

MR-Angiographie der hirnversorgenden Arterien

S. FELBER, F. AICHNER, G. LAUB¹, J. WILLEIT², F. GERSTENBRAND²

Institut für Magnetresonanztomographie und Spektroskopie Universität Innsbruck (Vorstand: Univ.-Prof. Dr. F. Aichner) Anichstr. 35, A-6020 Innsbruck

¹ Unternehmensbereich medizinische Technik, Siemens AG, Erlangen, Henkestr. 127, D-8520 Erlangen

² Univ.-Klinik für Neurologie, Universität Innsbruck (Vorstand: Univ.-Prof. Dr. F. Gerstenbrand) Anichstr. 35, A-6020 Innsbruck

Zusammenfassung

In der nichtinvasiven Diagnostik der hirnversorgenden Arterien steht als neues Verfahren die Magnetresonanz-Angiographie (MRA) zur Verfügung. Bei 1.5 T erbringt die Subtraktion flußrephasierter von dephasierter Bildern zur Elimination des stationären Gewebes, gegenüber der computerisierten Nachverarbeitung rephasierter Bilder keinen Vorteil, der die längere Untersuchungszeit der Subtraktionsmethode rechtfertigt. An 27 Patienten mit Veränderung der A. carotis oder A. vertebralis wurden die diagnostischen Möglichkeiten von 3D-Gradientenechosequenzen mit Gradientenflußrefokussierung im Vergleich zur ebenfalls nichtinvasiven Duplex-Sonographie untersucht. Mit der MRA können die A. carotis interna und die A. vertebralis bis zum Circulus Arteriosus Willisii dargestellt werden. Die Methode ist sensitiv gegenüber hämodynamisch relevanter Gefäßveränderungen bei derzeit noch limitierter Spezifität. In der Diagnostik cerebrovaskulärer Erkrankungen entwickelt sich eine wichtige Anwendung der MRA.

Summary

MR-Angiography of the carotid and vertebral artery

Magnetic Resonance Angiography (MRA) is a new, noninvasive modality for evaluation of carotid and vertebral artery disease. At a field strength of 1.5 T subtraction of flowrephased and dephased images, to eliminate signal from stationary tissue, offers no significant advantage over computerized postprocessing of rephased images. In a protocol of 3D-gradient-echo-sequences, using gradient motion refocussing (GMR), 27 patients with evidence of carotid or vertebral artery disease have been examined by MRA in comparison to ultrasound. MRA displays the carotid and vertebral arteries up to the circle of Willis. Within short examination times, the method is sensitive in the detection of disturbed hemodynamics, secondary to vessel disease. The specificity, at that time is limited. MRA has great potential in the diagnoses of cerebrovascular disease.

Einleitung

Die Therapieplanung bei cerebrovaskulären Erkrankungen setzt eine exakte morphologische und funktionelle Diagnostik der hirnversorgenden Arterien voraus. Bei zunehmend kritischer Indikationsstellung zur Karotis-Chirurgie (1) ist auch ein möglichst nichtinvasives diagnostisches Vorgehen zu fordern.

In der Erfassung vaskulär bedingter intracerebraler Veränderungen hat die Magnetresonanztomographie (MRT) ihre Sensitivität bereits gezeigt (2). Die der Methode

inhärente Empfindlichkeit für Bewegung verursacht nicht nur Artefakte, sondern kann mittels geeigneter Techniken auch genutzt werden, um Gefäße darzustellen (3). Eigene Erfahrungen bei cerebralen Gefäßkrankungen waren vielversprechend (4) und gaben Anlaß zu einer Vergleichsstudie zwischen MR-Angiographie (MRA) und der ebenso nichtinvasiven Duplexsonographie.

Im folgenden sollen anhand der bisherigen Ergebnisse die Möglichkeiten der MRA in der Diagnostik der hirnversorgenden Arterien aus klinischer Sicht diskutiert werden.

Technik und Patienten

Ziel der MRA ist die signalintensive Darstellung von Gefäßen, um diese vom stationären Gewebe abzugrenzen. Die physikalische Voraussetzung liegt in der Tatsache, daß bewegte Spins Amplitude und Phase des MR-Signals beeinflussen. Auf Basis von „time-of-flight“ und „Phasenmodulationseffekten“ wurden in den vergangenen Jahren verschiedene Techniken entwickelt (5, 6, 7).

Sowohl EKG-getriggerte als auch zweidimensionale Methoden sind bei der Untersuchung von Patienten mit arhythmischem Puls und arteriosklerotisch elongierten Gefäßen limitiert (8). Um ein genügend großes Gewebsvolumen in kurzer Zeit untersuchen zu können, verwendeten wir sogenannte dreidimensionale Gradientenechosequenzen. Dabei wird die 6–12 cm dicke Anregungsschicht durch einen zusätzlichen Phasenkodiergradienten in Einzelschichten von 1 bis 2 mm Dicke unterteilt. Die intraluminäre Signalsteigerung beruht bei Verwendung der Sende/Empfangskopfspule (FOV = 25 cm) auf dem Inflow („wash-in“) ungesättigter Spins des Blutes. Zusätzliche Gradienten in slice-select und read-out Richtung kompensieren flußbedingte Signalverluste 1. Ordnung (Gradient Motion Refocussing = GMR) im peripheren Verlauf des Gefäßes (9). Alle Untersuchungen wurden an einem 1,5 T Magnetom (Siemens) durchgeführt. Zur selektiven Darstellung der hirnversorgenden Arterien wurden zwei Möglichkeiten verglichen. Bei der Subtraktionsmethode werden von einer Schicht jeweils ein rephasiertes und ein dephasiertes Bild erzeugt, deren Subtraktion das Signal des stationären Gewebes eliminiert. Im zweiten Fall werden nur rephasierte Bilder erzeugt, und anschließend durch einen „Ray-tracer“ Algorithmus nachverarbeitet, der die hellen Signalintensitäten der Gefäße aus den Einzelschichten auf eine zweidimensionale Ebene projiziert (10). Dadurch wird die Un-

Sequenzparameter (3D-FISP)	
Anregungswinkel	25°
Repetitionszeit (TR)	40 ms
Echozeit (TE)	8–14 ms
Schichtanzahl	32/64
Schichtdicke	1–2 mm
Orientierung	sag/cor
Meßzeit	ca. 10 min
Matrix	256 × 256

Tab. 1

Gefäßbefunde bei 27 Patienten			
A. Vertebralis	(n = 54)	normal	= 47
		Verschluß	= 7
A. Carotis Communis	(n = 54)	normal	= 46
		Plaques	= 7
		Verschluß	= 1
A. Carotis Interna	(n = 54)	normal	= 14
		Plaques	= 9
		Kinking	= 4
		Stenose ca. (50–70%)	= 7
		Stenose ca. (70–95%)	= 14
		Verschluß	= 5
		AV-Fistel	= 1

Tab. 2

tersuchungszeit verkürzt. Die Sequenzparameter wurden empirisch ermittelt, um einen maximalen Kontrast zwischen stationärem Gewebe und Gefäßen zu erzielen (Tab. 1).

Insgesamt wurden 27 Patienten mit klinischer Symptomatik, die auf eine Störung im Bereich der hirnversorgenden Arterien zurückzuführen war, untersucht. Die jüngste Patientin (arteriovenöse Fistel) war drei Jahre, der älteste Patient (A. Carotis Interna Stenose) 92 Jahre alt. Bei allen Patienten erfolgte die MRA im Anschluß an die Routine-MR-Untersuchung. Die Gesamtuntersuchungsdauer war nicht länger als eine Stunde. Bei allen Patienten lag neben dem klinischen Befund eine extracranielle Duplex Ultraschalluntersuchung vor (Ultramark 8 – ATL), bei 11 Patienten zusätzlich eine konventionelle Angiographie. Insgesamt wurden 108 Gefäßabschnitte (Tab. 2) ausgewertet.

Ergebnisse

Die Subtraktionsmethode wies gegenüber der Projektionsmethode, bei der flußrepha-sierte Bilder nachverarbeitet werden, keinen Vorteil auf (Abb. 1 a und b). Die Gefäßde-tails werden gleichwertig dargestellt, wobei der Hintergrund des stationären Gewebes bei der Projektionsmethode unserer Erfahrungen nach nicht stört. Neben der kürzeren Untersuchungszeit bei der Projektionsmethode sind als weiterer Vorteil kürzere Echozeiten verifizierbar und damit Signalverluste durch Phasendispersion geringer. Die GMR Flußkompensation erfolgte für Terme 1. Ordnung, d.h. für konstante Geschwin-digkeiten.

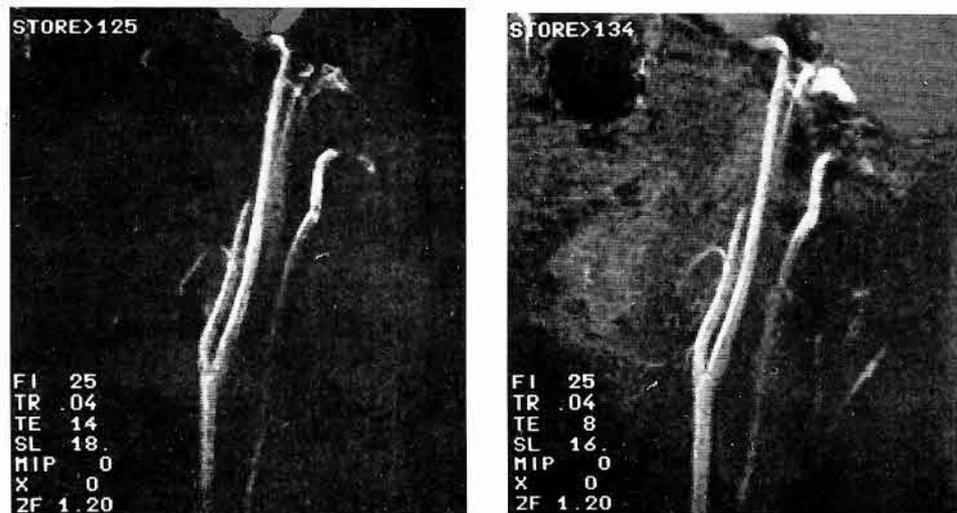


Abb. 1:

- a) Subtraktions MR-Angiogramm der linken A. Carotis eines gesunden Probanden (Erklärung siehe Text).
 b) Projektions MR-Angiogramm des gleichen Probanden (Erklärung siehe Text).

Die MRA erwies sich bei allen Patienten als sensitiv gegenüber Stenosen mit Lumen-einengung größer 50 % und Gefäßverschlüssen (Tabelle 3). Da GMR für konstante Geschwindigkeiten erfolgt, führen Accelerationen innerhalb von Stenosen (Abb. 2) und poststenotische Turbulenzen zu Signalverlusten, welche zur Überinterpretation der Gefäßpathologie Anlaß geben können. Aus diesem Grund wurden 3 mäßiggradige Stenosen und das exakte Ausmaß von 5 hochgradigen Stenosen überbewertet. Die

Ergebnisse der MRA im Vergleich zum US		MRA	US	US/AG
Vertebralis	Verschuß	7	5	7
ACC	Plaques	0	7	7
	Verschuß	1	1	1
ACI	Plaques	2	9	9
	Kinking	4	3	4
	Stenose ca. (50–70%)	5	8	7
	Stenose ca. (70–95%)	16	12	14
	Verschuß	5	7	5
	AV-Fistel	1	1	1

Tab. 3

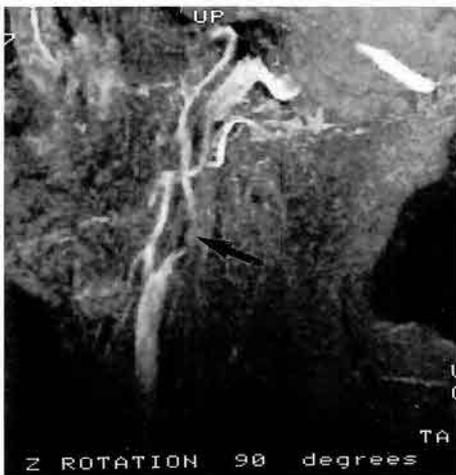


Abb. 2: 70-jähriger Patient mit sonographisch verifizierter 90%iger ACI-Stenose rechts. Im MR-Angiogramm Signalverlust innerhalb der Stenose, aufgrund von Turbulenzen, der zu Überinterpretation Anlaß gab.



Abb. 3 Langstreckige 80% ACI-Stenose links, in der MRA als 90%ig interpretiert. Verschuß der A. Vertebralis rechts.

Spezifität läßt sich verbessern, wenn das poststenotische und periphere intraluminäre Signalverhalten in die Interpretation miteinbezogen wird (Abb. 3). In einem Fall wurde im Ultraschall ein Verschuß vermutet und dann sowohl in der MRA als auch mittels der konventionellen Angiographie ein Restfluß dargestellt. Okkludierte Gefäße stellen sich aufgrund des fehlenden Blutflusses in der MRA nicht dar, es wurden alle Verschlüsse erkannt. In zwei Fällen bestand ein Verschuß der A. Vertebralis, der im Ultraschall nur vermutet werden konnte. Gefäßwandveränderungen ohne hämodynamische Signifikanz konnten mit der MRA nicht diagnostiziert werden. Dies traf auf wandständige Plaques in der A. Carotis Communis und A. Carotis Interna bei 16 Patienten zu.

Diskussion

Bei allen Patienten konnten mit der MRA die hirnersorgenden GefäÙe dargestellt werden. Die diagnostische Information der MRA beruht auf den EinfluÙ der Strömungsgeschwindigkeit und des Strömungsverhaltens intraluminalen Blutflusses auf die Signalgebung. Turbulenzen und Beschleunigung resultieren in Signalverlust und können zur Überbewertung von GefäÙveränderungen AnlaÙ geben. Dies kann durch Berücksichtigung der peripheren Signalgebung des GefäÙes teilweise vermieden werden. Nicht hämodynamisch wirksame GefäÙveränderungen konnten mit der verwendeten Methode nicht immer dargestellt werden. Die MRA ist sensitiv in der Erfassung gestörter FluÙdynamik innerhalb von Stenosen. Die Spezifität ist derzeit noch limitiert, manche MRA-Befunde müssen durch weitere Untersuchungen abgesichert werden.

In unseren vorläufigen Ergebnissen erbrachte die MRA bei zwei Vertebroisverschlüssen, einer Tandemstenose der A. Carotis Interna und einer bilateralen subtotalen A. Carotis Interna Stenose eine wichtige Zusatzinformation gegenüber der ebenfalls nichtinvasiven Ultraschalluntersuchung. Darüber hinaus ermöglicht die MRA einen besseren topographischen Bezug in der präoperativen Abklärung von symptomatischen und asymptomatischen Carotisstenosen. Als weiterer Vorteil werden die hirnersorgenden Arterien bis zum Circulus Arteriosus Willisii dargestellt und schließen nichtinvasiv die anatomisch-diagnostische Lücke zwischen der extrakraniellen und transkraniellen Ultraschalluntersuchung.

Insgesamt ist abzusehen, daÙ der MRA aufgrund ihrer Nichtinvasivität und Anwendbarkeit auf extra- und intrakranielle GefäÙe zukünftig eine wichtige Rolle in der Diagnostik der hirnersorgenden Arterien zukommen wird. Im Rahmen einer cerebralen MR-Untersuchung kann damit die morphologische Diagnostik um den vaskulär funktionellen Faktor erweitert werden, wobei die Untersuchung lediglich um 10 Minuten verlängert wird und keine zusätzlichen Kosten entstehen.

Literatur

- 1 Committee on Health Care Issues: Does carotid endarterectomy decrease stroke and death in patients with transient ischemic attacks? *Ann. Neurology* 22: 72, 1987
- 2 Heiss, W. D., Herholz, K. et al.: PET, CT and MR Imaging in cerebrovascular disease. *J. C. A. T.* 10 (6): 903–911, 1986
- 3 Masaryk, T. J., Ross, J. S. et al.: Carotid Bifurcation: MR Imaging. *Radiology* 166: 461–466, 1988
- 4 Felber, S., Ruggieri, P. et al.: MR-Angiography: Applied to atherosclerotic carotid artery disease. *Magn. Res. Imaging* Vol (6): *Suppl. 1*: 46, 1988
- 5 Moran, P. R.: A flow velocity zeugmatographic interlace for NMR Imaging in humans. *Magn. Res. Imaging* 1: 197–203, 1982
- 6 Meuli, R. A., Wedeen, Van J. et al.: MR Gated Subtraction Angiography: Evaluation of lower extremities. *Radiology* 159: 411–418, 1988
- 7 Laub, G. A., Kaiser, W. A.: MR-Angiography with Gradient Motion Refocussing. *J. C. A. T.* 12 (3): 377–382, 1988
- 8 Ruszkowski, J. T., Damadian, R. et al.: MRI Angiography of the Carotid Artery. *Magn. Res. Imaging* 4: 497–502, 1986
- 9 S. Felber, P. Ruggieri et al.: 3D-MR-Angiography of atherosclerotic carotid artery disease. *SMRM Book of Abstracts: Vol (2)*: 878, 1988
- 10 Laub, G., Müller, E. et al.: Application of gradient-echo-sequences for high resolution 3-dimensional flow studies. *SMRM Book of Abstract: Vol (2)*: 876, 1988

Anschrift des Verfassers:

Dr. med. S. Felber, Institut für Magnetresonanztomographie und Spektroskopie, Universität Innsbruck, Anichstraße 35, A-6020 Innsbruck

Editorial: <i>Narula, Jagat</i> : One step forward with nonspecifically-specific monoclonal antibodies (MD, Radiology Dept. Fifth Floor, Massachusetts General Hospital-East, Bldg. 149, 13th St., Charlestown, MA 02129, USA)	1066
<i>Becker, Lewis C. et al.</i> : Myocardial redistribution of Technetium-99m-methoxy-isobutyl isonitrile (SESTAMIBI) (MD, The Johns Hopkins Hospital, Halsted 500, 600 N. Wolfe St., Baltimore, MD 21205, USA)	1069
<i>Endo, Keigo et al.</i> : In vitro and in vivo properties of human/mouse chimeric monoclonal antibody specific for common acute lymphocytic leukemia antigen (MD, Dept. of Nuclear Medicine, Kyoto University School of Medicine, 54 Kawahara-cho, Shogoin, Sakyo-ku, Kyoto 606, Japan)	1077
<i>Schuhmacher, J. Dr. et al.</i> : Uptake of Indium-111 in the liver of mice following administration of Indium-111-DTPA-labeled monoclonal antibodies: influence of labeling parameters, physiologic parameters, and antibody dose (Deutsches Krebsforschungszentrum, Im Neuenheimer Feld 280, Postbox 101949, 6900 Heidelberg, FRG)	1084
<i>Meyer, Michael M.</i> : Focal high uptake of HM-PAO in brain perfusion studies: a clue in the diagnosis of encephalitis (MD, Dept. of Neurology, Mayo Clinic, Rochester, MN 55905, USA)	1094
<i>Eisenberg, Brian et al.</i> : Periarticular tumoral calcinosis and hypercalcemia in an hemodialysis patient without hyperparathyroidism: a case report (MD, Chief, Nuclear Medicine Service, VA Medical Center, 2100 Reidgecrest Dr. SE, Albuquerque, New Mexico 87108, USA)	1099
<i>Sanders, Timothy G. et al.</i> : Case report: malignant fibrous histiocytoma: etiology for a cold defect on Technetium-99m-methylene diphosphonate bone scan (MD, Dept. of Radiology, Univ. of Florida Health Science Center/Jacksonville, 655 W. 8th St., Jacksonville, FL 32209, USA)	1104
<i>Buse, Maria G. et al.</i> : Placental localization in abdominal pregnancy using Technetium-99m-labeled red blood cells (MD, Div. of Nuclear Medicine, Dept. of Radiology, Medical University of South Carolina, 171 Ashley Ave., Charleston, SC 29425, USA)	1106
<i>Petersen, Margaret</i> : Radionuclide detection of primary pulmonary osteogenic sarcoma: a case report and review of the literature (MB, ChB, Div. of Nuclear Medicine, Stanford University Medical Center, 300 Pasteur Dr., Stanford, CA 94305, USA)	1110