

**10. Workshop
Automatisierungstechnische
Verfahren für die Medizin vom
29. bis 30. März 2012 in Aachen**



**„Einsatz eines modularen chirurgischen Miniroboters zur
Erstellung des knöchernen Implantatlagers unikondylärer
Knieprothesen“**

Annegret Niesche, Meiko Müller, Martin Niggemeyer, Klaus Radermacher, Matias de la Fuente

Lehrstuhl für Medizintechnik, Helmholtz-Institut für Biomedizinische Technik, Aachen, Deutschland

E-Mail: niesche@hia.rwth-aachen.de

Copyright: VDI Verlag GmbH
Band: Fortschritt-Bericht VDI Reihe 17 Nr. 286 „Automatisierungstechnische Verfahren für die Medizin“
Editors: Prof. Dr.-Ing. Dr. med. Steffen Leonhardt, Prof. Dr.-Ing. Dirk Abel, Prof. Dr.-Ing. Klaus Radermacher, Christian Brendle, Henry Arenbeck, Kurt Gerlach-Hahn, Kirsa Dannenberg
ISBN: 978-3-18-328617-1
Pages: 50-51

Einsatz eines modularen chirurgischen Miniroboters zur Erstellung des knöchernen Implantatlagers unikondylärer Knieprothesen

Annegret Niesche, Meiko Müller, Martin Niggemeyer, Klaus Radermacher und Matias de la Fuente

Lehrstuhl für Medizintechnik, Helmholtz-Institut für Biomedizinische Technik, Aachen, Deutschland
Kontakt: niesche@hia.rwth-aachen.de

Einleitung

Zur operativen Behandlung einer auf das mediale oder laterale Kompartiment des tibiofemorales Gelenks begrenzten Arthrose stellt der minimal-invasive Einsatz unikondylärer Knieprothesen (Abb.1) eine patientenschonendere und kostengünstigere Alternative zur Totalendoprothese dar [2]. Der langfristige Erfolg der Operation hängt dabei wesentlich von der korrekten Form und Lage des knöchernen Gegenlagers ab. Die Herstellung dieser Passfläche wird durch die mit der minimal-invasiven Technik einhergehenden schwierigen Sichtbedingungen und der komplexen Instrumentenbewegung zusätzlich erschwert. Zum präzisen und zeiteffizienten Erstellen des knöchernen Implantatlagers mit optimalen Fräsparemetern und unabhängig von der Erfahrung des Operateurs bietet sich daher eine robotische Fräserführung an. Dies betrifft insbesondere auch den Einsatz von Prothesen, deren Ansatzfläche als Freiformfläche entsprechend der anatomischen Form der Femurkondylen gestaltet ist, wodurch ein möglichst knochensparender Oberflächeneinsatz erreicht werden soll.



Abb.1: Unikondyläres Knieendoprothesensystem [9]

Die ersten klinisch eingesetzten Roboter für die orthopädische Chirurgie wie ROBODOC und CASPAR waren angepasste Industrieroboter [3], [6]. Trotz der Vorteile einer automatisierten Knochenbearbeitung wiesen diese relativ großen und schweren Systeme aufgrund des Aufwands zur Integration in den OP-Ablauf letztlich keine relevanten klinischen oder ökonomischen Vorteile auf [5].

Im Verlauf der weiteren Entwicklung chirurgischer Robotersysteme ging die Tendenz hin zu miniaturisierten, teilweise am Knochen montierbaren Systemen [11]. Sie sind einfacher in den OP-Ablauf integrierbar und können je nach Anwendung teilweise sogar ohne ein zusätzliches kostenaufwendiges Trackingsystem auskommen. Weiterhin weisen sie aufgrund der anwendungsspezifischen Auslegung hinsichtlich Motorleistung und möglichem Arbeitsraum eine intrinsische Sicherheit auf. Die spezialisierte Gestaltung der Roboterkinematiken führt jedoch zu

der aus wirtschaftlicher Sicht problematischen Notwendigkeit einer Anschaffung verschiedener Systeme zur Abdeckung unterschiedlicher Anwendungen. Eine mögliche Lösung dieses Problems sind modular an eine bestimmte Gruppe medizinischer Anwendungen anpassbare Systeme [3], [8].

Am Lehrstuhl für Medizintechnik der RWTH Aachen wird ein miniaturisiertes, modular aufgebautes Chirurgierobotersystem (MINARO) entwickelt, welches u.a. zur Knochenzemententfernung in der Revisions Hüftendoprothetik und zur Erstellung der knöchernen Passfläche im Rahmen einer unikondylären Kniearthroplastik (UKA) verwendet werden kann [5], [7]. Im Folgenden wird eine Machbarkeitsuntersuchung zur Anwendung des Systems für die UKA vorgestellt.

Methoden und Materialien

Das modulare MINARO Robotersystem ist so gestaltet, dass aus einer geringen Anzahl von Antriebs-, Kinematik- und Werkzeugmodulen intraoperativ mit nur wenigen Handgriffen ein optimal an die jeweilige Applikation angepasstes System aufgebaut werden kann [5], [7]. Die Position und Ausrichtung des Fräsinstrumentes werden durch zwei modular kombinierbare parallele ebene Fünfzahngetriebe sowie eine seriell geschaltete translatorische Vorschubschnecke realisiert (Abb.2). Die Auslegung der Antriebe wurde für die ersten Anwendungsbeispiele [5], [7] für Endeffektorkräfte bis 20 N (entsprechend [1], [4]) vorgenommen, so dass durch den applikationsspezifisch angepassten Arbeitsraum und die gewählte Antriebsleistung im Gegensatz zu Chirurgierobotern der ersten Generation eine hohe intrinsische Sicherheit gewährleistet werden kann.

Für die Anwendung im Rahmen einer UKA wurden - neben der Länge des Werkzeugschaftes - lediglich die Abmessungen der passiven Kinematikmodule sowie die räumliche Montageanordnung der Einzelmodule an den geforderten Arbeitsraum (ca. 50x50x50 mm) und die erforderlichen Fräskräfte angepasst.

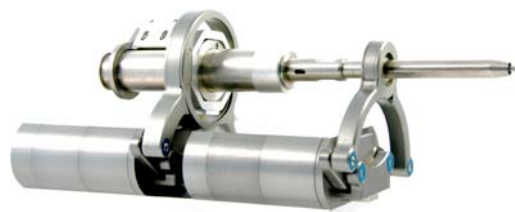


Abb.2: Modulares Minirobotersystem – Variante UKA

Das gesamte System wird über eine dem konventionellen Instrumentarium entlehnte Ausrichtschiene, die mittels zweier Knochenschrauben am Femurknochen fixiert ist, rigide mit dem Knochen verbunden. Die initiale Vorpositionierung des Robotersystems relativ zum Situs wird im vorgesehenen Workflow (Abb.3) durch ein kommerziell verfügbares orthopädisches Navigationssystem unterstützt. Auf diese Weise wird ein Bezug zwischen Patienten- und Roboterkoordinatensystem hergestellt.

Für erste Fräsversuche im Labor wurde das Robotersystem zunächst auf einem Versuchsmesstisch in Relation zu einem anatomischen Knochenmodell (Sawbones AB, Schweden) ausgerichtet und fixiert. Die Fräsbahn wurde basierend auf dem 3D-Datensatz einer Aesculap Univation Prothese [9] generiert und anschließend mittels eines chirurgischen 8 mm Kugelkopffräsers robotergestützt umgesetzt (Abb.4).

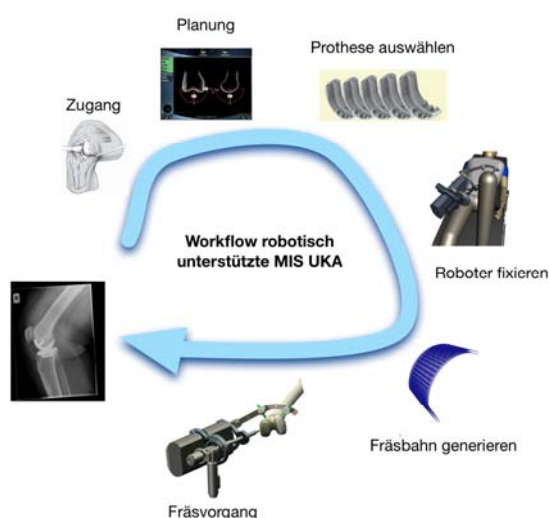


Abb.3: Workflow robotisch unterstützte UKA [2], [9]

Ergebnisse und Diskussion

In ersten Fräsversuchen an anatomischen Knochenmodellen konnte gezeigt werden, dass das modulare Miniarobotersystem MINARO für die Unterstützung bei der minimal-invasiven UKA grundsätzlich geeignet ist (Abb.4).



Abb.4: Testimplantation am anatom. Knochenmodell

An den Grenzen des Arbeitsraumes traten je nach Konfiguration Kollisionen auf, die eine Anpassung der passiven applikationsspezifischen Module nahelegen. Die Evaluierung der Genauigkeit der CT-basierten (sowie ggf. auch

bildlosen) Gesamtverfahrenskette ist Gegenstand künftiger Arbeiten. Weitere Untersuchungen des modularen Konzeptes im Hinblick auf spezifische Einflussparameter der Genauigkeit [10] sowie weitere Applikationen auch im Kontext synergistischer Master-Slave-Anwendungsszenarien sind Gegenstand aktueller Arbeiten [12].

Literatur

- [1] BAST, P.; ENGELHARDT, M.; LAUER, W.; SCHMIEDER, K.; ROHDE, V.; RADERMACHER, K.: *Identification of Milling Parameters for Manual Cutting of Bicortical Bone Structures*. Computer Aided Surgery 8 (5), S. 257-263, 2003
- [2] BUCKUP, K.: *Die minimalinvasive Implantation eines unikondylären Knie-systems*. In: Operative Orthopädie und Traumatologie 18 (2), S. 135-154, 2006
- [3] BRANDT, G.; ZIMOLONG, A.; CARRAT, L.; MERLOZ, P., STAUDTE, H.-W., LAVALLÉE, S.; RADERMACHER, K.; RAU, G.: *CRIGOS: A Compact Robot for Image-Guided Orthopedic Surgery*. In: Proc IEEE TransInf TechnolBiomed 3(4), S. 252-260, 1999
- [4] FUCHSBERGER, A.: *Untersuchung der spanenden Bearbeitung von Knochen*. Springer-Verlag, 1986
- [5] HEGER, S.; NIGGEMEYER, M.; DE LA FUENTE, M.; MUMME, T.; RADERMACHER, K.: *Trackerless ultrasound-integrated bone cement detection using a modular minirobot in revision total hip replacement*. In: Proc. ImechE, Part H: J. Engineering in Medicine 224 (5), S. 681-690, 2010
- [6] JAKOPEC, M.; RODRIGUEZ Y BAENA, F.; HARRIS, S.J.; GOMES, P.; COBB, J.; DAVIES, B.L.: *The Hands-On Orthopaedic Robot "Acrobot": Early Clinical Trials of Total Knee Replacement Surgery*. In: IEEE TransRobotAutom, 19(5), S. 902-911, 2003
- [7] NIGGEMEYER, M.; RADERMACHER, K.: *Design concept evaluation of a modular and flexible mini robot for orthopaedic surgery*. In: Proc CAOS International, 2007, S. 599-600
- [8] TAYLOR, R.H.; STOIANOVICI, D.: *Medical robotics in computer-integrated surgery*. In: Proc IEEE TransRobotAutom 19(5), S. 765-781, 2003
- [9] Aesculap Orthopaedics univation: *Knieendoprothesen-System*, Prospekt Nr.030501 Aesculap AG Tuttlingen
- [10] NIGGEMEYER, M.; MÜLLER, M.; DE LA FUENTE, M.; HEGER, S., KOMADINIC, A. RADERMACHER, K.: *Evaluierung der Genauigkeit eines modularen Chirurgieroboters*. In: CURAC, S. 37-40, 2011
- [11] SHOHAM, M.; BURMAN, M.; ZEHAVI, E.; JOSKOWICZ, L.; BATKILIN, E.; KUNICHER, Y.: *Bone-mounted miniature robot for surgical procedures: Concept and clinical applications*. IEEE TransRobotAutom, 19(5), 893-901, 2003
- [12] CUNHA-CRUZ, V.; FOLLMANN, A.; POPOVIC, A.; BAST, P.; WU, T.; HEGER, S.; ENGELHARDT, M.; SCHMIEDER, K.; RADERMACHER, K.: *Robot and Computer Assisted Craniotomy (CRANIO): From Active Systems to Synergistic Man-Machine Interaction*. Proc. ImechE, Part H: J. Engineering in Medicine 224, S. 441-452, 2010

Danksagung

Die Arbeiten wurden durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Projektes OrthoMIT gefördert (Förderkennzeichen BMBF 01EQ0402).