤ 3 mm Angepasst an den Gefäßverlauf ≥ 512 EKG-gesteuerte Aufnahme nicht erforderlich, Ausnahme: Aortenwurzel diagnostik mit EKG-Triggerung/Gating
i.v. Kontrastmittel	Obligat

B. Bewertung der verschiedenen Untersuchungstechniken

- 1 Klinischer Nutzen in mehreren großen Patientenstudien erwiesen
- 2 Klinischer Nutzen in einzelnen Patientenstudien erwiesen
- 3 In wissenschaftlicher Erprobung

Score	1	2	3
CT-Morphologie		x	
CT-Funktionsdiagnostik			x
CT-Koronarkalkquantifizierung	x		
CT-Koronarangiographie		x	
CT-Angiographie der großen Gefäße	x		

C. Bewertung der zu verwendenden Untersuchungstechniken bei verschiedenen Erkrankungen

Kongenitale Herzerkrankungen

- Fusionsanomalien
- Gefäßanomalien
- Koronararterienanomalien
- Shuntvitien
- Herzklappenanomalien
- Postoperative Verlaufskontrollen

Koronare/Ischämische Herzerkrankung

- Primärdiagnostik der KHK
- Herzinfarkt akutes Stadium
- Herzinfarkt chronisches Stadium/Vitalität
- Z.n. interventioneller Therapie (z.B. Stent)
- Bypassdiagnostik

Erworbene Herzklappenerkrankungen

- Quantifizierung von Stenosen
- Quantifizierung von Insuffizienzen
- Paravalvulärer Abszeß
- Endokarditis

Primäre Kardiomyopathien

- Hypertrophe Kardiomyopathie (HCM)
- Dilatative Kardiomyopathie (DCM)
- Restriktive Kardiomyopathie
- Rechtsventrikuläre Dysplasie (ARVD)

Myokard-/Perikarderkrankungen

- Akute Perikarditis
- Perikarderguss
- Perikarditis constrictiva
- Sekundäre Kardiomyopathien/Speichererkrankungen
- Myokarditis/Sarkoidose

Raumforderungen

- Thromben
- Neubildungen

Große thorakale Gefäße

- Aorta thoracalis
 - Anomalie und kongenitale Erkrankungen
 - Dissektion
 - Intramurales Hämatom
 - Penetrierendes Aortenulcus
 - Aortitis

Arteria pulmonalis

- Lungenembolie
- Anomalie

Vv. cavae

- Thrombose/Kompression

Kongenitale Herzerkrankungen

	Fusionsanomalien	Gefäßanomalien	Koronararterienanomalien	Shuntvitien	Herzklappenanomalien	Postop. Verlaufskontrollen
CT-Morphologie	III	III	III	III	III	III
CT-Funktionsdiagnostik	III	III	IV	III	III	III
CT-Koronarangiographie	IV	IV	I	IV	IV	III
CT-Angiographie (große Gefäße)	III	II	IV	III	IV	II

Koronare/Ischämische Herzerkrankung

	V.a. KHK	Akuter Infarkt ≤ 3 Tage	Chronischer Infarkt/Vitalität	Z.n. Intervention	Z.n. Bypass-Operation
CT-Morphologie	IV	IV	III	III	III
CT-Funktionsdiagnostik	Inv	Inv	Inv	Inv	Inv
CT-Koronarkalkquantifizierung	III	IV	IV	IV	IV
CT-Koronarangiographie	Inv	Inv	Inv	Inv	I/Inv*

*I: Nachweis der Bypassdurchgängigkeit; Inv: Nachweis von Bypass-Stenosen

Erworbene Herzklappenerkrankungen

	Stenosen	Insuffizienz	Paravalvulärer Abszeß	Endokarditis
CT-Morphologie	III	IV	II	Inv
CT-Funktionsdiagnostik	III	IV	IV	IV
CT-Angiographie (große Gefäße)	III	III	IV	IV

Primäre Kardiomyopathien

	HCM	DCM	Restr. Kardiomyopathie	ARVD
CT-Morphologie	III	III	III	III
CT-Funktionsdiagnostik	III	III	III	Inv

Myokard-/Perikarderkrankungen

	Akute Perikarditis	Perikarderguss	Perikarditis constr.	Sek. Kardiomyopathien/Speicher-erkrankungen	Myokarditis/Sarkoidose
CT-Morphologie	III	III	I	III	IV
CT-Funktionsdiagnostik	III	III	III	IV	IV

Raumforderungen

	Thromben	Neubildungen
CT-Morphologie	II*	II
CT-Funktionsdiagnostik	Inv	Inv

*Beurteilung des rechten Vorhofs und des rechten Ventrikels teilweise limitiert durch Kontrastmitteleinstromartefakte

Große thorakale Gefäße

	Aorta thoracalis				
	Anomalie	Dissektion	Intramurales Hämatom	Penetrierendes Aortenulcus	Aortitis
CT-Angiographie	II	I	I	I	II

	Arteria pulmonalis		Vv. cavae
	Lungenembolie	Anomalie	Thrombose/ Kompression
CT-Angiographie	I	II	I