

**8. Workshop
Automatisierungstechnische
Verfahren für die Medizin vom
20.-21. März 2009 in Berlin**



**„Intraoperative Navigation bei Bypassoperationen am
offenen Herzen“**

Christine Hartung, Claudia Gnahm, Klaus Dietmayer
Institut für Mess-, Regel- und Mikrotechnik, Universität Ulm, Ulm, Deutschland

Reinhard Friedl
Kliniken für Herzchirurgie der Universitäten Ulm und Lübeck, Deutschland

Martin Hoffmann
Klinik für diagnostische und interventionelle Radiologie, Universitätsklinikum Ulm, Ulm,
Deutschland

Copyright: VDI Verlag GmbH
Band: Fortschritt-Bericht VDI Reihe 17 Nr. 274 „Automatisierungstechnische
Verfahren für die Medizin, 8. Workshop, Tagungsband“
Editors: Thomas Schauer, Henning Schmidt, Marc Kraft
ISBN: 978-3-18-327417-8
Pages: 59-60

Intraoperative Navigation bei Bypassoperationen am offenen Herzen

Christine Hartung¹, Claudia Gnahm¹, Reinhard Friedl², Martin Hoffmann³ und Klaus Dietmayer¹

¹Institut für Mess-, Regel- und Mikrotechnik, Universität Ulm, Deutschland

²Kliniken für Herzchirurgie der Universitäten Ulm und Lübeck, Deutschland

³Klinik für diagnostische und interventionelle Radiologie, Universitätsklinikum Ulm, Deutschland

Einleitung

Bypassoperationen am offenen Herzen werden als Standardtherapie bei fortgeschrittener koronarer Herzkrankheit durchgeführt. Ziel eines solchen Eingriffes ist es, Engstellen der Herzkranzgefäße mit Gefäßtransplantaten zu überbrücken. Eine der Herausforderungen während der Operation ist die optimale Positionierung des Bypasses auf dem erkrankten Gefäß. Um den Chirurgen bei dieser Aufgabe zu unterstützen, wurden im Rahmen des Cardio-Pointer Projekts Verfahren für computergestützte Bypasschirurgie am offenen Herzen entwickelt, die die intraoperative Navigation mit einem Zeigeinstrument (Cardio-Pointer) zu einer präoperativ geplanten optimalen Bypassstelle sowohl am schlagenden als auch am stillgelegten Herzen ermöglichen. Das System wurde erfolgreich live im OP eingesetzt.

Methoden und Materialien

Navigationssysteme werden in chirurgischen Disziplinen wie Orthopädie [1] und Neurochirurgie [2] bereits häufig eingesetzt. Auch im Bereich der minimalinvasiven und robotergestützten Herzchirurgie wurde wertvolle Forschungsarbeit geleistet [3]. Die Forschung zur Navigation bei chirurgischen Eingriffen am offenen Herzen steht jedoch noch am Anfang. Das Cardio-Pointer Projekt ist das erste Projekt zur Entwicklung eines computergestützten Navigationssystems für Bypassoperationen am offenen Herzen. Das entwickelte Konzept beinhaltet einen präoperativen und einen intraoperativen Schritt. Vor der Operation wird anhand von CT-Daten die optimale Bypassstelle auf dem erkrankten Gefäß geplant. Während der Operation wird dem Chirurgen die Navigation zu dieser geplanten Stelle ermöglicht.

Präoperative Planung

Moderne Mehrschicht-CT-Aufnahmen eignen sich sehr gut für die Operationsplanung, da sowohl der Verlauf der Koronargefäße als auch Plaquestellen in hoher Auflösung dargestellt werden. Auf Grundlage der 3D-CT-Daten wird so eine Karte der Koronarien des Patienten erstellt. Anhand dieser Informationen plant der operierende Herzchirurg gemeinsam mit dem Radiologen die optimale Position der Bypassstelle für das Zielgefäß (distale Anastomosestelle). Da die 3D-CT-Daten für die Navigation mit intraoperativen Daten registriert werden müssen, werden zusätzlich die 3D Positionen von Registrierungsmerkmalen extrahiert, die potentiell während der Operation am offenen Herzen sichtbar sind. Als Registrierungsmerkmale dienen Gefäßverläu-

fe und anatomische Punktlandmarken wie Gefäßbifurkationen, Kreuzungen von Venen und Arterien sowie charakteristische Kurvenpunkte.

Intraoperative Navigation



Abb. 1: Intraoperativer Aufbau mit Stereokamerasystem und optischem Trackingsystem

Während des Eingriffes werden ein Stereokamerasystem und ein optisches Trackingsystem zur Datenaufnahme am offenen Herzen verwendet. Abb. 1 zeigt den intraoperativ eingesetzten Roboterarm mit beiden Geräten. Um die Navigation zu ermöglichen, werden die intraoperativen Daten mit dem präoperativen CT registriert. Navigation ist sowohl am schlagenden als auch am stillgelegten Herzen möglich. Angepasst an die jeweiligen Anforderungen der beiden Operationsphasen unterscheiden sich die eingesetzten Registrierungs- und Navigationsverfahren.

Für die Navigation am schlagenden Herzen wird die CT-Gefäßkarte mit Stereo-Bilddaten des offenen schlagenden Herzens registriert. Korrespondierend zu den CT-Daten werden Stereo-Bilddaten aus der Diastolenmitte (75% RR) verwendet, als Basis für die Registrierung dienen anatomische Punktlandmarken [4]. Nach der Registrierung können die Gefäßkarte und die geplante Bypassstelle in den EKG-gegateten live-Videostream eingeblendet werden. Diese visuelle Unterstützung ermöglicht es dem Chirurgen, mit dem im Bild sichtbaren Cardio-Pointer zur geplanten optimalen Anastomosestelle zu navigieren (Abb. 2 links). Die annavigierte Position wird mit einem Clip markiert, damit sie in späteren Operationsphasen zur Verfügung steht.

Für die Navigation am stillgelegten Herzen werden optische Trackingdaten des stillgelegten, manuell positionierten Herzens mit der CT-Gefäßkarte registriert [5]. Zur Aufnahme der 3D-Positionen von sichtbaren Landmarken und Gefäßverläufen mit dem optischen Trackingsystem verwen-

det der Herzchirurg den über reflektierende Marker getrackten Cardio-Pointer. Nach der Registrierung kann die aktuelle Position des Pointers auf der Herzoberfläche gemeinsam mit der geplanten Anastomosestelle in eine CT-Visualisierung der Gefäßkarte eingeblendet werden. Die Pointerposition wird kontinuierlich aktualisiert. Dies ermöglicht dem Chirurgen die bildgestützte Navigation zur präoperativ geplanten optimalen Bypassstelle (Abb. 2 rechts). Auch hier wird die annavigierte Stelle mit einem Clip markiert.

Beide Navigationsverfahren erlauben dem Chirurgen, den Bypass neben den Clip und damit genau an die präoperativ geplante Stelle zu setzen.

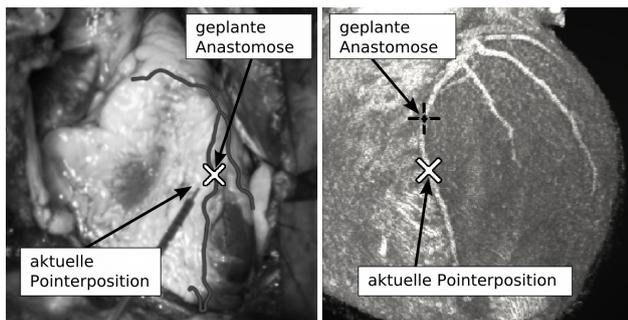


Abb. 2: Navigationsvisualisierung für das schlagende (links) und das stillgelegte (rechts) Herz

Ergebnisse

Die beschriebenen Registrierungsmechanismen wurden an intraoperativ aufgenommenen Patientendaten entwickelt und retrospektiv evaluiert. Aufgrund der vielversprechenden Ergebnisse wurde dazu übergegangen, das Verfahren live im OP umzusetzen. Die Genauigkeit der intraoperativen Navigation wurde ausgewertet, indem anhand von postoperativen CTs überprüft wurde, wie präzise die Bypässe an den präoperativ geplanten Stellen gesetzt wurden. Hierfür wurde der Abstand entlang des Gefäßes zwischen einer übereinstimmenden Referenzstelle und der Mitte der gesetzten bzw. geplanten Anastomose im post- bzw. präoperativen CT ausgemessen und verglichen (Abb. 3). Die beschriebene Abstandsbestimmung hat eine Unsicherheit von ± 2 mm.

Intraoperative Navigation wurde bei 11 Patienten durchgeführt. In den meisten Fällen wurde sowohl am schlagenden als auch am stillgelegten Herzen navigiert. Zielgefäße

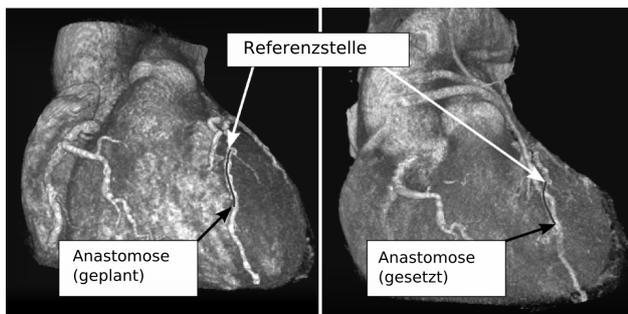


Abb. 3: Evaluierung der Navigationsgenauigkeit durch Vergleich von prä- (links) und postoperativem (rechts) CT

für die Navigation auf der Herzvorderseite waren bei der Navigation am schlagenden Herzen der RIVA (Ramus interventricularis anterior) und bei der Navigation am stillgelegten Herzen der RIVA und der D1 (Diagonalast des RIVA). Beide Verfahren lieferten gut übereinstimmende Resultate, so dass der Schnitt für die Anastomose die von beiden Clips indizierten Positionen einschloss.

Für beide Verfahren ergaben sich mittlere Genauigkeiten von ca. 2,5 mm. Damit reicht die Präzision der Verfahren an die Genauigkeit heran, mit der man am offenen Herzen einen Punkt wiederholt einmessen kann. Dieser Wert liegt deutlich unter der Ausdehnung einer Anastomose. Tab.1 fasst die Navigationsergebnisse zusammen.

<i>Navigation am schlagenden Herzen</i>	
Zielgefäße	10 × LAD
Mittlere Genauigkeit (in mm)	2,5
Standardabweichung (in mm)	1,6
<i>Navigation am stillgelegten Herzen</i>	
Zielgefäße	7 × LAD, 1 × D1
Mittlere Genauigkeit (in mm)	2,3
Standardabweichung (in mm)	1,5

Tab.1: Genauigkeit der Navigation

Diskussion und Schlussfolgerungen

Im Rahmen des Cardio-Pointer Projekts wurden Navigationsverfahren für Bypassoperationen am offenen Herzen entwickelt. Intraoperative Navigation zu einer präoperativ geplanten Bypassstelle ist sowohl am schlagenden als auch am stillgelegten Herzen möglich. Die Evaluierung der Navigationsergebnisse für die Herzvorderseite zeigt, dass die Verfahren dem Chirurgen ermöglichen, Bypässe mit hoher Präzision an die präoperativ geplanten Stellen zu setzen.

Literatur

- [1] DIGIOIA, A. ET AL.: Computer Assisted Navigation Systems for Hip and Knee Reconstructive Surgery. In: *DETEC*, 2001
- [2] GRIMSON, E. ET AL.: Clinical Experience with a High Precision Image-Guided Neurosurgery System. In: *MICCAI*, 1998
- [3] MOURGUES, F. ; VIEVILLE, T. ; FALK, V. ; COSTEMANIÈRE, È.: Interactive Guidance by Image Overlay in Robot Assisted Coronary Artery Bypass. In: *MICCAI*, 2003
- [4] HARTUNG, C. ; GNAHM, C. ; FRIEDL, R. ; HOFFMANN, M. ; DIETMAYER, K.: Image guidance for coronary artery bypass grafting. In: *Int J CARS* (2008). – <http://www.springerlink.com/content/86043070122p8670>
- [5] GNAHM, C. ; HARTUNG, C. ; FRIEDL, R. ; HOFFMANN, M. ; DIETMAYER, K.: Towards navigation on the heart surface during coronary artery bypass grafting. In: *Int J CARS* (2008). – <http://www.springerlink.com/content/88161p22p6743754>

Danksagung

Dieses Projekt wird unterstützt vom BMBF, Projekt Nr. 01EZ0614. Vielen Dank an Sabine Wuchener.