

Repräsentation flexibler Implantate durch DICOM

N. Ritter¹, M. Werner², S. Scherer², W.G. Drossel², O. Burgert¹

¹ Universität Leipzig, Innovation Center Computer Assistent Surgery, Leipzig, Germany

² Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik, Dresden, Germany

Kontakt: nils.ritter@medizin.uni-leipzig.de

Abstract:

Wesentliche Defizite verfügbarer Software zur Planung von Stenting-Interventionen sind die Beschränkung auf zweidimensionale Projektionen der Gefäße und Stents sowie fehlendes Wissen über das Verhalten des Stents im Gefäß. Zur Ermittlung der Stentabmessungen werden derzeit in 2D-CT Schichten am betreffenden Areal Gefäßdurchmesser und Länge gemessen. Die Praxis zeigt, dass bei stark gekrümmten Gefäßen eine exakte Längenermittlung nur schwer möglich ist. Daher wird intraoperativ, unter Einsatz eines Drahtes mit Markierungen im Abstand von je 1cm, eine zweite Längenmessung durchgeführt. Der in diesem Artikel vorgestellte Ansatz soll diese zusätzliche Messung unnötig machen. Unter Einsatz eines 3D-Planungsmodells, bestehend aus patientenspezifischem Gefäß und Stent, wird, in Kombination mit einer DICOM-basierten Beschreibung der Biegeeigenschaften des Stents, eine erste Abschätzung der Stent-Verformbarkeit im Gefäß möglich. Dies lässt eine optimierte Stentauswahl hinsichtlich Abmessungen und Design erwarten.

Schlüsselworte: DICOM, Implantate, Planung

1 Problem

Die Planung zum Einsatz von Implantaten ist fester Bestandteil des radiologischen Alltags. So werden in einigen Fachrichtungen wie zum Beispiel der Orthopädie starre Implantate verwendet, um Teile des Skeletts und sogar ganze Gelenken zu ersetzen. In der Gefäßchirurgie werden für das Weiten und Offenhalten von arteriosklerotisch erkrankten Gefäßabschnitten (Stenosen) flexible Implantate, sogenannte Stents (Gittergerüste in Röhrenform aus Metall oder Kunststoff) eingesetzt. Weiterhin werden ummantelte Stents, auch Stentgrafts genannt, eingesetzt, um krankhafte Gefäßaussackungen (Aneurysmen) mit hohem Rupturrisiko zu überbrücken. Diese formflexiblen Implantate passen sich, je nach Steifigkeit des verwendeten Materials, an dem Gefäßverlauf an. Die Entscheidung, welches Implantat für welche Anatomie ausgewählt wird, basiert auf den Erfahrungswerten des planenden Chirurgen. Dieser wird bei der Entscheidungsfindung derzeit lediglich durch Messmöglichkeiten im CT-Datensatz des Patienten unterstützt.

Um den Planungsablauf zu verbessern und den Chirurgen in seiner Arbeit zu unterstützen, wäre ein System, welches genauere Messungen an dreidimensionalen Modellen von Gefäß und Implantat sowie eine interaktive Implantat-Positionierung im 3D-Gefäß ermöglicht, von großem Nutzen. Ein solches System sollte eine Datenbank verfügbarer Gefäßimplantate beinhalten. Diese sollte in einem herstellerunabhängigen Format vorliegen, um die Übertragung der Prothesenbeschreibung von den Prothesenherstellern an die Hersteller der Planungssoftware zu ermöglichen. Des Weiteren sollte ein solches System das Picture Archiving and Communication System (PACS) als schon vorhandenen Teil der Klinikinfrastruktur nutzen, um eine nahtlose Integration in die klinische Routine sowie eine Langzeitarchivierung der Planungsergebnisse sicher zu stellen.

2 Methoden

In der Radiologie dominiert das DICOM-Format [1] die digitalen Speicherformate. Es existieren vielerorts [2] bereits PACS-Server und der Datenaustausch von Bild- und Patientendaten wird bereits über DICOM-Mechanismen realisiert. Die Verwendung von DICOM als Datenbasis ermöglicht weiterhin den Anschluss an bereits bestehende klinische Arbeitsabläufe. Trotz der räumlichen und fachlichen Trennung von Radiologe und Gefäßchirurg sind durch die Verwendung von DICOM keine neuen Systeme oder Kommunikationswege erforderlich [3]. Eine Kompatibilität mit bereits in Kliniken existierenden Systemen, und damit auch die Verknüpfung mit Patientendaten und Berichten, ist somit gewähr-

leistet. Im Folgenden wird das „Generic Implant Template“ DICOM-Supplement [4], welches für die Speicherung starrer Implantate entworfen wurde, auf seine Eignung für flexible Implantate untersucht.

Flexible Implantate teilen viele der zu beschreibenden Eigenschaften mit starren Implantaten. Allgemeine Eigenschaften, wie Hersteller, Teilenummer oder Version sind wichtige Daten für beide Implantatarten. Die Beschreibung von starren Implantaten ist bereits durch das „Generic Implant Template“ DICOM-Supplement möglich. Dieses befindet sich in einer fortgeschrittenen Phase des Standardisierungsprozesses und wird voraussichtlich Ende 2010 Teil des DICOM-Standards werden. Das „Generic Implant Template“ ermöglicht die Beschreibung von allgemeinen Implantatdaten, Verbindungspunkten zwischen mehrteiligen Implantaten („Mating Features“) sowie zweidimensionalen Abbildungen der Implantate und die Verwendung der DICOM „Information Object Definition“ (IOD) für Oberflächennetze („Surface Mesh“) [5] zur Speicherung der dreidimensionalen Oberflächen des Implantates.



Abb. 1: Vascutek Anaconda Stentgraft zur Implantation in die Baucharterie



Abb. 2: Modelliertes Oberflächennetz eines Vascutek Anaconda Stentgrafts

Basierend auf den bisherigen Untersuchungen kann festgehalten werden, dass die mechanischen Eigenschaften nicht unmittelbar durch das „Generic Implant Template“ Supplement gespeichert werden können. Attribute, die flexible von starren Implantaten unterscheiden, wie etwa der Biegeradius oder die Verwindungssteifigkeit zur Beschreibung der elastischen Verformbarkeit, sind aktuell nicht DICOM-standardisiert speicherbar. Aus diesem Grund wurde die Struktur einiger flexibler Implantate untersucht, um daraus Surrogatparameter abzuleiten, die sich als DICOM-Attribute ablegen lassen und die flexiblen Attribute repräsentieren können.

Stents für die Arteria carotis communis (Kopf- oder Halsschlagader), Arteriae coronariae (Koronararterien) und periphere Arterien sind zylindrisch, angelehnt an die Form der Gefäße im menschlichen Körper. Die Darstellung eines solchen Stents in einer parametrisierten, geometrischen Form ist somit möglich. Stentgrafts für die Behandlung von abdominalen Aneurysmen haben die grobe Form einer Hose: ein zylindrischer Hauptkörper von dem aus zwei schmalere „Beinchen“ in die Beinarterien abgehen. Für diese Stentgrafts ist die Beschreibung durch mehrere zusammengesetzte Zylinder möglich. Geometrisch wird das Volumen eines Zylinders durch seine Grundfläche und seine Höhe vollständig beschrieben. Diese formale Darstellung ist nicht durch DICOM beschreibbar, wohl aber ihre diskrete Darstellung in Form von Knoten und geometrischen Primitive, wie Dreiecke oder Linien, mit Hilfe der DICOM „Surface Mesh“ IOD.

Daraus abgeleitet kann ein Zylinder durch zwei miteinander verbundene Flächen beschrieben werden. Für das komplexe Modell eines flexiblen Implantates ist die Darstellung durch einen einzelnen Zylinder jedoch nicht ausreichend. Aus diesem Grund wird der Zylinder in mehrere zusammenhängende Stücke aufgeteilt, die ihrerseits wieder durch Zylinder dargestellt werden können. Die formale Darstellung ist somit durch eine Folge von verbundenen Flächen beschrieben. Die Geometrie und Anzahl der Verbindungen zwischen den Flächen ist nicht vorgegeben. Abhängig von Art und Anzahl der Verbindungen kann man so das flexible Verhalten anpassen.

Knoten werden innerhalb der DICOM Surface Mesh Datenstruktur nur durch ihre Position im Raum beschrieben und in einer Liste abgelegt. Es ist nicht möglich, diese Punkte nach Art zu unterscheiden oder Attribute hinzuzufügen. Die im „Surface Mesh“ vorgesehenen geometrischen Objekte referenzieren die Positionen der zugehörigen Knoten in der Knotenliste, eine feinere Unterscheidung oder weitere Attribute sind durch den DICOM Standard nicht beschrieben. Die Logik, welche Knoten und Objekte welche flexiblen Attribute haben, kann nicht durch DICOM selbst repräsentiert werden und muss Teil der Applikationslogik sein, die diese Implantate verarbeitet. Die Beschreibung als Knotennetz erlaubt Grundflächen beliebiger Gestalt. Die kreisförmige Grundfläche eines Zylinders ist dabei eine der einfachsten Formen.

Die geometrische Form und die Anzahl der Verbindungen haben maßgeblichen Einfluss auf die flexiblen Eigenschaften des Stentmodells. Da denen in der Surface Mesh IOD beschriebenen geometrischen Objekten keine weiteren Attribute hinzugefügt werden können, um das Verhalten zu bestimmen, ist das Verhalten der Verbindungselemente nicht vorgeschrieben. Im einfachsten Fall können sie als starre Achsen angenommen werden, aber auch andere Annahmen sind möglich. Geht man von starren Achsen als Verbindungen aus, entsteht durch das Verbinden von korrespondierenden Knoten zweier Grundflächen die Zylinderform. Verbindet man die Grundflächen an ihren Mittelpunkten mit nur einer Achse, entsteht ein Scheiben-Ketten Modell [Abb.3]. Mit den Verbindungselementen als starre Achsen ist eine beliebige Rotation der Ringe um diese Achse möglich. Durch Berechnung der Kollision zwischen zwei Grundflächen können nun flexible Eigenschaften des Stents dargestellt werden [Abb. 4]. Bezieht man die Achsen in die Kollisionsberechnung mit ein, können weitere Eigenschaften, etwa die Verwindung des Stents, dargestellt werden. Die Anzahl gleichmäßig angeordneter, paralleler Achsen wirkt beispielsweise beschränkend auf die Rotation zweier Flächen zueinander, gegenläufige Verbindungen die sich kreuzen können die Verwindungseigenschaften fixieren.

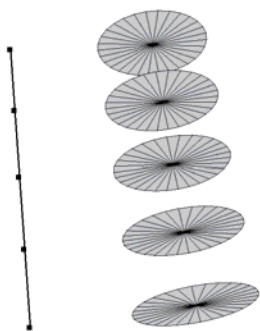


Abb. 3: Mittelachse und Stentringe

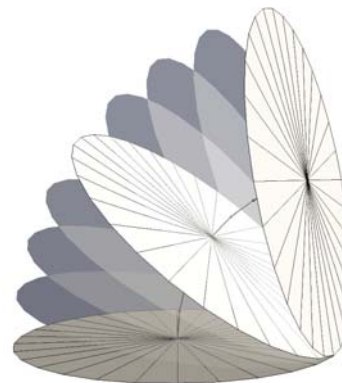
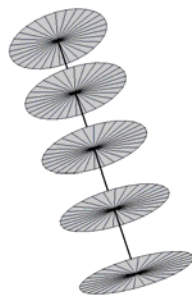


Abb. 4: Beschränkung der Biegsamkeit des Stents durch Kollision der Stentringe

Die oben beschriebene Beschränkung der „Surface Mesh“ IOD in Bezug auf die Unterscheidbarkeit von Knoten und geometrischen Objekten auf Grund von Eigenschaften, erfordert eine Teilung des Modells in mehrere Teile. Das „Generic Implant Template“ erlaubt dieses Vorgehen, das zugehörige „Surface Mesh“ kann eine beliebige Anzahl Oberflächen in einer Sequenz speichern. Die Achse besteht aus einer Anzahl von Punkten, jedem Punkt wird fortlaufend ein Ring zugeordnet. Achse und Ringe werden jeweils einzeln innerhalb des „Generic Implant Template“ gespeichert. Jeder Knoten der Achse wird dabei dem ersten Knoten und Mittelpunkt einer Grundfläche zugeordnet. Die genaue Verwendung der in der Surface Mesh IOD gespeicherten Informationen liegt bei der Software die sie verwendet, der DICOM Standard gibt die Verwendung nicht vor. Eine andere Form der Speicherung ist daher möglich und kann an die jeweiligen Anforderungen angepasst werden.

3 Ergebnisse

Mit dem „Generic Implant Template“ Supplement und DICOM wurde eine Möglichkeit gefunden, digitalisierte Implantate im DICOM-Format zu speichern. Damit ergibt sich die Möglichkeit, Implantate im Radiologieinformationssystem (RIS) für Applikationen und Betrachter zugänglich zu machen, ohne spezielle Server oder Programme zur Speicherung vorhalten zu müssen.

Das digitale Modell eines Stents kann durch Ablegen seiner Geometrie und durch die Beschreibung der Eigenschaften erreicht werden. Durch ein parametrisches Modell, welches das Oberflächennetz um Funktionen erweitert, kann eine kompakte Form dieses digitalen Modells erreicht werden. Das Modell kann in seine geometrische Form, aufgebaut aus Punkten und geometrischen Primitive überführt werden. Die funktionelle Repräsentation kann dann, zusammen mit dem Oberflächennetz, gespeichert und so in Programmen zur Betrachtung von Modell oder Simulationen verwendet werden. Parametrische und funktionelle Modelle können dabei auch an bestimmte Fragestellungen angepasst werden. Die parametrischen Modelle dienen hierbei zur Unterstützung, nicht als Ersatz für die Oberflächennetze, von Darstellungs- und Planungsprozessen in dem sie komplexe Eigenschaften auf einfachere Berechnungsmodelle reduzieren. Beispielsweise kann, unter Verwendung von dreidimensionalen Modellen des Gefäßes in das implantiert werden soll, die Einpassung eines Stents in das Gefäßmodell in Echtzeit ermöglicht werden. Dies versetzt den planenden Mediziner vor dem Eingriff in die Lage, die ungefähre Position des Stents im Gefäß abzuschätzen, Risiken früher zu erkennen und nicht zuletzt die Auswahl der möglichen Stents durch automatisierte Messfunktionen für den Eingriff im Vorhinein zu begrenzen. Ein solches System, welches Implantatdaten und zu den Oberflächennetzen hinzugefügte parametrische Modelle lesen und verarbeiten kann, befindet sich derzeit in der Entwicklung.

4 Diskussion

Die hier vorgestellte Methode zur Speicherung von flexiblen Implantaten im DICOM-Format ermöglicht die Planung einer Stentimplantation anhand des 3D-Modells eines Gefäßes und eines funktionellen 3D-Modells des Stents. Die gewählten Parameter ermöglichen eine virtuelle Einpassung des Stents in das Gefäß, genauere Messungen als in Schichtbildern und eine bessere Auswahl des zu verwendenden Stentmodells. Dies deckt jedoch nur ein Teil der Flexibilitätseigenschaften ab. Die gewählten Surrogatparameter können die realen Parameter nur in konkreten Anwendungsfällen ersetzen. Beispielsweise ist die maximale Biegsamkeit zwar durch die Kollision von Ringen modellierbar, das Maximum gibt aber keinen Aufschluss über den nötigen Kraftaufwand oder die elastische Verformung des gesamten Stents. Um weitere Eigenschaften zu speichern und für einen Planungsprozess zur Verfügung zu stellen, ist eine Erweiterung des DICOM Standards nötig.

5 Danksagung

Die Autoren danken Dr. med. Hans-Joachim Florek von der Weißeritztal Klinik Freital (Deutschland) für die freundliche Unterstützung.

Das Innovation Center Computer Assisted Surgery (ICCAS) an der Medizinischen Fakultät der Universität Leipzig ist finanziert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und dem Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst im Rahmen der Initiative Unternehmen Region mit den Zuwendungsnummern 03 ZIK 031 und 03 ZIK 032. Diese Unternehmung ist ebenfalls finanziert durch den Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) und den Freistaat Sachsen im Rahmen der Förderung des Technologiesektors.

6 Referenzen

- [1] National Electrical Manufacturers Association (2008) Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM), Rosslyn, Va: NEMA. <http://medical.nema.org>. Accessed 10 January 2010
- [2] eHealth Niedersachsen (2009) IT-Bericht Gesundheitswesen, S.59
Hübner, et al.: nordmedia. <http://www.nordmedia.de/scripts/getdata.php?DOWNLOAD=YES&id=23112>
- [3] Lemke HU, Vannier MW (2006) The operating room and the need for an IT infrastructure and standards. *Int J CARS*. 1(3): 117-121.
- [4] National Electrical Manufacturers Association (2008) Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM), Supplement 131: Implant Templates, Rosslyn, Va: NEMA. <http://medical.nema.org>. Accessed 10 January 2010
- [5] National Electrical Manufacturers Association (2008) Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM), Supplement 132: Surface Segmentation, Rosslyn, Va: NEMA. <http://medical.nema.org>. Accessed 10 January 2010