

Tobias Reiner
Dr. med.

Magnetresonanz-Angiographie von Karotisstents bei 3.0 Tesla: Systematik der Radiofrequenz- und Suszeptibilitätsartefakte und Möglichkeiten der Kompensation

Promotionsfach: Radiologie
Doktormutter: Prof. Dr. rer. nat. Dipl.-Phys. S. Heiland

Das Ziel dieser Arbeit war, verschiedene in der MR-Angiographie klinisch eingesetzte MR-Sequenzen hinsichtlich der Darstellbarkeit metallischer Gefäßprothesen bei 3.0 Tesla zu optimieren und miteinander zu vergleichen. Darüber hinaus sollte diese Arbeit zu einem besseren Verständnis der physikalischen Grundlagen der Radiofrequenzartefakte führen und die Korrelation zwischen der Stärke des applizierten Flipwinkels und der Artefaktausprägung darstellen.

Hierzu entwickelten wir ein Phantommodell, das uns ermöglichte, neben statischen in-vitro Versuchen auch Experimente im dynamischen Modell unter Flussimulation durchzuführen. Wir verwendeten Nitinol- und Cobalt-Alloy-Stents, da diese im klinischen Alltag zunehmend an Bedeutung gewinnen und in der MR-Tomographie nur in geringem Maße Suszeptibilitätsartefakte verursachen. Dadurch war die differenzierte Bewertung der Radiofrequenzartefakte möglich. Wir deckten mit unserem Phantommodell einen Großteil der kommerziell erhältlichen Karotisstents ab, mit jeweils unterschiedlichen Charakteristika bezüglich Größe und Stentwand-Architektur.

Wir konnten zeigen, dass im Hinblick auf die Radiofrequenzartefakte der Aufbau der Stentwand der entscheidende Faktor bei der Darstellbarkeit von Nitinolstents in der MR-Tomographie ist und die Kompensationsmöglichkeiten durch Applikation eines hohen Flipwinkels begrenzt sind. Durch die Flipwinkelerhöhung verschiebt sich der Ernst-Winkel aufgrund des einfließenden und ungesättigten Blutes in den Bereich höherer Anregungswinkel. Das Verhältnis der gemessenen Signalintensitäten im Schlauch- und Stentlumen verändert sich dadurch und beeinflusst damit den im MR-Bild resultierenden Kontrast. Durch Einsatz eines Vorsättigungspulses in der Black-Blood-Angiographie kann diesem Effekt entgegengewirkt und der positive Einfluss der Flipwinkelerhöhung bezüglich der Kompensation des RF-Artefakts zunutze gemacht werden.

Nach unserem Wissensstand, wird dieser Zusammenhang bisher nicht in der Literatur beschrieben. Als Standard in der MR-Angiographie von Stents wurde die Kontrastmittel unterstützte MR-Angiographie propagiert. Wir sehen einen Vorteil in der Black-Blood-Bildgebung, insbesondere wenn T1- oder PD-gewichtete Gradientenecho-Sequenzen unter Einsatz eines Vorsättigungsimpulses und Erhöhung des Flipwinkels eingesetzt werden.

Bei Stents mit einer offenen Anordnung der Nitinol-Segmente war die Abschirmwirkung gering. Sie waren auch im Flussmodell gut darstellbar. Stents, deren Wand sich aus geschlossenen Elementen zusammensetzte, wie beispielsweise die Xact-Stents oder der Wallstent zeigten große Radiofrequenz-

Abschirmungseffekte und die Erhöhung des Flipwinkels hatte nur einen minimalen Einfluss auf die intraluminale Darstellbarkeit des Stents. Der Durchmesser scheint ebenfalls in geringem Maße mit der Stärke der Artefakte zu korrelieren: Der Sinus5F-Stent zeigte bei größeren Durchmessern geringere Radiofrequenzartefakte.

Suszeptibilitätsartefakte waren zwar auch nach Optimierung der Sequenzparameter nachweisbar, sie stellen aber wie die Berechnung des ALN zeigte im klinischen Alltag kein entscheidendes Bewertungshindernis dar. Stents, die aufgrund der RF-Artefakte darstellbar waren, zeigten in unseren Versuchen im ungünstigsten Fall ein ALN von 35%. Das bedeutet, dass sich Gefäßstenosen von 50% in der MR-Angiographie darstellen ließen.

Bis auf den Stent der Protégé-Serie liegen für alle der untersuchten Stents Nachweise über die MR-Tauglichkeit bei 3.0 Tesla vor (www.mrisafety.com). Die Sicherheit der Dynalink-Stents ist bei 1.5 Tesla verifiziert. Bei unseren Versuchen gab es keine Hinweise für Aufheizen, Translation oder Rotation des Stents im MR-Scanner. Die detaillierte Untersuchung der Sicherheitsaspekte der Stents war jedoch nicht Aufgabe dieser Studie.

Abschließend lässt sich sagen, dass die MR-Angiographie von Nitinolstents bei 3.0 Tesla prinzipiell möglich ist und eine gute Ergänzung der etablierten Verfahren in der Evaluation der In-Stent-Restenose darstellt. Insbesondere kann es die Verwendung von Black-Blood-Bildgebungstechniken mit hochauflösenden Gradientenecho-Sequenzen ermöglichen, dezidierte Aussagen über die Morphologie der In-Stent-Stenose zu treffen. Voraussetzung ist, dass Material und Fabrikat des Stents bekannt sind und eine geeignete MR-Sequenz verwendet wird. Unsere Versuche haben gezeigt, dass Stents im klinischen Einsatz sind, deren Wandstruktur eine MR-tomographische Darstellbarkeit ermöglicht. Hinsichtlich der Radiofrequenzartefakte ist hier eine offene Anordnung der Nitinol-Segmente von klarem Vorteil. Jedoch muss im klinischen Einsatz zwischen MR-tomographischer Darstellbarkeit und Stentstabilität bzw. dem Risiko einer In-Stent-Restenose beziehungsweise der Protrusion von Neointima abgewogen werden.

Für zukünftige Studien wäre die Evaluation der MR-Angiographie von Stents mittels Black-Blood-Imaging unter in-vivo-Bedingungen wünschenswert. Weitere Studien sollten den klinischen Stellenwert der Black-Blood-Angiographie im Rahmen der postinterventionellen Kontrolle nach Stentimplantation untersuchen und Vergleiche mit der Bright-Blood-Bildgebung anstellen.