

Journal für
Kardiologie

Austrian Journal of Cardiology

Österreichische Zeitschrift für Herz-Kreislaufkrankungen

**Symposium der Arbeitsgruppe
für kardiologische
Magnetresonanz der
Österreichischen
Kardiologischen Gesellschaft;
23. November 2002, LKH Graz**

**Symposium der Arbeitsgruppe für
kardiologische Magnetresonanz der
Österreichischen Kardiologischen
Gesellschaft; 23. November 2002, LKH Graz**

*Journal für Kardiologie - Austrian Journal
of Cardiology 2002; 9 (Supplementum F)*

Homepage:

www.kup.at/kardiologie

**Online-Datenbank mit
Autoren- und Stichwortsuche**

Krause & Pachernegg GmbH
Verlag für Medizin und Wirtschaft
A-3003 Gablitz

www.kup.at/kardiologie

Indexed in EMBASE/Excerpta Medica

Datenschutz:

Ihre Daten unterliegen dem Datenschutzgesetz und werden nicht an Dritte weitergegeben. Die Daten werden vom Verlag ausschließlich für den Versand der PDF-Files des Journals für Pneumologie und eventueller weiterer Informationen das Journal betreffend genutzt.

Lieferung:

Die Lieferung umfasst die jeweils aktuelle Ausgabe des Journals für Pneumologie. Sie werden per E-Mail informiert, durch Klick auf den gesendeten Link erhalten Sie die komplette Ausgabe als PDF (Umfang ca. 5–10 MB). Außerhalb dieses Angebots ist keine Lieferung möglich.

Abbestellen:

Das Gratis-Online-Abonnement kann jederzeit per Mausklick wieder abbestellt werden. In jeder Benachrichtigung finden Sie die Information, wie das Abo abbestellt werden kann.

Das e-Journal **Journal für Pneumologie**

- ✓ steht als PDF-Datei (ca. 5–10 MB) stets internetunabhängig zur Verfügung
- ✓ kann bei geringem Platzaufwand gespeichert werden
- ✓ ist jederzeit abrufbar
- ✓ bietet einen direkten, ortsunabhängigen Zugriff
- ✓ ist funktionsfähig auf Tablets, iPads und den meisten marktüblichen e-Book-Readern
- ✓ ist leicht im Volltext durchsuchbar
- ✓ umfasst neben Texten und Bildern auch eingebettete Videosequenzen.

Editorial N. Watzinger	3
Anatomie und Planung R. Maier	4
Regionale und globale Funktion M. Mori	6
Blutflußmessungen mittels MRT S. Globits, E. Salomonowitz	7
Myokarditis und Perikarditis – Darstellung mittels kardialer Magnetresonanztomographie J. Schulz-Menger	9
Magnetresonanz in der Diagnostik der rechtsventrikulären Dysplasie (ARVD) H. Frank	11
Magnetresonanztomographie in der Diagnostik von kardialen Raumforderungen und komplexen kongenitalen Vitien H. Frank	12
Myokardiale Perfusionsdiagnostik mittels Magnetresonanztomographie B. Kaiser, S. Globits, E. Salomonowitz	13
Myokardvitalität N. Watzinger	14
MR-Angiographie der thorakalen Gefäße W. Judmaier	16
Aortenerkrankungen: Aneurysma, intramurales Hämatom, Dissektion E. Salomonowitz, B. Kaiser	18
MR-Koronarangiographie S. Globits, E. Salomonowitz	20
KHK-Diagnostik mit CT G. Friedrich	22

Inhalt

Herausgeber:
K. Huber, Wien

Redaktionsbeirat / Editorial Board 2002/2003:

J. Auer, Wels	R. Hofmann, Linz
H. Baumgartner, Wien	R. Karnik, Wien
W. Benzer, Feldkirch	K. Kostner, Wien
Th. Binder, Wien	I. Lang, Wien
H. Frank, Tulln	H. Mächler, Graz
F. M. Fruhwald, Graz	D. Magometschnigg, Wien
M. Gattermeier, Linz	V. Mühlberger, Innsbruck
S. Globits, St. Pölten	K.-D. Mulac, Wr. Neustadt

M. Nürnberg, Wien
R. Pacher, Wien
J. Pollak, Wien
Ch. Punzengruber, Wels
H. Pürerfellner, Linz
F. Rauscha, Wien
W. Schreiber, Wien
S. Schwarzacher, Innsbruck

K. Stoschitzky, Graz
G. Titscher, Wien
Th. Wascher, Graz
H. Watzke, Wien
F. Weidinger, Innsbruck
W. Weihs, Graz
J. Wojta, Wien

Wissenschaftlicher Beirat / Scientific Board 2002/2003:

Ch. Bode, D	A. N. Laggner, A
D. Brandt, A	G. Laufer, A
E. Braunwald, USA	P. Lechleitner, A
G. Breithardt, D	F. Leisch, A
H. Darius, D	P. Lind, A
H. Drexler, A	B. Lüderitz, D
H. Drexler, D	Th. F. Lüscher, CH
B. Eber, A	G. Maurer, A
G. Gaul, A	B. Meier, CH
G. Grimm, A	E. Minar, A
D. Gulba, D	J. Mlczoch, A
H. M. Hoffmeister, D	H.-J. Nesser, A
F. Hoppichler, A	O. Pachinger, A
W. Klein, A	B. Rigler, A

P. Schmid, A
P.W. Serruys, NL
K. Silberbauer, A
J. Slany, A
Th. Stefenelli, A
E. J. Topol, USA
K.-H. Tscheliessnigg, A
P. M. Vanhoutte, F
F.W. Verheugt, NL
H. Weber, A
E. Wolner, A
S. Yusuf, CAN

Ehrenbeirat:

M. J. Halhuber, D
F. Kaindl, A
M. Kaltenbach, D
J. Kraft-Kinz, A

Editorial

N. Watzinger

Liebe Kolleginnen und Kollegen!

Um der rasanten Entwicklung auf dem Gebiet der bildgebenden Verfahren in der Kardiologie Rechnung zu tragen, veranstaltet die Arbeitsgruppe für kardiologische Magnetresonanztomographie der Österreichischen Kardiologischen Gesellschaft heuer wiederum ein ganztägiges Symposium mit dem Titel „Kardiale MR – Grundlagen und klinische Anwendung“. Diese alle zwei Jahre stattfindende Veranstaltung ist mittlerweile schon zur Tradition geworden und wird heuer erstmals in Graz abgehalten. Dafür ist es gelungen, Referenten und namhafte Experten aus ganz Österreich und aus dem benachbarten Ausland zu gewinnen.

Ziel dieser Fortbildungsveranstaltung ist es, einen breiten Überblick über die derzeitigen Möglichkeiten der Magnetresonanztomographie in der kardiologischen Bildgebung zu bieten. Ein Themenbereich ist auch der Computertomographie gewidmet, die gerade in der Diagnostik der koronaren Herzerkrankung neue Anwendungsmöglichkeiten verspricht.

Abgerundet wird das Programm durch Fallbeispiele, die den Einsatz der Magnetresonanztomographie in der klinischen Routine widerspiegeln. Erstmals haben wir uns entschlossen, auch der Industrie Gehör zu verschaffen, ohne deren Unterstützung die Abhaltung einer solchen Veranstaltung gar nicht möglich wäre. Im sogenannten „Industrial Forum“ werden Vertreter der drei größten Herstellerfirmen von MR-Geräten eine kurze Einführung über firmenspezifische Hard- und Softwareentwicklungen geben.

Dieses Sonderheft des Journals für Kardiologie beinhaltet Zusammenfassungen zu allen Themenbereichen, die im Rahmen des Symposiums ausführlich behandelt werden. Somit wünsche ich Ihnen viel Vergnügen beim Lesen dieser Ausgabe und beim Besuch unseres Symposiums.

*Dr. Norbert Watzinger
Medizinische Universitätsklinik Graz
Abteilung für Kardiologie*

Programm VORMITTAG	Programm NACHMITTAG
<p>Grundlagen, Funktion und Fluss Vorsitz: Frank, Watzinger</p> <p>09:00 Anatomie und Planung R Maier, Graz</p> <p>09:22 Regionale und globale Funktion M Mori, Linz</p> <p>09:44 Flußmessungen S Globits, St. Pölten</p> <p>10:06 Automatische Auswertung und Quantifizierung H de Groot, Leiden</p> <p>10:30-11:00 PAUSE</p>	<p>Perfusion und Vitalität Vorsitz: Salomonowitz, Maier</p> <p>14:00 Perfusion B Kaiser, St. Pölten</p> <p>14:22 Myokardvitalität N Watzinger, Graz</p> <p>14:44 Fallbeispiele Mori, Globits, Maier</p> <p>15:06 Industrial Forum C Rauch (Philips), S Eder (Siemens), E Penner (GE)</p> <p>15:30-16:00 PAUSE</p>
<p>Strukturelle Herzerkrankungen Vorsitz: Schulz-Menger, Globits</p> <p>11:00 Perikard- und Myokarderkrankungen J Schulz-Menger, Berlin</p> <p>11:22 Rechtsventrikuläre Erkrankungen H Frank, Tulln</p> <p>11:44 Raumforderungen und kongenitale Vitien H Frank, Tulln</p> <p>12:06 Fallbeispiele Niel, Maier, Frank</p> <p>12:30-14:00 MITTAGSPAUSE</p>	<p>MR-Angiographie Vorsitz: Friedrich, Rienmüller</p> <p>16:00 MR-Angiographie der thorakalen Gefäße W Judmaier, Innsbruck</p> <p>16:22 Aortenerkrankungen E Salomonowitz, St. Pölten</p> <p>16:44 Koronarien MRCA und Flußmessungen S Globits, St. Pölten</p> <p>17:06 KHK-Diagnostik mit CT G Friedrich, Innsbruck</p> <p>17:30 ADJOURN</p>

Anatomie und Planung

R. Maier

■ Zusammenfassung

Die Achsen des Herzens und der großen Gefäße liegen nicht in den drei Hauptebenen des Körpers, transversal (axial), frontal (koronal) und sagittal. Um Schnittbilder zu erhalten, die den anatomischen Strukturen des Herzens gerecht werden, müssen daher auf die Hauptebenen ein- oder mehrfach gewinkelte Ebenen gewählt werden. Die damit gewonnenen Bilder entsprechen großteils den aus der Echokardiographie bekannten Ebenen. Die Untersuchungsplanung erfolgt anhand sogenannter Suchschnitte, die das Herz in den drei Hauptebenen des Körpers zeigen. Transversale Schnitte erlauben eine morphologische Beurteilung des ganzen Herzens. Abhängig von der Fragestellung können weitere Aufnahmen in verschiedenen Ebenen geplant werden. Zur Funktionsbeurteilung werden v. a. der linksventrikuläre Zweikammerblick, der Vierkammerblick sowie die kurze Achse verwendet. Weiters können Schnitte in den Ebenen des links- bzw. rechtsventrikulären Ausflußtrakts sowie der ascendierenden bzw. LAO-Aorta geplant werden. Zur Untersuchung kongenitaler Herzfehler und der Koronarien sind spezielle Planungen notwendig.

■ Einleitung

Im Gegensatz zur Computertomographie können in der Magnetresonanztomographie Schnittbilder in jeder beliebigen Ebene erzeugt werden. Neben Schnitten in den Hauptebenen des Körpers, transversal (axial), frontal (koronal) und sagittal, können auch auf diese Standardebenen ein- oder mehrfach gewinkelte, schräge Schnitte angefertigt werden. Dadurch erhält man Schnitte entlang den wahren Herzachsen, z. B. entlang der langen bzw. kurzen Achse des Herzens, wie sie in der Echokardiographie üblich sind.

■ Untersuchungsplanung

Nach Anfertigung sogenannter *Suchschnitte*, auf denen das Herz in den drei Hauptebenen des Körpers dargestellt wird, werden *transversale Schnitte* durch das Herz und die großen Gefäße vom Zwerchfell bis zum Aortenbogen durchgeführt. Diese ermöglichen eine morphologische Beurteilung des gesamten Herzens sowie der großen Gefäße. Quantitative Aussagen über Wandstärken, Dimensionen der Herzhöhlen und die Funktion einzelner Herzabschnitte sind jedoch nicht möglich [1]. Dazu ist es notwendig, das Herz entlang seiner anatomischen Achsen darzustellen [2, 3].

Der *Zweikammerblick des linken Ventrikels* wird auf ein transversales Bild aus den Suchschnitten geplant. Dargestellt werden auf dieser einfach gewinkelten Schnittebene der linke Vorhof, die Mitralklappe und der linke Ventrikel in seiner Längsachse, vergleichbar dem apikalen Zweikammerblick in der Echokardiographie. Diese Ebene eignet sich zur Beurteilung der regionalen und globalen Linksventrikelfunktion, zur Berechnung des linksventrikulären Volumens und seiner Auswurfraction sowie zur Darstellung von Mitralklappenfehlern.

Die *Planung des Vierkammerblicks* erfolgt auf den bereits einfach gewinkelten Zweikammerblick, was jedoch bei steilgestellten Herzen nicht immer ganz einfach ist. Alternativ kann er auch auf die kurze Achse des Herzens geplant werden. Es entsteht eine zweifach gewinkelte Schnittebene, entsprechend dem apikalen Vierkammerblick der Echokardiographie, in der alle vier Herzhöhlen sowie die Segelklappen zur Darstellung kommen. Neben der Beurteilung der regionalen und globalen Linksventrikelfunktion erlaubt diese Ebene auch eine Beurteilung der rechtsventrikulären Funktion, der Mitralklappen- und Trikuspidalklappe und kann Septumdefekte darstellen.

Die *kurze Achse* wird unter Zuhilfenahme des Vierkammer- oder des linksventrikulären Zweikammerblicks senkrecht auf das Ventrikel- oder Vorhofseptum geplant und stellt somit eine mehrfach gewinkelte Ebene dar. Die Schnitte werden in mehreren Ebenen durch Ventrikel und Vorhöfe gelegt. Dadurch wird eine Quantifizierung der rechts- und linksventrikulären Funktion sowie der Muskelmasse ermöglicht.

Die *Ebene des linksventrikulären Ausflußtrakts* wird auf ein koronales Bild aus den Suchschnitten geplant und entspricht der parasternalen bzw. apikalen Längsachse der Echokardiographie. Zur Darstellung kommen der linke Ventrikel mit seinem Ein- und Ausflußtrakt, die Mitralklappe, der linke Vorhof sowie Aortenklappe, Aortenwurzel und proximale Aorta ascendens. Diese Ebene eignet sich besonders zur Beurteilung von Aortenklappenfehlern und Ausflußtraktobstruktionen.

Der *Zweikammerblick des rechten Ventrikels* wird analog dem linksventrikulären Zweikammerblick einfach gewinkelt auf ein transversales Bild aus den Suchschnitten geplant. Die Ebene verläuft parallel zum Ventrikelseptum und bringt rechten Ventrikel, Trikuspidalklappe und rechten Vorhof zur Darstellung.

Die *Ebene des rechtsventrikulären Ausflußtrakts* wird auf ein koronales Bild aus den Suchschnitten geplant und ist somit einfach gewinkelt. Sie dient z. B. zur Beurteilung von Pulmonalklappenfehlern oder einer Infundibulumstenose.

Die *Ebene der ascendierenden Aorta* wird anhand transversaler Suchschnitte von der Aortenklappe bis zum Beginn des Aortenbogens geplant. Diese einfach gewinkelte Ebene findet Verwendung zur Beurteilung von Aortenklappenfehlern, einer Aortendilatation bzw. eines -aneurysmas etc.

Die *LAO-Aortenebene* wird auf transversale Suchschnitte vom Aortenbogen nach kaudal bis in Höhe des Hiatus aorticus

Korrespondenzadresse: Dr. med. Robert Maier, Medizinische Universitätsklinik, Abteilung für Kardiologie, Interdisziplinäres Cardiac Imaging Center, Auenbruggerplatz 15, A-8036 Graz; E-Mail: robert.maier@uni-graz.at

geplant. Damit wird versucht, in einer einfach gewinkelten Ebene die gesamte Aorta thoracalis darzustellen, vergleichbar mit der Darstellung in der Angiographie. Fragestellungen wie Aortenaneurysma oder Aortenisthmusstenose können damit abgeklärt werden.

Zur Untersuchung kongenitaler Herzfehler sind abhängig von der zugrundeliegenden Pathologie spezielle Schnittführungen notwendig. Auch die Darstellung der Koronararterien verlangt, abgesehen von einer speziellen Untersuchungstechnik, besondere Schnittebenen.

Literatur

1. Rademakers FE, Bogaert J. Cardiac Anatomy. In: Bogaert J, Duerinckx AJ, Rademakers FE (eds). *Magnetic Resonance of the Heart and Great Vessels*. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 2000; 29–38.
2. Blackwell GG, Cranney GB, Pohost GM. *Normal Cardiovascular Anatomy*. In:

Blackwell GG, Cranney GB, Pohost GM (eds). *MRI: Cardiovascular System*. Gower Medical Publishing, New York/London, 1992; 3.1–3.17.

3. Cranney GB, Blackwell GG, Lotan CS. *Angulated Imaging Planes for Cardiovascular MRI Exams*. In: Blackwell GG, Cranney GB, Pohost GM (eds). *MRI: Cardiovascular System*. Gower Medical Publishing, New York/London, 1992; 4.1–4.13.

Regionale und globale Funktion

M. Mori

■ Einleitung

Die Quantifizierung der systolischen links- und rechtsventrikulären Funktion wird im klinischen Alltag mit Echokardiographie oder Radionuklidventrikulographie durchgeführt. Diese Methoden sind einerseits durch die oft schlechte Schallbarkeit des Patienten und dadurch schlechte Abgrenzbarkeit des Endokards eingeschränkt aussagekräftig. Andererseits werden mathematische Formeln angewandt, die von einer regelmäßigen geometrischen Form der Herzkammern ausgehen. Die kardiale Magnetresonanztomographie wendet zur Quantifizierung der Ventrikelfunktion die Scheibchen-Summationsmethode nach Simpson an. Die qualitative Beurteilung der regionalen Funktion ist in den entsprechend den AHA-Richtlinien vorgegebenen Schnitten möglich und aufgrund der digitalen Bilddaten einer exakten, softwaregestützten Auswertung zugänglich.

■ Globale Funktion

Die exakte Bestimmung der links- und rechtsventrikulären Funktion sowie die Muskelmasse und Veränderungen derselben sind wesentliche Daten in der klinischen Kardiologie. Unabhängig von der Schallbarkeit des Patienten liefert die kardiale Magnetresonanztomographie gut auswertbare digitale Bilder, die die Bestimmung der Volumina, der Auswurf-fraktion und der Muskelmasse des linken und rechten Ventrikels ermöglichen. Ausgehend von einer Schnittebene in der horizontalen langen Achse werden Kurzsachsenschnitte generiert, die das gesamte Herz umfassen. In diesen Kurzsachsenschnitten werden in den einzelnen Bildern des Cine-loops das Endo- und Epikard des linken Ventrikels sowie das Endokard des rechten Ventrikels markiert. Entsprechend der Distanz der Kurzsachsenschnitte kann aus der Summe der Volumina das enddiastolische und das endsystolische Ventrikelvolumen berechnet sowie die linksventrikuläre Muskelmasse quantifiziert werden. Aus der Differenz ergibt sich das Schlagvolumen, und durch Multiplikation mit der Herzfrequenz kann auch das Herzzeitvolumen exakt bestimmt werden. Auch unregelmäßig konfigurierte Ventrikel durch Remodelling nach Infarkt werden exakt vermessen. Die Validität der Messungen wurde sowohl im Tiermodell als auch in Vergleichen mit den anderen klinisch angewandten Methoden demonstriert [1, 2]. Als Stan-

dard werden derzeit sogenannte SSFP (Steady State Free Precession)-Sequenzen verwendet, die das Blut mit einer hohen Signalintensität darstellen und dadurch einen hohen Kontrast zum Myokard erzeugen. Die exakte Abgrenzung des Endokards ist dadurch sowohl manuell als auch softwaregestützt halbautomatisch möglich. Der Zeitaufwand für die Akquisition der Cine-loops und die Auswertung der Messungen sind durch Entwicklungen bei den Sequenzen und der Auswertesoftware auch für die tägliche Routine geeignet [3]. Durch Realtime-Imaging kann die Akquisitionszeit weiter verkürzt werden [4].

■ Regionale Funktion

Die Schnittebenen durch das linksventrikuläre Myokard können so gewählt werden, daß die Erfassung der Myokardsegmente entsprechend der Klassifikation der AHA-Richtlinien möglich ist. Dadurch ist die Auswertung der Myokarddicke und der systolischen Verdickung möglich, was eine exakte Wandbewegungsanalyse zuläßt. Die Cine-loops werden sowohl in Ruhe als auch nach pharmakologischem Streß (Dobutamin, Adenosin oder Dipyridamol) akquiriert. Untersuchungen in Analogie zum Dobutaminstreßecho sind dadurch möglich, allerdings ohne Einschränkung der Beurteilbarkeit durch schlechte Schallqualität. Die klinische Validität wird derzeit in großen Multicenterstudien untersucht, die klinische Erfahrung zeigt eine Überlegenheit der Methode im Hinblick auf die Auswertbarkeit der Bilder, die Patientenbelastung und die Untersuchungsdauer. Kombiniert mit dem Vitalitätsnachweis können somit alle Informationen, die durch nuklearmedizinische Methoden gewonnen werden, auch durch kardiale Magnetresonanztomographie ohne Strahlenbelastung erlangt werden.

Literatur

1. Lorenz CH, Walker ES, Morgan VL, Klein SS, Graham TP. Normal human right and left ventricular mass, systolic function, and gender differences by cine magnetic resonance imaging. *JCMR* 1999; 1: 7–21.
2. Bellenger NG, Burgess MI, Ray SG, Lahiri A, Coats AJS, Cleland JGF, Pennell DJ. Comparison of left ventricular ejection fraction and volumes in heart failure by echocardiography, radionuclide ventriculography and cardiovascular magnetic resonance. *Eur Heart J* 2000; 21: 1387–96.
3. Bellenger NG, Francis JM, Davies CL, Coats AJ, Pennell DJ. Establishment and performance of a magnetic resonance cardiac function clinic. *JCMR* 2000; 2: 15–22.
4. Kaji S, Yang PC, Kerr AB, Tang WHW, Meyer CH, Macovsky A, Pauly JM, Nishimura DG, Hu BS. Rapid evaluation of left ventricular volume and mass without breath-holding using real-time interactive cardiac magnetic resonance imaging system. *JACC* 2001; 38: 527–33.
5. Cerqueira MD, Weissman NJ, Dilsizian V, Jacobs AK, Kaul S, Lasky WK, Pennell DJ, Rumberger JA, Ryan T, Verani MS. Standardized myocardial segmentation and nomenclature for tomographic imaging of the heart. *Circulation* 2002; 105: 539–42.

Korrespondenzadresse: OA Dr. med. Michael Mori, Krankenhaus der Barmherzigen Schwestern, 2. Interne Abteilung/Kardiologie, Seilerstätte 4, A-4010 Linz; E-Mail: michael.mori@bhs.at

Blutflußmessungen mittels MRT

S. Globits, E. Salomonowitz

■ Zusammenfassung

Neben der Time-of-flight-Methode hat sich in der kardialen MRT vor allem die Phasenkontrasttechnik (velocity encoded cine MR) etabliert. Das Grundprinzip basiert auf der Beziehung zwischen Phasenverschiebung und Eigengeschwindigkeit der Protonen im Blutstrom entlang eines Gradienten. Mit dieser Methode kann zeitlich und örtlich die Blutflußgeschwindigkeit innerhalb des Gefäßdurchmessers bestimmt werden. Die Darstellung des Phasenbildes erfolgt in unterschiedlichen Graustufen und enthält Information über Richtung und Geschwindigkeit des Blutflusses. Die Methode wurde sowohl *in vitro* als auch *in vivo* validiert. Der vorliegende Artikel gibt einen kurzen Überblick über die potentiellen klinischen Anwendungsmöglichkeiten.

■ Einleitung

Blutflußmessungen mittels MRT basieren entweder auf dem Effekt des Blutflusses auf die Signalintensität der longitudinalen Magnetisierung (sog. Time-of-flight-Effekt) oder auf der Beeinflussung der Phase der transversalen Magnetisierung (sog. Phasenkontrasttechnik). Bei der Time-of-flight-Technik [1] werden die bewegten Protonen des fließenden Blutes durch Radiofrequenzimpulse auf einer anatomischen Ebene markiert und distal davon dargestellt bzw. gemessen (sog. Bolus-tracking). Da die Zeit zwischen Markierung und Messung der Protonen sowie die Distanz der beiden anatomischen Ebenen bekannt sind, kann daraus die Geschwindigkeit bestimmt werden. Bei der Phasenkontrasttechnik, die erstmals 1982 von Moran beschrieben wurde, erfolgt die Messung der Phasenverschiebung von sich bewegenden Protonen in Relation zu stationären Protonen der Umgebung während der Einwirkungsdauer eines Gradienten [2]. Um das Signal des Hintergrundes zu unterdrücken und lokale Feldinhomogenitäten des statischen Magnetfeldes auszugleichen, werden zwei bipolare Gradientenpulse mit gleicher Stärke, jedoch unterschiedlicher Richtung angewandt. Die Subtraktion dieser beiden Daten liefert sowohl die anatomische Information (Magnitudenbild) als auch die Blutflußinformation (Phasenbild). Vom Datensatz des Phasenbildes kann die Geschwindigkeit direkt innerhalb einer region of interest (ROI) gemessen werden, zusätzlich kann über dem gesamten Gefäßquerschnitt die mittlere Geschwindigkeit bestimmt werden. Das Produkt aus Fläche und mittlerer Geschwindigkeit liefert das instantane Blutflußvolumen pro Herzphase innerhalb des Herzzyklus. Durch Integration aller instantanen Flußvolumina über den Herzzyklus kann das Blutflußvolumen pro Herzschlag und damit das Herzminutenvolumen bestimmt

werden. Diese Technik wurde sowohl *in vitro* an Flußphantomen als auch *in vivo* durch internen Vergleich von links- und rechtsventrikulärem Schlagvolumen aus der volumetrischen Bestimmung mittels Gradientenechotechnik validiert. Darüber hinaus finden sich gute Korrelationen zwischen zentralvenösem Rückstrom und aortalem bzw. pulmonalem Fluß. Die Methode wurde auch gegenüber invasiven Messungen bei guter Sensitivität und Spezifität validiert.

■ Klinische Anwendungsmöglichkeiten

Klappenstenosen

Potentielle Vorteile der Phasenkontrasttechnik gegenüber der Dopplersonographie sind die freie Wahl der Schnittebene sowie die dreidimensionale Erfassung des Jets. Es gibt mehrere Autorengruppen [3], die sich der Quantifizierung von Aortenklappenstenosen mittels Phasenkontrasttechnik im Vergleich zu konventionellen Methoden gewidmet haben und eine gute Korrelation zeigen, allerdings ist die MR-Technik durch die begrenzte zeitliche Auflösung im Hinblick auf das Auftreten der maximalen Flußgeschwindigkeit im Herzzyklus limitiert. Aus der maximal dokumentierten Geschwindigkeit in der Stenose kann mittels modifizierter Bernoulligleichung ($\Delta P = V_{\max}^2 \times 4$) der Schweregrad der Stenose bestimmt werden. Eine potentielle Fehlerquelle stellt eine Winkelabweichung zwischen flußcodierendem Gradienten und Flußrichtung dar, die zu einer Abweichung der gemessenen Geschwindigkeit von der tatsächlichen Geschwindigkeit führt. Weiters wird die Meßgenauigkeit in Abhängigkeit von der Schichtdicke durch Teilvolumenartefakte beeinflusst.

Klappeninsuffizienzen

Durch Anwendung der Phasenkontrasttechnik kann das Schlagvolumen des linken und rechten Ventrikels aus dem Zeitintegral der Flußvolumenkurve in Aorta und Pulmonalarterie gemessen werden. In mehreren Studien konnte gezeigt werden, daß links- und rechtsventrikuläres Schlagvolumen mittels Phasenkontrasttechnik gut miteinander korrelieren und daß die Volumendaten auch hervorragend mit volumetrischen Bestimmungen aus der Gradientenechotechnik korrelieren. Ein potentieller Nachteil der Methode ist jedoch, daß es sich um keine Echtzeitmethode handelt, die das Schlagvolumen von Schlag zu Schlag mißt, sondern daß die Messung über mehrere Herzzyklen gemittelt wird. Grundsätzlich kann bei Vorliegen einer Klappeninsuffizienz das Regurgitationsvolumen bzw. die Regurgitationsfraktion auf zwei Arten bestimmt werden: Einerseits kann die Differenz von links- und rechtsventrikulärem Schlagvolumen herangezogen werden, welche aus Aorta ascendens und Pulmonalarterienhauptstamm bestimmt wird, andererseits können in der Aorta ascendens im Rahmen einer Aorteninsuffizienz der antegrade und retrograde Fluß direkt bestimmt werden und aus der Differenz die oben genannten Parameter berechnet werden. Die Interstudienreproduzierbarkeit ist jedenfalls sehr hoch (R >

Korrespondenzadresse: Univ.-Doz. Dr. med. Sebastian Globits, 3. Medizinische Abteilung, KH St. Pölten, Probst-Führer-Straße 4, A-3100 St. Pölten; E-Mail: sebastian.globits@univie.ac.at

0,97), so daß diese Methode ideal für Follow-up-Untersuchungen und das Monitoring von pharmakologischen Interventionen geeignet ist [4]. Im Falle der Mitralinsuffizienz kann aus der Differenz des linksventrikulären Ausstroms in der Aorta ascendens und des linksventrikulären Einstroms über der Mitralklappe die Regurgitationsfraktion direkt bestimmt werden.

Blutflußmessung in Koronargefäßen

Edelmann mit Mitarbeitern war einer der ersten, der blutfluß-sensitive segmentierte schnelle Gradientenechosequenzen in Koronargefäßen von Normalpersonen erfolgreich anwendete und eine Zunahme der Blutflußgeschwindigkeit nach intravenöser Applikation von Adenosin messen konnte [5]. Die Phasenkontrasttechnik wurde auch in der Diagnostik von aortokoronaren Bypassen verwendet, wobei sich das Blutflußprofil eines venösen und arteriellen Bypasses während des Herzzyklus deutlich unterscheidet (Blutflußmaximum venös: Mid-Diastole; arteriell: End-Systole). Insbesondere ist die proximale A. mammaria interna für Blutflußmessungen geeignet, da sie einen geraden Gefäßverlauf ohne wesentliche atem- oder herzsynchrone Bewegungsartefakte aufweist. Da bei Verwendung der Mammaria für eine aortokoronare Bypassoperation die Seitenäste abgetrennt werden, kann die Blutflußmessung auf jeder Höhe zwischen Ursprung und distaler Anastomose erfolgen. Es ist allerdings anzumerken, daß die Phasenkontrasttechnik durch Partialvolumeneffekte, Probleme bei der Gefäßwanddefinition, Phasenverschiebungen des umgebenden stationären Gewebes sowie Bewegungs- und Atemartefakte limitiert ist. Diese Limitationen konnten zum Teil durch hochauflösende Mehrelement-Oberflächenspulen, Atemanhaltetechnik oder Anwendung von 3-D-Verfahren mit Navigatortechnik gelöst werden.

Weitere klinische Anwendungsgebiete

- Messung des Blutflusses im Pulmonalishauptstamm und pulmonalen Seitenästen vor und nach Lungentransplantation oder bei Patienten mit pulmonaler Hypertension (früher systolischer Peak und retrograder Fluß in der Spätsystole bzw. frühen Diastole, heterogene Verteilung der Blutflußrichtung innerhalb des Gefäßquerschnittes)
- Vergleich von links- und rechtsventrikulärem Schlagvolumen bei Links-Rechts-Shunt im Rahmen von Vorhofseptumdefekten; Messung von ventrikulopulmonalen Shuntverbindungen
- Erstellung physiologischer Blutflußprofile in der Aorta ascendens (höchster antegrader Fluß in der Systole und eine geringe diastolische Flußumkehr in der links-posterioren Region der Aorta, in Richtung linke Koronararterie)
- Bestimmung der Aortencompliance aus der volumetrischen Veränderung in der Aorta und dem peripheren Blutdruck
- Bestimmung der Blutflußgeschwindigkeit in wahren und falschem Lumen bei Aortendissektionen
- Bestimmung des Blutflusses in V. cava superior und inferior bei Patienten mit Rechtsherzproblem (pulmonale Hypertension, Dysplasie, Sarkoidose, Tumoren mit Cavaobstruktion).

Literatur

1. Axel L, Shimakawa A, Mac Fall J. A time-of-flight method of measuring flow velocity by magnetic resonance imaging. *Magn Reson Imaging* 1986; 4: 199–205.
2. Moran PR. A flow velocity zeugmatographic interlace for NMR imaging in humans. *Magn Reson Imaging* 1982; 1: 197–203.
3. Eichenberger AC, Jenni R, von Schulthess GK. Aortic valve pressure gradients in patients with aortic valve stenosis: quantification with velocity-encoded cine MR imaging. *AJR* 1993; 160: 971–7.
4. Dulce MC, Mostbeck GH, O'Sullivan M. Severity of aortic regurgitation: interstudy reproducibility of measurements with velocity-encoded cine MRI. *Radiology* 1989; 185: 235–40.
5. Edelman RR, Manning WL, Gervino E, Li W. Flow velocity quantification in human coronary arteries with fast breathhold MR angiography. *J Magn Reson Imaging* 1993; 3: 699–703.

Myokarditis und Perikarditis – Darstellung mittels kardialer Magnetresonanztomographie

J. Schulz-Menger

■ Zusammenfassung

Die kardiale Magnetresonanztomographie (MRT) stellt den etablierten Goldstandard zur Beurteilung der linksventrikulären Funktion durch die Möglichkeit der nichtinvasiven dreidimensionalen Darstellung dar.

Darüber hinaus ist die MRT in der Lage, durch die Anwendung sowohl kontrastmittelverstärkter als auch -freier Sequenzen, myokardiales Gewebe zu charakterisieren. Durch Verbesserungen von Hard- und Software hat diesbezüglich insbesondere die kontrastverstärkte kardiale MRT bereits Eingang in die klinische Routine, z. B. bei der Diagnostik der koronaren Herzkrankheit, gefunden. Für den Kliniker stellt aber die Myokarditis ein erhebliches diagnostisches und therapeutisches Problem dar. Unter Anwendung der kontrastverstärkten MRT gelingt es, myokardiale Schädigungen bereits zu einem Zeitpunkt zu diagnostizieren, bei denen die linksventrikuläre Funktion noch unauffällig ist. Zusätzlich kann die Methode angewendet werden, um den Therapieerfolg zu kontrollieren. In den nächsten Jahren werden multizentrische Studien den genauen Stellenwert der kardialen MRT darstellen können.

■ Einleitung

Die Myokarditis wird als sekundäre Kardiomyopathie klassifiziert, deren Ätiologie vielschichtig ist [1]. Die häufigsten Ursachen sind virale Infektionen (z. B. Coxsackievirus, Parvovirus B 19), aber auch toxische Reaktionen (z. B. im Rahmen einer Chemotherapie oder bei Drogengebrauch), und darüber hinaus können myokardiale Mitbeteiligungen bei Systemerkrankungen zu entzündlichen Veränderungen des Myokards führen.

Eine Perikarditis kann sowohl im Rahmen einer myokardialen Erkrankung, aber auch isoliert auftreten.

Die durchschnittliche Inzidenz der Myokarditis ist nicht genau bekannt, Zahlen aus Autopsieberichten schwanken zwischen 1 und 9 %. Obwohl eine schwere Myokarditis keine sehr häufige Erkrankung ist, gehört sie doch zu den Hauptursachen des plötzlichen Herztodes bei jungen Erwachsenen [2]. Darüber hinaus werden bei Patienten mit dem klinischen Bild eines Myokardinfarktes und unauffälligen Koronarien bei 78 % der Betroffenen Hinweise auf eine Myokarditis gefunden [3].

Die Diagnostik der Erkrankung gestaltet sich durch den Mangel eines wirklichen Goldstandards schwierig. Die Endo-

myokardbiopsie, basierend auf den Dallaskriterien, hat eine Sensitivität von 50 % und eine Interobservervariabilität von 40 %. Die Immunhistologie hat eine höhere Sensitivität (90 %), aber die Invasivität an sich stellt einen limitierenden Faktor dar. Darüber hinaus stellt sich die Frage der biopsie-basierten therapeutischen Konsequenz (außerhalb von Studienprotokollen). Gegenwärtig existiert kein Konzept, dessen Wirksamkeit in prospektiven, doppelblinden, randomisierten Studien bewiesen werden konnte [2].

Bei der Diagnostik von Perikardveränderungen respektive insbesondere bei der Differentialdiagnose zu restriktiven Myokarderkrankungen, stellt die MRT ein Standardverfahren dar [4].

Die Diagnostik der Myokarditis hat erst in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. Durch die Anwendung der kardialen MRT ist es möglich, myokardiale Schäden unterschiedlicher Ursache darzustellen.

T2-gewichtete Sequenzen gestatten den Nachweis myokardialer Ödeme [5], während kontrastverstärkte T1-gewichtete Techniken sowohl Nekrosen bei Myokardinfarkten [6] als auch myokardiale Veränderungen im Rahmen einer akuten Myokarditis darstellen können [7].

Wir untersuchten Patienten mit verschiedenen Formen einer akuten Myokarditis (virale Infektion, toxische Schäden nach Antrazyklintherapie, myokardiale Mitbeteiligungen bei Systemerkrankungen, wie Sarkoidose und Lupus erythematoses). Alle Patienten wurden mittels Standard T1-gewichteten Multislice Spinecho-Sequenzen (TE 30 ms; TR 480–725 ms; Schichtdicke 6 mm, axial und kurze Achsen) vor und nach Applikation von 0,1 mmol/kg Gd-DTPA (Magnevist®, Schering AG; Berlin, Germany) in einem konventionellen MR-Scanner (1.0 T; Siemens-Expert; Siemens AG, Erlangen, Germany) oder in einem kardiooptimierten System (1.5 T Signa CV/i; GE; Milwaukee, USA) unter Verwendung einer Körperspule untersucht.

Die globale myokardiale Signalverstärkung nach Kontrastmittelaufnahme wurde als relatives Enhancement (Myokard im Verhältnis zum Skelettmuskel) berechnet. Außerdem wurde die linksventrikuläre Ejektionsfraktion unter Verwendung von Gradientenechosequenzen (konventionelle oder Steady-State-Free-Precession) unter Verwendung einer Oberflächenspule (phased array cardiac coil) bestimmt.

Die Kontrastmittelaufnahme aller Patienten wurde mit der von gesunden Probanden verglichen. Bei den Systemerkrankungen analysierten wir darüber hinaus das Signal bei Patienten mit und ohne Hinweis für eine kardiale Mitbeteiligung.

In allen Gruppen mit einer akuten myokardialen Erkrankung war das Signal-Enhancement signifikant höher als bei Gesunden und bei Patienten ohne Hinweis auf eine myokardiale Mitbeteiligung. Während des Follow-up konnte eine Normalisierung des Signal-Enhancements gezeigt werden, dies korrelierte gut mit einer Besserung des klinischen Befin-

Korrespondenzadresse: Dr. med. Jeanette Schulz-Menger, Franz-Volhard-Klinik, Kardiologie, Charité-Berlin, Campus Buch, Humboldt Universität, Wiltbergstraße 50, D-13125 Berlin; E-Mail: schulzmenger@fvk-berlin.de

dens. Bei den wenigsten Patienten konnten umschriebene Nekrosen nachgewiesen werden. Bemerkenswert ist, daß sich die myokardialen Veränderungen bereits bei Patienten zeigten, die keine Einschränkung der systolischen linksventrikulären Funktion aufwiesen.

Die kontrastverstärkte MR stellt eine hilfreiche, nichtinvasive Methode dar, mit der eine frühzeitige Diagnostik einer Myokarditis gelingt und die zum Follow-up geeignet ist. Obwohl es mehrere Single-Center-Studien gibt, muß der genaue klinische Stellenwert im Rahmen einer prospektiven Multi-centerstudie noch validiert werden.

Literatur

1. Richardson P, McKenna W. Report of the 1995 World Health Organization/International Society and Federation of Cardiology Task Force on the Definition and Classification of Cardiomyopathies. *Circulation* 1996; 93: 841–2.
2. Feldman AM, McNamara D. Myocarditis. *N Engl J Med* 2000; 343: 1388–98.
3. Sarda L, Colin P, Boccaro F, Daou D, Lebtahi R, Faraggi M, Nguyen C, Cohen A, Slama MS, Steg PG, Le Guludec D. Myocarditis in patients with clinical presentation of myocardial infarction and normal coronary angiograms. *J Am Coll Cardiol* 2001; 37: 786–92.
4. Matsui T, Finck S, Higgins CB. Constrictive pericarditis and restrictive cardiomyopathy: evaluation with MR imaging. *Radiology* 1992; 182: 369–73.
5. Gagliardi MG, Polletta B, Di Renzi P. MRI for the diagnosis and follow up of myocarditis (letter). *Circulation* 1999; 99: 458–9.
6. Kim RJ, Fieno DS, Parrish TB, Harris K, Chen EL, Simonetti O, Bundy J, Finn JP, Klocke FJ, Judd RM. Relationship of MRI delayed contrast enhancement to irreversible injury, infarct age, and contractile function. *Circulation* 1999; 100: 1992–2002.
7. Friedrich MG, Strohm O, Schulz-Menger J, Marciniak H, Luft FC, Dietz R. Contrast media-enhanced magnetic resonance imaging visualizes myocardial changes in the course of viral myocarditis. *Circulation* 1998; 97: 1802–9.

Magnetresonanz in der Diagnostik der rechtsventrikulären Dysplasie (ARVD)

H. Frank

Die arrhythmogene rechtsventrikuläre Dysplasie (ARVD) ist eine selten auftretende Erkrankung, die jedoch primär bei jugendlichen Patienten gefunden wird und aufgrund der induzierten Rhythmusstörungen auch letal enden kann. Aus *Post-mortem*-Studien ist bekannt, daß die ARVD mit morphologischen Veränderungen im Bereich der rechtsventrikulären freien Wand einhergeht und dort teils fettige Infiltrationen bzw. Fibrosierungen zeigt. Auffallend ist in diesem Bereich eine Verdünnung der rechtsventrikulären freien Wand.

Die Diagnostik ist an sich schwierig, da bis jetzt sämtliche Untersuchungsverfahren unspezifisch waren. So auch die Echokardiographie, die für die Beurteilung der rechtsventrikulären Wand suboptimale Ergebnisse brachte. Die Magnetresonanztomographie (MR) hat aufgrund der Größe des field-of-view sowie der Möglichkeit der Gewebedifferenzierung und der Volumenquantifizierung eine bedeutende Stelle in der

Beurteilung der ARVD eingenommen. So sind z. B. die reduzierte rechtsventrikuläre Pumpfunktion sowie die erhöhten rechtsventrikulären, enddiastolischen Volumina bei Patienten mit ARVD mit der MR gut quantifizierbar. Darüber hinaus ist eine Beurteilung der rechtsventrikulären freien Wand mittels MR sehr gut möglich und dadurch das Vorliegen einer Wandverdünnung bzw. einer fettigen Infiltration des Myokards für eine ARVD diagnostisch.

Eines der wesentlichsten Kriterien für die ARVD ist das Vorliegen von regionalen Dyskinesien im Bereich von fettigen bzw. fibrösen Myokardabschnitten, die mittels Multislice-Multiphasen-Sequenz beurteilt werden können. Diese Sequenzen müssen sowohl in der langen als auch in der kurzen Achse durchgeführt werden, um alle rechtsventrikulären Wandabschnitte gut beurteilen zu können.

Zusammenfassend ist die Magnetresonanz als Goldstandard-Methode für die Beurteilung von morphologischen Veränderungen, wie sie bei einer ARVD zu finden sind, anzusehen. Die Beurteilung ist jedoch insgesamt schwierig, sodaß diese Interpretation von Herz-MR-erfahrenen Kardiologen durchgeführt werden sollte.

Literatur beim Verfasser.

Korrespondenzadresse: Prim. Univ.-Prof. Dr. med. Herbert Frank, Interne Abteilung, A.ö. NÖ Landeskrankenanstalt, Alter Ziegelweg 50, A-3430 Tulln; E-Mail: interne@donauklinikum.at

Magnetresonanztomographie in der Diagnostik von kardialen Raumforderungen und komplexen kongenitalen Vitien

H. Frank

Die Magnetresonanztomographie (MR) wird vermehrt zur Diagnostik von komplexen kongenitalen Vitien, auch vorwiegend im pädiatrischen Bereich sowie in der Nachkontrolle, eingesetzt. Durch den Vorteil des großen field-of-view können Gefäßanomalien sowie intrathorakale Malformationen sowohl auf normalen Spin-Echosequenzen wie auch auf Gradientenechosequenzen diagnostiziert werden. Aus diesem Grund sind kongenitale Vitien wie Ductus Botalli, Fallotsche Tetralogie, Double outlet right ventricle, Transposition der großen Arterien etc. mittels MR gut beurteilbar. Auch im Follow-up, gerade durch die Beurteilung von Regurgitations-Volumina, durch die velocity encoded CINE-MR-Technik bei Pulmonalinsuffizienzen, ist diese nichtinvasive bildgebende Methode als geeignet anzusehen.

Korrespondenzadresse: Prim. Univ.-Prof. Dr. med. Herbert Frank, Interne Abteilung, A.ö. NÖ Landeskrankenanstalt, Alter Ziegelweg 50, A-3430 Tulln; E-Mail: interne@donauklinikum.at

Bezüglich der intra- und extrakardialen Raumforderungen ist die MR gerade durch Verwendung von T2-Sequenzen und Gadolinium-DTPA eine für den klinischen Alltag wesentliche Technik. Durch den Vorteil einer Gewebedifferenzierung aufgrund der unterschiedlichen Signalintensitäten trägt die MR wesentlich zur Tumordiagnostik bei. So weisen maligne Raumforderungen ein stärkeres Signal-Enhancement auf als benigne. Kriterien der Malignität sind weiters das Vorliegen eines hämorrhagischen Perikardergusses sowie das infiltrative Wachstum. Alle diese Kriterien können durch Beurteilung der morphologischen Verhältnisse mittels T1 und T2 sowie durch Kontrastmittelgabe beurteilt werden.

Zusammenfassend ist die Magnetresonanz sowohl in der Beurteilung von komplexen kongenitalen Vitien als auch in der Diagnostik von intra- und extrakardialen Tumoren ein wesentliches und bedeutendes Untersuchungsverfahren, das auch für die Planung chirurgischer Eingriffe wesentliche Zusatzinformationen bietet.

Literatur beim Verfasser.

Myokardiale Perfusionsdiagnostik mittels Magnetresonanztomographie

B. Kaiser, S. Globits, E. Salomonowitz

■ Zusammenfassung

Durch die Entwicklung ultraschneller Sequenzen und Meßtechniken ist die kardiale Magnetresonanztomographie (MRT) in der Lage, Bildfolgen mit sehr hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung zu akquirieren und so die Passage eines intravenös injizierten Kontrastmittelbolus durch das Myokard darzustellen. Abhängig von der Technik gelingt die Darstellung von 3–12 Herzschichten pro RR-Intervall, wodurch in bereits einer Atemanhaltephase eine sehr genaue Aussage über die Einwaschphase des Kontrastmittels ins linksventrikuläre Myokard getroffen werden kann [1–3].

■ Einleitung

Eine myokardiale Durchblutungsstörung führt zu einer Reduktion der Sauerstoffzufuhr und geht daher Wandbewegungsstörungen, EKG-Veränderungen und einer Angina pectoris in der Ischämiekaskade voraus. Neben der funktionellen Relevanz von Koronarstenosen kann mittels MRT auch eine Aussage über eventuell vorhandene Kollateralen getroffen werden. Im Vergleich zu den in der Routineperfusiondiagnostik eingesetzten nuklearmedizinischen Verfahren wie der Single-Photonen-Emissionstomographie oder der Positronenemissionstomographie bietet die MRT eine deutlich bessere räumliche Auflösung und ermöglicht so im Gegensatz zu den nuklearmedizinischen Verfahren auch die Darstellung von subendokardial gelegenen Perfusionsstörungen [1, 4, 5].

■ Methodik

Unter Anwendung moderner Techniken ist eine räumliche Auflösung von 1,5 mm × 1,5 mm bei einer Schichtdicke von 5–8 mm durchaus möglich, was die Magnetresonanztomographie nun zu einem sehr potenten und konkurrenzfähigen Instrumentarium der myokardialen Perfusionsdiagnostik macht. Außerdem können Verlaufskontrollen aufgrund der fehlenden Strahlenexposition unbedenklich durchgeführt werden, während dies bei nuklearmedizinischen Verfahren problematisch erscheint. Wie bei den diversen anderen Untersuchungsverfahren ist in der myokardialen Perfusionsdiagnostik für die Erkennung der Auswirkung einer signifikanten Koronarstenose eine Untersuchung unter pharmakologischen Streßbedingungen zur Rekrutierung einer Perfusionsreserve unerlässlich. Unter Ruhebedingungen können nur schwere Perfusionsstörungen, basierend auf hochgradigen Koronarstenosen, erfaßt werden, zusätzlich scheint das Vorhanden- oder Nichtvorhandensein von

Gefäßkollateralen eine entscheidende Rolle zu spielen [1, 6, 7]. Unter pharmakologischer Belastung kommt es aufgrund des bewußt provozierten und aus der Pathophysiologie bekannten Steal-Phänomens zu einer Akzentuierung der Minderperfusion im betroffenen Myokardareal, wodurch die Sensitivität der Untersuchung entscheidend verbessert wird.

Für die korrekte Durchführung einer First pass-Perfusionsuntersuchung sind neben der Wahl eines geeigneten pharmakologischen Streßprotokolls (Adenosin, Dipyridamol, Dobutamin) und Kontrastmittels (intravaskulär *versus* extravaskulär) insbesondere die KM-Dosierung, die Lokalisation und die Geschwindigkeit der intravenösen KM-Applikation sowie eine mit dem Patienten trainierte Atemanhaltetechnik von Bedeutung [7, 8].

■ Datenauswertung

Bei der Datenauswertung ist eine rein visuelle Beurteilung der während der Kontrastmittelpassage akquirierten dynamischen Bilder meist nicht ausreichend sensitiv, vielmehr wird eine semi-quantitative oder, wenn möglich, quantitative Auswertung anhand der gewonnenen Signalintensitäts (SI)-Zeit-Kurven empfohlen [8–10]. Dabei spielen insbesondere Parameter wie die Anstiegsteilheit der SI-Kurve während der Kontrastmitteleinwaschphase, die maximal erreichte SI sowie der Zeitpunkt des Erreichens des SI-Maximums eine entscheidende Rolle. Um eine interindividuelle Gültigkeit dieser Parameter zu erzielen beziehungsweise um die verschiedenen hämodynamischen Gegebenheiten eines jeden Patienten vor und nach pharmakologischer Streßapplikation einzukalkulieren, müssen alle im Myokard gemessenen Werte auf diejenigen des linken Ventrikellumens bezogen und als relative Werte angegeben werden [8, 9].

Der sensitivste Parameter ist der Unterschied zwischen der Anstiegsteilheit der SI-Zeit-Kurve vor und nach Streßapplikation als Ausdruck einer induzierten Perfusionsreserve, dieser Parameter wird als Perfusionsreserve-Index angegeben [2, 8, 9].

Literatur

- Schwitzer J, Nanz D, Kneifel S, et al. Assessment of myocardial perfusion in coronary artery disease by magnetic resonance: a comparison with positron emission tomography and coronary angiography. *Circulation* 2001; 103: 2230–5.
- Al-Saadi N, Nagel E, Gross M, et al. Noninvasive detection of myocardial ischemia from perfusion reserve based on cardiovascular magnetic resonance. *Circulation* 2000; 101: 1379–83.
- Bertschinger KM, Nanz D, Buechi M, et al. Magnetic resonance myocardial first-pass perfusion imaging: parameter optimization for signal response and cardiac coverage. *J Magn Reson Imaging* 2001; 14: 556–62.
- Ibrahim T, Nekolla SG, Schreiber K, et al. Assessment of coronary flow reserve: comparison between contrast-enhanced magnetic resonance imaging and positron emission tomography. *J Am Coll Cardiol* 2002; 39: 864–70.
- Klocke FJ, Simonetti OP, Judd RM, et al. Limits of detection of regional differences in vasodilated flow in viable myocardium by first-pass magnetic resonance perfusion imaging. *Circulation* 2001; 104: 2412–6.
- Sensky PR, Jivan A, Hudson NM, et al. Coronary artery disease: combined stress MR imaging protocol – one stop evaluation of myocardial perfusion and function. *Radiology* 2000; 215: 608–14.
- Plein S, Ridgway JP, Jones TR, et al. Coronary artery disease: assessment with a comprehensive MR imaging protocol – initial results. *Radiology* 2002; 225: 300–7.
- Al-Saadi N, Gross M, Bornstedt A, et al. Comparison of various parameters for determining an index of myocardial perfusion reserve in detecting coronary stenosis with cardiovascular magnetic resonance tomography. *Z Kardiol* 2001; 90: 824–34.
- Wilke N, Jerosch-Herold M, Wang Y, et al. Myocardial perfusion reserve: assessment with multisection, quantitative, first pass MR imaging. *Radiology* 1997; 204: 373–84.
- Muhling OM, Dickson ME, Zenovich A, et al. Quantitative magnetic resonance first-pass perfusion analysis: inter- and intra-observer agreement. *J Cardiovasc Magn Reson* 2001; 3: 247–56.

Korrespondenzadresse: Dr. med. Bernd Kaiser, Zentrales Institut für Medizinische Radiologie-Diagnostik und Interventionelle Therapie, Aö KH St. Pölten, Probst-Führer-Straße 4, A-3100 St. Pölten; E-Mail: cvimr@kh-st-poelten.at

Myokardvitalität

N. Watzinger

■ Zusammenfassung

Das Vorhandensein vitalen Myokards nach einem ischämischen Ereignis beeinflusst ganz nachhaltig das weitere Management und die Prognose des Patienten. Neue Entwicklungen auf dem Gebiet der Magnetresonanz (MR) des Herzens haben das Einsatzgebiet dieser Untersuchungstechnik bei Patienten mit koronarer Herzerkrankung deutlich erweitert. Die Wanddicke und die kontraktile Reserve sind mittels MR genauer zu bestimmen als mit der Echokardiographie. Durch die Verwendung von MR-Kontrastmitteln lassen sich „No-Reflow“-Zone und Nekrose differenzieren. Aufgrund der besseren räumlichen Auflösung ist auch die Infarktgröße exakter bestimmbar als mit nuklearmedizinischen Methoden. Zusätzlich sind mittels MR-Spektroskopie auch Aussagen über den Zellmetabolismus möglich. Die MR des Herzens erlaubt somit eine Bestimmung vieler Charakteristika vitalen Myokards mit einer einzigen Untersuchungsmodalität.

■ Einleitung

Das Vorhandensein vitalen Myokards nach einer akuten Myokardischämie oder im Rahmen einer chronischen ischämischen Herzerkrankung ist von entscheidender Bedeutung bei Patienten mit einer regionalen oder globalen Ventrikelfunktionsstörung [1, 2]. Während die Revaskularisation vitaler Myokardareale die Pumpfunktion und die Prognose zu verbessern vermag, ergibt sich aus der Revaskularisation von Narbengewebe ein unnötiges Risiko ohne klinischen Benefit für den Patienten. Die Streßechokardiographie und Radionuklidtechniken sind derzeit die am weitesten verbreiteten Methoden, um das Vorhandensein und die Ausdehnung von vitalem Myokard zu bestimmen. In den letzten 10 Jahren hat sich die MR des Herzens deutlich weiterentwickelt, und mittlerweile sind einige vielversprechende neue Ansätze zur Unterscheidung von vitalem und nekrotischem Myokard beschrieben worden. Mittels MR ist es derzeit nicht nur möglich, die linksventrikuläre Wanddicke und die Kontraktionsreserve zu bestimmen, sondern die MR-Untersuchung liefert auch wichtige Informationen über andere Charakteristika vitalen Myokards, wie Perfusion, Zellmembranintegrität und Zellmetabolismus [1, 2].

■ Wanddicke und Wanddickenzunahme

In den ersten Wochen nach einem Infarkt erlaubt eine Analyse der absoluten Wanddicke und der Wandbewegung keine si-

chere Differenzierung zwischen vitalem und avitalem Myokard. Nach ungefähr 3 Monaten kommt es im Rahmen der Infarktheilung und Narbenbildung zu einer Wandverdünnung im betroffenen Areal. In dieser Phase konnte gezeigt werden, daß eine erhaltene enddiastolische Wanddicke von $\geq 5,5$ mm einen guten Indikator für das Vorhandensein von vitalem Myokard darstellt [3]. Ähnlich wie bei der Streßechokardiographie ist es auch mittels MR möglich, die Antwort des Myokards auf inotrope Stimuli zu untersuchen. Eine kontraktile Reserve bzw. dobutamininduzierte systolische Wanddickenzunahme von 1–2 mm ist ebenfalls ein guter Prädiktor für die Verbesserung der regionalen Funktion nach erfolgreicher Revaskularisation [4].

■ Kontrastverstärkte MR

Die Applikation von T1-verkürzenden, extrazellulären MR-Kontrastmitteln (Gd-DTPA) ermöglicht eine noch genauere Charakterisierung des Gewebes im Ischämiegebiet. Mittels schneller Gradientenechosequenzen ist es möglich, die Passage eines Kontrastmittelbolus durch das Myokard zu verfolgen und damit Aussagen über die regionale Perfusion zu machen. Insbesondere bei großen Infarkten kommt gelegentlich eine subendokardial gelegene, hypointense Zone zur Darstellung, die der sog. „No-Reflow“-Zone entspricht. Diese Zone ist gekennzeichnet durch eine ausgeprägte Schädigung und Obstruktion der Kapillaren und ist ein Marker für eine schlechte Prognose und ein erhöhtes Risiko für weitere Komplikationen [5]. Die „No-Reflow“-Zone ist umgeben von einer größeren hyperintensiven Zone. Durch die Ruptur von Zellmembranen im Nekroseareal bzw. die Zunahme des Extrazellulärraums im Narbengewebe kommt es zu einer Akkumulation von Kontrastmittel in diesen Bereichen. Mit Hilfe einer speziellen Pulssequenz, die das Signal von normalem Myokard unterdrückt, ist eine detailgetreue Darstellung des Ausmaßes von Nekrose oder Narbe möglich [6]. Je größer die transmurale Ausdehnung der hyperintensiven Zone ist, desto geringer ist die Chance auf eine Verbesserung der regionalen Funktion nach erfolgter Revaskularisation [7]. Bei Verwendung dieser Technik („late enhancement“) entsprechen hyperintense Myokardareale folglich avitalem Gewebe.

■ MR-Spektroskopie

Mittels MR-Spektroskopie gelingt es, den Anteil an energiereichen Phosphatverbindungen innerhalb der Zellen zu quantifizieren und eine Aussage über die Myokardvitalität zu treffen [1]. Viele technische Schwierigkeiten haben jedoch dazu geführt, daß die MR-Spektroskopie des Herzens derzeit keine Routinemethode ist. Dieser Ansatz zur Charakterisierung von vitalem Myokard ist jedoch vielversprechend und verdient weitere Beachtung.

Korrespondenzadresse: Dr. med. Norbert Watzinger, Medizinische Universitätsklinik, Abteilung für Kardiologie, Interdisziplinäres Cardiac Imaging Center, Auenbruggerplatz 15, A-8036 Graz; E-Mail: norbert.watzinger@uni-graz.at

Literatur

1. Mahrhold H, Wagner A, Judd RM, Sechtem U. Assessment of myocardial viability by cardiovascular magnetic resonance imaging. *Eur Heart J* 2002; 23: 602–19.
2. Watzinger N, Saeed M, Wendland MF, Akbari H, Lund G, Higgins CB. Myocardial viability: magnetic resonance assessment of functional reserve and tissue characterization. *J Cardiovasc Magn Reson* 2001; 3: 195–208.
3. Baer FM, Voth E, Schneider CA, Theissen P, Schicha H, Sechtem U. Comparison of low-dose dobutamine-gradient echo magnetic resonance imaging and positron emission tomography with [18]fluoro-desoxyglucose in patients with chronic coronary artery disease: a functional and morphological approach to the detection of residual myocardial viability. *Circulation* 1995; 91: 1006–15.
4. Baer FM, Theissen P, Schneider CA, Voth E, Sechtem U, Schicha H, Erdmann E. Dobutamine magnetic resonance imaging predicts contractile recovery of chronically dysfunctional myocardium after successful revascularization. *J Am Coll Cardiol* 1998; 31: 1040–8.
5. Wu KC, Zerhouni EA, Judd RM, Lugo-Olivieri CH, Barouch LA, Schulman SP, Blumenthal RS, Lima JA. Prognostic significance of microvascular obstruction by magnetic resonance imaging in patients with acute myocardial infarction. *Circulation* 1998; 97: 765–72.
6. Kim RJ, Fieno DS, Parrish TB, Harris K, Chen EL, Simonetti O, Bundy J, Finn JP, Klocke FJ, Judd RM. Relationship of MRI delayed contrast enhancement to irreversible injury, infarct age, and contractile function. *Circulation* 1999; 100: 1992–2002.
7. Kim RJ, Wu E, Rafael A, Chen EL, Parker MA, Simonetti O, Klocke FJ, Bonow RO, Judd RM. The use of contrast-enhanced magnetic resonance imaging to identify reversible myocardial dysfunction. *N Engl J Med* 2000; 343: 1445–53.

MR-Angiographie der thorakalen Gefäße

W. Judmaier

■ Einleitung

Die Darstellung der großen herznahen Gefäße durch eine MRT-Untersuchung kann für den Kliniker bei der Beurteilung einer Reihe von Krankheitsbildern wertvolle Informationen liefern. Der Ausschluß einer Pulmonalembolie, eines thorakalen Aortenaeurysmas, einer angeborenen Gefäßmißbildung oder die Kontrolle nach operativer Korrektur einer solchen stellen die häufigsten Indikationen einer MR-Untersuchung der thorakalen Gefäße dar.

Der große Vorteil der MRT ist dabei die geringe Patientenbelastung durch den Untersuchungsvorgang selbst im Sinne einer ambulanten Durchführbarkeit und des Fehlens von ionisierender Strahlung, worauf insbesondere bei Untersuchungen von Kindern ein besonderes Augenmerk gelegt werden sollte. Die Invasivität beschränkt sich auf die Punktion einer peripheren Vene zur Injektion eines Kontrastmittels, das sich durch fehlende Nephrotoxizität und beste Verträglichkeit auszeichnet, wodurch weder eine eingeschränkte Nierenfunktion noch eine Röntgenkontrastmittelallergie bzw. Jodallergie eine Kontraindikation zur Kontrastmittelgabe darstellen. Die relativ lange Untersuchungsdauer kann durch gezielte, der Fragestellung individuell angepaßte Untersuchungsprotokolle reduziert werden: Während bei komplexen Mißbildungen neben den eigentlichen MR-angiographischen Darstellungen der Gefäße auch die Anfertigung von konventionellen Schnittbildern, mitunter in mehreren Raumebenen, Sinn macht und zum Verständnis der pathologisch-anatomischen Verhältnisse viel beiträgt, kann z. B. bei der Frage nach einer Pulmonalembolie mit einer kurzen MR-Angiosequenz alleine das Auslangen gefunden werden.

■ Technik

Schnittbildtechnik

Die Schnittbilder werden wegen der Bewegungs- und Flußartefakte analog der Herzbildgebung EKG-getriggert angefertigt. Die Technik umfaßt sowohl Dark blood-Sequenzen (das fließende Blut wird durch spezielle Pulse vorgesättigt und kommt im MR-Bild signallos zur Darstellung) als auch Bright blood-Sequenzen (die Bewegung des fließenden Blutes wird in ein starkes Signal umgewandelt – Gefäßlumina erscheinen hell). Einzelheiten dieser Technik wurden bereits bei den Grundlagen der Herzbildgebung abgehandelt.

Angiographietechniken

Sie können in native und kontrastmittelunterstützte MRA eingeteilt werden.

Bei der *nativen MRA* werden die physikalischen Eigenschaften des fließenden Blutes herangezogen, um einen Bildkontrast zu erzielen. Das resultierende MR-Bild ist daher keine direkte Abbildung der Gefäßstruktur selbst, sondern eine Darstellung des Blutflusses. Hier stehen wiederum zwei unterschiedliche Verfahren zu Verfügung:

1. *Phasenkontrast-MRA (PC-MRA)*: Diese Methode ähnelt den bereits besprochenen Techniken der Flußmessung im MR. Es werden dabei – vereinfacht dargestellt – in einem Untersuchungsgang jeweils zwei unterschiedliche Bilder des Gefäßes erzeugt, einmal mit Verstärkung und einmal mit Unterdrückung des Signals des fließenden Blutes, und dann eine Bildsubtraktion durchgeführt. Im resultierenden Bild bleibt das Flußsignal übrig, die Hintergrundstrukturen werden ausgelöscht. Nachteile dieser Methode sind die Notwendigkeit, die Meßsequenz den zu erwartenden Flußgeschwindigkeiten anpassen zu müssen (Wahl eines passenden Flußcodiergradienten, dem Velocity Encoding Gradient – VENC), und die relativ lange Meßzeit. Sie findet überwiegend Anwendung bei der Darstellung von Gefäßgebieten mit langsamen Flußgeschwindigkeiten, wie z. B. der Beurteilung der venösen intrakraniellen Blutleiter. Im Bereich des Thorax spielt sie eine untergeordnete Rolle.

2. *Time-of-flight-MRA (TOF-MRA)*: Diese Meßtechnik nutzt das helle Signal von „frischem“, in die Untersuchungsregion einströmendem Blut zur Kontrastgebung. Sie ist daher geeignet für Gefäßgebiete mit schnellem Fluß. Innerhalb der Untersuchungsregion nimmt dieses Signal kontinuierlich ab (Sättigungseffekt), sodaß längerstreckige Gefäßabschnitte nicht in einer Messung erfaßt werden können. Zudem kommt es wegen dieser Signalabsättigung auch zu einer deutlich schlechteren Darstellung von Gefäßen, deren anatomischer Verlauf sich der Ebene der gewählten Darstellungsorientierung nähert. Dieses Verfahren wird routinemäßig zur Beurteilung der hirnersorgenden Arterien angewendet.

Die *kontrastmittelunterstützte MRA (KM-MRA)* ähnelt eher der Gefäßdarstellung, wie sie von Röntgenangiographietechniken bekannt ist: Das Blut wird durch das peripher injizierte Kontrastmittel markiert und durch geeignete Sequenzwahl hell dargestellt. Es handelt sich daher um eine Lumino-graphie der Gefäße. Allerdings werden durch diese Technik sämtliche Gefäße innerhalb der Untersuchungsregion dargestellt, eine selektive Gefäßgebietsdarstellung ist nicht möglich. Eine störende Überlagerung durch venöse Strukturen kann durch entsprechend kurze Meßzeit und eine genaue zeitliche Koordination von Kontrastmittelinjektion und Meßbeginn nach Bestimmung der Kreislaufzeit vermieden werden (Testbolus). Alternativ dazu werden in letzter Zeit Verfahren entwickelt, die einen sofortigen Sequenzstart nach Beobachtung des Eintreffens des Kontrastmittels im Zielgebiet erlauben (Bolustriggerung). Eine weitere Möglichkeit ist die kontinuierliche Wiederholung einer kurzen Meßsequenz während der Kontrastmittelgabe, sodaß Leerbilder, arterielle und ve-

Korrespondenzadresse: Ass.-Prof. Dr. med. Werner Judmaier, Universitätsklinik Innsbruck, Radiodiagnostik, Klinische Abteilung 2/MRI, Anichstraße 35, A-6020 Innsbruck; E-Mail: werner.judmaier@uibk.ac.at

nöse Phasen kontinuierlich gemessen werden (Multiphasensequenz).

Nachverarbeitung

Sowohl die TOF-MRA als auch die KM-MRA werden heute in einer speziellen Technik gemessen, die als Resultat eine Vielzahl dünner Einzelschichten innerhalb des aufgenommenen Körpervolumens liefert (3-D-Technik). Diese Rohdaten werden durch ein Rechenverfahren zum Gefäßbaum rekonstruiert, wobei pro Schicht jeweils nur die hellsten Bildpunkte zum Gesamtbild zusammengefügt werden (Maximum Intensity Projection – MIP). Dabei läßt sich der Betrachtungswinkel, auch interaktiv, beliebig wählen, sodaß einzelne Gefäßgebiete überlagerungsfrei und von verschiedenen Seiten dargestellt werden können. Eine Weiterentwicklung dieser Technik ist das Volume rendering-Verfahren, wobei durch Oberflächenrekonstruktion der Gefäße mit künstlicher Schattenberechnung der optische Eindruck einer dreidimensionalen Abbildung verstärkt wird. Schließlich erlaubt dieser 3-D-Datensatz eine zweidimensionale Rekonstruktion eines Gefäßes (multiplanare Rekonstruktion – MPR) rechtwinkelig zum Gefäßverlauf und damit eine genaue Querschnittsbeurteilung und Flächenberechnung des Lumens.

Beurteilung

Bei der Beurteilung der resultierenden Angiographiebilder muß zwischen den einzelnen Techniken unterschieden werden. Da die TOF-MRA ein Flußbild liefert, sind Rückschlüsse auf das Gefäßlumen nur mit entsprechender Vorsicht zulässig. Plaques, Kinking, Stenosen oder mitunter auch einfache Bifurkationen führen zu turbulentem Fluß und damit methodisch bedingt zu einer partiellen Signalauslöschung. Das tatsächliche Gefäßlumen ist dabei weiter als es die Darstellung im MR zeigt. Die TOF-MRA überzeichnet daher Stenosen, was zwar die Sensitivität der Methode steigert, aber bei der Beurteilung beachtet werden muß. Bei filiformen Stenosen kann durch komplette Signalauslöschung sogar der Eindruck eines kompletten Gefäßverschlusses entstehen, allerdings läßt sich das meist durch ein „Wiedererscheinen“ des Gefäßes im laminaren Flußgebiet jenseits der Stenose widerlegen.

Die KM-MRA ist weitgehend insensitive auf diese Dephasierungseffekte und zeigt das wahre Gefäßlumen. Die Möglichkeiten des Postprocessings sollten zusammen mit der Verifizierung auf den Einzelschichten des Rohdatensatzes genutzt werden, um durch „Rundumbetrachtung“ des Gefäßes auch einseitige Gefäßwandveränderungen oder ovaläre Stenosen zu erfassen. Hier liegt ein großer Vorteil der Methode im Vergleich zu den konventionellen Röntgenangiographien, wo sich die Gefäßbeurteilung auf die Analyse einiger weniger Projektionsebenen beschränken muß. Eine Gefäßwandbeurteilung ist mit den Angiographietechniken nicht möglich. Hier bietet sich die Schnittbildtechnik an, allerdings lassen sich Verkalkungen im MR nicht direkt nachweisen, sodaß die Unterscheidung zwischen harten und weichen Plaques nur schwer möglich ist.

Indikationen

Pulmonalembolie: Obwohl mit der KM-MRA der pulmonal-arterielle Gefäßbaum mit überzeugender Qualität abgebildet werden kann, hat sich die MRT als diagnostisches Verfahren zum Ausschluß einer Pulmonalembolie nicht etabliert. Dafür sind überwiegend praktische Gründe, wie Verfügbarkeit der Geräte im Notdienst, Patiententransport und erschwertes Monitoring der oft instabilen Patienten sowie die längere Untersuchungsdauer im MR, ausschlaggebend. Mit Ausnahme von Patienten mit bekannter Kontrastmittelallergie oder renaler Insuffizienz wird daher der CT-Untersuchung der Vorzug gegeben. Abhängig von der Geräteverfügbarkeit werden zunehmend Abklärungen bei chronischer Pulmonalembolie mit der MRA durchgeführt. Die Angiosequenz wird bei Atemstillstand durchgeführt, was bei besonders dyspnoischen Patienten mitunter nur eine partielle Darstellung des pulmonalen Gefäßbaumes erlaubt. In solchen Fällen kann ohne weiteres die KM-MRA in einer Sitzung wiederholt werden, wobei zwei aneinandergrenzende koronare Volumina gemessen, und damit das gesamte Volumen abgedeckt wird.

Gefäßmißbildungen der pulmonal-arteriellen sowie venösen Gefäße und Anomalien der Lungenvenenmündungen sowie Kontrollen nach erfolgter chirurgischer Intervention sind eine seltene, aber wichtige Indikation für die thorakale MRA.

Intrapulmonale Shunts, Aneurysmata der A. pulmonalis und tumorbedingte Gefäßveränderungen und Stenosen lassen sich ebenso MR-tomographisch abklären.

Die Hauptindikation ist sicherlich die Beurteilung des Aortenbogens und der thorakalen Aorta, dies wird in einem gesonderten Vortrag besprochen.

Verwendete Literatur:

- Bongartz GM. Flussphänomene und MR-Angiographietechniken. In: Reiser M, Semmler W (eds). Thorax und Gefäße; Magnetresonanztomographie. 3. Auflage. Springer Verlag, Berlin, 2002; 510 ff.
- Goyen M, Laub G, Ladd ME et al. Dynamic 3D MR angiography of the pulmonary arteries in under four seconds. J Magn Reson Imaging 2001; 13: 372–7.
- Hodina M, Wicky S, Payot M, Sekarski N et al. Non-invasive imaging of the ring-sling complex in children. Pediatr Cardiol 2001; 22: 333–7.
- Kreitner KF, Ley S, Kauczor HU et al. Kontrastmittelverstärkte dreidimensionale MR-Angiographie der Lungenarterien bei Patienten mit chronisch-rezidivierender Lungenembolie – Vergleich mit der selektiven intraarteriellen DSA. Rofo Fortschr Geb Röntgenstr Neuen Bildgeb Verfahr 2000; 172: 122–8.
- Kruger S, Haage P, Hoffmann R et al. Diagnosis of pulmonary arterial hypertension and pulmonary embolism with magnetic resonance angiography. Chest 2001; 120: 1556–61.
- Masui T, Katayama M, Kobayashi S et al. Gadolinium-enhanced MR angiography in the evaluation of congenital cardiovascular disease pre- and postoperative states in infants and children. J Magn Reson Imaging 2000; 12: 1034–42.

- Mohrs OK, Voigtlander T, Heussel CP et al. Morphologische und funktionelle Evaluation pulmonaler Gefäßanomalien mittels schneller MR-Techniken. Rofo Fortschr Geb Röntgenstr Neuen Bildgeb Verfahr 2002; 174: 467–73.
- Ohno Y, Adachi S, Motoyama A et al. Multiphase ECG-triggered 3D contrast-enhanced MR angiography: utility for evaluation of hilar and mediastinal invasion of bronchogenic carcinoma. J Magn Reson Imaging 2001; 13: 215–24.
- Ohno Y, Hatabu H, Takenaka D et al. Contrast-enhanced MR perfusion imaging and MR angiography: utility for management of pulmonary arteriovenous malformations for embolotherapy. Eur J Radiol 2002; 41: 136–46.
- Oudkerk M, van Beek EJ, Wielopolski P et al. Comparison of contrast-enhanced magnetic resonance angiography and conventional pulmonary angiography for the diagnosis of pulmonary embolism: a prospective study. Lancet 2002; 359: 1643–7.
- Sonnet S, Buitrago-Tellez CH, Scheffler K et al. Dynamic time-resolved contrast-enhanced two-dimensional MR projection angiography of the pulmonary circulation: standard technique and clinical applications. Am J Roentgenol 2002; 179:159–65.
- Tan RS, Behr ER, McKenna WJ et al. Images in cardiovascular medicine. Occult anomalous pulmonary venous drainage: the clinical value of cardiac magnetic resonance imaging. Circulation 2002; 105: E27–8.

Aortenerkrankungen: Aneurysma, intramurales Hämatom, Dissektion

E. Salomonowitz, B. Kaiser

■ Zusammenfassung

Die Magnetresonanztomographie (MRT) erfüllt alle Anforderungen zur Diagnostik und Analyse der Aorta, Akutpatienten kommen aber üblicherweise primär zur Computertomographie (CT), da sie schnell und ubiquitär verfügbar ist. Die vorliegende Arbeit bezieht sich auf alle relevanten Techniken zur Darstellung von Aneurysma, intramuralem Hämatom oder Dissektion mittels MRT als eigenständige Untersuchung mit hohem intellektuellem Anspruch, beschreibt ihre Applikation und detailliert die diagnostischen Befundkriterien.

■ Einleitung

Das Aneurysma, das intramurale Hämatom und die Dissektion der Aorta sind derzeit die häufigsten Indikationen zur MRT der mediastinalen Strukturen. Zweck der Untersuchung sind die vollständige Darstellung von Anatomie und pathologischem Substrat in allen (sechs) Richtungen bzw. Ebenen, die qualitative und quantitative Flußanalyse und die kontrastverstärkten dreidimensionalen Abbildungen im Raum mit detaillierter Beurteilung der Pathologie von ihrem Anfang bis zu ihrem Ende, mit dem Ziel, konsekutiv therapeutische Entscheidungen treffen zu können.

■ Aortenaneurysmata

Aortenaneurysmata entstehen auf der Basis von Arteriosklerose, Erkrankungen der Sinus Valsalvae oder der Aortenklappen, zystischer Medianekrose, Syphilis, Aortitis, Traumata und iatrogener, in erster Linie mykotischer Infestation. Die komplette Abklärung eines Aneurysmas umfaßt die Darstellung von innerem und äußerem Aortendurchmesser, der Größe des frei durchflossenen Lumens, des Status der Aortenwand, von Ausmaß und Umfang des muralen Thrombus und des periaortalen Hämatoms sowie der Effekte des Aneurysmas auf umgebende Strukturen, weiters die Länge des Aneurysmas und optionale Extensionen in Gefäßäste. Mehrfach-Aneurysmata finden sich gehäuft in einer peripheren, entfernten Gefäßregion (thorakal und/oder abdominell). Ausmaß und Beurteilung eines muralen Thrombus sind wichtig für Patienten, die periphere Embolien erleiden. Ein Lumendurchmesser über 4 cm bedeutet eine Aortenektasie (da 4 cm zwei Standardabweichungen der Normalbevölkerung übertrifft). Bis 5 cm Durchmesser spricht man von einer eindeutigen Ausweitung, ab 5 cm von einem Aneurysma. Bei einem

Durchmesser von über 6 cm ist die Rupturgefahr so groß, daß dieser Umstand auch bei einem asymptomatischen Patienten einen chirurgischen Eingriff erfordert. Das klassische Aortenaneurysma ist ein echtes Aneurysma mit Beteiligung aller drei Wandschichten. Falsche oder Pseudoaneurysmata entstehen, wenn durch einen Innenwandriß (unter die Intima) Blut zwischen die Mediablätter in die Aortenwand eintritt. Pseudoaneurysmata entstehen durch Traumen, wie etwa nach Anastomosierungen, nach Katheterisierungen und Sondierungen. Andere Ursachen betreffen Aortenklappenerkrankungen. Eine Erweiterung des MR-Protokolls zur Beurteilung der Klappenfunktion ist empfehlenswert.

■ Intramurale Hämatome

Intramurale Hämatome entsprechen praktisch Aortenwanddissektionen ohne Riß und basieren mit hoher Wahrscheinlichkeit auf einer Mediaschwäche. Klinisch präsentieren sich intramurale Hämatome wie Aortendissektionen mit Schmerzen. Die Behandlung wird kontroversiell beurteilt: konservative Therapie *versus* aggressives chirurgisches Vorgehen.

■ Dissektionen

Dissektionen entstehen entweder aus einem intramuralen Hämatom oder nach einem Intimariß mit konsekutivem Einriß der Media. Dissektionen der Aorta ascendens werden nach Stanford A bzw. De Bakey I und II klassifiziert, je nach Beteiligung des Arcus. Dissektionen des distalen Arcus und der Aorta descendens entsprechen in dieser Einteilung Stanford B bzw. De Bakey III. Die Problematik der Untersuchung der Aortendissektion liegt in einer eventuell nicht vorhandenen kardiovaskulären Stabilität des Patienten. In der Akutphase wird häufig die CT als diagnostisches Instrument herangezogen. Ziele der Bildgebung sind:

1. Die Identifikation des intimal flap
2. Die Darstellung des Ausmaßes und der Orientierung des Dissekat
3. Die Beurteilung der abgehenden Aortenäste, das heißt der Koronararterien und der supraortalen Äste
4. Die Lokalisation und Quantifizierung von entry- und reentry site bzw. die Darstellung der Intimarrisse
5. Die Feststellung der Flow-Verhältnisse mittels Phasenkontrast-MRT und quantitativer Flußmessung
6. Die Darstellung, Vermessung und Beurteilung des Thrombus im falschen Lumen
7. Die Beurteilung potentieller Komplikationen; solche müssen unbedingt auch im Befund festgehalten werden: Pleuraerguß, Mediastinalhämatom, Perikardtamponade, transvalvuläre aortale Regurgitation

Korrespondenzadresse: Prim. Univ.-Prof. Mag. Dr. med. Erich Salomonowitz, Aö KH St. Pölten, Probst-Führer-Straße 4, A-3100 St. Pölten; E-Mail: zentralroentgen@kh-st-poelten.at

■ MR-Protokoll

Als Minimalerfordernis umfaßt ein MR-Protokoll die Untersuchung in axialer und parasagittaler LAO-Projektion. Black blood protonengewichtete schnelle Spinechosequenzen umfassen den Bereich vom Jugulum bis kaudal der Pathologie, alternativ Spinecho-EPI oder T2W Turbo oder Fast-Spinecho axial sowie parasagittal. Zur Beurteilung der Aortenwand sind nicht nur Double-, sondern auch Triple-TSE-Sequenzoptionen mit Fettunterdrückung in modernen Geräten verfügbar. Bright blood Gradienten Cine-Darstellungen in LAO-Projektion oder axial zur Differenzierung von fließendem und stagnierendem Blut gehören ebenso zum Basisprotokoll wie eine Phasenkontrastangiographie (PCA) zur Beurteilung des Flows mit quantitativer Flußanalyse für Rückschlüsse auf entry site, reentry site und Flußmuster. Aus heutiger Sicht konkurriert eine Balanced-TFE-Technik mit einer kontrast-

verstärkten MRA zur Beurteilung der Aorta als Ganzes. Die kontrastverstärkte MR ermöglicht die Beurteilung der source images. Alle 3-D-Akquisitionen müssen ausführlich nachverarbeitet werden (Postprocessing).

Verwendete Literatur

1. Dieckmann C, et al. Intramural hemorrhage of the thoracic aorta. *RöFo* 1998; 169: 370.
2. Erbel R, et al. Diagnosis and management of aortic dissection. *Eur Heart J* 2001; 22: 1642.
3. Hartnell G, et al. Imaging of aortic aneurysms and dissection: CT and MRI. *J Thor Imaging* 2001; 16: 35.
4. Ho VB, et al. Thoracic MR aortography: imaging techniques and strategies. *RadioGraphics* 1998; 18: 287.
5. Khan IA, et al. Clinical, diagnostic, and management perspectives of aortic dissection. *Chest* 2002; 122: 311.
6. Nienaber CA, et al. Intramural hemorrhage of the thoracic aorta. Diagnostic and therapeutic implications. *Circulation* 1995; 92: 1465.
7. Sawhney NS, et al. Aortic intramural hematoma: an increasingly recognized and potentially fatal entity. *Chest* 2001; 120: 1340.
8. Vogt FM, et al. Modern diagnostic concepts in dissection and aortic occlusion. *Radiology* 2001; 41: 640.

MR-Koronarangiographie

S. Globits, E. Salomonowitz

■ Zusammenfassung

Kardiovaskuläre Erkrankungen stellen trotz kontinuierlicher Verbesserungen in Prävention und Therapie nach wie vor die häufigste Todesursache in westlich-zivilisierten Ländern dar. Die konventionelle Röntgenangiographie der Herzkranzgefäße ist zur Zeit noch der Goldstandard in der Diagnostik der koronaren Herzerkrankung, allerdings ist die Methode mit hohen Kosten und einem Morbiditätsrisiko von 0,1–0,3 % behaftet. Zusätzlich beträgt die Rate an unauffälligen Koronarangiogrammen durchschnittlich 30–35 %. Eine nichtinvasive, zuverlässige Beurteilung der Koronaranatomie würde daher eine wertvolle Bereicherung für die kardiovaskuläre Diagnostik darstellen.

Die wesentlichen Limitationen in der Darstellung der Koronargefäße mittels Magnetresonanztomographie (MRT) bestehen in dem kleinen Gefäßdurchmesser, der starken Schlingelung, der topographischen Nähe zu epikardialem Fettgewebe sowie Bewegungs- und Atemartefakten. Bedingt durch die rasche technische Entwicklung im letzten Jahrzehnt konnten die zuletzt genannten Probleme weitgehend gelöst werden, so daß diese Methode in der Diagnostik der koronaren Herzerkrankungen an der Schwelle zum klinischen Einsatz steht. Aufgrund der fehlenden Strahlenbelastung und der Vermeidung potentieller Komplikationen einer invasiven Untersuchungstechnik würde sich die MRT insbesondere für Screeninguntersuchungen und Verlaufskontrollen eignen.

Der vorliegende Artikel gibt einen kurzen Überblick über die potentiellen diagnostischen Möglichkeiten der MR-Koronarangiographie (MRC).

■ Einleitung

Ein wesentlicher Durchbruch in der Darstellung der Koronargefäße mittels MRT gelang mit der Entwicklung ultraschneller Bildsequenzen, wie Echoplanar (EPI)- und Sense-Technik (sensitivity encoding). Die Echoplanar-Technik deckt zwar den K-Raum optimal ab, ist jedoch durch Blutfluß- und Suszeptibilitätsartefakte limitiert. Diese Artefakte konnten durch die Einführung einer segmentierten EPI-Technik reduziert werden (nach 2 bis 4 Radiofrequenzimpulsen erfolgt ein kurzes EPI-Ausleseverfahren mit 5 bis 9 Echos). Das relativ neue Sense-Verfahren nutzt den Vorteil von Mehrfachelementen-Oberflächenspulen, indem nur mehr ein Teil des K-Raumes ausgelesen wird. Die verbliebenen Linien des K-Raumes werden dann auf der Basis der Sensitivitätsinformation aus einem Referenzscan rekonstruiert. Ein großer Vorteil dieser Methode besteht in einer deutlich verkürzten Untersuchungszeit, einen potentiellen Nachteil stellt das reduzierte Signal-Rausch-Verhältnis dar.

Die Mitbewegung der Koronargefäße im Rahmen des Herzzyklus ist endsystolisch bzw. mid-diastolisch am geringsten, allerdings sind diese Phasen sehr kurz (< 100 ms). Durch EKG-

Triggerung kann die Datenakquisition exakt in der Mid-Diastole erfolgen, die in dieser Phase stattfindende maximale Koronarperfusion führt zu einer Signalverstärkung des Blutflusses. Da während des Atemzyklus das Zwerchfell eine Bewegungsamplitude von bis zu 3 cm aufweist, ist ebenso eine Kompensation für Atemartefakte notwendig. Initial wurden zweidimensionale schnelle Gradientenechosequenzen in der mittleren bis späten Diastole in Atemanhaltephase akquiriert. Allerdings ist es für die meisten Patienten mit kardiopulmonalen Erkrankungen unmöglich, eine Atemanhaltephase von 15–20 s zur Akquisition von etwa 10–30 Schichten durchzuführen. Unterschiedlich lange Atemanhaltezyklen führen zusätzlich zu Artefaktregistrierung und eingeschränkter Bildqualität. Die Einführung der sogenannten Navigatortechnik zur Bildakquisition während des Atemzyklus hat hier zu einer wesentlichen Erleichterung der Patientenuntersuchung geführt. Bei dieser Technik wird die Lungen-Zwerchfell-Grenze kontinuierlich monitiert, und die Datenakquisition erfolgt in einem definierten räumlichen Fenster von 3–5 mm. Diese Technik ist besonders für die Akquisition von dreidimensionalen Datensätzen geeignet, ein unregelmäßiges Atemmuster verlängert allerdings die Untersuchungszeit signifikant.

Weitere Verbesserungen der Bildqualität können durch Fettunterdrückung mittels frequenzselektivem Präpuls sowie durch Unterdrückung von Bewegungsartefakten des Myokardiums mittels T2-Präpuls oder einem Magnetisierungstransfer erzielt werden.

■ Untersuchungstechniken

„Black blood“-MRC

Diese Technik nutzt den Vorteil eines negativen Kontrastes zwischen fließendem Blut (schwarz) und epikardialem Fettgewebe bzw. Myokard (grau bzw. weiß). Diese Methode scheint besonders vielversprechend bei Patienten nach aortokoronarer Bypassoperation bzw. mit Zustand nach intrakoronarer Stentimplantation, da Stents bei blutflußsensitiven Gradientenechosequenzen Suszeptibilitätsartefakte im hellen Blutstrom erzeugen. Es liegen allerdings noch keine größeren Untersuchungen hinsichtlich Sensitivität und Spezifität dieser Methode bei koronarer Herzerkrankung vor.

„Bright blood“-MRC

Durch Anwendung von intravenösen MR-Kontrastmitteln kann die T1-Relaxationszeit von Blut um einen Faktor 10 reduziert werden, was zu einer deutlichen Verbesserung des Kontrastes zwischen Blutfluß und Myokard führt. Gute Ergebnisse in der Darstellung der Koronargefäße wurden durch Anwendung von Kontrastmittel in Kombination mit Inversions-Präpuls in Atemanhaltephase erzielt.

■ Koronargefäßdarstellung

Aufgrund der starken Schlingelung der Herzkranzgefäße ist es notwendig, mehrfach gewinkelte Projektionen entlang des na-

Korrespondenzadresse: Univ.-Doz. Dr. med. Sebastian Globits, 3. Medizinische Abteilung, KH St. Pölten, Probst-Führer-Straße 4, A-3100 St. Pölten; E-Mail: sebastian.globits@univie.ac.at

türlichen Gefäßverlaufes anzuwenden. Bei allen Untersuchungsprotokollen erfolgt zunächst ein axialer Suchschnitt zur Definition des Abgangs der Koronargefäße, gefolgt von einer doppelt gewinkelten hochauflösenden MRC des entsprechenden Koronargefäßes, welche auf 3 axialen Schnittebenen (sog. „3-point Plan Scan“) geplant wird. Die räumliche Auflösung kann durch Signalmittelung, dreidimensionale Gefäßdarstellung und Anwendung von intravenösen MR-Kontrastmitteln verbessert werden. Neben der linearen K-Raum-Abtastung wurde auch eine spiralförmige K-Raum-Abtastung entwickelt. Da jedoch mit zunehmender Signalmittelung die Untersuchungszeit zunimmt, ist diese Methode nicht für Atemanhaltetechnik geeignet. Daher hat sich in der letzten Zeit die dreidimensionale Datenakquisition unter Anwendung der Navigatortechnik wegen des verbesserten Signal-Rausch-Verhältnisses etabliert. Ein weiterer Vorteil dieser Methode ist die Möglichkeit einer Rekonstruktion des Gefäßes in mehreren Ebenen.

■ Klinische Anwendung der MRC

Durch Anwendung der oben genannten Techniken (zweidimensionale MRC mit Atemanhaltetechnik oder dreidimensionale MRC mit Navigatortechnik) ist es derzeit bereits möglich, die Abgänge beider Koronargefäße zu 100 % darzustellen. Im allgemeinen gelingt es besser, das Vorderwandgefäß (LAD) und das Hinterwandgefäß (RCA) über eine längere Distanz darzustellen, die Darstellung des Seitenwandgefäßes (CX) ist durch die relativ große Distanz von der Empfängerspule, durch den etwas kleineren Gefäßdurchmesser sowie die Nähe des blutgefüllten linken Ventrikels limitiert. Die Darstellung der RCA ist besonders gut möglich, da diese in einem meist prominenten epikardialen Fettmantel verläuft, der mittels Präpuls effektiv unterdrückt werden kann. Im Gegensatz dazu ist die LAD stärker geschlängelt und schwierig auf einer Bildebene darzustellen. Die durchschnittlichen Längen der dargestellten Gefäßabschnitte betragen bis zu 120 mm bei LAD, 125 mm bei RCA und 90 mm bei der CX. Die gemessenen proximalen Gefäßdurchmesser betragen 2,8–4,8 mm mit guter Korrelation zur konventionellen Angiographie.

Darstellung abnormer Koronargefäßabgänge

Durch die zuverlässige Darstellung des proximalen Abschnittes aller 3 Koronargefäße ist es möglich, auch atypische Gefäßabgänge darzustellen, die mit einer Häufigkeit von ca. 0,6–1,2 % in der Durchschnittsbevölkerung auftreten. Einige dieser Anomalien sind mit einer erhöhten Inzidenz an plötzlichem Herztod und Myokardinfarkt verbunden, insbesondere dann, wenn das abnorm verlaufende Gefäß zwischen Aorta und Pulmonalishauptstamm verläuft. Mittlerweile wird die MRC zum Nachweis abnormer proximaler Gefäßverläufe als nichtinvasiver Goldstandard angesehen.

Darstellung von Koronarstenosen

Trotz der rasanten technischen Entwicklung in den 1990er Jahren ist die derzeitige räumliche Auflösung der MR-Koronarangiographie der konventionellen Angiographie nach wie vor unterlegen. Durch Anwendung von blutflußsensitiven Gradientenechosequenzen können Koronarstenosen als Bereiche mit Signalauslöschung, bedingt durch Spindephasierung im Rahmen von Blutflußturbulenzen, dargestellt werden. Signal-

auslöschung kann jedoch auch bei stark geschlängelten Gefäßen bzw. bei Darstellung von Gefäßabschnitten, die knapp außerhalb der Bildebene liegen, auftreten und somit eine Koronargefäßstenose vortäuschen. Die bisher publizierten Studien geben eine Sensitivität von 90 % und eine Spezifität von 92 % bei der Darstellung von signifikanten Koronarstenosen (über 50 % Lumeneinengung) für die proximalen Koronarabschnitte an. Diese Daten sind allerdings von Zentrum zu Zentrum hoch variabel, was mit der Anwendung unterschiedlicher Untersuchungsprotokolle zusammenhängt. Penell und Mitarbeiter haben nachgewiesen, daß die MR-Angiographie zu einer Überschätzung der Stenosenlänge, bedingt durch poststenotische Turbulenz mit Signalauslöschung, neigt [1]. Eine andere Studie von Hundley konnte zeigen, daß bei Patienten nach Myokardinfarkt die Stenose im infarktbezogenen Gefäß korrekt identifiziert werden konnte [2]. In einer rezenten Studie an Patienten mit Stentimplantation konnte erfolgreich das Blutflußsignal vor und nach dem Stentartefakt als Kriterium für Stentoffenheit angewendet werden [3].

MRC von aortokoronaren Bypässen

Der relativ geradlinige Verlauf von Bypässen sowie das größere Lumen im Vergleich zu nativen Koronargefäßen erleichtern die Darstellung mittels MRC. Der Nachweis von Blutfluß im Bypass erfolgt durch den Nachweis einer Signalauslöschung auf Spinechosequenzen oder eines hellen Signals im Bypass auf Gradientenechosequenzen. Die Identifikation von Blutfluß auf zumindest 2 aufeinanderfolgenden axialen Schichten weist die Offenheit des Bypasses nach. Durch Anwendung von intravenösem Kontrastmittel gelingt es, die Sensitivität der Methode auf 95–100 % zu steigern. Es ist allerdings anzumerken, daß metallische Klips oder Marker zu Artefaktbildung führen, die eine Beurteilung des Gefäßes oft unmöglich macht.

■ Zukünftige Entwicklungen

Neben der morphologischen Darstellung der Koronargefäße ist ein vielversprechender Ansatz der MRT die Messung des Blutflusses innerhalb des Koronargefäßes unter Ruhebedingungen bzw. nach pharmakologischer Belastung durch Anwendung der sogenannten Phasenkontrasttechnik. Neben der Erfassung der maximalen und mittleren diastolischen Geschwindigkeit ist auch eine Messung des Blutflußvolumens und damit der Koronarreserve potentiell möglich. Limitationen dieser Methode inkludieren eine begrenzte Anzahl von meßbaren Pixeln innerhalb des Gefäßes, Registrierung von Bewegungsartefakten und Abweichungen zwischen Blutflußrichtung und flußkodierendem Gradienten.

Durch verbesserte räumliche und zeitliche Auflösung könnte auch demnächst eine Darstellung der Koronargefäßwand *in vivo* erfolgen und somit über eine Identifikation und Charakterisierung von Plaques eine prognostische Aussage bei Patienten mit koronarer Herzerkrankung getroffen werden.

Literatur

1. Penell DJ, Bogren HG, Keegan J. Assessment of coronary artery stenosis by MRI. *Heart* 1996; 75: 127–33.
2. Hundley WG, Clarke GD, Landau C. Noninvasive determination of infarct artery

patency by cine MR angiography. *Circulation* 1995; 91: 1347–53.

3. Sardaneli F, Zandrino F, Molinari G, Iozzelli A, Balbi M, Barsotti A. MR evaluation of coronary stents with navigator echo and breath-hold cine gradient-echo techniques. *Eur Radiol* 2002; 12: 193–200.

KHK-Diagnostik mit CT

G. Friedrich

■ Einleitung

Die Verwendung der Computertomographie in der Diagnostik der koronaren Herzkrankheit hat in den letzten Jahren nicht nur zugenommen, sondern hat sich vor allem in der Vielschichtigkeit der Anwendungsmöglichkeiten einen Namen gemacht. Einerseits durch technische Neuerungen, vor allem aber wegen der Fülle an Fragestellungen ist die Computertomographie gerade dabei, sich einen festen Platz in der nicht-invasiven Diagnostik der KHK zu erobern. Von der konventionellen CT-Technik über die Elektronenstrahl- und Mehrzeiler-Schicht-Applikation sind die bildgebenden Möglichkeiten immer mehr gewachsen und erlauben nunmehr kaum für möglich gehaltene Einblicke in das menschliche Koronarsystem. In jüngster Zeit fokussiert sich das Interesse der CT-Untersuchungen auf 3 große Anwendungsgebiete:

■ Risikostratifizierung – „coronary risk“

Die Risikostratifizierung des einzelnen KHK-Patienten – etwas anders formuliert gleichlautend mit einer Bestimmung des „coronary risks“ über die etablierten Risikofaktoren nach Framingham hinaus. Diese Untersuchungen werden zumeist alternativ mit Elektronenstrahl-CT (EBCT) oder bereits mit Multislice-CT (MSCT) durchgeführt. Über die Kalkscorebestimmung nach Agatston oder über den leicht modifizierten „Calcium Volume Score“ (CVS), welcher leichter reproduzierbar ist, kann nach genau definierten Perzentilen die Sklerosebelastung des Koronarbaums individuell bestimmt werden. In bezug auf Alter und Geschlecht des Patienten kann anschließend zu primär- oder auch sekundärprophylaktischen Maßnahmen geraten werden.

■ Progression und Regression der Koronarsklerose

Eine weitere breite Anwendungsmöglichkeit der EBCT-Technik besteht momentan vor allem darin, die Pro- und Regression der Koronarsklerose im bildgebenden Verfahren zu messen. Nach anfänglichen Problemen der Reproduzierbarkeit der Daten hat man nun, nach Adjustierung der Untersuchungsprotokolle und der Definition des CVS, ein objektiveres Kriterium ausgearbeitet, um den Verlauf der koro-

nären Atherosklerose darzustellen. Dies hat zum Design von großen, derzeit laufenden Multicenterstudien geführt, welche vor allem auf dem Lipidsenkersektor den Einfluß verschiedener medikamentöser Substanzgruppen, insbesondere deren unterschiedliche Dosierung, auf die Entwicklung der Koronarsklerose untersuchen (z. B. EBEAT- und REVERSAL-Studien). Zu bemerken ist, daß dies die ersten nichtinvasiven Darstellungen des menschlichen Koronarsystems *in vivo* sind, welche die Beeinflussung des Verlaufs der Atherosklerose dokumentieren können. Es ergibt sich somit erstmals die faszinierende Möglichkeit, die Modifikationen des Lipidstatus eines Patienten mit dem Verlauf seiner sklerotischen Erkrankung direkt in Verbindung zu setzen.

■ Nichtinvasive Angiographie

Im Bereich der Multislice-CT-Technik, mittels welcher selbstverständlich auch koronare Calcium Scores bestimmt werden können, eröffnet sich aufgrund rezenter technischer Neuerungen – Stichwort: 16-Zeilen-Technik – eine neue Dimension der Koronarbaumdarstellung. Sowohl in 2-D- als auch – und vor allem – in den rekonstruierten 3-D-Bildern gelingt es nunmehr, äußerst genaue Darstellungen der nativen Koronargefäße herzustellen. Vor allem erste bei uns durchgeführte Untersuchungen an koronaren Bypasspatienten erlauben eine ausgezeichnete Aussage über die Morphologie sowie den Stenosegrad der Gefäßbrücken. Hierzu wird der Patient einer sogenannten CT-Angiographie (CTA) unterzogen, welche ambulant und ohne wesentliches Risiko möglich ist. Erste Erfahrungen haben gezeigt, daß die Sensitivität der CTA gegenüber den anschließend durchgeführten Koronarangiographien exzellent ist. Dies bedarf jedoch – sowohl in der Vorbereitung des Patienten als auch in der Befundung und Interpretation der Ergebnisse – einer äußerst guten Zusammenarbeit zwischen (interventionellen) Kardiologen und Radiologen. Ohne diesen interdisziplinären Austausch erscheint es, vor allem in den Anfängen der Lernkurve, nicht sinnvoll, verlässliche Aussagen zu treffen. Sollten sich jedoch unsere ersten positiven Erfahrungen bestätigen, steht uns eine sehr wirkungsvolle, neue nichtinvasive Technik zur Verfügung, mit deren Hilfe wir in eine neue Welt der Bildgebung der KHK-Diagnostik vordringen. Schließlich gibt es ebenfalls bereits erste Ansätze, mittels Multislice-CT-Technik Einblicke in die Beschaffenheit der koronaren Plaques zu gewinnen. Die Vision der nichtinvasiven Differenzierung zwischen harten, intermediären, weichen und somit auch stabilen und instabilen Koronarläsionen würde realisierbar erscheinen.

Literatur beim Verfasser.

Korrespondenzadresse: Univ.-Doz. Dr. med. Guy Friedrich, Universitätsklinik für Innere Medizin, Klinische Abteilung für Kardiologie, Anichstraße 35, A-6020 Innsbruck; E-Mail: guy.friedrich@uklibk.ac.at

Mitteilungen aus der Redaktion

Besuchen Sie unsere Rubrik

[Medizintechnik-Produkte](#)



Neues CRTD Implantat
Intica 7 HF-T QP von Biotronik



Artis pheno
Siemens Healthcare Diagnostics GmbH



Philips Azurion:
Innovative Bildgebungslösung

Aspirator 3
Labotect GmbH



InControl 1050
Labotect GmbH

e-Journal-Abo

Beziehen Sie die elektronischen Ausgaben dieser Zeitschrift hier.

Die Lieferung umfasst 4–5 Ausgaben pro Jahr zzgl. allfälliger Sonderhefte.

Unsere e-Journale stehen als PDF-Datei zur Verfügung und sind auf den meisten der marktüblichen e-Book-Readern, Tablets sowie auf iPad funktionsfähig.

[Bestellung e-Journal-Abo](#)

Haftungsausschluss

Die in unseren Webseiten publizierten Informationen richten sich **ausschließlich an geprüfte und autorisierte medizinische Berufsgruppen** und entbinden nicht von der ärztlichen Sorgfaltspflicht sowie von einer ausführlichen Patientenaufklärung über therapeutische Optionen und deren Wirkungen bzw. Nebenwirkungen. Die entsprechenden Angaben werden von den Autoren mit der größten Sorgfalt recherchiert und zusammengestellt. Die angegebenen Dosierungen sind im Einzelfall anhand der Fachinformationen zu überprüfen. Weder die Autoren, noch die tragenden Gesellschaften noch der Verlag übernehmen irgendwelche Haftungsansprüche.

Bitte beachten Sie auch diese Seiten:

[Impressum](#)

[Disclaimers & Copyright](#)

[Datenschutzerklärung](#)