

73 Kardio-CT

Die Computertomografie des Herzens ist eine der Untersuchungen, bei der eine gute interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Kardiolog:in, Radiolog:in und MTR besonders wichtig ist. Denn sie bildet die Basis für langfristig gute Untersuchungsergebnisse. Jeder dieser drei Hauptpersonen hat zu unterschiedlichen Zeiten der Herz-CT-Untersuchung eine wichtige Rolle zu spielen.

Der Kardiologe, bei dem sich die Patient:innen mit z. B. Thoraxschmerz vorstellen, ist verantwortlich für die gründliche Basisdiagnostik. Doch nicht immer bieten diese Vortests klare Hinweise auf die Ursachen der Beschwerden. In manchen Fällen gibt es widersprüchliche Ergebnisse, die der Kardiologin eine klare und zielgerichtete Behandlung der Patient:innen erschweren. Um sich mehr Gewissheit zu verschaffen, sind Kardiolog:innen dann auf weiterführende Diagnostik angewiesen. Dazu zählen z. B. MRT, PET, SPECT, Myokardszintigrafie und – last but not least – die Computertomografie des Herzens.

Speziell die Kardio-CT ist in diesen Fällen ein wichtiger Wegweiser für das auf die Patient:innen individuell angepasste weitere therapeutische Vorgehen. Insbesondere Patient:innen mit einem Verdacht auf koronare Herzerkrankung (Erkrankung der Herzkranzgefäße) und einer durch die Vortests ermittelten „mittleren Prätestwahrscheinlichkeit“ sind die optimale Patient:innen für die Computertomografie des Herzens. Gut durchgeführt ermöglicht die CT eine sehr präzise Aussage darüber, ob eine koronare Herzerkrankung vorliegt oder nicht.

Der negativ prädiktive Wert der Kardio-CT für den Ausschluss einer KHK liegt bei 95–99%. Dies bedeutet, dass bei Patient:innen, bei denen die Kardio-CT-Untersuchung keine Veränderungen an den Koronargefäßen zeigt, auch die Wahrscheinlichkeit einer vorliegenden KHK sehr unwahrscheinlich ist.

Voraussetzung dafür sind korrekt und qualitativ hochwertig durchgeführte Kardio-CT-Untersuchungen. Diese hochwertige Untersuchungsqualität lässt sich am ehesten erreichen, wenn Kardiolog:in, Radiolog:in und MTR genau wissen, was sie tun und reibungslos zusammenarbeiten.

Für die Durchführung der Herz-CT ist ein leistungsfähiger Computertomograf die Grundvoraus-

setzung. Computertomografen mit 64 Detektorzeilen und mehr, in Verbindung mit Rotationszeiten von 0,35 s pro Rotation oder schneller, bieten gute Voraussetzungen für die Kardio-CT. Nach meiner Erfahrung können jedoch auch mit Herz-CT-fähigen 32-Zeilen-CTs – z. B. dem Siemens Definition AS – in Kombination mit einer Rotationszeit von 0,33 s sehr gute Herz-CT-Untersuchungen mit exzellenter Ergebnisqualität erzielt werden.

Den Weg zu einer gelungenen Herz-CT-Untersuchung kann man in 10 Schritte unterteilen. Diese Schritte sind aus meiner Sicht grundlegend und sehr wichtig. Übergeht oder missachtet man einen dieser Schritte, ist die Wahrscheinlichkeit sehr groß, dass die Untersuchungsqualität nicht befriedigend ausfällt. Ich empfehle daher, sich an die Struktur dieser zehn Schritte für die erfolgreiche Herz-CT-Untersuchung zu halten.

73.1 Indikationen

Bereits die Indikationsstellung und die Auswahl der Patient:innen kann über das Gelingen der Untersuchung entscheiden. Daher ist es wichtig, dass alle Beteiligten die Einsatzgebiete, Möglichkeiten und auch die Limitationen der Kardio-CT gut kennen. Denn nicht jede Person ist für die Herz-CT-Untersuchung gleich gut geeignet. Die wichtigste und häufigste Indikation für die Herz-CT-Bildgebung ist der Verdacht auf eine koronare Herzerkrankung (KHK) bei intermediärer Wahrscheinlichkeit für eine KHK.

Für die Herz-CT-Bildgebung ist es wichtig, das Konzept der Prätestwahrscheinlichkeit in seinen Grundzügen zu verstehen. Stellen Sie sich vor, dass sich eine Person mit Thoraxschmerz und Verdacht auf KHK in der Kardiologie vorstellt. Dann wird diese zunächst einer umfassenden Basisdiagnostik (Vor-/Prätests) unterzogen. Anhand dieser Prätests wird versucht, das KHK-Risikoprofil zu ermitteln. Das Risiko der Person für das Vorliegen einer koronaren Herzerkrankung wird daraufhin in drei Gruppen unterteilt:

- geringe Prätestwahrscheinlichkeit
- mittlere Prätestwahrscheinlichkeit
- hohe Prätestwahrscheinlichkeit

► **Hohe Prätestwahrscheinlichkeit.** Bei Patient:innen mit einer hohen Prätestwahrscheinlichkeit liegt mit einer sehr hohen Wahrscheinlichkeit eine KHK vor. Da in diesem Fall ein schnelles Handeln wichtig ist, werden diese Patient:innen im Allgemeinen möglichst schnell einer invasiven Therapie (z. B. Herzkatheter-Angiografie) zugeführt. Bei der Herzkatheter-Angiografie können z. B. die bestehenden Stenosen gleich zielgerichtet therapiert werden (Dilatation und Stents). Diese Patient:innen würden von einer Kardio-CT nicht profitieren.

► **Geringe Prätestwahrscheinlichkeit.** Bei Patient:innen mit geringer KHK-Prätestwahrscheinlichkeit ist das Vorliegen einer koronaren Herzkrankung sehr unwahrscheinlich. Bei diesen wird nach anderen Ursachen für die Symptome gesucht und diese behandelt. Auch diese Patient:innen profitieren nicht von der Kardio-CT.

► **Mittlere Prätestwahrscheinlichkeit.** Bei Patient:innen mit mittlerer KHK-Prätestwahrscheinlichkeit ist es nicht klar, ob eine KHK vorliegt. Die Definition einer sinnvollen Therapie ist daher zunächst oft nicht oder nur eingeschränkt möglich. Diese Patient:innen profitieren in der Regel nicht alle von einer Herzkatheter-Angiografie. Diese wäre primär rein diagnostisch und aufgrund ihrer Invasivität mit einem gewissen Risiko verbunden. Herzkatheter-Angiografien sollten daher primär bei den Patient:innen zum Einsatz kommen, bei denen auch klar ist, dass im Zuge der Untersuchung auch gleich therapeutisch vorgegangen wird. Bei dieser Gruppe, die einen signifikanten Teil aller Patient:innen mit Thoraxschmerz ausmacht, dient der Einsatz der Kardio-CT als wegweisende Untersuchung.

Neben dem Ausschluss der koronaren Herzkrankung bei symptomatischen Patient:innen mit mittlerer Prätestwahrscheinlichkeit gibt es folgende weitere Indikationen für die Kardio-CT:

- wenn der Ischämietest nicht durchführbar, nicht eindeutig oder widersprüchlich zur Klinik ist
- Patient:innen mit Verdacht auf KHK bei mehrdeutigem und unklarem Stress-Test
- Patient:innen mit akutem Thoraxschmerz bei gleichzeitig unauffälligen EKG und positiven Enzymen

- Verlaufskontrolle bei symptomatische Patient:innen nach koronarer Bypass-Operation
- Ausschluss und/oder Darstellung von Anomalien der Koronargefäße
- Darstellung der Anatomie der Pulmonalvenen und des linken Vorhofs (vor oder nach elektrophysiologischer Intervention); hierfür ist eine EKG-getriggerte Akquisition nicht notwendig
- Bypässe (Bypass-Offenheit)
- Analyse der globalen und regionalen kardialen sowie Klappenfunktion (wenn in MRT und im Ultraschall nicht möglich)
- vor und nach Aortenklappenersatz (TAVI-CT)

Für einen vollständigen Überblick über die Indikationen für die Herz-CT-Bildgebung empfehle ich die Konsensuspapiere der Fachgesellschaften. Zum Beispiel:

- Konsensusempfehlungen der DRG/DGK/DGPK zum Einsatz der Herzbildgebung mit Computertomographie und Magnetresonanztomographie
- Clinical Applications of Cardiac Computed Tomography: a Consensus Paper of the European Association of Cardiovascular Imaging – Part I and II
- SCCT 2021 Expert Consensus Document on Coronary Computed Tomographic Angiography: A Report of the Society of Cardiovascular Computed Tomography

Das Ziel der Kardio-CT ist es, den Anteil an rein diagnostischen Herzkatheter-Angiografie-Untersuchungen so weit wie möglich zu reduzieren.

Im Gegensatz zur Herzkatheter-Angiografie kann die Computertomografie nicht nur das Gefäßlumen, sondern auch die Strukturen in der Gefäßwand und außerhalb des Gefäßes darstellen. So können intra- und extravaskuläre Veränderungen gut dargestellt werden. Darüber hinaus lassen sich auch Plaques in ihren unterschiedlichen Stadien und Zusammensetzungen gut darstellen.

73.2 Kontraindikationen

Selbstverständlich gibt es auch Kontraindikationen für die Kardio-CT. Dazu zählen zum einen die klassischen Kontraindikationen der Computertomografie:

- Schwangerschaft
- Kontrastmittelunverträglichkeit
- Niereninsuffizienz
- medikamentöse Therapie mit Metformin bei $\text{GFR} < 30 \text{ ml/min/m}^2$ (laut ESUR 10.0)

Zusätzlich gibt es weitere mögliche Kontraindikationen für die Kardio-CT-Angiografie:

- hohe Herzfrequenz
- Arrhythmie oder Extrasystole
- Adipositas
- stark verkalkte Koronargefäße
 - Derzeit geht man davon aus, dass Kalziumwerte > 1000 eine genaue Interpretation der CTA verhindern.
 - Ein vernünftiger Ansatz legt jedoch nahe, dass es keine absolute Obergrenze gibt, die für alle Patient:innen und bildgebenden Zentren gilt.
 - In vielen Instituten haben sich jedoch folgende „Grenzen“ bewährt:
 - Agatston-Score bis 400 bei Herzfrequenzen über 65 Schlägen pro Minute
 - Agatston-Score bis 800 bei Herzfrequenzen unter 65 Schlägen pro Minute
- Arrhythmie, Extrasystole und hohe Herzfrequenz sind speziell für Wide-Volume-CT-Scanner mit einer Detektorbreite von z. B. 16 cm keine Kontraindikation bzw. nur noch eine eingeschränkte Kontraindikation.

73.3 Vorbereitung

Nachdem die Indikationen für die Kardio-CT gestellt wurden, folgt nun der nächste wichtige Schritt – die Vorbereitung. Diese lässt sich unterteilen in:

- organisatorische Vorbereitung
- Vorbereitung der zu untersuchenden Person
- CT-Raum-Organisation

73.3.1 Organisatorische Vorbereitung

Kardio-CT Untersuchungen sollten reibungslos, in Ruhe und stressfrei durchgeführt werden können. Die zu untersuchende Person spürt unbewusst, ob die/der MTR/MFA gestresst ist. Diese Unruhe überträgt sich dann auch auf die zu untersuchende Person und führt wahrscheinlich dazu, dass er sich nicht so entspannen kann, wie es für eine Kardio-CT Untersuchung sinnvoll wäre. Gleichzeitig kann die Herzfrequenz der zu untersuchenden Person deutlich unruhiger werden und schwanken. Planen Sie daher bereits bei der Terminplanung genügend Zeit ein.

- Definieren Sie feste Kardio-CT-Zeitslots oder gar Kardio-CT-Tage/-Nachmittage.
- Planen sie genug Zeit für die einzelne Kardio-CT-Untersuchung ein.
- Zum Zeitpunkt der Untersuchung sollte sichergestellt werden, dass alle Beteiligten anwesend sind (Kardiolog:in, Radiolog:in, MTR/MFA und natürlich die zu untersuchende Person)

73.3.2 Vorbereitung der zu untersuchenden Person

Eine Kardio-CT-Untersuchung erfordert eine präzise und umfassende Vorbereitung der zu untersuchenden Person. Speziell die ambulanten Patient:innen sollten früh genug vor der Untersuchung einbestellt werden. Denn bevor die zu untersuchende Person zum CT kommt, hat sie einige wichtige Stationen zu durchlaufen.

- am Untersuchungstag bzw. 4 Stunden vor der Untersuchung kein Konsum von Kaffee, schwarzem Tee, Cola, Energydrinks, Nikotin etc.
- umfassende ärztliche Aufklärung der zu untersuchenden Person über den gesamten Ablauf der Untersuchung und natürlich die damit verbundenen Risiken
- Herzfrequenz messen:
 - Wenn die Herzfrequenz über 65 Schläge pro Minute liegen sollte, empfiehlt sich die Gabe oraler Betablocker 1–1,5 Stunden vor der Untersuchung.
 - Alternativ kann die Herzfrequenz auch mithilfe der Gabe von intravenösen Betablockern reduziert werden.

- Blutdruck messen: Bei systolischem Blutdruck < 100 mmHg darf kein Nitroglycerin bei der Kardio-CTA verabreicht werden.
- venösen Zugang legen (grüne Verweilkanüle) – wenn möglich rechts kubital. Dies ist bei Untersuchungen von Mammaria-Bypässen (RIMA- und/oder LIMA-Bypässen) besonders empfehlenswert, um störende Einstrom-Artefakte zu verhindern

Tipp



Folgender Workflow für eine optimale Patientenvorbereitung hat sich bewährt:

- Ankunft des Patienten
- Überprüfung der Herzfrequenz und des Blutdrucks
- Bei einer Herzfrequenz unter 60 bpm → Patienten untersuchen
- Bei einer Herzfrequenz über 60 (65) bpm → gewichtsabhängige orale Gabe von Metoprolol
- Bis 80 kg: 50 mg Metoprolol
- Ab 81 kg: 100 mg Metoprolol
- Eine Wartezeit von 60 bis 75 Minuten einhalten, um die optimale Wirkung zu gewährleisten (Wecker stellen)
- Durchführung einer Herz-CT-Untersuchung
- Falls die Herzfrequenz mit oralem Betablocker nicht gesenkt werden kann:
 - i.v. Gabe von Metoprolol
 - Wenn weiterhin erfolglos: „Ca-Score geht immer !!!“

Hilfreich kann es sein, wenn Sie in ihrem Institut einen Laufzettel entwerfen, mit dem die zu untersuchende Person alle Stationen vor der Untersuchung durchläuft.

Das primäre Ziel sollte stets sein, dass die zu untersuchende Person möglichst entspannt bei der Kardio-CT-Untersuchung ankommt.

In der heutigen Zeit ist es vielleicht auch sinnvoll, die Patient:innen darum zu bitten, die mobile Kommunikation für den Zeitraum der Vorbereitung und der Untersuchung einzustellen. Denn alle Vorbereitungen haben das Ziel, eine möglichst niedrige und konstante Herzfrequenz der zu untersuchenden Person zu erreichen, da dies eine

Grundvoraussetzung für eine gelungene Kardio-CT-Untersuchung ist.

Wenn sich beim Messen der Herzfrequenz oder auf dem EKG zeigt, dass die zu untersuchende Person eine unregelmäßige Herzfrequenz hat, sollte der Abbruch der Untersuchung erwogen werden (abhängig von dem CT-Scanner). Kardio-CT-Scanner, die das Herz über mehrere Herzschläge abtasten, sind in der Regel für Patient:innen mit unregelmäßigen Herzfrequenzen nur eingeschränkt geeignet. Die Wahrscheinlichkeit, dass die Ergebnisqualität unzureichend ausfällt, ist bei Patient:innen mit einer unregelmäßigen Herzfrequenz erhöht.

73.3.3 CT-Raum-Organisation

Wenn die zu untersuchende Person nach all den beschriebenen Vorbereitungen im CT-Raum angekommen ist, sollte sie eine ruhige, freundliche und entspannte Atmosphäre vorfinden, damit sie sich wohlfühlt.

► Vorbereitung im CT-Raum:

- Sind Sie freundlich und zuvorkommend zu der zu untersuchenden Person.
- Minimieren Sie Störquellen (Telefon etc.).
- Sorgen Sie für eine ruhige und entspannte Atmosphäre.
- Lagern Sie die zu untersuchende Person warm und bequem.
- Es sollten so wenige Personen wie möglich im CT-Raum sein.
- Jeder Schritt sollte der zu untersuchenden Person ruhig und verständlich erklärt werden.
- Stellen Sie sicher, dass die zu untersuchenden Person alles verstanden hat und über den Ablauf der Untersuchung möglichst gut und umfassend Bescheid weiß.

► **Lagerung der zu untersuchenden Person.** Bevor sich die zu untersuchende Person auf den Tisch legt, sollte sie auf der Toilette die Blase entleeren.

Metallische Gegenstände im Hals und Brustbereich (z. B. Halsketten und Piercings) müssen für die Kardio-CT-Untersuchung abgelegt werden.

Lagern Sie die zu untersuchende Person bequem, denn nur dann kann sie sich bestmöglich entspannen. Unterpolstern sie z. B. die Knie und decken sie mit einer Decke zu.

Für die Kardio-CT-Untersuchung ist es notwendig, dass die zu untersuchende Person während der Untersuchungsdurchführung die Arme über dem Kopf lagert. Sorgen Sie auch hierbei für bestmögliche Bequemlichkeit.

Es ist vorteilhaft (aber nicht verpflichtend), wenn Sie die zu untersuchende Person möglichst so positionieren, dass ihr Herz im Isozentrum der CT-Gantry liegt. Die zu untersuchende Person sollte daher, wenn möglich, leicht auf dem Tisch nach rechts verschoben werden. Je nachdem, wie tief die Mulde des CT-Tischs des CTs ist, gelingt das Verschieben der zu untersuchende Person besser oder schlechter. Wenn das CT über eine laterale Tischverschiebung verfügt, sollte Sie diese nutzen, um das Herz der zu untersuchende Person isozentrisch zu positionieren. Wählen Sie die Tischhöhe so, dass der seitliche Laser auf Höhe Herzmitte liegt.

73.4 EKG

Für die Kardio-CT sind die R-Zacken im EKG das Wichtigste. Egal ob für die Akquisition oder die Rekonstruktionen – das CT orientiert sich stets an den R-Zacken.

Die Strecke zwischen zwei R-Zacken wird als R-R-Intervall bezeichnet (► Abb. 73.1). Je nach Herzfrequenz ist dies unterschiedlich lang.

Die Aufteilung des R-R-Intervalls kann auf zweierlei Arten geschehen (► Abb. 73.2):

- relativ: in Prozent-Einteilung: 0–100% (► Abb. 73.2a)
- absolut: in Millisekunden (z. B. 0–1000 ms bei einer Herzfrequenz von 60 BPM; ► Abb. 73.2b)

Während eines Herzschlags kommt es zum einen zu einer maximalen Kontraktion des Herzens (Systole) und zum anderen zu einer Entspannung (Diastole; ► Abb. 73.3).

- Systole ca. bei 30% R-R-Intervall: Zustand der maximalen Kontraktion des Herzens
- Diastole ca. bei 70–80% R-R-Intervall: Zustand der maximale Entspannung und Ruhe des Herzens

Das EKG ist einer der wichtigsten Bestandteile einer Kardio-CT-Untersuchung. Anhand des EKGs wird die Untersuchung gesteuert. Das EKG der zu untersuchenden Person entscheidet unter anderem maßgeblich über die verwendete Scantechnik,



Abb. 73.1 Bildliche Darstellung eines R-R-Intervalls.

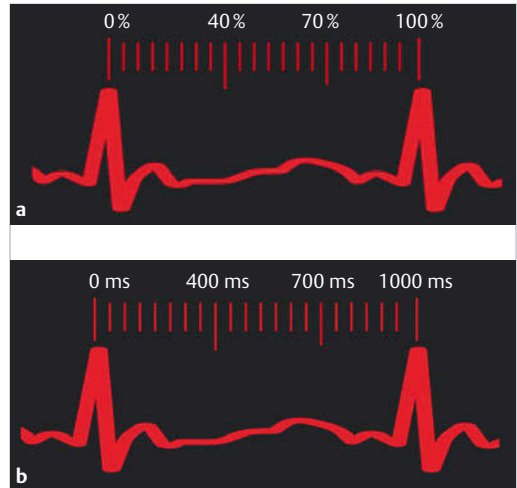


Abb. 73.2 Aufteilung des R-R-Intervalls.

- a Aufteilung des R-R-Intervalls in %-Schritte.
b Aufteilung des R-R-Intervalls in Millisekunden-Schritte.

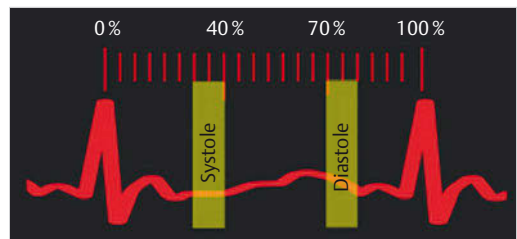


Abb. 73.3 Bildliche Darstellung der systolischen und diastolischen Phase innerhalb eines R-R-Intervalls.

die Breite des Expositionsfensters und somit über die Strahlenexposition. Daher ist es dringend zu empfehlen, dass beim Anlegen des EKGs besonders sorgfältig und gewissenhaft vorgegangen wird. Typischerweise wird für die Kardio-CT eine 3-Punkt-EKG-Ableitung verwendet (► Abb. 73.4).

Bei manchen EKG-Monitoren gibt es noch eine Erdungsleitung, die z. B. an den Füßen der zu un-

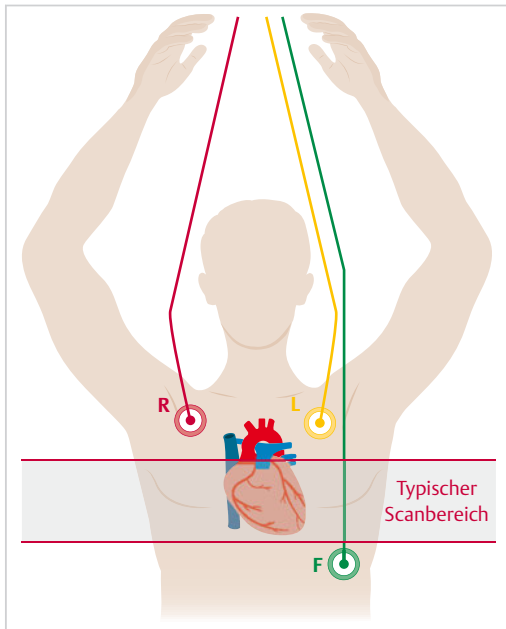


Abb. 73.4 Beispiel für die Positionierung der EKG-Elektroden für ein EKG mit einer 3-Punkt-Ableitung.

tersuchenden Person befestigt wird. In der Regel werden mit einem Kardio-CT-Scanner auch EKG-Elektroden mitgeliefert. Sollten die Qualität der EKG-Elektroden oder das EKG-Signal nicht zufriedenstellend sein, empfiehlt es sich, EKG-Elektroden zu verwenden, die üblicherweise für Belastungs-EKGs verwendet werden. Wenn Sie in einem Krankenhaus arbeiten, fragen Sie am besten z.B. in der ZNA oder der Kardiologie nach, welche Elektroden dort für das Belastungs-EKG verwendet werden.

Manche Patient:innen verwenden Cremes oder Bodylotion für die Körperpflege. Diese können einen Fettfilm zwischen der Haut und der Kontaktfläche der EKG-Elektroden bilden und das EKG-Signal stören. Um dies zu verhindern, ist es empfehlenswert, die Hautstellen der zu untersuchenden Person gründlich mit Desinfektionsmittel oder – noch besser – mit einer Peeling-Paste speziell für EKG-Anwendungen zu reinigen, bevor die EKG-Elektroden aufgeklebt werden. Bei starker Brustbehaarung empfiehlt es sich, die Stellen, auf die die EKG-Elektroden geklebt werden sollen, vorher gründlich zu rasieren.

Es hat sich bewährt, die EKG-Elektroden aufzukleben und das EKG anzulegen, nachdem die zu

untersuchende Person bereits in der Position gelagert wurde, in der im Anschluss die CT-Untersuchung durchgeführt wird (Arme über dem Kopf). Lässt man die zu untersuchende Person die Arme über den Kopf lagern, nachdem die EKG-Elektroden aufgeklebt wurden, kann es vorkommen, dass sich Hautfalten bilden und die EKG-Elektroden den Kontakt zur Haut verlieren. Hierdurch kann es zu Unregelmäßigkeiten und schlechten Ableitungen im EKG kommen. Wenn dies der Fall ist, dann sollten neue EKG-Elektroden aufgeklebt werden. Dabei müssen die rote und gelbe EKG-Elektrode nicht zwingend supraklavikulär positioniert werden. Sie können diese Elektroden z. B. auf die Rückseite der Schulterblätter oder an die Oberarm-Innenseite kleben. Wichtig ist lediglich, dass Sie ein gutes EKG-Signal ableiten.

Sorgen Sie dafür, dass die Arme der zu untersuchenden Person gut unterpolstert sind. Wenn die zu untersuchende Person die Arme aufgrund mangelnder Unterpolsterung eigenständig halten muss, kann es zu Muskelzuckungen kommen, die das EKG-Signal stören können. Auch sollten die EKG-Elektroden möglichst so angebracht werden, dass sie außerhalb des Untersuchungsbereichs liegen (wie in ► Abb. 73.4 erkennbar).

Wie bereits erwähnt, wird für die Kardio-CT üblicherweise eine 3-Punkt-EKG-Ableitung verwendet. Je nach CT-Scanner ist der EKG-Monitor entweder in das CT-System integriert oder steht als externer EKG-Monitor zur Verfügung, der mit der Gantry verbunden ist.

Eines haben alle diese EKG-Einheiten gemeinsam: Sie bieten eine Möglichkeit, die Art der Ableitung zu verändern. Diese Ableitungen werden im Allgemeinen auch als „LEAD“ bezeichnet. Üblicherweise findet die zweite Ableitung (Lead II) Anwendung. Insgesamt stehen 3 Ableitungen (Lead I; II; III) zur Verfügung und in Situationen, in denen das EKG nicht optimal ist, hat es sich als nützlich erwiesen, die einzelnen Ableitungen durchzuschalten, um zu schauen, ob eine andere Ableitung eine bessere EKG-Kurve liefert (► Abb. 73.5). Bei einigen CT-Herstellern wird die Ableitung automatisch auf die Ableitung umgeschaltet, die das beste EKG-Signal liefert.

Nachdem Sie das EKG angelegt haben, sollte das EKG auf dem Monitor deutliche R-Zacken zeigen. Sie sollten so hoch wie möglich sein und alle weiteren Teile des EKG-Signals überragen.

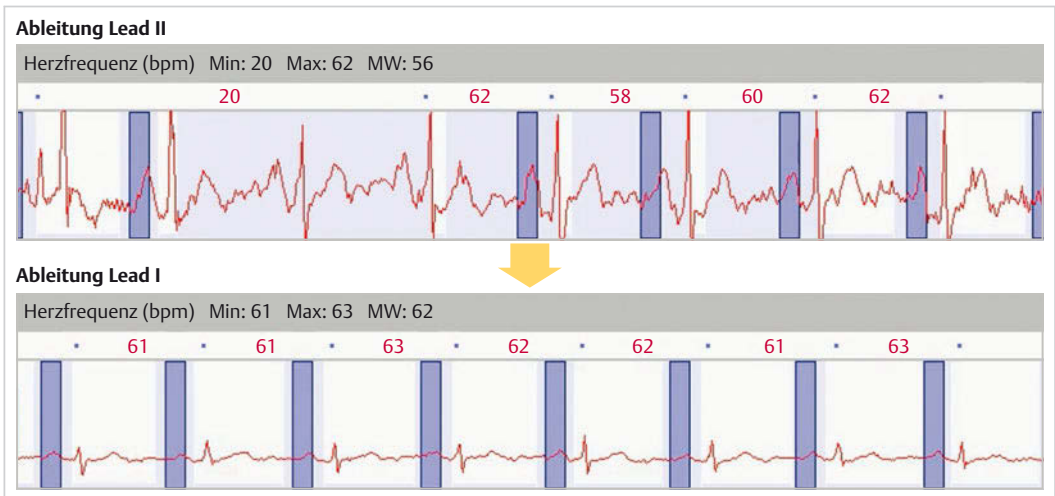


Abb. 73.5 EKG-Ableitungen. Beispiel für mögliche Veränderungen des EKG-Signals, die durch Umschalten der EKG-Ableitung erreicht werden können.

- a Ableitung Lead II.
- b Ableitung Lead I.

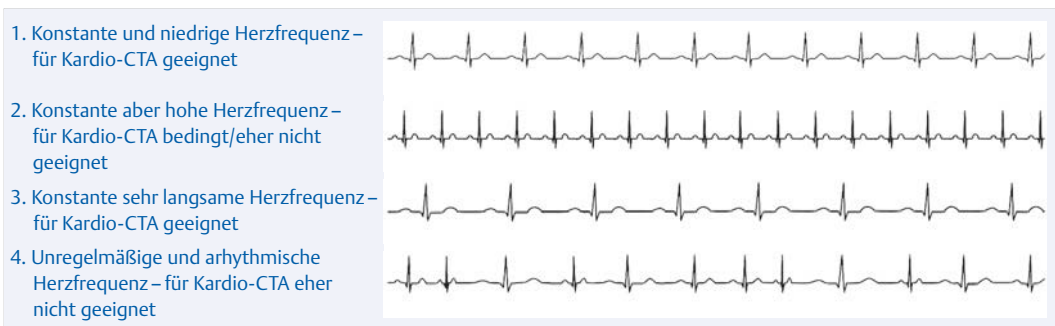


Abb. 73.6 EKG-Beispiele. EKG-Beispiele mit der Darstellung von Herzfrequenzen, die gut bzw. weniger gut für die Herz-CT geeignet sind.

Wenn das EKG-Signal nicht zufriedenstellend ist (zu kleine R-Zacken oder Zacken, die nach unten zeigen, eine T-Welle größer als die R-Zacken), schalten Sie zunächst die drei Ableitungen durch, sofern dies bei Ihrem CT/EKG-Monitor möglich ist. Wenn dies zu keinem guten Ergebnis geführt hat, positionieren Sie die EKG-Elektroden neu. Während die integrierten EKG-Monitore ein zu schwaches EKG-Signal automatisch verstärken, muss dies an externen EKG-Monitoren manuell geschehen.

Bitte lassen Sie nichts unversucht, um ein gutes EKG-Signal zu erhalten. Denn ein mangelhaftes EKG-Signal ist einer der häufigsten Gründe für nicht gelungene Kardio-CT-Untersuchungen.

Bitte beobachten das EKG-Signal für eine gewisse Zeit. Sollten darauf Herzrhythmusstörungen zu erkennen sein, kann es sinnvoll sein, auf die Durchführung einer Kardio-CT-Angiografie zu verzichten bzw. dies bei der Wahl der Scantechnik zu berücksichtigen. Die Kalzium-Score-Untersuchung (Ca-Score-Untersuchung) hingegen liefert auch bei hohen und/oder unregelmäßigen Herzfrequenzen eine gut verwertbare Ergebnisqualität.

► Abb. 73.6 zeigt EKGs, die für eine Kardio-CT-Angiografie-Untersuchung gut bzw. weniger gut geeignet sind.

73.5 Atemtraining

Bei der Kardio-CT-Untersuchung muss die zu untersuchende Person für wenige Sekunden die Luft anhalten. Während dieser Atemanhaltephase kommt es häufig zu einer kurzfristigen Veränderung der Herzfrequenz. Zur Vorbereitung auf die Untersuchung ist es daher sinnvoll, mit der zu untersuchenden Person das Anhalten der Luft zu üben. Dies hat den Vorteil, dass die zu untersuchende Person schon im Vorfeld erfährt, dass die Atemanhaltephase nur sehr kurz ist und dadurch Sicherheit gewinnt. Während des Atemtrainings ist es auch wichtig, das EKG zu beobachten, um Herzfrequenz-Veränderungen während der Atemanhaltephase zu erkennen. Bei manchen Menschen reduziert sich die Herzfrequenz während der Atemanhaltephase sehr stark. In solchen Situationen kann es sein, dass die zu untersuchende Person eine Herzfrequenz von z. B. 75 Schläge pro Minute während der freien Atmung hat und in der Atemanhaltephase reduziert sich die Herzfrequenz auf unter 60 Schläge pro Minute. In einer solchen Situation kann die passende Scantechnik für die Kardio-CTA an die Herzfrequenzreduktion in der Atemanhaltephase angepasst werden.

Darüber hinaus sollte beim Atemtraining darauf geachtet werden, ob die zu untersuchende Person während der Atemanhaltephase in den Bauch presst. Dieses starke Bauchpressen bezeichnet man als Valsalva-Manöver und muss unbedingt bei der Kardio-CT vermieden werden. Es unterbricht den Blutstrom und somit auch den Kontrastmittelstrom zum Herzen für einen kurzen Moment. Dies kann dazu führen, dass die Untersuchung nicht aussagekräftig wird. Die zu untersuchende Person sollte daher angewiesen und angeleitet werden, dass sie die Luft in einer mittleren Atemlage anhalten soll. Dies verhindert das Valsalva-Manöver.

Um sicherzustellen, dass die zu untersuchende Person alles verstanden hat, sollte das Atemtraining mehrfach geübt werden. Dies ist einer der wichtigsten Beiträge, den die zu untersuchende Person bei der Kardio-CT-Untersuchung leisten kann.

Sollte die Herzfrequenz – trotz der vorher gegebenen oralen Betablocker – über 65 Schläge pro Minute liegen, sollte versucht werden, die Herzfrequenz mit intravenöser Betablockergabe zu senken. Eine konstante und möglichst niedrige Herzfrequenz (unter 60(65) Schläge pro min) ergibt erfahrungsgemäß die stabilste Ergebnisqualität bei gleichzeitig niedriger Strahlenexposition.

Wenn all diese Vorbereitung abgeschlossen sind und Sie das Gefühl haben, dass die zu untersuchende Person alles gut verstanden hat, ist es nun an der Zeit, den CT-Raum zu verlassen und mit der eigentlichen Untersuchungsdurchführung zu beginnen.

73.6 Gabe von Nitroglycerin

Üblicherweise wird der zu untersuchenden Person für die Kardio-CT-Angiografie-Untersuchung Nitroglycerin verabreicht. Dies kann in Form von Nitrospray oder durch Nitrokapseln geschehen. Das Nitroglycerin führt zu einer Erweiterung der Koronargefäße und ermöglicht dadurch eine genauere Beurteilung der Gefäße. Nach der Gabe des Nitroglycerins wird das Wirkmaximum nach ca. 5–10 Minuten erreicht. Daher ist es wichtig, dass der Zeitpunkt der Gabe so gewählt wird, dass die Durchführung der Kardio-CTA möglichst in dieses Zeitfenster fällt. Des Weiteren kommt es nach der Verabreichung des Nitroglycerins in der Regel zu einer kurzzeitigen Erhöhung der Herzfrequenz der zu untersuchenden Person.

Im Zuge des Kardio-CT-Workflows gibt es daher zwei Zeitpunkte, die sich für die Verabreichung des Nitroglycerins gut eignen:

- nachdem die zu untersuchende Person komplett vorbereitet ist und die untersuchende Person den Untersuchungsraum verlässt, um mit der Untersuchungsdurchführung zu beginnen
- Alternativ kann das Nitroglycerin nach Beendigung des Ca-Scores verabreicht werden. Danach sollte 5 min gewartet werden, bevor die Kardio-CTA durchgeführt wird, damit sich die Herzfrequenz wieder normalisieren kann, bevor eine Anpassung der Kardio-CTA-Scantechnik durchgeführt wird.

Kontraindikationen für die Nitroglycerin-Gabe sollten selbstverständlich im Vorfeld abgeklärt werden. Die wichtigsten Kontraindikationen für die Nitroglycerin-Gabe sind:

- schwere Aortenklappenstenose (z. B. bei TAVI)
- hypertrophe obstruktive Kardiomyopathie
- ausgeprägte hypotone Kreislaufzustände
- medikamentöse Behandlung einer erektilen Dysfunktion oder pulmonalen Hypertonie (z. B. Sildenafil, Viagra): In Kombination mit Nitroglycerin bewirken Medikamente wie Viagra oftmals eine verstärkte Hypotonie und Bradykardie, die tödlich enden kann; vor allem dann, wenn die Person bereits über eine Herzenge klagt.
- medikamentöse Behandlung einer benignen Prostatahyperplasie (BPH) (z. B. **Alpha-1-Blocker** oder **5-Alpha-Reduktasehemmer**)

73.7 Ca-Scoring

Nachdem die zu untersuchende Person nun optimal vorbereitet, gelagert und über den gesamten Ablauf der Untersuchung vollumfänglich informiert wurde, beginnt nun die eigentliche Untersuchungsdurchführung.

Der erste Teil der Untersuchung nach Erstellung des Übersichtsradiogramms ist üblicherweise die Planung des Ca-Scorings. Der Ca-Score ist eine Methode zur Bewertung der Menge an koronaren kalzifizierten Plaques in den Herzkranzgefäßen. Der Ca-Score dient der Abschätzung des Risikos für das Vorliegen einer KHK.

Der **Agatston-Score** ist der am häufigsten verwendete Ca-Score und wurde von Dr. med. Arthur Agatston entwickelt. Der Score wird auf der Basis einer prospektiv EKG getriggerten nativen Low-Dose-CT-Untersuchung sowie spezieller Analyse-Software-Lösungen ermittelt. Er liefert Informationen über das Ausmaß der arteriosklerotischen Plaques in den Herzkranzgefäßen. Der Agatston-Score berücksichtigt die Dichte und Fläche der Plaques in den Gefäßen. Je dichter und größer die Plaques, desto höher ist der Score. Ein höherer Score deutet auf eine größere Menge an kalzifizierten Plaques hin, was wiederum für ein erhöhtes Herzinfarktrisiko spricht. Der Agatston-Score wird oft als ergänzende Information zu anderen Risikofaktoren verwendet, um das Gesamtrisiko

einer Person für Herz-Kreislauf-Erkrankungen besser einschätzen zu können.

Bei der Agatston-Methode wird die gewichtete Summe der Läsionen mit einer Dichte über 130 HU verwendet, wobei die Kalziumfläche mit einem Faktor multipliziert wird, der sich auf die maximale Plaqueschwächung bezieht:

- 130–199 HU, Faktor 1
- 200–299 HU, Faktor 2
- 300–399 HU, Faktor 3
- ≥ 400 HU, Faktor 4

Darüber hinaus müssen die Röhrenspannung (120 kV), Schichtdicke (3 mm) und das Rekonstruktionsintervall (3 mm) stets dem vorgegebenen Originalprotokoll folgen, um möglichst korrekte Ergebnisse zu erhalten

Auch wenn der Agatston-Score einer der am häufigsten verwendete Ca-Scores ist, werden in den Analyse-Software-Programmen oft noch weitere Ca-Scores ermittelt, die eine Beurteilung von arteriosklerotischen Veränderungen und des Risikos für Herz-Kreislauf-Erkrankungen ermöglichen. Die wichtigsten alternativen Ca-Scores sind:

- **Volume-Score:**
 - Dieser Score hat sich als die robusteste und reproduzierbarste Methode erwiesen und berücksichtigt nicht nur die Dichte der Plaques, sondern auch das Volumen der Verkalkungen. Es wird die dreidimensionale Ausdehnung der Plaques in den Berechnungen einbezogen.
 - Er wird berechnet, indem die Anzahl der Voxel mit Kalzifizierung mit dem Volumen jedes Voxels multipliziert wird, wobei alle Voxel mit einer Dichte von > 130 HU einbezogen werden.
 - Diese Methode reagiert jedoch besonders empfindlich auf den Partialvolumen-Effekt (vor allem bei Plaques mit hoher Dichte) und unterliegt je nach Position der Plaques in der aufgenommenen axialen Schicht einer gewissen Variabilität.
- **Kalzium-Massen-Score:**
 - Dieser Score ist ähnlich wie der Agatston-Score, aber er berücksichtigt zusätzlich die Masse der Plaques. Dieser Score kann eine genauere Messung der tatsächlichen Plaque-Menge ermöglichen.

- Der relative Kalzium-Massen-Score wird berechnet, indem die mittlere Dichte der verkalkten Plaques mit dem Plaquevolumen in jedem Bild multipliziert wird, wodurch die durch das partielle Volumen verursachten Schwankungen reduziert werden.
- Der absolute Kalzium-Massen-Score verwendet einen Korrekturfaktor, der auf der Abschwächung von Wasser beruht.

Jeder dieser Scores hat seine Vor- und Nachteile, und die Auswahl hängt oft von den spezifischen Anforderungen des Arztes bzw. der Ärztin und den verfügbaren diagnostischen Mitteln ab.

Die Interpretation und Anwendung solcher Scores sollte stets unter Berücksichtigung der individuellen Gesundheitsmerkmale und Risikofaktoren der zu untersuchenden Person durchgeführt werden.

Der große Vorteil der Ca-Scores ist, dass sie auch bei Personen durchgeführt werden können, die sich für eine CT-Angiografie der Koronargefäße nicht oder nur sehr eingeschränkt eignen. Das bedeutet, dass man, bei Patient:innen mit mittlerer Prätestwahrscheinlichkeit auf eine KHK auf jeden Fall einen Ca-Score durchführen kann, auch wenn z. B. die Herzfrequenz unregelmäßig und/oder hoch ist und somit bei einer CTA wahrscheinlich keine verwertbaren Ergebnisse zu erwarten sind („Ca-Score geht immer“). Wenn bei solchen Patient:innen mithilfe einer Ca-Score-Untersuchung eine Koronargefäßverkalkung nachgewiesen werden kann, liefern diese Ergebnisse wichtige Erkenntnisse für die Weiterbehandlung.

73.7.1 Untersuchungsplanung einer Ca-Score-Untersuchung

Der Scanbereich beginnt knapp unterhalb der Tracheabifurkation und endet unterhalb der Herzbasis (► Abb. 73.7).

Es ist empfehlenswert, einen rekonstruierten Bilddurchmesser zwischen 18 und 25 cm zu verwenden, denn bei diesem Durchmesser werden die optimalen Pixelgrößen zwischen 0,35 mm und 0,5 mm erreicht, was für die Darstellung der dünnkalibrigen Koronargefäße von großer Bedeutung ist. Eine möglichst hohe Auflösung innerhalb des Bildes ist hierbei von Vorteil.

Cave:



Einige Ca-Score-Analyse-Software-Tools haben feste Vorgaben für die Größe des rekonstruierten Bildausschnitts (Field of View, FoV). Wenn ein größeres FoV als 18 cm erforderlich ist, sollte dies im CT-Protokoll entsprechend berücksichtigt werden.

Die Akquisition kann dünn-schichtig (0,5–0,625 mm akquirierte Schichtdicke) erfolgen. Für den Agatston-Score sind jedoch eine rekonstruierte Schichtdicke von 3 mm und ein Schichtabstand von 3 mm erforderlich. Es ist auch wichtig, dass Ca-Score-Untersuchungen stets mit 120 kV durchgeführt werden, da eine abweichende Röhrenspannung die Dichtewerte des Kalks und somit auch die Messergebnisse verändern würde. (Hinweis: Wenn die Auswerte-Software jedoch über Korrektur-Algorithmen bei Verwendung von niedrigeren Röhrenspannungen besitzt, können auch Röhrenspannungen von weniger als 120 kV verwendet werden.)

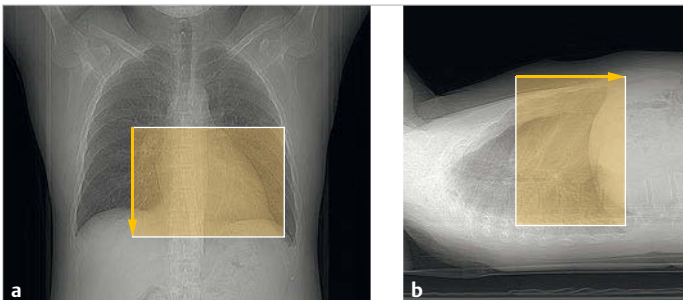


Abb. 73.7 Ca-Score-Untersuchung. Untersuchungsbereich für die Ca-Score-Untersuchung auf dem a-p-Übersichtsradiogramm (links) und dem lateralen Übersichtsradiogramm (rechts).