

Journal für Kardiologie

Austrian Journal of Cardiology

Österreichische Zeitschrift für Herz-Kreislauserkrankungen

Die roboterassistierte Herzchirurgie: Realität oder Fiktion?

Reuthebuch O, Schurr U, Genoni M
*Journal für Kardiologie - Austrian
Journal of Cardiology* 2007; 14
(11-12), 316-322

Homepage:

www.kup.at/kardiologie

Online-Datenbank
mit Autoren-
und Stichwortsuche



Offizielles
Partnerjournal der ÖKG



Member of the ESC-Editor's Club



Offizielles Organ des
Österreichischen Herzfonds



ACVC
Association for
Acute CardioVascular Care

In Kooperation
mit der ACVC

Indexed in ESCI
part of Web of Science

Indexed in EMBASE

Veranstaltungskalender

Hybrid-Veranstaltungen der Herausgeber des **Journals für Kardiologie**

Finden Sie alle laufend aktualisierten Termine
auf einem Blick unter

www.kup.at/images/ads/kongress.pdf

Die roboterassistierte Herzchirurgie: Realität oder Fiktion?

O. Reuthebuch, U. Schurr, M. Genoni

Kurzfassung: Die heutige Herzchirurgie steht im Wettbewerb mit den interventionell angehbaren kardiologischen Therapieformen. Dem Patienten muß daher eine Operationstechnik angeboten werden, die minimal-invasiv durchführbar ist und überzeugende Resultate liefert. Mit der Entwicklung des DaVinci®-Operationsroboters (Intuitive Surgical, USA) schien das geeignete Werkzeug verfügbar zu sein. Der vorlie-

gende Artikel beschreibt die derzeit roboterassistiert durchführbaren herzchirurgischen Eingriffe und beleuchtet die spezifischen herzchirurgischen Notwendigkeiten und Anforderungen.

Abstract: Robot-Assisted Cardiac Surgery: Reality or Fiction? Cardiac surgery is in competition with interventional cardiologic techniques. Thus, patients

demand a minimally invasive surgical approach with convincing results. With the development of the DaVinci® robot (Intuitive Surgical, USA), an appropriate answer for this challenging contest seemed available. The following article describes the presently feasible cardiac operations using a surgical robot. It elucidates the needs and requirements of cardiac surgery. **J Kardiologie 2007; 14: 316–22.**

■ Einleitung

Die moderne Herzchirurgie ist eine etablierte Therapieform, die sich in den vergangenen Jahrzehnten sprunghaft entwickelt hat. Zukünftige operationstechnische Fortschritte werden sich an den Behandlungsmöglichkeiten interventionell arbeitender Kardiologen orientieren müssen. Bisherige Paradigmen, etwa der Zugang zum Herzen über den offenen Brustkorb, werden zunehmend durch minimal-invasive Verfahren abgelöst werden. Es wird keinem Patienten zuzumuten sein, sich operativ behandeln zu lassen, wenn der Kardiologe ähnlich gute Resultate über eine schmerzfreie Punktion der Leistengefäße erzielen kann [1]. Verschiedene chirurgische Fachgebiete haben sich bereits der neuen Situation angepaßt und nutzen endoskopische Techniken über minimal-invasive Zugangswege. Dadurch konnten die Invasivität der Operationen reduziert und die Ergebnisse hinsichtlich Überleben, Reduktion von Komplikationen und rascherer Rekonvaleszenz verbessert werden. Diese frühen Erfolge haben jedoch zu der unrealistischen Annahme geführt, diese Techniken allen chirurgischen Disziplinen quasi im Schnelldurchgang zugänglich machen zu können. Dies trifft im besonderen auf die Herzchirurgie zu, denn es ist zu beachten, daß es grundlegende Unterschiede zwischen der Behandlung z. B. einer Gallenblasenerkrankung und eines Herzvitiums gibt:

1. Der Hohlmuskel Herz bewegt sich während des Eingriffes oder muß mittels komplizierter Technik stillgelegt werden.
2. Seine einwandfreie Funktion nach dem Eingriff ist Grundvoraussetzung für das Überleben des Patienten.
3. Die häufigsten herzchirurgischen Eingriffe sind rekonstruktiver Art und nicht auf das Entfernen des Organs oder von Teilen davon ausgerichtet.

Vor diesem Hintergrund ist die bisher nur zögerlich verlaufende Adaptation der Herzchirurgen an minimal-invasive Techniken zu sehen. Mit den bisherigen minimal-invasiven Instru-

menten fehlte schlicht die Technologie, um Herzoperationen ohne direkten Kontakt des Chirurgen zum Organ durchführen zu können. Wie sollen etwa diffizile Anastomosen oder Klappenrekonstruktionen mittels Instrumenten mit nur 4 Freiheitsgraden durchgeführt werden, wo die menschliche Hand über 7 Freiheitsgrade verfügt? Wie kann der Tremor der menschlichen Hand, potenziert durch die Schaftlänge der Instrumente, vermindert werden, wenn Fadenstärken von 8/0 keine hohen mechanischen Beanspruchungen erlauben? Wie kann die Sicht auf 1–2 mm starke Herzkranzgefäße verbessert werden, wo bisher den meisten optischen Systemen sogar die 3. Dimension fehlt? Wie kann das ermüdende, weil unphysiologische Arbeiten über Stunden verbessert werden, wenn häufig die ungünstige Platzierung des Monitors eine schwierige mentale Umorientierung während der Nutzung der Instrumente verlangt [2]?

Mit der Einführung von Operationsrobotern, die ab den 1990er Jahren speziell für die Herzchirurgie entwickelt wurden, sollten diese Probleme gelöst und minimal-invasives Operieren zum Standard gemacht werden. Ziel des vorliegenden Artikels ist die Beschreibung verschiedener aktueller herzchirurgischer Eingriffe mit Unterstützung des Operationsroboters.

Der Begriff „Roboter“ wird von „robota“ (tschechisch: Fronarbeit) abgeleitet. 1921 nannte der tschechische Schriftsteller Karel Capek in seinem Werk „Rossum's Universal Robots“ Maschinen „Roboter“, die eintönige und schwere Arbeit verrichten.

Nach der heute allgemein gültigen Definition sind Roboter „... automatisch gesteuerte frei programmierbare Mehrzweckmanipulatoren ...“ (ISO 8373: 1996). Gemäß dieser Definition sollten daher die derzeit in der Chirurgie eingesetzten Techniken besser Telemanipulatoren genannt werden, da keines der Systeme autonom arbeitet, sondern die Arbeitsschritte vom Chirurgen vorgegeben und kontrolliert werden. Im klinischen Alltag jedoch werden die beiden Bezeichnungen synonym verwendet.

Die ersten im operativen Alltag eingesetzten Roboter waren einfache Assistenzsysteme: über eine Sprachsteuerung konnten diese Apparate bedient werden und wurden als Halteappa-

Eingelangt am 2. Oktober 2006; angenommen nach Revision am 10. Oktober 2007.
Aus der Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie, Universitätsspital, Zürich, Triemli Spital, Zürich

Korrespondenzadresse: PD Dr. med. Oliver Reuthebuch, Abteilung für Herzchirurgie, Chirurgische Klinik, Triemli Spital Zürich, CH-8063 Zürich, Birmensdorferstraße 497; E-Mail: oliver.reuthebuch@triemli.stzh.ch

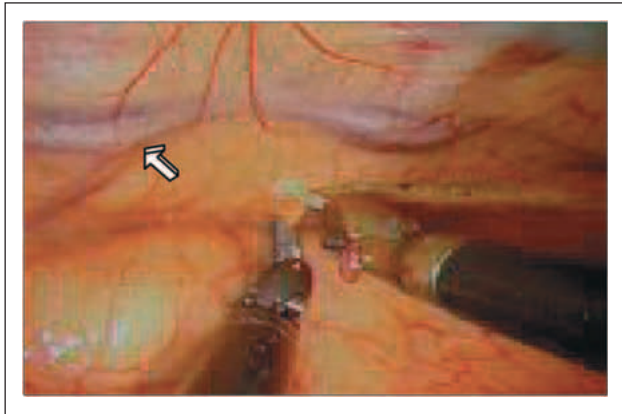


Abbildung 1: Präparation der linken A. mammaria interna (IMA, Pfeil)

rate für Haken und Optiken gebraucht. Der AESOP® (Automated Endoscopic System for Optimal Positioning) von Intuitive Surgical, USA (früher Computer Motion Inc., Goleta, California) war der am häufigsten eingesetzte Manipulator. Dieses System wurde bereits im Jahre 1994 von der FDA bewilligt. Der klinische Einsatz dieses Gerätes war ein wichtiger Schritt weg von der konventionellen hin zur total endoskopischen Herzchirurgie. Durch die verbesserte Sicht, die ergonomischere Haltung und die daraus resultierende erhöhte Konzentrationsfähigkeit des Chirurgen konnten Fehler reduziert werden [3].

Ein wesentlicher Schritt hin zur roboterunterstützten Herzchirurgie war unter anderem die Arbeit von Boyd aus dem Jahr 2000. Er konnte im Tiermodell zeigen, daß mit Hilfe von Telemanipulatoren die Genauigkeit von Gefäßanastomosen erhöht werden kann [4]. Dazu bedurfte es aber technisch anspruchsvoller Systeme, die die ausgeprägte Beweglichkeit des menschlichen Handgelenkes simulieren konnten, die in „Freiheitsgraden“ ausgedrückt wird. Während etwa ein ausgereiftes minimal-invasives Instrument bestenfalls 4 Freiheitsgrade besitzt, weist die menschliche Hand 7 Freiheitsgrade auf!

Um Instrumente mit 7 Freiheitsgraden konzipieren zu können, bedarf es einer ausgeklügelten Steuerung, die nur von einem Computer übernommen werden kann. Daher spricht man in diesem Zusammenhang auch von computerassistierter Chirurgie. Technisch ausgereifte Roboter arbeiten nach dem Mensch-Maschine- (Master-Slave-) Prinzip.

An einer Steuerkonsole sitzend führt der Operateur die Instrumentengriffe unter Zuhilfenahme mehrerer Fußpedale. Diese Bewegungen werden vom Computer via Sensoren erkannt und über Kabelstränge an die 3–4 Instrumentenarme, die über bzw. im Patienten platziert sind, weitergeleitet. Dadurch können die verschiedensten Instrumente (Endeffektoren) sowie die Optik den Erfordernissen der Operation angepaßt werden. Ein Tremorfilter, der das Zittern der menschlichen Hand unterdrückt, sorgt für hohe Präzision. Die dreidimensionale und bis zu 10fach vergrößerte Projektion des Operationsgebietes auf einen speziellen Monitor innerhalb der Konsole sowie die Skalierbarkeit der Instrumentenbewegungen (Vergrößerung oder Verkleinerung) steigern die Genauigkeit enorm. Ein noch nicht gelöstes Problem ist die fehlende Krafrückkopplung („force feedback“): Ergreift der Chirurg etwa mit einem

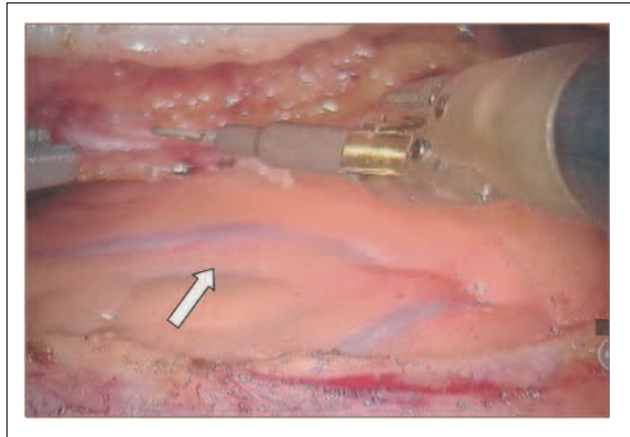


Abbildung 2: Eröffnung des Herzbeutels und Identifikation der Herzkranzgefäße
© Intuitive Surgical

konventionellen Nadelhalter eine haarfeine Nadel, so spürt er, wann die aufgebrachte Kraft die Nadel zu verbiegen droht. Diese Rückmeldung fehlt noch bei computerassistierten Techniken, sodaß der Erfolg eines Eingriffes in hohem Maße von der Erfahrung und Sorgfalt des Chirurgen abhängt.

Bis vor kurzem konkurrierten weltweit 2 derartige Systeme um die Gunst der Chirurgen: der Zeus® von ComputerMotion, USA, und der DaVinci® von Intuitive Surgical, ebenfalls USA. Mit dem technisch einfacheren Zeus gelang 2001 die erste transatlantische Operation: vom Mount Sinai Medical Center in New York aus entfernte ein französisches Chirurgenteam einer in Straßburg liegenden Patientin die Gallenblase. Bezeichnenderweise wurde diese Weltpremiere „Projekt Lindbergh“ genannt. Doch trotz dieses Erfolges war dem Zeus® nicht der große Durchbruch beschieden, denn es fehlte ein für mikrochirurgische Operationen notwendiger Freiheitsgrad (insgesamt 6). Erfolgreicher entwickelte sich der DaVinci®-Roboter. Er ist das technisch ausgereifere System und kann prinzipiell für sämtliche minimal-invasiven Operationen eingesetzt werden. In der Folge fusionierten ComputerMotion und Intuitive Surgical, die Weiterentwicklung des Zeus® wurde darauf eingestellt.

Damit war der Weg für den DaVinci®-Roboter geebnet und Forschungsteams und Anwender konnten das System dem klinischen Alltag anpassen.

Die Herzchirurgie stellt in vielerlei Hinsicht besondere Anforderungen an minimal-invasive Techniken. Eine gründliche Planung der Eingriffe mit den Kollegen der Anästhesie ist unerlässlich, da verschiedene Gesichtspunkte bis heute noch nicht ausreichend geklärt sind: Wie kann der Roboter platziert werden, ohne daß die Rippen bzw. die Schulter die Beweglichkeit der Instrumente behindert? Wie kann die Sichtbehinderung durch die Lunge umgangen werden? Wie können eventuelle pleurale Verwachsungen gelöst werden, ohne die Lunge zu verletzen? Welchen Einfluß hat der Pneumothorax (erhöhter intrathorakaler Druck durch Insufflation von CO₂, um die nicht beatmete Lunge zu verdrängen) auf die Herzleistung? Welche Maßnahmen sind bei versehentlicher Verletzung des Herzens oder großer Blutgefäße zu treffen? Wie kann die Bewegung des Herzens kompensiert werden? Wie kann die Herz-Lungen-Maschine (HLM) an den Patienten an-

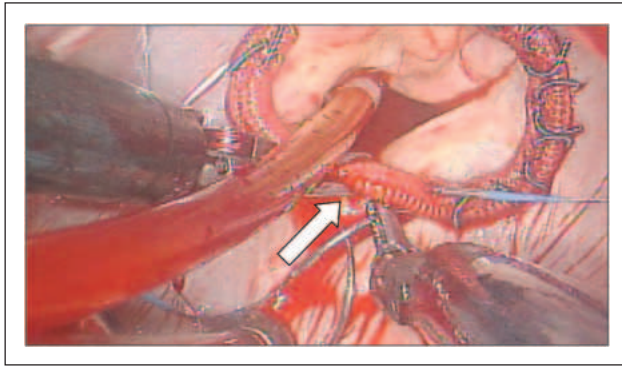


Abbildung 3: Plazierung des Stabilisators (Pfeil) und Beginn der Anastomose
© Intuitive Surgical

geschlossen werden, da der Thorax doch geschlossen bleibt? Welche Instrumente stehen zur Verfügung, welche werden noch gebraucht? Wie gelingt die Identifizierung der einzelnen Herzkranzgefäße, wie deren Stabilisierung?

■ Koronarchirurgie

Die Koronarchirurgie macht den größten Teil des herzchirurgischen Spektrums aus. Es ist daher nicht verwunderlich, daß die ersten Einsätze des Roboters auf diese Technik abzielten. Dabei ist die Präparation der A. mammaria interna (IMA) eine vergleichsweise einfache Aufgabe. Die IMA gilt wegen der langen Offenheitsraten in der modernen Koronarchirurgie als wichtigster Bypass. Obwohl sich das Gefäß selbst nicht bewegt und sich subpleural einfach darstellen läßt, wird eine exakte Plazierung der Instrumente und Optik verlangt, um keine Kollateralschäden an Herz oder Lunge zu verursachen (Abb. 1). Seitenäste werden entweder koaguliert oder geclipt [5]. In der Folge wird der Herzbeutel eröffnet und die Koronarien identifiziert (Abb. 2). Über eine zusätzliche Thoraxinzision wird ein Koronarstabilisator eingeführt, der das Herzkranzgefäß am Ort der Anastomose fixiert. Dies ist besonders bei Revaskularisationen am schlagenden Herzen notwendig. Die Koronarie wird inzidiert, ein kurzer Kunststoffschlauch („Shunt“) eingelegt und die Anastomose mit der IMA genäht (Abb. 3). Die Qualität der Anastomosen wurde in verschiedensten Studien mittels postoperativer Angiographie beurteilt. Dabei wurde eine Offenheitsrate von bis zu 96 % beschrieben. Als Alternative zur Naht wurden in diesem Zusammenhang mechanische Konnektoren auf Basis von Magneten, Metallklammern oder Klebstoffen entwickelt. Keine der Techniken hat sich zum heutigen Zeitpunkt durchgesetzt, da es in vielen Fällen zu Frühverschlüssen gekommen ist [6]. Die Konversionsrate zur offenen Technik liegt bei ca. 6 %, die Mortalitätsrate bei 0 %.

Mit der TECAB-Technik (Totally Endoscopic Coronary Artery Bypass) sind bisher nur Ein- bis Zweigefäßerkrankungen in großem Stil anhebbbar, da die Versorgung der Herz-Hinterwand wegen der Positionierung und Erreichbarkeit der Herzkranzgefäße schwierig ist. Die Operation wird entweder am schlagenden oder am kardioplegischen (stillgelegten) Herzen durchgeführt. Dazu wird die Herz-Lungen-Maschine über die Leistengefäße (Arteria und Vena femoralis) angeschlossen und die Aorta mittels einer Klemme von außen oder endoluminal mittels eines Ballons abgeklemmt [7–9].

Eine weitere Möglichkeit der roboterunterstützten Revaskularisation ist die RAVECAB (Robot-Assisted, Video-Enhanced Coronary Artery Bypass). Dabei wird die IMA mittels Roboter freipräpariert und die Anastomose über eine kurze Thorakotomie unter Sicht hergestellt [10]. Dieses Verfahren verbindet die Vorteile der roboterassistierten IMA-Präparation mit denen der offenen, direkten Anastomosierung unter Sicht. Eine weitere Variante stellt die Hybrid-Revaskularisation dar, eine Kombination von kardiologischer (kathetertechnischer) und herzchirurgischer Behandlung. Der technisch einfachste, zugleich aber wichtigste Bypass der IMA zur LAD („left anterior descending“, Herzkranzgefäß) wird mittels Roboter durchgeführt, während die übrigen Herzkranzgefäße, zumeist in der gleichen Sitzung und unter dem Schutz des neuen Bypasses, kathetertechnisch dilatiert und/oder gestentet werden [11].

■ Klappenchirurgie

Im Rahmen der Klappenchirurgie werden besonders die Mitralklappen- und Trikuspidalklappe roboterunterstützt operiert. Dies liegt darin begründet, daß diese beiden Segelklappen einer rekonstruktiven Chirurgie zugänglich sind. Durch moderne Kanülierungsmethoden via A. und V. femoralis, A. subclavia und V. jugularis kann der Patient mit der Herz-Lungen-Maschine verbunden werden. Die Aorta wird ähnlich wie in der Bypasschirurgie mittels transthorakaler Klemmen oder intraaortaler Ballons abgeklemmt. Die Manipulation der Aorta kann dabei zu lebensbedrohlichen Komplikationen wie Einriß oder Dissektion führen, sodaß die Ergebnisse der roboterassistierten Klappenchirurgie im wesentlichen von der sorgfältigen Kanülierung abhängen [12].

Die Ergebnisse der Rekonstruktion besonders der Mitralklappe sind vielversprechend, doch bleiben diese noch hinter der konventionellen Rekonstruktion zurück. Besonders komplexe Klappenpathologien zwingen bisweilen zur Konversion oder gar Reoperation [13]. Auch hier wird der Roboter über 3 Zugänge im Thorax des Patienten plaziert. Über eine zusätzliche kurzstreckige Thorakotomie ist die Klappe zudem direkt zugänglich, um Fäden und für die Rekonstruktion benötigte Materialien einführen zu können. Verglichen mit der konventionellen Klappenrekonstruktion sind die HLM-Zeiten und Aortenabklemmzeiten deutlich verlängert und Komplikationen wie Nachblutungen, Rethorakotomien und neurologische Ereignisse bis hin zu Schlaganfällen erhöht [14]. Berücksichtigt man das immer ältere und polymorbidere herzchirurgische Patientenkollektiv, so ist besonders auf die Reduktion der Operationszeiten Wert zu legen. Technische Weiterentwicklungen in bezug auf Kanülierung und Robotertechnik können dazu einen wertvollen Beitrag leisten.

■ ASD-Verschuß

Im Bereich der kongenitalen Erkrankungen im Erwachsenenalter kann der Roboter besonders zum Verschuß eines offenen Foramen ovale oder atrialen Septumdefektes (ASD) eingesetzt werden. Der Anschluß an die HLM sowie die Plazierung des Roboters ist ähnlich wie bei Klappeneingriffen. Das Loch in der Scheidewand kann entweder direkt oder mittels eines Flickens verschlossen werden [15]. Durch die Miniaturisierung der Roboterinstrumente (5 mm) kann diese Technik auch

bei Kleinkindern eingesetzt werden. Damit kann auf die Durchtrennung der thorakalen Muskulatur verzichtet werden (Thorakotomie), was sich positiv auf eventuelle Wachstumsdeformationen auswirkt.

■ Perikardektomie

Bei der Behandlung entzündlicher oder neoplastischer Prozesse des Perikards nimmt der Roboter eine immer wichtigere Stellung ein. Durch die dreidimensionale Sicht und hohe Flexibilität der Instrumente kann das Perikard entweder *in toto* abgetragen (Perikardektomie) oder bei Perikarderguß gefenestert werden (Perikardfenestrierung). Dabei ist ein unilateraler Zugang ausreichend, um den Herzbeutel sowohl vom linken als auch rechten Herzen zu lösen. Wichtig jedoch ist ein Flüssigkeitssaum zwischen Herz und Herzbeutel, um keine Verletzungen des Muskels mit potentiell lebensbedrohlichen Blutungen oder Rhythmusstörungen zu verursachen. Das Peri-

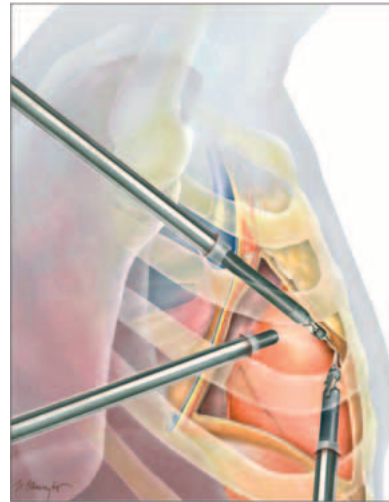


Abbildung 4: Roboterassistierte Perikardektomie. Darstellung des Perikards und vorsichtige Entfernung des erkrankten Herzbeutels.

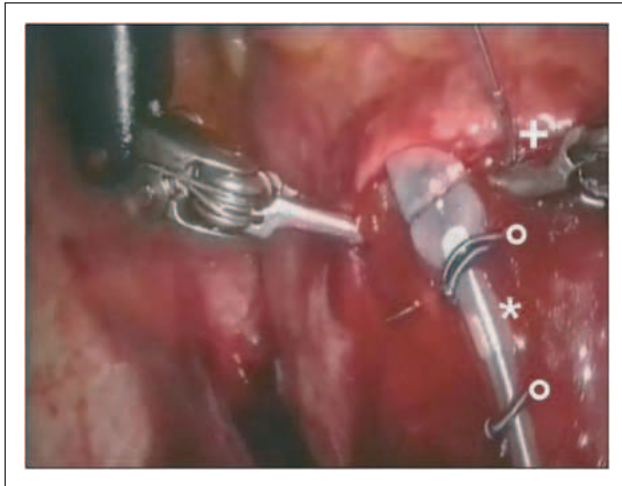


Abbildung 5: Roboterassistierte Platzierung epikardialer Elektroden (Stern) mittels U-Clip™ (Kreis, Plus)

kard wird mittels Elektrocauter und Scheren vorsichtig vom schlagenden Herzen gelöst und durch eine kurze Zusatzinzision oder über einen Instrumententrokar entfernt (Abb. 4) [16].

■ Platzierung epikardialer Elektroden

Eine weitere wichtige Indikation für ein roboterassistiertes Vorgehen ist die Platzierung epikardialer Schrittmacherelektroden zur Resynchronisationstherapie bei Herzinsuffizienz. Gelingt es dem Kardiologen nicht, eine linksventrikuläre Elektrode im Sinus coronarius zu platzieren, so kann eine epikardiale Elektrode mittels Roboter auf dem Herzen fixiert werden. Dazu wird das Perikard über dem linken Ventrikel eröffnet und die Elektrode auf das schlagende Herz gedrückt. Nach Bestimmung der korrekten Lage kann die Elektrode festgenäht werden. Dabei kann das bloße Berühren des insuffizienten Muskels schwere Herzrhythmusstörungen auslösen. Als Alternative zur Naht wird daher der U-Clip™ (Medtronic, USA) eingesetzt, der das Knoten des Fadens ersetzt (Abb. 5) [17].

■ Zusammenfassung und Ausblick

Die Roboterherzchirurgie ist eine junge Disziplin. Die anfängliche Euphorie hat sich in eine konstruktive Skepsis umgewandelt. Nicht alles, was vor wenigen Jahren noch vorstellbar war, hat sich den Weg in die Realität gebahnt. Zu komplex sind die Anforderungen an die Technik, als daß sich das in den nächsten Jahren grundlegend ändern wird. Dabei geht es nicht nur um die Verfeinerung des Roboters: Mit der neuesten Generation des DaVinci S® können nun 4 Gelenkarme gesteuert werden, Instrumentenwechsel benötigen weniger Zeit, die Instrumentenbeweglichkeit wurde erhöht und die optischen Systeme angepaßt. Hier geht es um die Entwicklung entsprechender Peripherie: Etwa die sichere Kanülierung des Patienten

zum Anschluß der HLM, die sichere Stilllegung des Herzens, die Stabilisierung und Darstellung der Koronarien, der Verzicht auf Nahtmaterial für Anastomosierungen, die Verbesserung der intrathorakalen Sicht bei Blutung. Aber auch die Robotertechnik muß weiterentwickelt werden. Um 8/0-Fäden sicher einsetzen zu können, ist eine Kraft-Rückkopplung an den Instrumentenspitzen notwendig. Durch die Trägheit des Systems (der Instrumentenspitzen) ist ein Arbeiten am schlagenden Herzen ab einer Frequenz von ca. 80 Schlägen/min. nicht möglich. Die Einbindung einer virtuellen Ansicht, bei der sich Herz und Instrument gleich schnell und dreidimensional bewegen und somit ein stehendes Arbeitsfeld simulieren, scheitert noch an nicht ausreichenden Rechnerleistungen.

Rom wurde auch nicht an einem Tag erbaut. Es braucht Zeit, Geld, technischen Sachverstand und vor allem Ärzte, die sich der Herausforderung der Roboterchirurgie stellen. Dann wird aus der Fiktion die Realität.

Literatur:

1. Carlsson J, James S, Stahle E, Hofer S, Lagerqvist B. Outcome of percutaneous coronary intervention in hospitals with and without on-site cardiac surgery standby. *Heart* 2007; 93: 335–8.
2. Macedo JA, Kaber DB, Endsley MR, Powanusorn P, Myung S. The effect of automated compensation for incongruent axes on teleoperator performance. *Hum Factors* 1998; 40: 541–53.
3. Carthey J, de Leval MR, Reason JT. The human factor in cardiac surgery: errors and misses in a high technology domain. *Ann Thorac Surg* 2001; 72: 300–5.
4. Boyd WD, Desai ND, Kiaii B, Rayman R, Menkis AH, McKenzie FN, Novick RJ. A comparison of robot-assisted versus manually constructed endoscopic coronary anastomosis. *Ann Thorac Surg* 2000; 70: 839–43.
5. Reuthebuch O, Comber M, Zünd G, Turina M. Experiences in robotically enhanced IMA-preparation as initial step towards totally endoscopic coronary artery bypass grafting. *Cardiovasc Surg* 2003; 11: 483–7.
6. Reuthebuch O, Kadner A, Lachat M, Künzli A, Schurr UP, Turina MI. Early bypass occlusion after deployment of nitinol connector devices. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2004; 127: 1421–6.
7. Argenziano M, Katz M, Bonatti J, Srivastava S, Murphy D, Poirier R, Loumet D, Siwek L, Kreaden U, Ligon D; TECAB Trial Investigators. Results of the prospective multicenter trial of robotically assisted totally endoscopic coronary artery bypass grafting. *Ann Thorac Surg* 2006; 82: 1666–74.
8. Chitwood WR Jr. Video-assisted and robotic mitral valve surgery: toward an endoscopic surgery. *Semin Thorac Cardiovasc Surg* 1999; 11: 194–205.
9. Vanermen H, Wellens F, De Geest R, Degrieck I, Van Praet F. Video-assisted Port-Access mitral valve surgery: from debut to routine surgery. *Will Trocar-Port-Access cardiac surgery ultimately lead to robotic cardiac surgery?* *Semin Thorac Cardiovasc Surg* 1999; 11: 223–34.
10. Boyd WD, Kiaii B, Novick RJ, Rayman R, Ganapathy S, Dobkowski WB, Jablonsky G, McKenzie FN, Menkis AH. RAVECAB: improving outcome in off-pump/minimal access surgery with robotic assistance and video enhancement. *Can J Surg* 2001; 44: 45–50.
11. Bonatti J, Schachner T, Bonaros N, Laufer G, Kolbitsch C, Margreiter J, Jonetzko P, Pachinger O, Friedrich G. Robotic totally endoscopic coronary artery bypass and catheter based coronary intervention in one operative session. *Ann Thorac Surg* 2005; 79: 2138–41.
12. Dogan S, Aybek T, Risteski PS, Detho F, Rapp A, Wimmer-Greinecker G, Moritz A. Minimally invasive port access versus conventional mitral valve surgery: prospective randomized study. *Ann Thorac Surg* 2005; 79: 492–8.
13. Murphy DA, Miller JS, Langford DA, Snyder AB. Endoscopic robotic mitral valve surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2006; 132: 776–81.
14. Jones BA, Krueger S, Howell D, Meinecke B, Dunn S. Robotic mitral valve repair: a community hospital experience. *Tex Heart Inst J* 2005; 32: 143–6.
15. Bonaros N, Schachner T, Oehlinger A, Ruetzler E, Kolbitsch C, Dichtl W, Mueller S, Laufer G, Bonatti J. Robotically assisted totally endoscopic atrial septal defect repair: insights from operative times, learning curves, and clinical outcome. *Ann Thorac Surg* 2006; 82: 687–93.
16. Reuthebuch O, Ecknauer E, Zünd G, Turina M. Total robotic-enhanced pericardiectomy for effusive pericarditis. *ICVTS* 2002; 1: 102–4.
17. DeRose JJ, Ashton RC, Belsley S, Swistel DG, Vloka M, Ehler F, Shaw R, Sackner-Bernstein J, Hillel Z, Steinberg JS. Robotically assisted left ventricular epicardial lead implantation for biventricular pacing. *J Am Coll Cardiol* 2003; 16: 1414–9.

Mitteilungen aus der Redaktion

Besuchen Sie unsere Rubrik

☒ Medizintechnik-Produkte



Neues CRT-D Implantat
Intica 7 HF-T QP von Biotronik



Artis pheno
Siemens Healthcare Diagnostics GmbH



Philips Azurion:
Innovative Bildgebungslösung

Aspirator 3
Labotect GmbH



InControl 1050
Labotect GmbH

e-Journal-Abo

Beziehen Sie die elektronischen Ausgaben dieser Zeitschrift hier.

Die Lieferung umfasst 4–5 Ausgaben pro Jahr zzgl. allfälliger Sonderhefte.

Unsere e-Journale stehen als PDF-Datei zur Verfügung und sind auf den meisten der marktüblichen e-Book-Readern, Tablets sowie auf iPad funktionsfähig.

☒ Bestellung e-Journal-Abo

Haftungsausschluss

Die in unseren Webseiten publizierten Informationen richten sich **ausschließlich an geprüfte und autorisierte medizinische Berufsgruppen** und entbinden nicht von der ärztlichen Sorgfaltspflicht sowie von einer ausführlichen Patientenaufklärung über therapeutische Optionen und deren Wirkungen bzw. Nebenwirkungen. Die entsprechenden Angaben werden von den Autoren mit der größten Sorgfalt recherchiert und zusammengestellt. Die angegebenen Dosierungen sind im Einzelfall anhand der Fachinformationen zu überprüfen. Weder die Autoren, noch die tragenden Gesellschaften noch der Verlag übernehmen irgendwelche Haftungsansprüche.

Bitte beachten Sie auch diese Seiten:

Impressum

Disclaimers & Copyright

Datenschutzerklärung