

## Minimal invasive Herzchirurgie

M. Selig, H. Fischer, L. Gumb, A. Schäf, R. Ullrich, B. Vogel, IMB;  
R. Cichon, M. Cornelius, U. Kappert, S. Schüler, Herz- und Kreislaufzentrum der Techn. Universität Dresden

### Zum derzeitigen Stand der minimal invasiven Herzchirurgie

In der Herzchirurgie hat vor allem in Europa ein Wandel hin zur patientenschonenden minimal invasiven Chirurgie (MIC) eingesetzt. In der Bauchraumchirurgie hat ein ähnlicher Prozess schon vor einigen Jahren begonnen.

Unter MIC versteht man Therapien, bei denen im Vergleich zu den bisherigen Verfahren die Durchdringungen der Körperoberfläche erheblich reduziert werden. Möglich wurde dies durch die Entwicklung endoskopisch/chirurgischer Verfahren.

Eines der größten Probleme bei der Einführung der MIC in der Herzchirurgie ist es, den hohen Sicherheitsstandard zu erhalten, der bei der konventionellen Herzchirurgie erreicht worden ist. Um von dem Operationsteam aufgegriffen zu werden, müssen die MIC-Techniken darüber hinaus schnell erlernbar und auf ein breites Spektrum von Herzerkrankungen anwendbar sein.

Ein wichtiger Schritt war die an der Stanford-Universität in Kalifornien erstmals im Jahre 1995 klinisch erprobte sogenannte Port-Access-Technik. Die erste Erprobung in Dresden erfolgte 1 Jahr später [1]. Die Port-Access-Technik ermöglicht die extrakorporale Blutzirkulation mittels Herz-Lungenmaschine über die Oberschenkelgefäße und das Ausklemmen der Aorta ascendens (aufsteigende Schlagader) mittels eines in die Aorta vorgeschobenen Katheters. Für die Mitralklappenchirurgie, für die



Abb. 1 zeigt eine typische MIC-Operation.

Chirurgie angeborener Herzfehler sowie für die Therapie von Herztumoren ist die Port-Access-Technik eine unabdingbare Voraussetzung, um mit minimal invasiven Eingriffen auszukommen.

War die MIC anfangs nur auf koronare Eingefäßerkrankungen beschränkt, so zeichneten sich bald die Änderungsmöglichkeiten vieler konventioneller operativer Techniken ab, so dass inzwischen auch Mehrfach-Gefäßerkrankungen problemlos versorgt werden konnten [2]. Weitere Anwendungsmöglichkeiten sind Operationen am schlagenden Herzen, d. h. ohne Einsatz der Herz-Lungenmaschine, zur Therapie der koronaren Herzkrankheiten. Hier sind vor allem die Methoden MID-CAB (minimally invasive direct coronary artery bypass) [3,4] und OPCAB (off pump coronary artery bypass) [5] zu nennen. Es wird er-

wartet, dass diese patientenschonenden Operationstechniken in Zukunft mehr und mehr an Bedeutung gewinnen.

Auch für die Aortenklappenchirurgie wurden Techniken entwickelt, die die Brustöffnung vermeiden. Die Dresdener Vorgehensweise basiert auf einem Zugang über eine transversale Sternotomie in Höhe des 2. bzw. 3. Rippenzwischenraums. Diese Methode lehnt sich an eine bereits seit längerem bekannte Technik an. Jedoch müssen hierbei nicht beide Brustwandarterien durchtrennt werden, so dass die linke Arteria mammaria (LIMA) erhalten bleibt [6].

Es zeigte sich in all diesen Fällen, dass der differenzierte Einsatz dieser neuen chirurgischen Technik ein sicheres patientenschonendes Vorgehen ermöglicht. Der letzte Schritt auf dem Weg zur

wirklich minimal invasiven Chirurgie ist das Verfügbarmachen von Einrichtungen, mit denen die endoskopischen videoassistierten Operationstechniken am geschlossenen Thorax durchgeführt werden können.

### Probleme bei der MIC

Für den Patienten ergibt sich durch Wegfall großer schmerzhafter Schnitte eine erfreuliche Minderung der Gesamtbelastung und in der Folge eine deutlich raschere Erholung und Genesung. Patienten, die mit MIC-Technik operiert werden, verlassen das Krankenbett schneller und kehren in kürzerer Zeit wieder in den gewohnten Lebensraum zurück. Außerdem wird durch die verkürzte Arbeitsunfähigkeitszeit volkswirtschaftlich gesehen ein großer Gewinn erreicht.

In diesem Zusammenhang müssen jedoch auch die Nachteile bzw. Risiken der MIC erwähnt werden. Aufgrund des indirekten Manipulierens in der Körperhöhle hat der Chirurg keine Möglichkeit mehr, das zu operierende Gewebe zu ertasten. Außerdem ist bei



Abb. 2 zeigt als Beispiel ein flexibles Instrument, mit dessen steuerbarem vorderem Ende die Umfahrung von Organen möglich ist.

einem endoskopischen Eingriff das Blickfeld und damit der Überblick über das Operationsgebiet, sowie die Beweglichkeit und Funktionalität der chirurgischen Instrumente eingeschränkt. Zur sicheren Beherrschung der endoskopischen Operationstechniken ist daher die Weiterentwicklung von Instrumenten und Endoskopen mit erweiterten Bewegungsmöglichkeiten von großer Bedeutung.

### Instrumentenentwicklung

Die Instrumentation für die Herzchirurgie unterteilt sich in Operationswerkzeuge und periphere Instrumente. Die Operationswerkzeuge bestehen im Wesentlichen aus zangenartigen Greifern, die das Nähen und Halten ermöglichen. Ist ein Werkzeugwechsel möglich, so sind weitere Ausstattungen, wie Skalpell, Schere und Koagulationsinstrumente sinnvoll. Die Anzahl der erforderlichen thorakalen Zugänge wird durch die Zahl der gleichzeitig einzuset-

zenden Instrumente vorgegeben. Es sind mindestens drei Thorakoports für zwei Greifer zum Halten und Nähen und eine endoskopische Beleuchtung mit integrierter Optik notwendig. (Abb. 2)

In der MIC werden in der Regel starre Endoskope in Verbindung mit Video-Kameras eingesetzt. Um verschiedene Blickwinkel zu ermöglichen, sind Optiken mit unterschiedlichen Linsensystemen erforderlich. Hierbei können Blickwinkel von 0-90° realisiert werden. Um während einer Operation das Wechseln der unterschiedlichen Optiken zu vermeiden wurde ein Schaft mit einem flexiblen vorderen Ende aus superelastischem Nickel-Titan (Ni-Ti) zur Aufnahme einer Kameraeinheit entwickelt. Näheres über die besonderen Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten von superelastischen Werkstoffen ist in dem Artikel von B. Vogel et al. in diesem Heft zu finden. Mit diesem Instrument lässt sich eine Kameraeinheit um 90° schwenken.

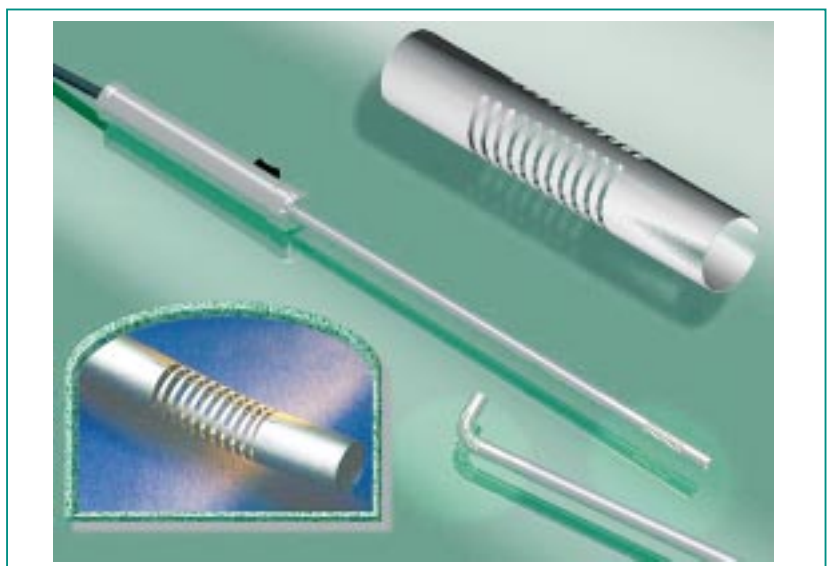


Abb. 3: Steuerbares Videoendoskop.

Durch Drehung des angewinkelten Endstückes um die Schaftachse kann eine Raumkugel von 180° abgedeckt werden. Ein Optikwechsel, wie er bisher notwendig war, ist bei Einsatz dieses Instrumentes nicht mehr erforderlich. (Abb. 3)

Um die Zeit für Instrumentenwechsel und damit die OP-Zeit zu reduzieren, ist neben der Weiterentwicklung vorhandener Gerätetypen, die Entwicklung neuartiger multifunktionaler Instrumente notwendig. Das Begrenzende ist hierbei, dass die Instrumente in der Regel durch Trokare, die nicht mehr als 10 mm Innendurchmesser haben, eingeführt werden müssen.

Um den späteren ferngesteuerten Einsatz der MIC-Instrumente zu ermöglichen, sind die Instrumente mit elektromotorischen Antrieben und mit den dazugehörigen Sicherheitseinrichtungen sowie mit Sensoren auszustatten. Bereits entwickelte fernsteuerbare elektromotorisch angetriebene Instrumente wie z.B. das in Abb. 4 dargestellte Führungsinstrument zur intrakorporalen Abtastung mittels Ultraschallsonde, müssen in ihren äußeren Abmessungen noch deutlich reduziert werden.

### Halte- und Führungssysteme

Bei der minimal invasiven Operationstechnik kommt erschwerend hinzu, dass die erforderliche Genauigkeit bei der Handhabung, sowie die Ausführungen lang andauernder Haltearbeit eine hohe physische Belastung des Operateurs, bzw. des Assistenten darstellt.

Um diese Belastung zu vermindern, werden Halte- und Führungssysteme eingesetzt. (Abb. 5)

Sie erlauben das präzise und sichere Führen und Positionieren von Instrumenten und Endoskopen. Die Kinematik dieser Systeme ergibt sich aus dem Arbeitsraum, den das Instrument bzw. das Endoskop im Körperinneren abdecken muss.

Eine wichtige Randbedingung entsteht durch die Position des Einstichpunkts. Betrachtet man den Einstichpunkt als invariant, so bildet dieser Punkt ein elastische, kardanische Lagerung. Der endoskopische Schaft muss bezüglich der Einstichstelle rotatorisch um seine Längsachse und translatorisch bewegt werden; d.h. zum Anfahren aller Punkte im vorgegebenen Arbeitsraum sind vier Freiheitsgrade vorgesehen.

Die Einstellung der Arbeitspositionen ist in der Regel vorprogrammiert. Die elektrischen An-



**Abb. 4: Steuerbares Führungsinstrument mit Ultraschallsonde**

triebe werden entsprechend angesteuert. Die Arme müssen jedoch zur Erleichterung der Vorpositionierung nach Freischaltung auch von Hand bewegt und positioniert werden können.

Das z. Zt. aktuellste Gerät aus dieser Entwicklungslinie bei FZK ist das Endoskopführungssystem FELIX [7]. Es kann mittels eines



**Abb. 5: Halte- und Führungssysteme bei einer MIC-Operation.**



**Abb. 6: Endoskopführungssystem FELIX.**

Adapters seitlich am OP-Tisch befestigt werden. (Abb. 6)

Bei der Entwicklung von FELIX wurden die besonderen Erfordernisse der endoskopischen Herzchirurgie berücksichtigt. Mittels eines speziellen mechanischen Anschlusses ist man in der Lage, alle gängigen Endoskope anzukoppeln. Die sich im OP-Bereich befinden

denden Teile des Systems werden vor Beginn des Eingriffs mit einem sterilen Schutzschlauch überzogen. Während des Eingriffs kann der Chirurg das Gerät durch eine Sprachsteuerung positionieren. Ein chirurgenspezifisches Sprachtraining des Spracherkennungssystems ist nicht erforderlich.

### Telemanipulatorsysteme

Auf dem Gebiet der chirurgischen Manipulatoren zeigt sich gegenwärtig eine rege Entwicklung, die besonders von den zwei US-Firmen Computer Motion und Intuitive Surgical, geprägt wird. Im Mittelpunkt dieser Neuentwicklungen stand die Erhöhung der mechanischen Positioniergenauigkeit der Endeffektoren, unterstützt durch eine 3D-Visualisierung des Operationsfeldes, sowie die Verbesserung der Arbeitshaltung des Chirurgen während der Operation.

Bei chirurgischen Manipulatoren ist, wie bei vergleichbaren industriellen Anwendungen, eine räumliche Trennung in eine Master- und eine Slave-Einheit erforderlich.

Der Grundaufbau eines solchen chirurgischen Manipulatorsystems besteht aus einer mehrarmigen Ausführungseinheit (Slave), bestückt mit je einem Instrument bzw. Endoskop, einem vernetzten Rechnersystem und einem 2-armigen Telearbeitsplatz (Master), das heißt Chirurg und Operationsfeld sind mechanisch entkoppelt.

Die Master-Slave-Technik erlaubt das intuitive Steuern der Instrumente mit den aus der konventionellen Operationstechnik gewohnten Hand- und Armbewegungen. Das vernetzte Rechnersystem transformiert diese Bewegungen auf die Ansteuerung der Slave-Arme und Endeffektoren. Die dadurch mögliche ergonomische Arbeitsplatzgestaltung erhöht die Arbeitsqualität. Außerdem besteht die Möglichkeit, die Master-Slave-Bewegungen zu skalieren und das Bild des Operationsfeldes zu vergrößern. Somit ist ein sehr präzises und sicheres Arbeiten möglich. Alle weiteren Entwicklungen auf diesem Gebiet müssen sich an diesen Möglichkeiten messen lassen.

Im Januar 1998 hat die Genehmigungsbehörde der USA, die Food and Drug Administration (FDA), der Fa. Computer Motion als erstem Hersteller die Markteinführung eines solchen Systems genehmigt. Das Herz- und Kreislaufzentrum Dresden setzte inzwischen das Gerät mehrfach bei MIC-Operationen ein.

Der kompakte Aufbau des Geräts gestattet es, die positioniergenaue Assistenz um weitere Slave-Arme zu ergänzen. Dies wurde in dem chirurgischen Arbeitsplatz ZEUS realisiert. (Abb. 7)



**Abb. 7: Chirurgischer Arbeitsplatz ZEUS der Fa. Computer Motion.**

Mit einem anderen Manipulatorsystem daVinci der Fa. Intuitive Surgical wurden bereits einige hundert Eingriffe vorgenommen. Als besonders positiv ist die hier sehr gute 3-D-Visualisierung und das zusätzliche Gelenk an den Instrumenten hervorzuheben. Es ist möglich, sämtliche Freiheitsgrade eines menschlichen Handgelenkes in den Thorax zu übertragen. Die mit dem Master ausgeführten Steuerbewegungen werden dabei ohne Zeitverzögerung umgesetzt. Dieses System repräsentiert z. Zt. die wohl am weitesten fortgeschrittene Entwicklung auf diesem Gebiet. (Abb. 8)



**Abb. 8: Manipulatorsystem daVinci der Fa. Intuitive Surgical.**

Zusätzlich zu den bereits besprochenen Systemen gibt es seit einigen Jahren im FZK das Manipulatorsystem ARTEMIS (Advanced Robotics and Telemanipulator System for Minimally Invasive Surgery) [8]. Es ermöglicht dem Chirurgen, minimal-invasive Eingriffe im Bauchraum von einer Arbeitsstation aus durchzuführen. (Abb. 9)



**Abb. 9: Experimenteller Operationssaal ARTEMIS mit dem Bediensystem im Vordergrund und dem Operationstisch mit dem Arbeitssystem im Hintergrund.**

Abweichend von den zuvor besprochenen Systemen ist ARTEMIS als reines Testbett zu betrachten und nicht für den klinischen Einsatz vorgesehen. Ähnlich wie bei daVinci existiert jedoch auch hier ein steuerbares Instrument als Endeffektor.

Die Manipulatorsysteme ZEUS und daVinci befinden sich in der klinischen Erprobung.

Die mit diesen Systemen verbundenen erheblichen finanziellen Aufwendungen stehen jedoch derzeit einer breiten Anwendung noch im Wege.

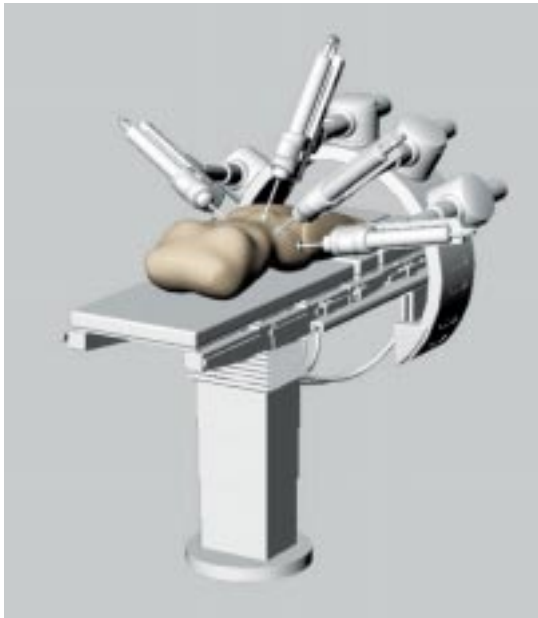
### Weiterführende Arbeiten

Seit 1998 gibt es mit dem Herz- und Kreislaufzentrum Dresden einen Vertrag über die Zusammenarbeit auf dem Gebiet der minimal-invasiven Herzchirurgie. In diesem Rahmen soll ein Operationskonzept erarbeitet werden, bei dem sich die einzelnen Systeme, je nach Erfordernis aus preis-

günstig zu erwerbenden Einzelmodulen zusammensetzen lässt.

Diese Vorgehensweise ermöglicht eine weite Verbreitung der chirurgischen Führungs- und Manipulatorsysteme, insbesondere in der Herzchirurgie. (Abb. 10)

Ausgehend von den Erfahrungen mit ARTEMIS und dem Endo-



**Abb.10: Schema einer modular aufgebauten Operationstisch/Manipulator Anordnung.**

skopführungssystem FELIX ist vorgesehen, analoge Weiterentwicklungen durchzuführen. Die interdisziplinäre Arbeitsgruppe bestehend aus Chirurgen, Ingeni-

euren und Vertretern der Industrie hat bereits die Grundlagen für die künftige Konzeption erarbeitet. So ist vorgesehen, in Zukunft die Systeme OP-Tisch, Manipulator, Visualisierung und periphere Einrichtungen in gleicher Art und Weise anzusteuern. Die im FZK entwickelte Sprachsteuerung scheint hierfür prädestiniert zu sein.

Neben den vorgenannten Entwicklungsschritten für das Operationssystem der Zukunft werden eine Reihe von Grundlagenentwicklungen durchgeführt. Hierzu gehören z. B. neue Werkstoffe, Steuersysteme und Überlegungen zur Neugestaltung eines robotisierten Operationssaales, die räumliche Zuordnung der einzelnen Systeme zueinander sowie die Interaktion mit den Peripherie-Einrichtungen wie bildgebende Systeme, Herz-Lungen-Maschine, Anästhesie etc.

## Zusammenfassung

In letzter Zeit hat auch in der Herzchirurgie, wie bereits schon seit einigen Jahren in der Bauchraumchirurgie, die minimal invasive bzw. endoskopische Chirurgie Eingang gefunden.

Ein Überblick über den internationalen Stand dieser Technik wird gegeben. Die vom Forschungszentrum Karlsruhe in enger Zusammenarbeit mit dem Herz- und Kreislaufzentrum der Uni Dresden entwickelten fernsteuerbaren Instrumente und neuartigen Führungssysteme werden vorgestellt. Das besondere der Entwicklung ist, dass erstmalig ein Operationssystem zur Verfügung stehen wird, das je nach Erfordernis aus einzelnen Modulen zusammengesetzt werden kann.

## Literatur

- [1] H. Reichenspurner et al, *N Engl J Med* 336 (1997), S. 67-68
- [2] V. Guliemos, S. Schüler, *Eur. J Cardiothorac Surg* (1997)
- [3] A.M. Calafiore et al, *Ann Thorac Surg* 61 (1996), S. 1658-1665
- [4] A. Diegeler et al, *N Engl J Med* 336 (1997), S. 1454-1455
- [5] E. Jansen et al, *Use of the Octopus method in off-pump single and multi-vessel CARG, World Congress on Minimally Invasive Cardiac Surgery. Paris, 1997*
- [6] D.M. Cosgrove et al, *Ann Thorac Surg* 62 (1996) 2, S. 596-597
- [7] M. Selig et al, *Voice controlled Camera Guiding System Felix for Endoscopic Cardiac Surgery, SMIT/CIMIT 11th Annual Scientific Meeting, Abstract LT/8 Boston 1999*
- [8] H. Rininsland, *European Journal of Cardiothoracic Surgery* 16 (Suppl. 2). 1999. S. 106-111