

Tool 2: Morphologie, Topologie

DEED-Step 1

10.1

Indikation

- Die MRT bietet exzellente Möglichkeiten der Morphologie- und Topologiedarstellung bei
 - Primäruntersuchung und Verlaufsbeobachtung von Patienten mit angeborenen Herzfehlern,
 - Basisdiagnostik bei komplexen Vitien zur exakten nichtinvasiven Planung vor Herzkatheteruntersuchung.
- Die MRT schließt die diagnostische Lücke bei nicht konklusiver Echokardiographie
 - bei echokardiographisch erschwert beurteilbaren komplexen Vitien,
 - bei echokardiographisch erschwert beurteilbaren postoperativen Situationen,
 - bei echokardiographisch oft erschwert beurteilbaren rechtsventrikulären Strukturen und Pulmonalgefäßen.

10.1.1

Untersuchungsprinzip

Zur exakten Untersuchungsplanung ist eine spezifische klinische Fragestellung Voraussetzung.

- Die uneingeschränkte Stärken der MRT in der Morphologie- und Topologiediagnostik sind:
 - die Möglichkeit der multiplanaren Schichtwahl in allen Raumebenen und organachsenadaptierten Ebenen,
 - die ultraschnelle Bildgebung in artefaktfreier hoher Bildqualität.
- Primäre Untersuchungsebenen sind zunächst streng koronare, transversale und sagittale Schichtführungen.
- Hierauf folgen organachsenadaptierte und befundorientierte Schichtführungen.
- Standardsequenzen sind:
 - Dark-Blood-Spinochoresequenzen (TSE, HASTE),
 - Bright-Blood-Gradientenechoresequenzen (FLASH, TrueFISP),
 - Dark-Blood-Gradientenechoresequenzen (TrueFISP).
- Ergänzende Sequenzen für Zusatzinformationen:
 - Cine-Sequenzen zur Funktionsanalyse, Shuntanalyse,
 - MR-Angiographie zur Darstellung der Gefäßanatomie.

Algorithmus: Kardiovaskuläre Anatomie s. Schema 10.1

10.1.2

Erwartete Information

Von der Untersuchung erwartet wird die Möglichkeit, folgende Strukturen zu beurteilen.

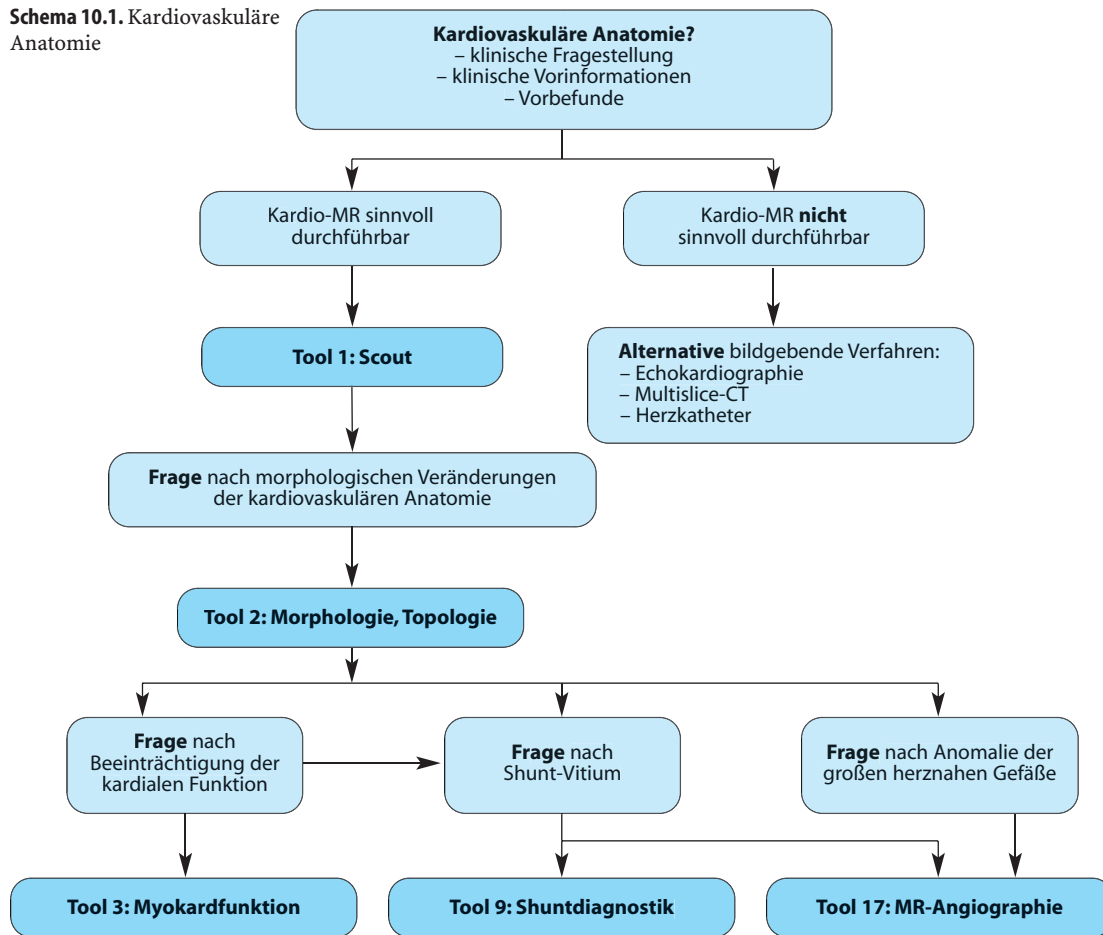
- Anatomische Varianten:
 - komplexe angeborene Vitien,
 - Situsanomalien der Herzvorhöfe und Herzkammern,
 - Septumanomalien,
 - Abgangs- und Verlaufsanomalien der großen herznahen Gefäße;
- Myokard:
 - Myokarddicke einschließlich Papillarmuskeln und Trabekeln,
 - Gewebscharakterisierung;
- Herzhöhlen:
 - Kammer- und Vorhofdiameter,
 - intrakavitäre Zusatzstrukturen (Tumoren, Thromben);
- herznahe Gefäße:
 - Gefäßwand (Dicke, Fettgehalt),
 - Gefäßlumina,
 - Beurteilung intraluminärer Zusatzstrukturen;
- mediastinale Kompartimente:
 - mediastinale Raumforderungen;
- postoperative Veränderungen.

DEED-Step 2

10.2

Untersuchungsvorbereitung

- Allgemeine Untersuchungsvorbereitung: entsprechend Basisvorbereitung, s. 5.1 Grundkonzept der Kardio-MR-Untersuchung.
- Spezielle Untersuchungsvorbereitung:
 - Kontrastmittel: entsprechend klinischer Fragestellung (z. B. Raumforderung, Kardiomyopathie).

Schema 10.1. Kardiovaskuläre Anatomie**10.2.1****Untersuchungsparameter**

Sequenztypen	Spinechosequenzen: T1-gewichtete Sequenzen: T1-TSE-Dark-Blood und T1-TSE-Dark-Blood-Fatsat (Fettsaturation) T2-TSE-Dark-Blood und T2-TSE-Dark-Blood-Fatsat T2-gewichtete Sequenzen: T2-TIRM-Dark-Blood T2-HASTE-Dark-Blood und T2-HASTE-Dark-Blood-Fatsat Gradientenechosequenzen: FLASH und FLASH-Fatsat TrueFISP und TrueFISP-Dark-Blood, TrueFISP-Dark-Blood-Fatsat	Schichtdicke ≤ 8 mm Schichtlücke $\leq 20\%$ Zeitliche Auflösung Datenakquisition enddiastolisch Matrix $\geq 256 \times 180$ Pixel FOV ≤ 380 mm Pixelgröße (min./max.) $\leq 1,5 \times 2,1$ mm Kontrastgewichtung T1 und T2 Atemtriggerung Atemanhaltetechnik EKG-Triggerung Obligat Kontrastmittel – Obligat z. B. bei Raumforderungen, Kardiomyopathien
Messparameter		Qualitätskriterien, darzustellende Bildelemente
Spulen	Oberflächenempfangsspule: Körperspule, Wirbelsäulenspule	Enddiastolische Akquisition ohne kardiale Bewegungsartefakte Keine Atemartefakte Dark-Blood-Präparation nur im Kavum
Schichtlage	1. raumachsenorientiert 2. herzachsenadaptiert 3. befundadaptiert	
Untersuchungsvolumen	Gesamtes Herz inkl. herznaher Gefäße und Mediastinum	

DEED-Step 3

10.3

Standarduntersuchungsstrategie

Die Sequenzplanung erfolgt anhand der in Tool 1 angefertigten Localizer-Schichten.

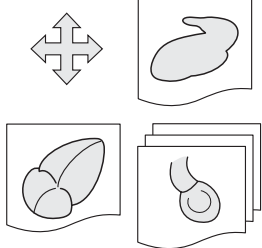
- Schritt 1: Primär sind Aufnahmen in allen 3 Standardraumebenen obligat
 - Sequenztyp erster Wahl: T2-HASTE-Mehrschicht
- Schritt 2: Anschließend sind organachsenadaptierte und befundadaptierte Aufnahmen anzufertigen:
 - Sequenztyp erster Wahl: T1- und T2-TSE-Dark-Blood
- Schritt 3: Falls befundbezogen eine Kontrastmittelapplikation erfolgt:
 - Sequenztyp erster Wahl: T1-SE- Dark-Blood-Fatsat


Praxistipp

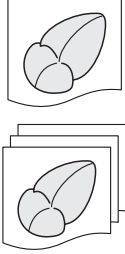
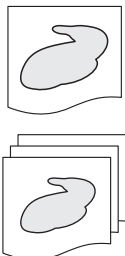
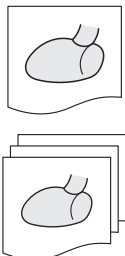
Schritt 1 ist bei jeder Kardio-MR-Untersuchung zur Darstellung der Globalanatomie *obligat*. T2-HASTE-Sequenz ist zu bevorzugen, da diese in Single-Shot-Technik die geringste Empfindlichkeit in Bezug auf Arrhythmien oder Atemartefakte aufweist.

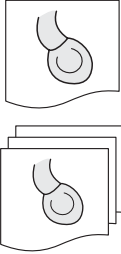
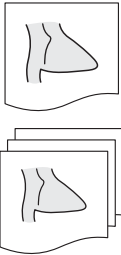

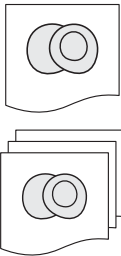
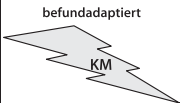
Die Schritte 2 und 3 sind nur *fakultativ* – der Fragestellung sowie den erhobenen Befunden entsprechend – durchzuführen.

Morphologie/Topologie

Untersuchungsschritt	Resultierende Einzelaufnahmen/Cine-Messungen	Pulssequenz	Schichtposition	Beurteilungskriterien
Tool 1: Scout		TrueFISP	1. 3 senkrechte Raumebenen 2. Linksventrikuläre lange Achse 3. 4-Kammer-Blick (einfach anguliert) 4. Kurze Herzachse (2fach anguliert)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Korrekte Spulenpositionierung ✓ Korrekte Spulenanwahl ✓ Korrekte Herzposition im Isozentrum ✓ Korrekte Raumachsenorientierung ✓ Korrekte Herzachsenorientierung

Untersuchungsschritt	Resultierende Einzelaufnahmen/Cine-Messungen	Bezeichnung	Pulssequenz erster Wahl	Planungsebene	Schichtorientierung, Orientierungspunkte	Allgemeine Beurteilungskriterien
1. Schritt obligat, befundunabhängig		Standardebenen orthogonale Raumachsen	T2-HASTE-Dark-Blood (Mehrschichtmessung)	<ul style="list-style-type: none"> • Orthogonal • Herz und Mediastinum 	Raumachsenorientiert: <ul style="list-style-type: none"> • Transversal • Koronar • Sagittal 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Kardiale Anatomie ✓ Mediastinale Anatomie ✓ Vaskuläre Anatomie

Untersuchungsschritt	Resultierende Einzelaufnahmen/ Cine-Messungen	Bezeichnung	Pulssequenz erster Wahl	Planungsebene	Schichtorientierung, Orientierungspunkte	Allgemeine Beurteilungskriterien
2. Schritt <i>fakultativ, befund- adaptiert</i>		4-Kammer-Blick (horizontale linksventrikuläre lange Achse, doppelt anguliert)	T1-TSE, T2-TSE-Dark-Blood (Einschichtmessung) oder: T2-HASTE-Dark-Blood (Mehrschichtmessung)	<ul style="list-style-type: none"> Herz-Localizer 1 Herz-Localizer 3 	Planung an mittventrikulärem Kurzsachsen-Localizer: <ul style="list-style-type: none"> Durch die laterale Spitze des rechten Ventrikels Durch das linksventrikuläre Kavum oberhalb des postero-medialen Papillarmuskels Planung an basalem Kurzsachsen-Localizer: <ul style="list-style-type: none"> Schichtkorrektur, um einen Anschnitt der linksventrikulären Ausflussbahn als Partialvolumen zu vermeiden Planung an 2-Kammer-Localizer: <ul style="list-style-type: none"> Schichtkorrektur zur korrekten Erfassung der Mitte der Mitralklappe sowie des linksventrikulären Apex als Orientierungsschnittpunkten 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Korrekte Einstellung einer horizontalen linksventrikulären langen Achse durch die Mitte der Mitralklappe
3. Schritt <i>fakultativ, befund- adaptiert</i>		2-Kammer-Blick (vertikale linksventrikuläre lange Achse doppelt anguliert)	T1-TSE, T2-TSE-Dark-Blood (Einschichtmessung) oder: T2-HASTE-Dark-Blood (Mehrschichtmessung)	<ul style="list-style-type: none"> Herz-Localizer 2 Herz-Localizer 3 	Planung an mittventrikulärem Kurzsachsenschnitt: <ul style="list-style-type: none"> Senkrechte Ausrichtung, mittventrikulär verlaufend parallel zum Sulcus interventricularis Planung am 4-Kammer-Blick: <ul style="list-style-type: none"> Schichtkorrektur unter Berücksichtigung des Mitralklappenschließungsrandes und des Ventrikela Apex als Orientierungspunkten 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Korrekte Einstellung einer vertikalen linksventrikulären langen Achse durch die Mitte der Mitralklappe ✓ Korrektur der Aufnahmeparameter, insbesondere Größe des Field-of-View zur Vermeidung von Einfaltungsartefakten
4. Schritt <i>fakultativ, befund- adaptiert</i>		LVOT sagittal-oblique	T1-TSE, T2-TSE-Dark-Blood (Einschichtmessung) oder: T2-HASTE-Dark-Blood (Mehrschichtmessung)	<ul style="list-style-type: none"> Herz-Localizer 2 Herz-Localizer 3 	Planung an basalem Kurzsachsen-Localizer: <ul style="list-style-type: none"> Orientierungsschnittpunkte sind die Aorta ascendens, die Mitte der linksventrikulären Ausflussbahn sowie die Mitte des basalen linksventrikulären Kavums Planung an mittventrikulärem Kurzsachsen-Localizer: <ul style="list-style-type: none"> Schichtkorrektur, um einen Anschnitt des Ventrikelseptums im Partialvolumen zu vermeiden Planung am 4-Kammer-Localizer: <ul style="list-style-type: none"> Schichtkorrektur bzw. Korrektur der Aufnahmeparameter, insbesondere Größe des Field-of-View zur Vermeidung von Einfaltungsartefakten 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Korrekte Einstellung der linksventrikulären Ausflussbahn durch die Mitte der Aortenklappe ✓ Korrektur der Aufnahmeparameter, insbesondere Größe des Field-of-View zur Vermeidung von Einfaltungsartefakten

Untersuchungsschritt	Resultierende Einzelaufnahmen/ Cine-Messungen	Bezeichnung	Pulssequenz erster Wahl	Planungsebene	Schichtorientierung, Orientierungspunkte	Allgemeine Beurteilungskriterien
5. Schritt fakultativ, befundadaptiert		LVOT coronar-oblique	T1-TSE, T2-TSE-Dark-Blood (Einschichtmessung) oder: T2-HASTE-Dark-Blood (Mehrschichtmessung)	<ul style="list-style-type: none"> Herz-Localizer 2 LVOT sagittal-oblique (aus Schritt 4) 	Planung am LVOT sagittal-oblique: <ul style="list-style-type: none"> Senkrechte Ausrichtung unter Berücksichtigung der Aorta ascendens, der Mitte der linksventrikulären Ausflussbahn als Orientierungsschnittpunkten Planung am 4-Kammer-Blick: <ul style="list-style-type: none"> Schichtkorrektur bzw. Korrektur der Aufnahmeparameter, insbesondere Größe des Field-of-View zur Vermeidung von Einfaltungsartefakten 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Korrekte Einstellung der linksventrikulären Ausflussbahn durch die Mitte der Aortenklappe ✓ Korrektur der Aufnahmeparameter, insbesondere Größe des Field-of-View zur Vermeidung von Einfaltungsartefakten
6. Schritt fakultativ, befundadaptiert		Rechtsventrikuläre vertikale lange Achse	T1-TSE, T2-TSE-Dark-Blood (Einschichtmessung) oder: T2-HASTE-Dark-Blood (Mehrschichtmessung)	<ul style="list-style-type: none"> Herz-Localizer 2 Herz-Localizer 3 	Planung an mittventrikulärem Kurzschnitt: <ul style="list-style-type: none"> Primär senkrechte, angepasst parallel zur linksventrikulären langen Achse Planung am 4-Kammer-Blick: <ul style="list-style-type: none"> Schichtkorrektur orientiert an der Mitte des rechtsventrikulären Kavums 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Korrekte Einstellung einer vertikalen rechtsventrikulären langen Achse durch die Mitte der Trikuspidalklappe ✓ Korrektur der Aufnahmeparameter, insbesondere Größe des Field-of-View zur Vermeidung von Einfaltungsartefakten
7. Schritt fakultativ, befundadaptiert		Rechtsventrikuläre Ausflussbahn sagittal-oblique	T1-TSE, T2-TSE-Dark-Blood (Einschichtmessung) oder: T2-HASTE-Dark-Blood (Mehrschichtmessung)	<ul style="list-style-type: none"> Herz-Localizer 2 Herz-Localizer 3 	Planung an basalem Kurzschnitt: <ul style="list-style-type: none"> Primär senkrechte Ausrichtung mit rechtsventrikulärer Ausflussbahn als Orientierungsschnittpunkt Planung an mittventrikulärem Kurzschnitt: <ul style="list-style-type: none"> Schichtkorrektur zur Vermeidung der Darstellung des Ventrikelseptums im Partialvolumen 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Korrekte Einstellung der rechtsventrikulären Ausflussbahn durch die Mitte der Pulmonalklappe ✓ Korrektur der Aufnahmeparameter, insbesondere Größe des Field-of-View zur Vermeidung von Einfaltungsartefakten
8. Schritt fakultativ, befundadaptiert		Kurze Herzachsen (basal, mittventrikulär, apikal)	T1-TSE, T2-TSE-Dark-Blood (Einschichtmessung) oder: T2-HASTE-Dark-Blood (Mehrschichtmessung)	<ul style="list-style-type: none"> Herz-Localizer 1 Herz-Localizer 2 	Planung am 4-Kammer-Blick: <ul style="list-style-type: none"> Senkrechte Ausrichtung zum 4-Kammer-Blick parallel zur Mitralklappenebene sowie angepasst senkrecht zum Ventrikelseptum. Ferner Korrektur der Aufnahmeparameter, insbesondere Größe des Field-of-View zur Vermeidung von Einfaltungsartefakten Planung an linksventrikulärer langer Achse: <ul style="list-style-type: none"> Schichtkorrektur zur Parallelität entlang der Mitralklappenebene 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Korrekte Einstellung der kurzen Herzachse mit zirkulär symmetrischer Myokardabbildung ✓ Korrektur der Aufnahmeparameter, insbesondere Größe des Field-of-View zur Vermeidung von Einfaltungsartefakten
9. Schritt fakultativ, befundadaptiert		Befundadaptiert	T1-SE-Fatsat Dark-Blood (Einschichtmessung)	<ul style="list-style-type: none"> Herz-Localizer 1 Herz-Localizer 2 Herz-Localizer 3 	Befundadaptiert	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Suffiziente Fettsättigung ✓ Fokale Kontrastmitelanreicherung

10.3.1

Ergänzende Untersuchungsstrategie

- Funktionsuntersuchung: Cine-FLASH, Cine-TrueFISP (Tool 3),
- Shuntanalyse (Tool 9),
- MR-Angiographie (Tool 17).

DEED-Step 4**10.4****Allgemeine Beurteilungskriterien****Diagnostische Checkliste morphologischer Strukturen**

V. cava inferior und superior	Einstrom in den rechten Vorhof? Persistenz der linken V. cava superior? Thorakoabdominelle venöse Anlageanomalie? Alterationen des V.-azygos-, V.-hemiazygos-Systems?
Atrialer Situs	Solitärer atrialer Situs? invertierter atrialer Situs? gemischter atrialer Situs?
Rechter Vorhof	Größe? Septumformation? Atrioventrikuläre Klappenposition? Atrioventrikuläre Klappenmorphologie?
Atrioventrikuläre Verbindung	Konkordant? Diskordant? Gemischt?
Subpulmonaler Ventrikel	Morphologie? Zuordnung Größe? Wanddicke? Art der ventrikuloarteriellen Klappe? Myokardiale Kontraktilität? Ejektionsfraktion?
Ventrikelseptum	Dicke? Defekt? Beweglichkeit?
Ventrikuloarterielle Verbindung	Konkordant? Diskordant? Gemischt?

Pulmonalarterie	Morphologie der Pulmonalarterienanlage (Vorhandensein, zentrale Konfluenz)? Position der pulmonalarteriellen Gefäße? Kaliber? Segmentarterienaufzweigung? Pulmonalarterielle Veränderungen infolge von Vitien mit rechtsseitiger Obstruktion?
Pulmonalvenen	Pulmonalvenenanomalien: Anzahl? Gefäßkaliber? Gefäßverlauf? Pulmonalvenenverbindungen: Korrekte Verbindung zum linken Vorhof?
Linker Vorhof	Größe? Position? Morphologie der atrioventrikulären Klappe?
Subaortaler Ventrikel	Morphologie Größe? Wanddicke? Ventrikuloarterielle Klappe?
Aorta	Aortenbogenposition? Durchmesser? Abgehende Gefäße? Ductus Botalli? Aortopulmonale Shunts?
Aortopulmonales Fenster	Verlauf von Aorta und Pulmonalarterie? Aortopulmonale Shuntverbindung?

Praxistipp

Nicht ausreichende Dark-Blood-Präparation:

- Fall 1: Statt des Kavums wird Myokard supprimiert.
 - Lösung: Die Dark-Blood-Präparation muss durch Anpassung des Akquisitionsfensters in die kardiale Ruhephase der Mitte der Diastole gelegt werden.
- Fall 2: Unzulängliche intrakavitäre Dark-Blood-Präparation.
 - Lösung: Das Herz darf sich während der nichtselektiven Inversions- und während der selektiven Reinversionsphase nicht bewegen. So lassen sich Signalvariationen aufgrund unzureichender Reinversion vermeiden.

MRT des Herzens und der Gefäße

Indikationen - Strategien - Abläufe - Ergebnisse

Schulte, B.; Boldt, A.; Beyer, D.

2005, XVII, 351 S. Mit CD-ROM., Hardcover

ISBN: 978-3-540-22209-5