

Philipp Hoegen
Dr. med.

Validation of functional imaging and computational simulation with regard to optimisation of endovascular stent graft implantation - basics and first clinical applications

Fach/Einrichtung: Radiologie
Doktorvater: Prof. Dr. med. Hans-Ulrich Kauczor

Abdominelle und thorakale endovaskuläre Aortenrekonstruktion sind etablierte Verfahren zur Therapie von Aortenaneurysmen und -dissektionen. Da das Design von Stentgrafts zunehmend komplexer und auf die individuelle Anatomie der Patienten zugeschnitten wird, ist exaktes Sizing entscheidend. Für die Planung derartiger Eingriffe sind spezielle centerlinebasierte Softwares erforderlich. Diese wurden bisher nie in Bezug auf einen objektiven Goldstandard evaluiert. Bei der chronischen B-Dissektion ist der ideale Zeitpunkt einer endovaskulären Therapie nach wie vor umstritten. Mittels Computersimulationen ließe sich möglicherweise vorhersagen, ob ein Patient von endovaskulärer Therapie profitieren würde. Ein Ziel dieser Doktorarbeit war die Entwicklung von Modellen und Methoden zur objektiven Softwareevaluation. Ein weiteres Ziel war, die Machbarkeit schneller Computersimulationen von Stentgraftimplantationen in der Aorta zu zeigen.

Drei realistische Phantome mit exakt definierten Maßen und Centerlines wurden designt und mittels dreidimensionalen Druckes hergestellt. Anhand computertomographischer Angiographien dieser Phantome und dreier Patienten wurden sechs Planungssoftwares evaluiert. Dabei reichte die Abweichung der dreidimensionalen Centerlineposition von $0,7 \pm 0,8$ mm bis $2,9 \pm 2,5$ mm. Alle Programme berechneten Centerlines, die signifikant vom Goldstandard abweichen (jeweils $p < 0,001$). Mittlere Durchmesserfehler lagen zwischen $0,6 \pm 0,9$ mm und $8,5 \pm 11,9$ mm. Der mittlere Fehler der Längen betrug bis zu $-10,4$ mm (gesamte Centerline), $-4,2$ mm (Hauptkörper des Stentgrafts) und $-4,7$ mm (iliakale Landezone), dabei traten alle maximalen Fehler in der gleichen Software auf. Alle für den klinischen Gebrauch zugelassenen Anwendungen unterschätzten die Centerlinelänge systematisch. Eine zertifizierte und zugelassene Software konnte keine reproduzierbaren Ergebnisse liefern. Bei einer anderen zertifizierten und zugelassenen Software könnte das Ausmaß der Längenfehler die Wahl des Stentgrafts und klinische Ergebnisse beeinflussen.

In sieben Patienten mit Aortendissektion wurde die Konfiguration der Stentgrafts unmittelbar postinterventionell und nach einem Follow-up von einem Jahr untersucht. Während dieser Zeit konnte eine signifikante Auffaltung in radialer Richtung beobachtet werden, besonders in den distalen Anteilen. Mittels Konstruktionssoftware wurden Computermodelle von kommerziell erhältlichen Stentgrafts erstellt. Diese Modelle wurden mittels eines kürzlich vorgestellten Simulationsprogramms virtuell implantiert. Durch Vergleich mit in-vivo-Daten wurde das Simulationsprogramm evaluiert. Die minimale relative Entfaltung war in den Simulationen (84,2 % bis 86,7 %) größer als in vivo (49,5 %), während die Längen nach virtueller Implantation zirka 15 mm kürzer waren als in vivo. Das Verhältnis der kleinsten zur größten Querschnittsfläche betrug in vivo 0,5 und in vitro 0,9.

Die Simulation war insgesamt zu homogen und überschätzte die Stentgraftentfaltung global. Der Einfluss unterschiedlicher Materialparameter wird von der untersuchten Software nicht adäquat berücksichtigt.

Schlussendlich konnte in dieser Doktorarbeit gezeigt werden, dass sich Benutzer der speziellen Charakteristika verschiedener zugelassener Softwares zur Centerlineanalyse bewusst sein und dass diese Unterschiede weiter wissenschaftlich untersucht werden sollten. Zudem konnte gezeigt werden, dass die computergestützte Simulation von endovaskulären

Aorteneingriffen möglich ist, dass jedoch die Modellierung von Materialeigenschaften von Aorta und Stentgrafts noch weiter verfeinert werden muss. Die Etablierung einer Simulationsumgebung für Typ-B-Dissektionen bleibt ein erreichbares Langzeitziel.