

Elena Schenk  
Dr. med.

## **Hämodynamische Veränderungen der hirnversorgenden Gefäße bei Patienten mit zerebralen arteriovenösen Malformationen: Eine Untersuchung mit der MR-Bildgebung, MR-Angiographie und MR-Flussmessung**

Geboren am 7.03.1979 in Rudnyj, Kasachstan  
Staatsexamen am 7.11.2007 an der Universität Heidelberg

Promotionsfach: DKFZ

Doktorvater: Herr Prof. Dr. med. Marco Essig

Zerebrale arteriovenöse Malformation sind angeborene Gefäßfehlbildungen, bei welchen es durch die fehlende Anlage eines Kapillarnetzes zu einer Kurzschlussverbindung zwischen den Arterien und Venen kommt. Durch den somit verminderten Strömungswiderstand und die erhöhte Strömungsgeschwindigkeit des Blutes kommt es zu einer deutlichen Veränderung der Hämodynamik des Hirnkreislaufes. Diese sind maßgeblich für einen Teil der klinischen Symptomatik dieser Malformationen verantwortlich.

Ziel dieser Arbeit war es, zu untersuchen, ob die hämodynamischen Veränderungen innerhalb der zerebralen AVM auch eine Auswirkung auf die zuführenden Gefäße, hier A. carotis interna oder A. carotis communis, haben und in wieweit eine strahlentherapeutische Behandlung diese Veränderungen beeinflusst.

Hierzu wurden 65 Patienten mit der konventionell-angiographisch gesicherten Diagnose einer zerebralen arteriovenösen Malformation im Rahmen einer strahlentherapeutischen Behandlung mit der MRT und MRA untersucht. Das Untersuchungsprotokoll beinhaltete neben Sequenzen zur Untersuchung der Angioarchitektur auch eine Phasenkontrast-MRA zur Erfassung der hämodynamischen Parameter. Diese dynamische Messmethode nutzt einen Blutbolus als ein „intrinsisches Kontrastmittel“ und liefert somit nichtinvasiv Informationen über die Hämodynamik der Malformation, der Hirngefäße und der zuführenden Gefäße. Bei dieser Untersuchung wurden zwei Bilddatensätze gleichzeitig akquiriert: ein Magnitudenbild, ein rekonstruiertes Bild zur Darstellung der anatomischen Strukturen, und eine Phasenbildserie, die die eigentliche Flussmessung darstellt. Die Flussinformationen werden für jedes einzelne Voxel kodiert. Die Messregion wurde im realen Bild eingezeichnet und mittels einer Auswertungssoftware auf die flusskodierten Bilder projiziert und weiter verarbeitet.

Die Befunde der Phasenkontrast-Untersuchungen unserer Patienten ordneten sich gut in die in der Literatur beschriebenen Ergebnisse ein. Sie zeigten, dass eine AVM tatsächlich in den meisten Fällen zu Veränderungen in den zuführenden Gefäßen führt und zwar wurde in der A. carotis interna der AVM-Seite ein signifikant höherer Blutfluss als in dem korrespondierenden Gefäß der kontralateralen Seite gemessen.

Mittels der linearen Regressionsanalyse konnte verifiziert werden, dass es einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem AVM-Volumen und der Auswirkung der Malformation auf die hämodynamischen Verhältnisse in den zuführenden Arterien gibt. Die Untersuchung zeigte, dass der Blutfluss in der A. carotis interna der AVM-Seite mit einem zunehmenden AVM-Volumen immer höher als dieser in der A. carotis interna der Gegenseite wird und somit die Differenz ebenfalls größer wird. Um die Ausprägung der hämodynamischen Veränderungen in den AVM-versorgenden Gefäßen besser beurteilen zu können, wurden die Patienten nach der AVM-Größe in 3 Gruppen unterteilt. Bei Patienten mit einer kleinen AVM ( $< 3,5$  ccm) zeigte sich auf der AVM-Seite ein etwas höherer Blutfluss in der A. carotis interna. Die statistische Auswertung dieser Flussdaten ergab jedoch keine signifikante Differenz des Flusses. Bei Patienten mit einem AVM-Volumen  $> 3,5$  ccm wurden auf der ipsilateralen Seite ein signifikant höherer Blutfluss gemessen. Dabei muss aber berücksichtigt werden, dass das Untersuchungskollektiv ausschließlich aus wenigen Patienten bestand, die eine aufgrund der Lokalisation oder der Größe inoperable AVM aufwiesen. Deshalb sind die Ergebnisse nur bedingt auf alle AVM-Patienten übertragbar. Weiterhin sollte beachtet werden, dass eine AVM im Versorgungsgebiet der A. vertebralis/basilaris zwar eine Auswirkung auf die Hämodynamik der A. carotis interna über den Circulus arteriosus Willisii hat, diese aber nicht so ausgeprägt ist, wie bei einer AVM mit Versorgung über die A. carotis interna.

Unsere Untersuchungen konnten somit bei einem Kollektiv noch nicht strahlentherapeutisch behandelter AVMs aufzeigen, dass die Phasenkontrast-MRA die Möglichkeit einer nichtinvasiven hämodynamischen Charakterisierung der Malformationen und ihrer Versorgungsgefäße ermöglicht. Aufgrund der Nichtinvasivität kann sie als Verlaufsuntersuchung wiederholt durchgeführt werden. Deshalb wurde sie im Rahmen der Nachsorge nach der erfolgten Strahlentherapie ins Untersuchungsprotokoll eingeschlossen. Die Analyse der Blutflusswerte nach erfolgreicher Strahlentherapie zeigte, dass eine Größenreduktion und später das Ausschalten der AVM aus dem Kreislauf zur Normalisierung des Blutflusses in der versorgenden A. carotis interna führt. Die Ergebnisse der Flussmessung korrelieren hierbei gut mit dem Ansprechen der Therapie, so dass die hämodynamischen Veränderungen in den versorgenden Gefäßen eine frühzeitige Aussage über den Therapieerfolg ermöglichen. Es muss jedoch vor allem bei der Strahlentherapie beachtet werden, dass der Prozess der morphologischen und hämodynamischen Veränderungen bis zu mehreren Jahren dauern kann. Ergibt die Auswertung der Flussmessungen bei einem AVM-Patienten bereits 1 Jahr nach der Bestrahlung einen reduzierten Blutfluss, kann man davon ausgehen, dass die Therapie erfolgreich war und eine partielle Obliteration der AVM schon stattfand. Zeigen die Ergebnisse im Verlauf weiterhin erhöhten Blutfluss in dem zuführenden Gefäß, ist ein Ansprechen der Therapie eher unwahrscheinlich. Bei diesen Patienten sollte aufgrund des weiterbestehenden Blutungsrisikos als wichtigster Komplikation einer AVM eine engmaschige Nachsorge erfolgen. Somit ist die Phasenkontrast-MRA eine gute ergänzende Methode bei der Therapieplanung und dem Therapiemonitoring eines AVM-Patienten und liefert wichtige Informationen über die hämodynamischen Eigenschaften einer zerebralen AVM.