

Präoperative Simulation von Rohrprothesen und Y-Stents zur endovaskulären Behandlung von Stenosen und Aneurysmen

Jan Egger
Philipps-Universität Marburg
Fachbereich Mathematik und Informatik
35032 Marburg
jan.egger.ext@siemens.com

Stefan Großkopf
Siemens Medical Solutions
Computed Tomography
91301 Forchheim
stefan.grosskopf@siemens.com

Bernd Freisleben
Philipps-Universität Marburg
Fachbereich Mathematik und Informatik
35032 Marburg
freisleb@informatik.uni-marburg.de

Einleitung

- Aneurysmen und Stenosen sind Gefäßerkrankungen:
 - Eine Stenose ist eine Verengung eines Gefäßes
 - Ein Aneurysma ist eine Erweiterung eines Gefäßes
- Es gibt zwei unterschiedliche Behandlungsmethoden [1, 2]:
 - Klassische offene Operation
 - Minimal invasive Behandlung
- Bei der minimal invasiven Behandlung wird eine Prothese (Stent) mit Kathedertechnik in die Arterie eingesetzt:

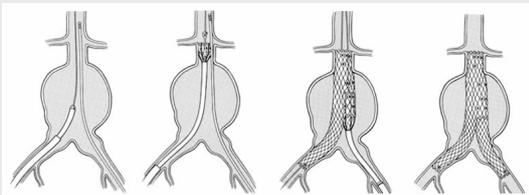


Abb. 1. Minimal invasive Behandlung eines Bauchaortenaneurysmas (BAA)

- Vorteile der minimal invasiven Behandlung gegenüber der offenen Operation sind:
 - Der geringe Blutverlust
 - Die kurze Behandlungsdauer
 - Die Behandlung von Risikopatienten

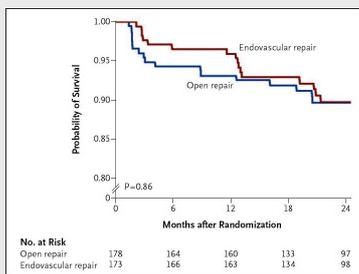


Abb. 2. Sterblichkeitsrate nach offener- und minimal invasiver Operation (DREAM) [1]

Methoden

- Vorverarbeitung [3, 4]:



- Simulation der Stents mit dem Verfahren der aktiven Konturen (ACM) in 3D [5, 6]:

- Das Verfahren realisiert *interne* und *externe* Kräfte

$$E = \int_{t=0}^1 \int_{s=0}^1 E_{int}(v(s,t)) + E_{ext}(v(s,t)) ds dt$$

- Die internen Energien simulieren die Elastizität des Stents und berücksichtigen horizontale, vertikale und diagonale Richtungen:

$$E_{int} = w_1 \left| \frac{\partial v(s,t)}{\partial s} \right| + w_2 \left| \frac{\partial v(s,t)}{\partial t} \right| + w_3 \left| \frac{\partial^2 v(s,t)}{\partial s^2} \right| + w_4 \left| \frac{\partial^2 v(s,t)}{\partial t^2} \right| + w_5 \left| \frac{\partial^2 v(s,t)}{\partial s \partial t} \right|$$

- Die externen Kräfte werden durch folgende Gleichung approximiert:

$$F_{ext} = F_{Vessel} + F_{Balloon} + F_{Dilate}$$

- Sie ziehen und drücken den Stent in Richtung Arterienwand:

- Die Ballonkraft $F_{Balloon}$ simuliert dabei einen Ballonkatheter beim Setzen des Stents
- Die Kraft F_{Dilate} dient zur Dilatation des Gefäßes im Bereich einer Stenose
- Die Widerstandskraft F_{Vessel} repräsentiert die Arterienwand und wird aus dem Distanzbild der segmentierten Arterie gewonnen

Ergebnisse

- Die Methoden wurden in C++ innerhalb der MeVisLab Plattform realisiert.
- Ergebnisse beziehen sich auf CTA mit Variationen in der Anatomie und Lage der Pathologie.

- Die speziellen Material- und Ausdehnungseigenschaften der Stents konnten durch das ACM angemessen simuliert werden (Abb. 3 - 8).

- Für die Evaluierung wurden zwei Arten von Datensätzen verwendet:

- Datensätze aus der klinischen Routine
- Manuell generierte Phantomdatensätze



Abb. 3. Rohrprothese (BAA)

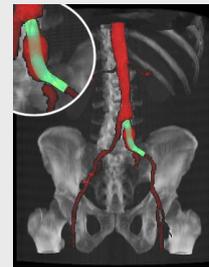


Abb. 4. Rohrprothese (Iliac Aneurysma)



Abb. 5. Rohrprothese (TAA)



Abb. 6. Y-Stent Graft (BAA)



Abb. 7. Initialstent (Karditis Stenose)



Abb. 8. Rohrprothese (Karditis Stenose)

Zusammenfassung

Wir stellen einen Ansatz zur Simulation und Visualisierung von Stents in Aneurysmen und Stenosen vor. Dazu wurde eine Methode entwickelt und verifiziert, die auf dem numerischen Verfahren der Aktiven Konturen basiert. Bei allen Varianten kann ein behandelnder Arzt somit vor dem Eingriff bei der Auswahl des Stents durch die Simulation unterstützt werden.

Unser Verfahren ist speziell auch ein Beitrag zur Unterstützung der komplexen Planung von Stenting in Bauchaortenaneurysmen. Langfristig gesehen könnte eine exaktere Planung des Eingriffs auf der Grundlage der Simulation dazu beitragen, die mit dem endovaskulären Eingriff verbundene Mortalitätsrate zu senken.

Referenzen

[1] JD Blankensteijn, et al., "Two-Year Outcomes after Conventional or Endovascular Repair of Abdominal Aortic Aneurysms", N Engl J Med, 352(32):2398-2405, 2005.

[2] W Hacke, "Stent-protected Percutaneous Angioplasty of the Carotid artery vs. Endarterectomy (SPACE)", Presented at the European Stroke Conference, Brussels, May 2006.

[3] T Boskamp, D Rinck, F Link, B Kuemmerlen, G Stamm, and P Mildnerberger, "A New Vessel Analysis Tool for Morphometric Quantification and Visualization of Vessels in CT and MR Imaging Data Sets", Radiographics, 24(1):287-297, 2004.

[4] J Egger, S Großkopf, and B Freisleben, "Simulation of bifurcated stent grafts to treat abdominal aortic aneurysms (AAA)", SPIE Medical Imaging, Vol. 6509, 2007.

[5] M Kass, A Witkin, and D Terzopoulos, "Constraints on deformable models: Recovering 3D shape and nongrid motion", Artificial Intelligence, 36:91-123, 1988.

[6] M Kass, A Witkin, and D Terzopoulos, "Snakes - Active Contour Models", International Journal of Computer Vision, 1(4):321-331, 1987.