

Simulation and evaluation of the implantation behaviour of stents in straight and curved coronary vessel segments

Robert Schulz

Purpose: Intracoronary stent implantation is used to revascularize stenosed vessels since many years. The aim of this work is to simulate stent implantations in two FE models, which allow a comparison of the implantation and its interaction in an idealized straight and curved vessel with the purpose to obtain information about the operational strength of stents.

Methods: The material behaviour of the investigated balloon-expandable coronary stent is modelled as elastic-plastic. The crimping, expansion and recoil of the stent is realized with displacement boundary conditions on two cylindrical contact surfaces, representing the PTCA balloon and the crimping tool. On the basis of an extensive literature research the arterial tissue is modelled as a hyperelastic material. For the stent

implantation in the tortuous vessel geometry, which is realized by using special displacement boundary conditions, the artery is lead to a nearly straight configuration. Then the stent could be induced in the vessel and be expanded in the arterial wall, under frictional contact conditions. After stent deployment the vessel geometry is retracted back into a curved configuration. The resulting equilibrium between the hyperelastic stress response of the artery and the stent in the curved region leads to elastic-plastic deformation of the stent in the FE model.

Results: Generally higher loads for stent and artery are determined in the curved vessel segment. The longer the investigated stent and the higher the curvature of the artery the greater are the established loads. By analysing cycling blood pressure the stent shows safe fatigue behaviour.

Conclusion: The developed load step procedure for the two FE models allows a comparison between a stent implantation in a straight and a curved vessel segment to obtain information about the stent load case and its fatigue behaviour.

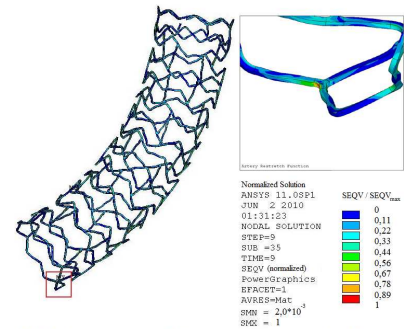


Abb.1: Equivalent von Mises stress, normalized to the maximum value

Simulation und Beurteilung des Implantationsverhaltens von Stents in geraden und gekrümmten koronaren Gefäßabschnitten

Aufgabenstellung: Die Intrakoronare Stentimplantation wird seit vielen Jahren genutzt, um stenosierte Blutgefäße zu revascularisieren. Das Ziel der Arbeit ist das Simulieren zweier Stentimplantationen, die den Vergleich der Implantation und Interaktion in einem idealisierten geraden und gewundenen Gefäß erlauben, um Informationen über die Betriebsfestigkeit von Stents zu erlangen.

Methoden: Das Materialverhalten des verwendeten ballonexpandierbaren Koronarstents wird elastisch-plastisch modelliert. Crimpen, Dilatieren und Recoil des Stents werden mit dem Aufbringen von Verschiebungsrandbedingungen auf zwei zylindrische Kontaktflächen realisiert, die den PTCA Ballon und das Crimp-Werkzeug repräsentieren. Auf Grundlage einer ausgiebigen Literaturrecherche wird das Arterienmaterial hyperelastisch modelliert. Für die Implantation in die gewundene Gefäßgeometrie, was mit speziellen Verschiebungsrandbedingungen realisiert wird, wird die Arterie zunächst in eine annähernd gerade Geometrie überführt. Der Stent wird dann in das Gefäß eingeführt und unter Reibungskontaktbedingungen in die Arterienwand gedrückt. Nach dem Einbringen des Stents wird die Gefäßgeometrie zurück in eine gewundene Konfiguration überführt. Das entstehende Gleichgewicht zwischen hyperelastischer Spannungsantwort der Arterie und des Stents im gewundenen Bereich führt zu einer elastisch-plastischen Stentdeformation im FE Modell.

Ergebnisse: Generell sind die Belastungen im gewundenen Gefäßsegment größer. Je länger der verwendete Stent und desto größer die Gefäßkrümmung, desto größer sind die ermittelten Belastungen. Das Analysieren des zyklischen Blutdrucks zeigt unter den getroffenen Modellannahmen ein sicheres Dauerfestigkeits-Verhalten für den Stent.

Zusammenfassung: Die entwickelten Lastschrittfolgen der beiden FE-Modelle erlauben einen Vergleich der Stentimplantation in einem geraden und gewundenen Gefäßabschnitt sowie die Entnahme von Informationen über Belastungszustände und Ermüdungsverhalten des Stents.