

» Ganzkörper-MRA auf einer rollenden Tischplattform (AngioSURF)

S. G. Ruehm, M. Goyen, H. H. Quick, M. Schlepütz, H. Schlepütz, S. Bosk, J. Barkhausen, M. E. Ladd, J. F. Debatin

Zentralinstitut für Röntgendiagnostik, Universitätsklinikum Essen

Zusammenfassung. Ziel: Entwicklung eines Konzepts zur Ganzkörper-MRA basierend auf einer rollenden Tischplattform und Integration der Oberflächenspule. **Material und Methoden:** Die entwickelte rollende Tischplattform AngioSURF (System for Unlimited Rolling Field-of-view) mit integrierter Oberflächenspule wird auf dem Original-Patiententisch des Siemens Symphony Systems installiert. Die Datenakquisition erfolgt mit der Standard Torso-Oberflächenspule. Das System wurde an drei Probanden und einem Patienten mit angiographisch dokumentierter arterieller Gefäßpathologie erprobt. Die Datenakquisition erfolgte mit einer 3D-FLASH-Sequenz (TR/TE 2,1/0,7 ms, Flipwinkel: 20°, FOV 40 × 40 cm, 80 Partitionen, Matrix 512 × 420 mit Nullinterpolation). 5 Datensätze wurden in unmittelbarer Folge während der kontinuierlichen Injektion von paramagnetischem Kontrastmittel aufgenommen. Die Akquisitionszeit pro Datensatz betrug 12 Sekunden. Die Tischverschiebung erfolgte manuell über drei Sekunden. Die gesamte Untersuchungszeit betrug somit 72 Sekunden. **Ergebnisse:** Die Handhabung gestaltete sich bei allen 4 Untersuchungen einfach. Die hervorragende Bildqualität erlaubte eine detaillierte Beurteilung der dargestellten arteriellen Gefäßabschnitte. **Schlussfolgerung:** Die rollende Tischplattform mit integrierter Oberflächenspule (AngioSURF) erlaubt die diagnostische Darstellung des arteriellen Gefäßsystems von supraortalen Gefäßästen bis zu den distalen Trifurkationsarterien in nur 72 Sekunden.

Schlüsselwörter: MR-Angiographie – Technische Entwicklung – Ganzkörper-MR-Angiographie

Whole-Body MRA on a Rolling Table Platform (AngioSURF). **Purpose:** Development of a technique for whole-body MR angiography based on a rolling table platform and integration of a surface coil. **Material and Methods:** The developed rolling table platform AngioSURF (System for Unlimited Rolling Field-of-view) with integrated surface coil can be mounted on top of the original patient table of a Siemens Symphony System. Data acquisition was performed with a standard body array surface coil. The system was tested on three volunteers and one patient with angiographically documented vascular pathology. Data acquisition was performed with a 3D-FLASH-sequence (TR/TE 2,1/0,7 ms, flip angle: 20°, FOV 40 × 40 cm, 80 partitions, matrix 512 × 420 with zero interpolation). Five data sets were

collected in immediate succession during continuous injection of a paramagnetic contrast agent. Time of acquisition per data set was 10 seconds. Table repositioning was performed manually within 3 seconds. Thus the total acquisition time amounted to 72 seconds. **Results:** No problems with handling occurred in any of the four cases. The excellent image quality enables detailed assessment of the displayed vascular territories. **Conclusions:** The rolling table platform with integrated surface coil (AngioSURF) allows diagnostic display of the arterial vascular system from supraaortic vessels to the distal trifurcation arteries in only 72 seconds.

Key words: MR Angiography – Technical Development – Whole-Body MR Angiography

Einleitung

Die Arteriosklerose stellt in der entwickelten Welt ein bedeutendes Gesundheitsproblem mit steigender Prävalenz dar [1]. Therapeutische Strategieplanungen erfordern eine akkurate Diagnostik bezüglich Ausprägung und Schweregrad stenosierender Gefäßveränderungen. Da die Arteriosklerose ein systemisches Krankheitsbild darstellt, ist die diagnostische Abklärung eines möglichst großen Gefäßgebietes wünschenswert. Begrenzung hinsichtlich der applizierbaren Kontrastmittelmenge, Strahlenbelastung, Komplikationsrisiken, Kosten- und Zeitaufwand wirkten in der Gefäßdiagnostik bislang limitierend.

Auch die KM-verstärkte 3D-MR-Angiographie als nicht-invasives Untersuchungsverfahren war lange Zeit auf die Darstellung der arteriellen Gefäße innerhalb eines Gesichtsfeldes von 40–48 cm beschränkt [2,3]. Mit der Entwicklung von Tischverschiebetechniken konnte die darstellbare Gefäßregion auf 2–3 Territorien erweitert werden [4–6]. Unter Verwendung der neuesten MRT-Gerätegeneration mit leistungsstarken Gradientensystemen stellen wir ein Prototyp-Konzept vor, welches auf einer rollenden Tischplattform mit integrierter Oberflächenspule (AngioSURF – System for Unlimited Rolling Field-of-view) basiert und die Bildgebung des Gefäßsystems über eine kraniokaudale Ausdehnung von 176 cm in nur 72 Sekunden erlaubt.

Material und Methoden

Die verwendete AngioSURF (System for Unlimited Rolling Field-of-view) Tischplattform besteht aus einer 270 cm langen

und 50 cm (Rumpfbereich) bzw. 33 cm (Beinbereich des Patienten) breiten Patientenauflagerungsfläche. Sie kann auf dem regulären Patiententisch von Siemens Symphonie oder Sonata MR-Systemen installiert werden. Um die Plattform in ihrer Längsachse schnell und leicht verschieben zu können, ist sie auf 7 Rollenpaaren aufgelegt. Die Rollen sind fest auf Tragekonsolen montiert und werden in den Patiententisch anstelle der Kopf- und Beinspule eingesetzt. Zur Stützung der Auflagerungsfläche ist in den Endpositionen jeweils eine weitere Rollenordnung kopf- und fußseitig des serienmäßigen Tisches montiert. Als Sende- und Empfangsspule wird eine serienmäßige Oberflächenspule (CP Body Array Coil, Siemens Medizintechnik, Erlangen) verwendet, welche auf eine an der Tischplattform befestigte Halterung aufgelagert wird.

Als Material für die Lagerungsplatte und die stützenden Bauteile wurde ein MRT-kompatibler Kunststoff auf PVC-Basis gewählt. Mit der beweglichen Tischplattform können nach Definition eines variablen Tischvorschubs bis zu 6 Datensätze in unmittelbarer Folge mit einem maximalen Gesichtsfeld von je 40 cm akquiriert werden. Die Datenakquisition erfolgt jeweils im Isozentrum des Magneten. Aufgrund ihres Eigengewichts liegt die Oberflächenspule in ihrer Halterung dem Patienten unmittelbar auf. Die glatte Unterfläche der Halterung ermöglicht das reibungslose Gleiten der Spule über den Patienten während der Tischbewegung und passt sich so den Konturen des Patienten individuell an.

Die Untersuchungen wurden an einem 1,5 Tesla-MR-System (Magnetom Sonata, Siemens, Erlangen), welches mit einem Hochleistungsgradientensystem ausgestattet ist (Amplitude: 40 mT/M, Anstiegszeit (rise time) 200 μ s, Anstiegsrate (slew rate) 200 mT/m/s), durchgeführt. Die Untersuchung erfolgte in Rückenlage mit den Füßen zum MR-Tomographen gerichtet („feet first“-Position). Die Strategie der Ganzkörper-Angiographie basiert auf der Akquisition von 5 3D-Datensätzen in unmittelbarer zeitlicher Abfolge. Der erste Datensatz umfasst den Aortenbogen unter Miteinbeziehung der supraaortalen Gefäße inklusive der Aa. carotides, der zweite Datensatz umfasst die Aorta abdominalis mit ihren viszeralen Ästen und den Nierenarterien, im dritten Datensatz wird das Beckengefäßsystem erfasst, und die beiden unteren Datensätze stellen schließlich die Oberschenkel- bzw. Unterschenkelarterien dar.

Zur Planung der 3D-Datensätze wird eine Sequenz mit automatischer Tischverschiebung (moving vessel scout protocol) eingesetzt. Für jede Station werden 6 axiale Bilder in einem Abstand von jeweils 7,5 cm aufgenommen (T_R : 539 ms, T_E : 10 ms, T_1 : 300 ms, Flipwinkel: 50° Schichtdicke: 8 mm, Matrix: 114 \times 256, Gesichtsfeld: 400 mm, Akquisitionszeit: 20 Sekunden). Im Anschluss daran wird die Kontrastmittelpassage-Zeit in der Aorta thoracica descendens auf Höhe der Herzbasis bestimmt. Zu diesem Zweck wird ein Test-Bolus von 2 ml Gd-DTPA (Magnevist, Schering, Berlin) mit einer Injektionsgeschwindigkeit von 1,3 ml/s in eine Kubitalvene gespritzt und mit 20 ml isotoner Kochsalzlösung gespült. Hierfür wurde eine axiale, multiphasische Turbo-Flash-Sequenz (T_R : 1000 ms, T_E : 3,2 ms, T_1 : 8 ms, Flipwinkel: 10°, Schichtdicke: 10 mm, Matrix: 128 \times 256, Gesichtsfeld: 400 \times 400 mm) verwendet. Sie ermöglicht eine zeitliche Auflösung von 1 Bild/s.

Die Akquisition der 3D-Datensätze zur Darstellung des arteriellen Gefäßsystems erfolgt mit einer schnellen Gradienten-Echo-Sequenz (3D-FLASH: T_R/T_E 2,1/0,7 ms, Flipwinkel: 20°, 80 Partitionen, effektive Schichtdicke 2 mm, Akquisitionsvolumen (slab): 160 mm, Gesichtsfeld 400 \times 400 mm, Matrix: 512 \times 420 mit Nullinterpolation, Akquisitionszeit: 12 s). Bei der Nullinterpolation werden dem k-Raum vor der Fourier-Transformation „Nullwerte“ hinzugefügt, um die scheinbare räumliche Auflösung zu erhöhen. Durch die Reduktion der Pixelgröße werden so Partialvolumeneffekte reduziert. Insgesamt wurden 5 Datensätze aufgenommen. Um die Entstehung von Gefäßlücken zu vermeiden, werden die Datensätze überlappend aufgenommen. Die Überlappung betrug 3 cm, so dass eine Gesamtlänge von 176 cm abgedeckt wurde. Auf die Akquisition von nativen Datensätzen zur Erstellung von Subtraktionen wurde in Anbetracht der sehr kurzen Repetitionszeit verzichtet.

Die Untersuchungszeit beträgt 72 Sekunden. Sie beinhaltet 12 Sekunden Akquisitionszeit für jeden der 5 Datensätze und 4 Repositionierungsphasen von jeweils drei Sekunden, während derer eine manuelle Verschiebung der rollenden AngioSURF-Tischauflage zur jeweils nächsten Station erfolgt. Das Kontrastmittel (Gd-DTPA, Magnevist, Schering, Berlin) wird biphasisch mit einem automatischen Injektor (MR Spectris, Medrad, Pittsburgh, PA) appliziert. Die verwendete Gesamtdosis beträgt 0,3 mmol/kg Körpergewicht. Die erste Hälfte wird mit einer Flussgeschwindigkeit von 1,3 m/s injiziert, die zweite Hälfte mit einer Flussrate von 0,7 ml/s, gefolgt von 30 ml Kochsalzlösung mit einer Flussrate von 1,3 ml/s.

Zur Evaluation des AngioSURF-Konzeptes wurden drei Probanden und ein Patient mit einer angiographisch dokumentierten Stenose der rechten A. iliaca externa untersucht. Vor der Untersuchung waren sie über den wissenschaftlichen Charakter der Untersuchung in Übereinstimmung mit den Vorgaben des Ethischen Komitees aufgeklärt worden und willigten schriftlich in die Studienteilnahme ein.

Ergebnisse

Die Handhabung der rollenden Tischauflage AngioSURF gestaltete sich bei allen 4 Untersuchungen einfach. Der Tisch konnte von einer Bedienperson mit Leichtigkeit verschoben und positioniert werden. Probanden und Patient glitten auf der Tischauflage durch die im Zentrum der Bohrung fixierte Torso-Oberflächenspule. Alle Untersuchungen waren technisch einwandfrei. Artefakte waren auf den 3D-Datensätzen nicht nachweisbar. Die Probanden und der Patient tolerierten die Untersuchung gut – Nebenwirkungen wurden keine beobachtet.

Mit allen 4 Untersuchungen gelang eine komplette Darstellung der arteriellen Gefäßmorphologie von Kopf bis Fuß. Die hervorragende Bildqualität erlaubte eine detaillierte Beurteilung sämtlicher arterieller Gefäßabschnitte von den Aa. carotides bis hin zu den distalen Trifurkationsarterien (Abb. 1). Die Kontrastierung des portalen Venensystems sowie der Nierenvenen führte zu einer venösen Überlagerung arterieller Strukturen im Abdomen, die allerdings durch die selektive Reformatierung der einzelnen Gefäßabschnitte kompensiert werden konnte. Eine Beurteilung der Nierenarterien bis zum Hilus war somit in allen Fällen möglich. Eine venöse Kon-

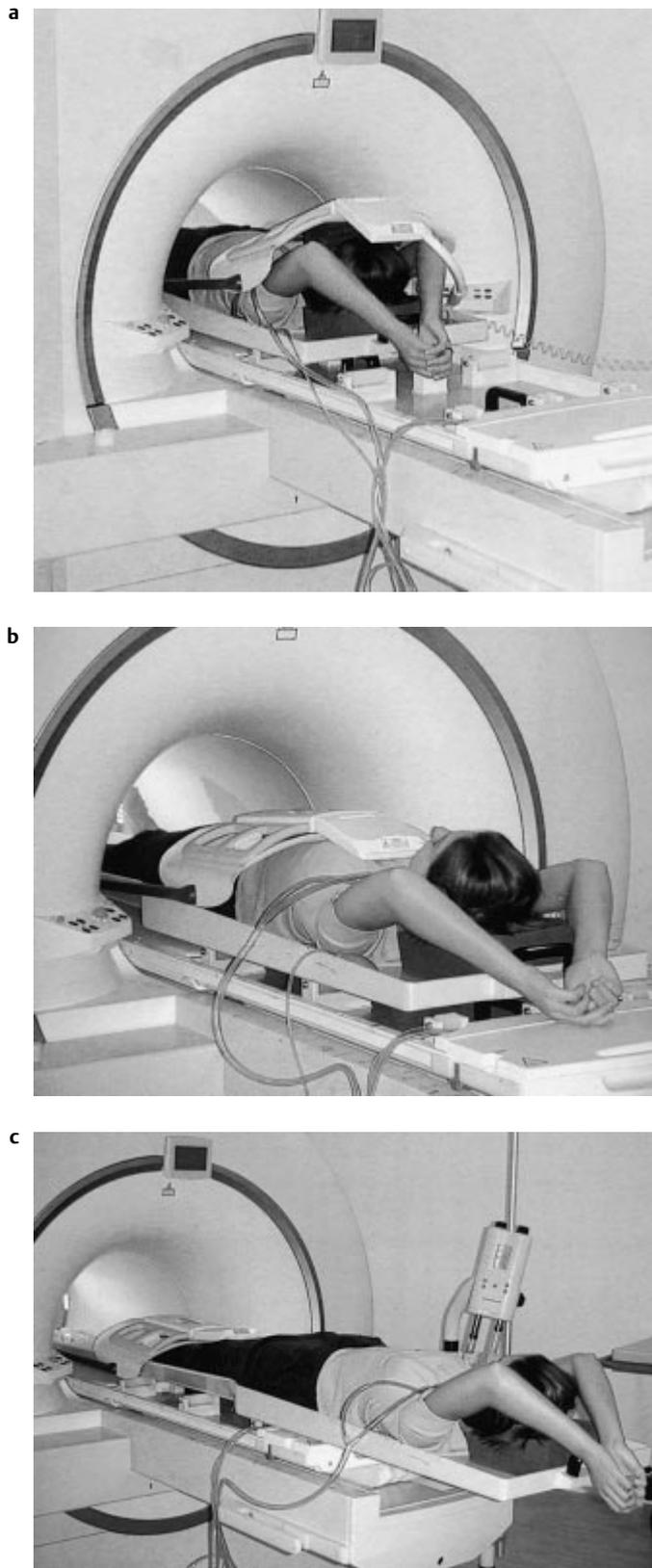


Abb. 1 Studienteilnehmerin aufliegend auf der „AngioSURF“ Tischplattform in (a) Startposition, (b) mittlerer Position und (c) Endposition. Die Tischplattform besteht aus einer 270 cm langen und 50 cm (Rumpfbereich) bzw. 33 cm (Beinbereich des Patienten) breiten Patientenauflagerungsfläche. Zur Stützung der Auflagerungsfläche ist in den Endpositionen jeweils eine Rollenordnung kopf- und fußseitig des serienmäßigen Tisches montiert. Die auf der Halterung befestigte Oberflächenspule gleitet während der Tischverschiebung reibungsarm über den Körper.

trastierung war in einigen Unterschenkelvenen nachweisbar. Dadurch wurde die Beurteilbarkeit der Trifurkationsgefäße allerdings in keinem Fall eingeschränkt.

Auch die angiographisch bekannte Gefäßpathologie im Beckenbereich bei dem untersuchten Patienten war mittels AngioSURF-Ganzkörper-MR nachweisbar (Abb. 2).

Diskussion

Das beschriebene Konzept der Ganzkörper-MR-Angiographie mit AngioSURF erlaubt die Darstellung des arteriellen Gefäßgebietes über eine kraniokaudale Ausdehnung von 176 cm von den Aa. carotides bis zu den Unterschenkelarterien während der einmaligen Injektion von Kontrastmittel. Die gesamte Akquisitionszeit beläuft sich auf lediglich 72 Sekunden. Durch die Integration einer phased-array Oberflächenspule für den Signalempfang wird eine Bildqualität erreicht, die den Einsatz dieser nicht-invasiven Technik als Alternative zur konventionellen digitalen Subtraktionsangiographie (DSA) erlaubt.

Obwohl die Arteriosklerose als systemisches Krankheitsbild mit Befall des gesamten arteriellen Gefäßgebiets bereits seit langer Zeit als solches bekannt ist, blieb die Diagnostik mittels konventioneller Katheter-Technik hinsichtlich des Umfangs der Darstellung des Gefäßbaumes auf umschriebene Gefäßterritorien beschränkt. Verantwortlich dafür waren u. a. Beschränkungen der maximal applizierbaren Kontrastmittelmenge, Strahlenbelastung, Invasivität und damit verbundenes Komplikationsrisiko sowie nicht zuletzt ökonomische Faktoren.

Ein limitiertes Gesichtsfeld (FOV) und Beschränkungen bezüglich der KM-Dosis erschwerten zunächst auch den Einsatz der MR-Angiographie bei der Beurteilung ausgedehnter Gefäßterritorien. Die Einführung sogenannter „Bolus-Verfolgungs-“ (Bolus-Chase) oder Tischverschiebetekniken brachte den Durchbruch: Sie erlauben die Darstellung des arteriellen Gefäßsystems in bis zu drei aufeinanderfolgenden 40 cm langen Abschnitten [4,5]. Um eine ausreichende Auflösung insbesondere im Bereich der Trifurkationsarterien in den Unterschenkeln zu erreichen, blieb diese Technik allerdings auf den Einsatz dezidiert Oberflächenspulen angewiesen [6].

Unter Verwendung der neuesten MRT-Technologie mit Hochleistungsgradienten konnte die Aufnahmezeit kompletter 3D-Datensätze weiter gesenkt werden [7 – 9]. Durch die Reduktion des Repetitionszeit auf 2,1 ms ist die Akquisition eines 3D-Datensatzes in 10 Sekunden möglich geworden. Die verkürzte Datenakquisition erlaubt eine weitere Ausweitung der dargestellten Gefäßabschnitte innerhalb der arteriellen Kontrastmittelfase. So können nunmehr in knapp über einer Minute 5 aufeinanderfolgende 40 cm lange Gefäßareale mit AngioSURF



Abb. 2 Ganzkörper 3D-MR-Angiographie eines 54-jährigen Patienten mit Nachweis einer isolierten kurzstreckigen Okklusion der rechten A. iliaca externa.

aufgenommen werden. Dabei ist die Tischverschiebezeit, die aufgrund der reibungsarmen Rollen-Beweglichkeit der AngioSURF-Tischoberfläche auf drei Sekunden reduziert werden kann, bereits miteingerechnet.

Nebst einer Verkürzung der Akquisitionszeit führt die Reduktion der Repetitionszeit trotz Verwendung eines relativ niedrigen Flipwinkels auch zu einer Verminderung des Signal-

Rausch-Verhältnisses (SNR). Die damit einhergehende Signalunterdrückung des den Gefäßbaum umgebenden Gewebes erübrigt den Einsatz von Fettunterdrückung. Auch die Aufnahme von nativen Datensätzen zum Zweck der Bildsubtraktion ist deshalb nicht erforderlich. Die Signalreduktion innerhalb der arteriellen Gefäße wird durch die Verwendung der Oberflächenspule kompensiert. Die Oberflächenspule (CP Body Array Coil) erhöht das SNR gegenüber der Körperspule um einen Faktor 2–3. Somit ist die Oberflächenspule Voraussetzung für das Erreichen der notwendigen räumlichen Auflösung, die in dem vorgestellten Protokoll durch eine effektive Voxelgröße von $0,8 \times 0,8 \times 2$ mm definiert war. Dadurch erlaubt das höhere SNR eine bessere Abgrenzbarkeit vor allem auch der kleineren Gefäße im Bereich der Unterschenkel.

Obgleich die verwendete Torso-Oberflächenspule eine kranio-kaudale Ausdehnung von nur 28 cm hat, leuchtet sie ein Gesichtsfeld von bis zu 40 cm aus. Allerdings kann es am Rand des Gesichtsfeldes zu einem Signalabfall kommen. Um durch Signalabfall bedingte Gefäßlücken der Ganzkörper-MRA zu vermeiden, sollten die 3D-Datensätze überlappend aufgenommen werden. Der Grad der Überlappung sollte der individuellen Körpergröße angepasst werden. Im Minimum sollte sie allerdings 3 cm umfassen. Somit kann eine Gesamtlänge des arteriellen Gefäßsystems von 176 cm abgedeckt werden. Eine Verbreiterung der Oberflächenspule würde zu einer erweiterten Abdeckung führen. Dabei gilt, dass jeder cm etwa 8 cm mehr Abdeckung des Gefäßgebietes bringt.

Das verwendete Injektionsprotokoll erlaubt die Akquisition der ersten beiden Stationen (Aorta thoracica und Aorta abdominalis) mit einem hohen Kontrastmittelfluss, wohingegen die sich daran anschließenden Stationen bis zu den distalen Unterschenkelarterien mit einer geringeren Flussgeschwindigkeit aufgenommen werden. Das verwendete Protokoll erwies sich als verlässlich und einfach in der Anwendung. Alle gewonnenen Datensätze waren von diagnostischer Bildqualität. Die im zweiten Datensatz vorhandene Überlagerung durch portalvenöses Gefäßsystem und linken Nierenvene in der Maximum-Intensitätsprojektion (MIP) konnte durch Rekonstruktion von multiplanaren Reformationen und Analyse der Quellbilder auf einer Workstation kompensiert werden.

Zusammenfassend erlaubt das beschriebene AngioSURF-Ganzkörper-MRA-Konzept mit rollender Tischplattform und integrierter Oberflächenspule die diagnostische Darstellung des Gefäßgebiets über eine kranio-kaudale Ausdehnung von bis zu 176 cm. Zwar ist bislang noch nicht hinreichend geklärt, inwieweit die komplette Darstellung des Gefäßsystems hinsichtlich des therapeutischen Entscheidungsprozesses Vorteile erbringen kann. Die frühzeitige Erkennung von zum Untersuchungszeitpunkt noch nicht relevanten Stenosen erscheint jedoch von klinischem Interesse. Außerdem dürfte die beschriebene Technik hilfreich sein, beispielsweise bei der Dokumentation des Ausmaßes einer aortalen Dissektion, welche sich über mehrere Gefäßterritorien erstrecken kann.

Neben Applikationen zur Darstellung des Gefäßsystems kann das Konzept für andere Formen der Ganzkörperbildgebung, wie z. B. Knochenmetastasensuche, verwendet werden. Während die momentanen Prototyp-Version der Tischplattform nur auf dem Patiententisch des Symphony- oder Sonata-MR-Systems implementiert werden kann, ist nach entsprechender Modifi-

kation ein Einsatz auch auf anderen Systemen möglich. Die gewährleistete Bildqualität erlaubt den Einsatz bei Patienten und ermöglicht die Anwendung des Verfahrens als Alternative zur konventionellen DSA. Nicht zuletzt auch unter ökonomischen Gesichtspunkten ist mit dem beschriebenen Verfahren eine Veränderung des diagnostischen Vorgehens bei der Untersuchung von Patienten mit Verdacht auf PAVK zu erwarten. Weitere Studien anhand eines Patientenkollektivs mit DSA-Korrelation sind erforderlich, um die Qualität der beschriebenen Technik zu validieren.

Prof. Dr. Jörg F. Debatin

Zentralinstitut für Röntgendiagnostik
Universitätsklinikum Essen
Hufelandstraße 55
45122 Essen

Tel. + 49-201-7231500
Fax + 49-201-7231548
E-mail: debatin@uni-essen.de

Literatur

- ¹ Reddy KS, Yusuf S. Emerging epidemic of cardiovascular disease in developing countries. *Circulation* 1998; 97: 596–601
- ² Snidow JJ, Johnson MS, Harris VJ, et al. Three-dimensional gadolinium-enhanced MR angiography for aortoiliac inflow assessment plus renal artery screening in a single breath hold. *Radiology* 1996; 198: 725–732
- ³ Douek PC, Revel D, Chazel S, Falise B, Villard J, Amiel M. Fast MR angiography of the aortoiliac arteries and arteries of the lower extremity: value of bolus-enhanced, whole-volume subtraction technique. *Am J Roentgenol* 1995; 165: 431–437
- ⁴ Ho KY, Leiner T, de Haan MW, Kessels AG, Kitslaar PJ, van Engelsehoven JM. Peripheral vascular tree stenoses: evaluation with moving-bed infusion-tracking MR angiography (see comments). *Radiology* 1998; 206: 683–692
- ⁵ Meaney JF, Ridgway JP, Chakraverty S, et al. Stepping-table gadolinium-enhanced digital subtraction MR angiography of the aorta and lower extremity arteries: preliminary experience. *Radiology* 1999; 211: 59–67
- ⁶ Ruehm SG, Hany TF, Pfammatter T, Schneider E, Ladd M, Debatin JF. Pelvic and lower extremity arterial imaging: diagnostic performance of three-dimensional contrast-enhanced MR angiography. *Am J Roentgenol* 2000; 174: 1127–1135
- ⁷ Holland GA, Dougherty L, Carpenter JP, et al. Breath-hold ultrafast three-dimensional gadolinium-enhanced MR angiography of the aorta and the renal and other visceral abdominal arteries (published erratum appears in *Am J Roentgenol* 1996 Aug; 167(2):541). *Am J Roentgenol* 1996; 166: 971–981
- ⁸ Snidow JJ, Aisen AM, Harris VJ, et al. Iliac artery MR angiography: comparison of three-dimensional gadolinium-enhanced and two-dimensional time-of-flight techniques. *Radiology* 1995; 196: 371–378
- ⁹ Leung DA, McKinnon GC, Davis CP, Pfammatter T, Krestin GP, Debatin JF. Breath-hold, contrast-enhanced, three-dimensional MR angiography. *Radiology* 1996; 200: 569–571