Open-science Gefäßphantom für neurovaskuläre Interventionen

Lena Stevanovic[1], Benjamin J. Mittmann[2,3], Florian Pfiz[1], Michael Braun[4], Bernd Schmitz[4], Alfred M. Franz[2]

[1]Institut für Medizintechnik und Mechatronik, Technische Hochschule Ulm

[2]Institut für Informatik, Technische Hochschule Ulm

[3]Medizinische Fakultät, Universität Heidelberg

[4]Sektion Neuroradiologie, Bezirkskrankenhaus Günzburg

Motivation und Ziele

- Neurovaskuläres Gefäßphantom auf Basis frei zugänglicher, medizinischer Bilddaten
- Publikation der Konstruktionsdaten und der Methodik zur Herstellung
- Praktischer Test durch Registrierung des Phantoms zum klinischem Datensatz und Anfahren anatomischer Landmarken mit einem Führungsdraht

Abb. 1: Sagittalansicht des Ausgangsdatensatzes (frei zugängliche computertomographische Angiographie-Aufnahme (CTA)), Patient 17, Goren N, et al. UCLH Stroke EIT Dataset - Radiology Data [Data set]. Zenodo. http://doi.org/10.5281/zenodo.1199398: University College London Hospital; 2017

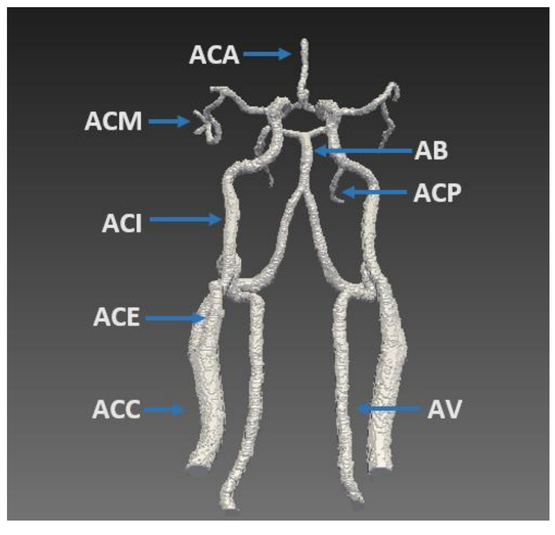

Abb. 2: Segmentierter Patienten-Gefäßbaum beginnend bei der *Arteria carotis communis* (ACC) und *Arteria vertebralis* (AV) über die Arteria carotis interna (ACI), Arteria carotis externa (ACE) und Arteria basilaris (AB) bis zur *Arteria cerebri anterior* (ACA), *Arteria cerebri media* (ACM, M3-Segment) und *Arteria cerebri posterior* (ACP)

Erstellung des digitalen Modells

- Manuelle, schichtweise, axiale Segmentierung des Gefäßbaums der computertomographischen Angiographie-Aufnahme (CTA) des Patienten
- Nachbearbeitung des digitalen Modells
  1) Glätten der Oberfläche
  2) Erstellen eines Offsets der Gefäßbaum-Außenfläche im Abstand von 1,5 mm
  3) Erzeugen eines Volumenkörpers aus dem Zwischenraum der Gefäßbaum-Außenfläche und der Offset-Fläche (Hohlraum spiegelt die Gefäßanatomie des Patienten wieder)
  4) Zugang zu Gefäßen durch Abtrennen der Enden
  5) Konstruktion eines stabilisierenden Grundgerüsts
- Verwendete Tools: Medical Imaging Interaction Toolkit [1] (Segmentierung), Meshmixer [2] (Glätten, Offset, Abtrennen), FreeCAD [3] (Volumenkörper, Grundgestell)

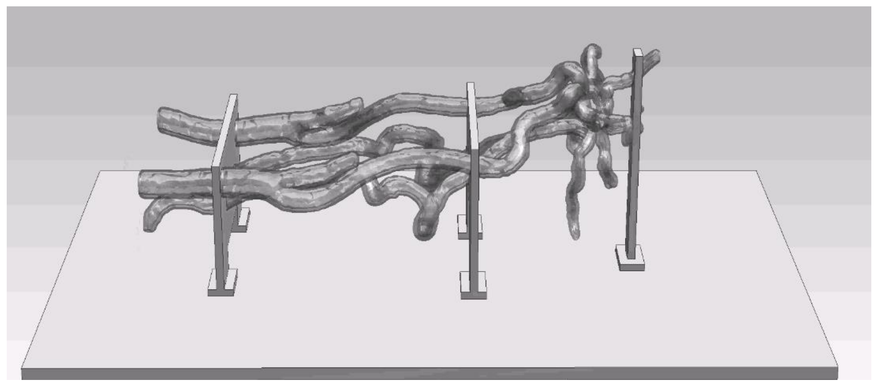

Abb. 3: Digitales Gefäßmodell mit stabilisierendem Grundgerüst

Fertigung des Phantoms

- 3D-Druck des digitalen Modells im PolyJet-Verfahren, Materialien: wasserlösliches Stützmaterial, Gefäßbaum „Agilus30“ (flexibel), Grundgestell „VeroClear“ (starr)
- Anbringung auf einer stabilisierenden Grundplatte
- Verbindung durch Silikon-Schläuche und Reduzierstücke zu einem Kreislauf

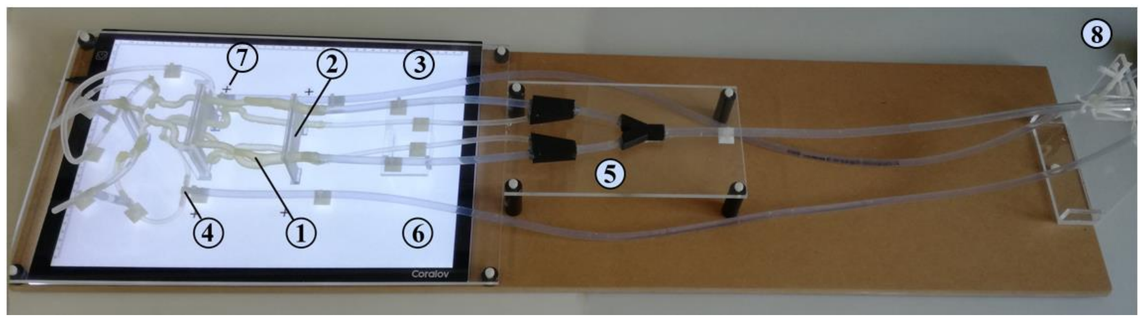

Abb. 4: Gedrucktes Gefäßphantom (1) mit Grundgestell (2) auf Grundplatte (3). Schläuche mit T-Reduzierstücken (4) und 3D-gedruckten Y-Reduzierstücken (5). LED-Panel (6) zur besseren Sichtbarkeit eingebrachter Instrumente. CT-Marker (7) für Registrierungsversuche. Anschlüsse für Zulauf und Ablauf (8)

Registrierungsversuche

- CTA des kontrastmittelgefüllten Phantoms
- Segmentierung des Phantom-CTA-Gefäßbaums

Versuch 1:

- Co-Registrierung der Gefäßbaum-Segmentierungen aus Patienten-CTA und Phantom-CTA über anatomische Landmarken (ACC rechts, ACA mittig, ACE links, AB)
- Ergebnisse: Weitgehende Übereinstimmung im Verlauf der Gefäßbäume, Abweichungen in distalen Bereichen

	Rechts			Links		
Gefäß-Messpunkte	ACE	ACI	AV-V4	ACC	ACA	AV-V3
Abweichung [mm]	0,9	2,2	4,7	0,4	1,7	0,1

Tab. 1: Abstand der Gefäßmittelpunkte der Segmentierungen von Patienten-CTA und Phantom-CTA an anatomischen Referenzpunkten, V3 und V4 bezeichnen Segmente der AV

Versuch 2:

- Registrierung des Phantoms zur Phantom-CTA über vier auf der Grundplatte angebrachte CT-Marker, anschließendes beidseitigen Einbringen eines trackbaren Führungsdraht-Prototyps in ACI und ACE
- Ergebnisse: 98,5% der Positionspunkte des trackbaren Prototyps lagen innerhalb des Gefäßbaums

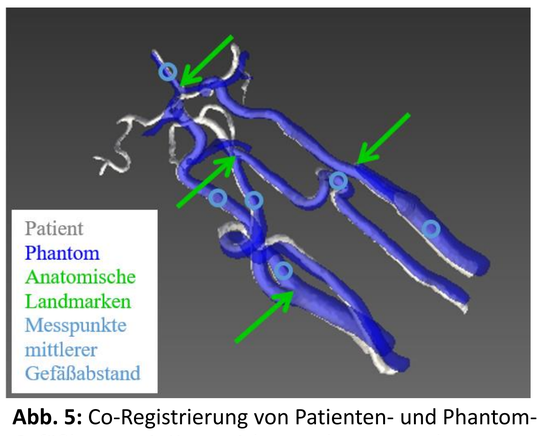

Abb. 5: Co-Registrierung von Patienten- und Phantom-Gefäßbaum mit Kennzeichnung der verwendeten Landmarken und Messpunkte (Versuch 1)

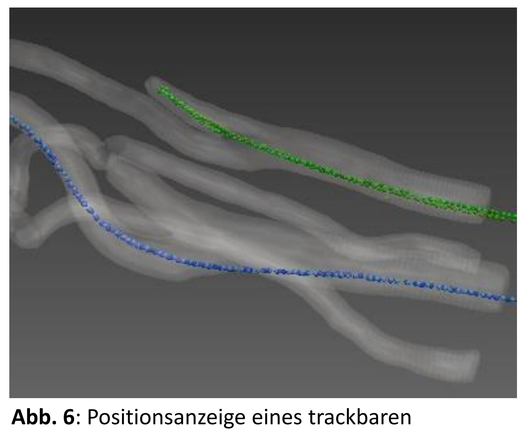

Abb. 6: Positionsanzeige eines trackbaren Führungsdraht-Prototyps im registrierten Phantom-Gefäßbaum (Versuch 2)

Versuch zum Anfahren anatomischer Landmarken

Prüfen der Erreichbarkeit vordefinierter Stellen im Gefäßphantom je zwei Mal durch drei Laien mit einem Führungsdraht

- Ergebnisse: Acht von Zwölf Versuchen erfolgreich, Schwierigkeiten der Laien distale Gefäße zu erreichen

Hinweis: Wiederholung des Versuchs durch medizinische Experten nach Pandemie-Situation in Planung

	Links			Rechts		
Gefäß	ACM	ACA	ACP	ACM	ACA	ACP
Durchlauf 1	✓ (P1)	✓ (P1)	✓ (P2)	✓ (P2)	X (P3)	X (P3)
Durchlauf 2	X (P2)	X (P2)	✓ (P3)	✓ (P3)	✓ (P1)	✓ (P1)

Tab. 2: Erreichbarkeit definierter Stellen im Phantom mit einem Führungsdraht durch 3 Laien (P1, P2, P3)

Alle Konstruktions- und Versuchsdaten sind unter folgendem Link verfügbar: https://osf.io/yg95d/

Literatur und Links

[1] The Medical Imaging Interaction Toolkit (MITK), https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23588509/
[2] Autodesk Meshmixer 3.5, https://www.meshmixer.com/, abgerufen am 14.11.2020
[3] FreeCAD, https://www.freecadweb.org/, abgerufen am 16.10.2020