

Journal für Kardiologie

Austrian Journal of Cardiology

Österreichische Zeitschrift für Herz-Kreislaufferkrankungen

Telemanipulatorunterstützte endoskopische Herzchirurgie

Jacobs St, Falk V, Holzhey D

Mohr FW

Journal für Kardiologie - Austrian

Journal of Cardiology 2002; 9

(1-2), 38-45

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

Grazer Gefäß- & Gerinnungstage 2025
Donnerstag, 26. Juni 2025
14:30 – 15:00

Vertiefendes Fachwissen



www.amrn.link/aerzte

AMARIN SYMPOSIUM

**Ein neuer Angriffspunkt im leitliniengerechten
Risikofaktorenmanagement von pAVK- Patient:innen**

Dr. Reinhard B. Raggam, Graz

The Amarin logo consists of a stylized 'A' symbol followed by the word 'AMARIN' in a bold, sans-serif font.

© 2025 Amarin Pharmaceuticals Ireland Limited. Alle Rechte vorbehalten.
AMARIN Name und Logo sind Marken von Amarin Pharmaceuticals Ireland Limited.

AT-VAZ-00220, 05/2025

Teleskopgesteuerte endoskopische Herzchirurgie

St. Jacobs, D. Holzhey, V. Falk, F. W. Mohr

Computergesteuerte Instrumentiersysteme erlauben eine hohe Präzision und große Beweglichkeit bei limitiertem Platzangebot und haben so die Beschränkungen konventioneller endoskopischer Instrumente zum Teil überwunden. Mit Hilfe moderner chirurgischer Teleskopgesteuerten sind die total endoskopische Myokardrevaskularisation der Vorderwand, Mitralklappenrekonstruktionen und der endoskopische Verschluss von Vorhofseptumdefekten erfolgreich an einem ausgewählten Patientengut durchgeführt worden. Längere Operationszeiten und hohe Konversionsraten aufgrund technischer und anatomischer Beschränkungen limitieren den Einsatz der neuen chirurgischen Techniken noch im Vergleich zur konventionellen Chirurgie. Die Entwicklung zusätzlicher Technologien sowie die Integration bildgestützter Navigationssysteme werden die Anwendung computerunterstützter Instrumentiersysteme in näherer Zukunft erweitern.

Computer enhanced instrumentation systems allow dextrous manipulations in confined spaces and have helped to overcome some of the limitations of conventional endoscopic instruments. Using these telescopulation systems, total endoscopic coronary artery bypass grafting, mitral valve repair and closed chest closure of atrial septal defects have been achieved in selected patients. The development of adjunct technologies as well as integration of image based navigation systems will help to expand the use of computer enhanced instrumentation systems in the near future. **J Kardiol 2002; 9: 38–45.**

Das Wort „Robotik“ wurde 1921 erstmalig vom tschechischen Dramatiker Karel Capek geprägt. Der Begriff „Roboter“ wurde später von Isaac Asimov eingeführt. Dieser stellte auch vier Regeln für Roboter auf, die heute in der Robotertechnologie noch immer Gültigkeit besitzen [1]. Gemäß dem Amerikanischen Institut für Robotik wird ein Roboter definiert als ein reprogrammierbarer, multifunktionaler Manipulator, konstruiert, um mit seinen Endeffektoren Materialien, Stücke, Werkzeuge oder spezielles Zubehör zu bewegen. Dies wird durch unterschiedlich programmierbare Bewegungen für eine Vielzahl von Aufgaben erreicht. Die ersten Industrieroboter waren die in den 50er und 60er Jahren von Devol und Engelberger entwickelten Unimaten. Seitdem haben Roboter eine vielschichtige Anwendung gefunden. Anfang der 80er Jahre sind Roboter unter zweierlei Vorstellungen zum ersten Mal im medizinischen Bereich eingeführt worden: zur Verbesserung und Erweiterung der traditionellen chirurgischen Möglichkeiten in der minimalinvasiven Chirurgie sowie um funktionale Fähigkeiten anzubieten, die dem menschlichen Operateur fehlen (Tabelle 1).

Roboter gesteuerte Positionierungsarme

Ein klassisches Beispiel für einen roboter gesteuerten Positionierungsarm ist das sprachgesteuerte AESOP-System (Automated Endoscope System for Optimal Positioning, Computer Motion, Goleta, CA). Über ein Mikrophon steuert der Operateur die Positionierung des Videoskops mit Ein- oder Zwei-Wort-Kommandos. Die Bewegungen können inkrementell oder kontinuierlich sein. Die Möglichkeit, bestimmte Videoskoppositionen zu speichern, erleichtert es, ein einmal optimiertes Bild bei Bedarf erneut einzustellen. Im Vergleich zur manuellen Videoskopführung hat sich der Roboter aufgrund des zitterfreien und stabilen Bildes, der exakten Positionierung sowie der Möglichkeit der Positionsspeicherung als vorteilhaft erwiesen. Die Sprachsteuerung erlaubt Videoskopbewegungen ohne Instrumentenwechsel, wodurch ein kontinuierlicher Operationsverlauf gewährleistet ist. Kommunikationsmißverständnisse zwischen Operateur und kameraführendem Assistenten (der oft spiegelbildlich agieren muß) entfallen. In einigen Disziplinen konnte mit Einführung des sprach-

gesteuerten Roboterarms ein solochirurgisches Vorgehen etabliert werden. In der Herzchirurgie wird das System seit 1998 vor allem in der videoassistierten minimalinvasiven Mitralklappensolochirurgie eingesetzt [2]. Farbkodiertes automatisches Instrumententracking oder Kopfbewegungsdetektion sind zusätzliche Optionen für roboter gesteuerte Positionierungsarme [3]. Roboter, die vor allem die Navigation zu Hilfe nehmen, haben sich in der Orthopädie und der Neurochirurgie etablieren können. Die verwendeten Systeme nutzen zu ihrer Steuerung Informationen aus bildgebenden Verfahren (CT, NMR), um bei optimiertem Zugang eine möglichst gewebeschonende Operation zu er-

Tabelle 1: Vergleich von endoskopischen Instrumenten zu computer gesteuerten Instrumentensystemen

	Vorteile	Limitationen
Mensch	Gute Hand-Auge-Koordination	Tremor
	Präzise	Ermüdung
	Flexibel	Manipulation und Präzision sind außerhalb einer natürlichen Skala limitiert
	Adaptiv	Limitierte geometrische Genauigkeit
	Nutzt qualitative Informationen	Nutzt auf natürliche Art keine quantitativen Informationen
	Einfach zu instruieren	Empfänglich für Infektionen und Strahlung
	Fähig, zu lernen Integriert Informationen	
Roboter	Hohe geometrische Genauigkeit	Fehlendes Urteilsvermögen
	Unermüdlich und stabil	Schwierig zu instruieren
	Genau kalibrierbare Kraft	Geringe Bandbreite
	Variierende Designoptionen	Limitierte Fähigkeiten, komplexe Aufgaben zu bewältigen
	Arbeitet in potentiell schädigender Umgebung	

Aus der Klinik für Herzchirurgie, Universität Leipzig, Deutschland

Korrespondenzadresse: Dr. med. Stephan Jacobs, Klinik für Herzchirurgie, Universität Leipzig Herzzentrum, Russenstraße 19, D-04289 Leipzig, E-Mail: stephanjacobs@hotmail.com

möglichen. Einmal programmiert, führen diese Systeme den Arbeitsgang selbständig durch. Ein Beispiel dafür ist der Robodoc (Integrated Surgical Systems Inc., Sacramento, CA), der automatisch und millimetergenau eine Höhle in den Femur zur Implantation des Schafts bei der Hüftgelenksimplantation fräst. Studien haben gezeigt, daß die bildgesteuerte Schaftbohrung am Femur sehr viel akkurater ist als die manuell durchgeführte [4]. Ähnliche Systeme haben sich bei der gezielten Sondierung zur Diagnostik und Therapie in der Neurochirurgie durchsetzen können [5].

Telemanipulation

Eine weitere Form von Robotern sind Telemanipulatoren (online ferngesteuerte Multifunktionsgeräte) mit einer computerunterstützten Mensch-Maschine-Schnittstelle. Die ersten Telemanipulatoren sind 1890 von Tesla, der besser bekannt ist für seine Erfindung des Induktionsmotors, gebaut worden. Das Konzept der Telemanipulation beschreibt eine Form von Kontrolle, in der jedes Bewegungsmuster der Endeffektoren direkt durch den Menschen geführt oder verursacht wird. Bereits in den 50er Jahren sind aufgrund der Problematik bei der Entsorgung und Bearbeitung toxischer Abfälle Telemanipulatoren entwickelt worden. Bei den ersten Modellen waren die Bedienerhandgriffe durch rein mechanische Gelenke mit den Manipulatoren und damit den Endeffektoren (Begriff aus der Robotik für die Ausgabeseite des Manipulators, z. B. Greifer oder aber auch chirurgische Instrumente) verbunden. Diese Geräte waren ortsgebunden, und die Arbeit war nur mit einer festen Skalierung (Verhältnis der Übersetzung der Bewegung auf der Bedienerseite in die Kinematik des Manipulators) möglich. Die erste elektronische Version eines mechanischen Telemanipulators ist von Goertz entwickelt worden [6]. Die rein mechanische Verbindung zwischen Master und Slave wurde durch eine Konnektion mit Motoren und Sensoren ersetzt. Es wurde schnell deutlich, daß in einem begrenzten Arbeitsbereich eine unterschiedliche kinematische Bewegung zwischen Master und Slave vorteilhaft ist. Mit Hilfe der sich rasant entwickelnden Computertechnik war es nun möglich, online Kalkulationen von Cartesian-Koordinaten-Transformationen zu erstellen und damit Telemanipulatoren mit unterschiedlichem kinematischem Design zwischen Master und Slave zu etablieren. Die ersten Manipulatoren mit 6 Freiheitsgraden für bidirektionale Telemanipulation, mit einem Force-Feedback durch Motoren am Hand-Controller verwirklicht [7], wurden von Bejczy und Salisbury gebaut. Seitdem ist eine Vielzahl von computerunterstützten Telemanipulator-

systemen gebaut worden, um technische Fernmanipulationen in potentiell schädigenden Umgebungen (z. B. radioaktive Räume) oder in begrenztem Raum zu ermöglichen. Parallel zur Entwicklung von effektiveren Telemanipulatorsystemen wurde mit der Geburt der Laparoskopie Anfang der 80er Jahre ein chirurgisches Paradigma gestürzt: Eine große Inzision war nicht länger gleichzusetzen mit der Garantie für eine bessere Chirurgie. Mit der Minimierung des Zugangs, indem durch Trokars gearbeitet wurde, konnte das chirurgische Trauma reduziert werden, jedoch auf Kosten der Präzision und Geschicklichkeit. Neben unzähligen Designs für endoskopische Tools und immer neueren Entwicklungen von speziellen Instrumenten konnten fundamentale Limitationen bei Instrumentarium und Mensch nicht überwunden werden und stellen noch heute eine große Herausforderung an die Chirurgen aller Fachdisziplinen dar [8, 9]. Tabelle 2 listet die Einschränkungen der konventionellen endoskopischen Instrumente auf. Unter dem Eindruck der Szenarien des kalten Krieges hat letztendlich die Vorstellung, verletzte Patienten ferngesteuert versorgen zu können, die Entwicklung des chirurgischen Telemanipulators vorangetrieben. Ein Schlachtfeld, welches im weitesten Sinne nicht nur für die verletzten Soldaten, sondern auch für das Sanitätsteam ein extrem gefährliches Umfeld darstellt, verlangte geradezu nach einer ferngesteuerten Chirurgie, die es dem Operateur ermöglicht, hinter der Front zu stehen [10]. Potentiell zu bergende Opfer verbluten meist innerlich, bevor eine chirurgische Intervention möglich ist. Ein intuitives Telemanipulatorsystem, daß dem abwesenden Chirurgen erlaubt, verletzte Patienten ferngesteuert notfallmäßig zu versorgen, kann das Outcome von sehr schwer verletzten Opfern verbessern. Bowersox hat mit Hilfe eines Prototyps (Telepräsenzchirurgisches System, SRI) mit bimanuellen Force-reflective-Manipulatoren mit vier Freiheitsgraden (DOF), untereinander austauschbaren Instrumenten und einem stereoskopischen Videoskop ferngesteuert Arteriotomien versorgt sowie Verletzungen innerer Organe übernäht [11, 12]. Es konnte jedoch auch gezeigt werden, daß für Standardoperationen diese Form von Chirurgie aufgrund der zu langen OP-Zeiten nicht geeignet war. Parallel dazu hat das deutsche Forschungszentrum in Karlsruhe einen Telemanipulator mit sechs DOF entwickelt und damit die Limitationen von konventionellen endoskopischen Instrumenten, welche bei Operationen auf sehr begrenztem Raum durchgeführt werden (Laparoskopie), überwunden. Das ARTEMIS-System (Advanced Robot and Telemanipulator System for Minimally Invasive Surgery) wurde zum ersten Mal experimentell für die endoskopische Cholezystektomie eingesetzt [13]. Mit diesen Experimenten wurde das Potential von computergesteuerten Instrumentiersystemen für die endoskopische Chirurgie aufgezeigt.

Tabelle 2: Zusammenstellung der möglicherweise komplementären Eigenschaften sowie der Schwächen des menschlichen Bedieners und des Roboters. Modifiziert nach Taylor et al. [8].

	Endoskopische Instrumente	Telemanipulator
Freiheitsgrade	4	4–6
Tremorfilter	Nein	Ja
Bewegungsskalierung	Fixiert, abhängig vom Verhältnis interne/externe Schaftlänge	1:1 bis 5:1
Hand-Auge-Ausrichtung	Gering (Kamerablickrichtung/Instrumentenorientierung-Mißverhältnis)	Natürlich
Kraftverhältnis (Hand/Spitze)	Groß/abnormal/nicht linear	Programmierbar
Force-Feedback	Gering	Virtuell/gering
Indexing	Unmöglich	Möglich
Ergonomie	Ungünstig	Günstig

Kommerziell eingesetzte Master-Slave-Telemanipulatorsysteme

Moderne Telemanipulatorsysteme verfügen über eine frei wählbare Bewegungsskalierung. So ist es unter anderem möglich, die Übersetzung der Bewegung an der Masterkonsole zu verändern und der bis zu 10fachen Vergrößerung auf die Endeffektoren anzupassen (sog. Motion-Scaling). Ein Tremorfilter verhindert gleichzeitig die Übertragung unerwünschter Begleitbewegungen. Die Bedienerhandgriffe an der chirurgischen Konsole können unabhängig von den Endeffektoren repositioniert werden (ein Konzept, das als Indexing bezeichnet wird), wodurch stets eine vorteilhafte ergonomische Haltung gewährleistet ist. Mittlerweile sind

zwei Systeme kommerziell im Einsatz. Die Konsole des Intuitive Surgical da Vinci-Telemanipulatorsystems beinhaltet das Display, die Masterhandgriffe und den elektrischen Controller (Abb. 1a) [14–16]. Die Masterhandgriffe sind seriell verbundene Manipulatoren, die sowohl als hochauflösende Input Devices arbeiten, die die Bewegungsinformation des Bedieners aufnehmen, als auch haptische Displays, die die Kräfte und Drehmomente rückübertragen. Das Operationsfeld wird dem Chirurgen über ein hochauflösendes Stereodisplay (zwei separate optische Kanäle mit einer Auflösung von 2,0 mrad/Linie) vermittelt. Das System projiziert den OP-Situs über die Hände des Operateurs (via spiegelbildlich überlappenden Optiken) und gewährleistet so eine ideale Hand-Augen-Koordination. Die Patientenseite besteht aus den eigentlichen Manipulatoren mit einem Kameraarm, zwei Instrumentierarmen für die Endeffektoren mit 6 Freiheitsgraden sowie einem Bildschirm für den Assistenten (Abb. 1b). Die Endeffektoren werden austauschbar an die zwei Instrumentierarme gekoppelt und vom System automatisch erkannt. Für den Aufbau der Patientenseite benötigt man ungefähr 15 min, für den notfallmäßigen Abbau nur Sekunden. Das System ist von der FDA für laparoskopische und einige thorakoskopische Operationen zugelassen und hat eine CE-Zulassung.

Ein weiteres Telemanipulatorsystem ist das Computer Motion Zeus-System (Abb. 2). Während die Instrumentierarme des da Vinci-Systems fest auf einem fahrbaren Untersatz montiert sind, können die Zeus-Manipulatoren frei beweglich am OP-Tisch befestigt werden. Der Operateur arbeitet ebenso an einer Konsole und bedient die Endeffektoren ferngesteuert. Alle Bewegungen werden über einen Controller transformiert, der die Informationen dann

auf die Instrumente überträgt. Die Manipulatoren sind modifizierte AESOP-Arme, zwei davon führen die Instrumente, während ein dritter sprachgesteuert die Kamera positioniert. Das endoskopische Bild wird auf einen Monitor übertragen. Die dreidimensionale Sicht wird über ein Head-mounted Display oder eine Brille mit polarisierenden Gläsern realisiert. Das System bietet ebenso eine Bewegungskalierung mit einer Bandbreite von 2:1 bis 10:1 sowie einen Tremorfilter [17, 18]. Eine Reihe von unterschiedlichen Instrumenten wird durch ein 5 mm-Port für die Operation zum Einsatz gebracht. Die Endeffektoren der ersten Generation besaßen nur 4 Freiheitsgrade, eine neuere Version des Telemanipulators verfügt über einen zusätzlichen Freiheitsgrad, die Ansteuerung erfolgt über ein von hinten den Operateur umgreifendes Exoskelett mit einer neuartigen Handsteuerung.

Experimentelle und klinische Erfahrungen

Koronarchirurgie

Beide Systeme sind in einer Reihe von experimentellen Studien geprüft worden. 1996 konnte gezeigt werden, daß eine Koronaranastomose ferngesteuert möglich ist, indem mit dem Zeus-System an einem Kadaverherzen, plaziert in einem Endoskoptrainer, eine Anastomose genäht wurde. Die Zeit für die Anastomose betrug jedoch mehr als eine halbe Stunde bei 100 % Patency [19]. Gleiche Ergebnisse mit einer kürzeren Anastomosenzeit waren mit dem präziseren da Vinci-System möglich [20]. Die Durchführbarkeit einer endoskopischen Anastomose mit der A. mammaria interna auf die linke Herzkranzarterie am kardioplegierten Herzen wurde an Kalbkadavern mit dem Zeus-System demonstriert [21]. Obwohl eine Sternotomie durchgeführt wurde und ein Teil der Operation manuell betrieben wur-

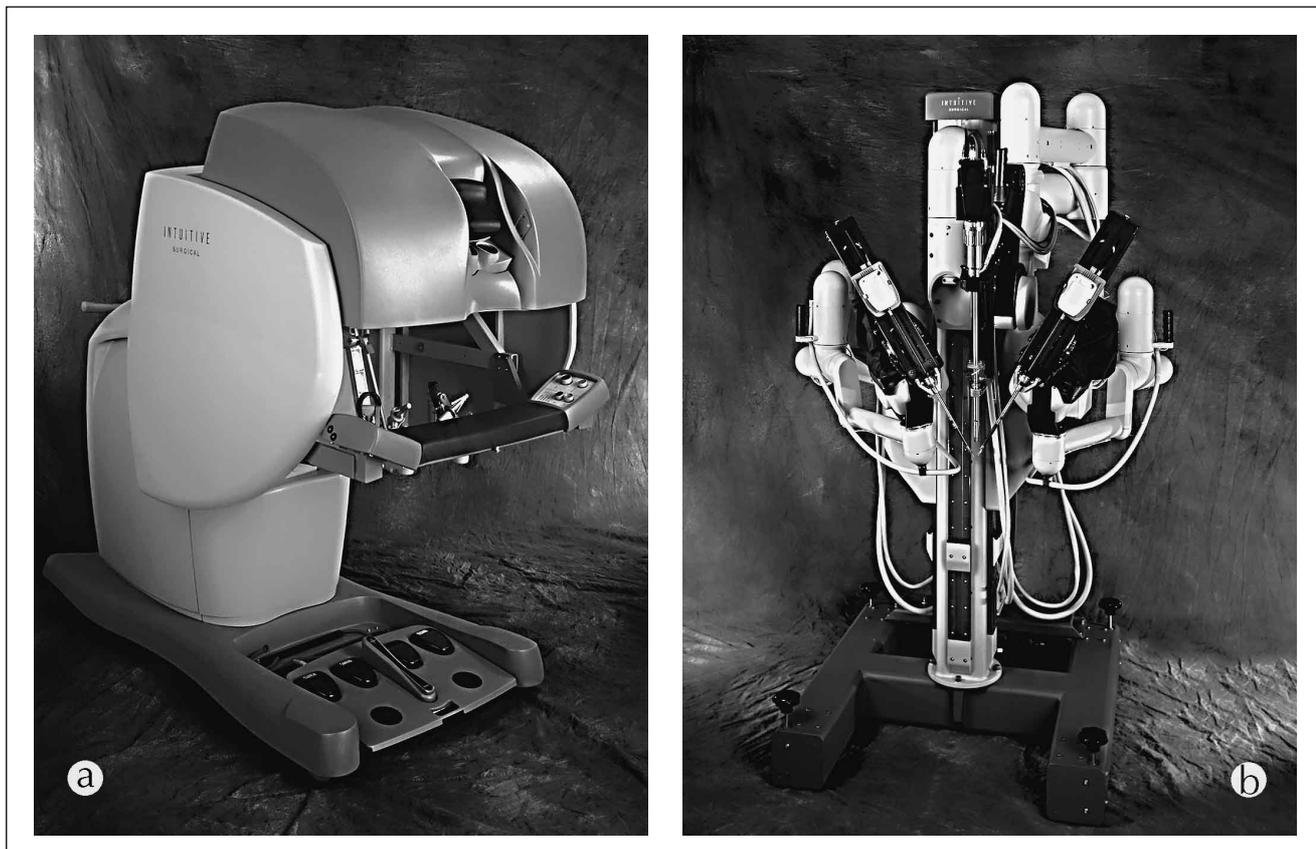


Abbildung 1: Da Vinci Surgical-Telemanipulatorsystem. Masterkonsole (a) und Manipulator auf der Patientenseite (b)

de, war die Erfolgsquote ermutigend. Mit dem da Vinci-System war am Kadavermodell erstmals ein totalendoskopischer Bypass (TECAB) durch 3 Ports ohne manuelle Hilfe möglich. Zusätzlich wurde ein transabdomineller und transdiaphragmaler endoskopischer Zugang für eine 2fach-Revaskularisierung entwickelt [22]. Die erfolgreiche Durchführung einer totalendoskopischen Bypasschirurgie am schlagenden Herzen bedurfte der Entwicklung eines endoskopischen Stabilisators und von Methoden der temporären Gefäßokklusion. Dies wurde am Kaninchenmodell mit einem selbstexpandierenden, aus Nintinol bestehenden Stabilisators erreicht [23]. Im weiteren Verlauf sind dann von Computer Motion, Intuitive Surgical und dem Forschungszentrum Karlsruhe Stabilisatoren entwickelt worden, die aufgrund beweglicher Füße mit Saugpads eine bessere und einfachere Platzierung erlauben. Durch weitere Verbesserung des Equipments konnte dann am Tiermodell eine totalendoskopische Bypassoperation am schlagenden Herzen mit ITA-Präparation, Arteriectomie und Anastomose an 7 von 10 Hunden erfolgreich durchgeführt werden [24]. Im Mai 1998 wurden mit einem Prototyp des da Vinci-Systems ein Teil einer Mitralkappenrekonstruktion sowie einzelne Schritte der Koronarchirurgie versucht [25]. Im Dezember 1998 wurde das System dann in die klinische Routine mit dem Schwerpunkt Koronarchirurgie eingeführt (Tabelle 3) [26]. In den meisten Fällen wurde das System zur endoskopischen A. mammaria interna-Präparation eingesetzt. Nach einer initialen Lernkurve, welche in allen Zentren durchlaufen wurde, liegt die Präparationszeit nunmehr zwischen 25 und 40 min. Die Technik der ITA-Präparation ist schon mehrfach im Detail anderswo beschrieben worden [27, 28]. Zusammenfassend werden die Patienten in Rückenlage mit 30° angewinkeltem linkem Oberkörper und einem unterhalb der Brustkorbebene ausgelagerten linken Arm positioniert. Die linke Lunge wird nicht mehr beatmet, und eine 30° abgewinkelte Optik über den vierten Interkostalraum (ICR) linksthorakal eingeführt. Kontinuierliche CO₂-Insufflation ermöglicht eine Vergrößerung des Arbeitsfeldes. Ein intrathorakaler Druck über 10 mmHg wird zwar hämodynamisch toleriert, Studien haben aber gezeigt, daß der rechtsventrikuläre Füllungsdruck steigt, mit einem daraus resultierenden abfallenden intrathorakalen Blutvolumenindex und reduzierter rechtsventrikulärer Ejektionsfraktion. Als Resultat sinken der Cardiac Index und der MAP



Abbildung 2: Zeus Surgical-Telesystem. Manipulator auf der Patientenseite.

mit reflektorischem Herzfrequenzanstieg [29]. CO₂-Insufflation ist für ein ausreichendes Platzangebot jedoch unabdingbar. Die Instrumentenports werden in den 3. und 6. Interkostalraum eingebracht. Die ITA wird gewöhnlich als Pedikel von der ersten Rippe bis zum 6. ICR mit einem Elektrokauter präpariert. Die endoskopische ITA-Präparation mit nachfolgender MIDCAB-OP ist nunmehr eine Standardprozedur geworden. Sie minimiert zum einen die linkslaterale Thorakotomie und reduziert zum anderen den Schmerz. Bis September 2001 sind 1337 ITA-Präparationen mit anschließender MIDCAB-OP laut Register der Firma Intuitive Surgical beschrieben worden (Tabelle 3), mit gleichen Offenheitsraten im Vergleich zur konventionellen MIDCAB-OP [30]. Die erste erfolgreiche TECAB-OP ist von Loulmet beschrieben worden [27]. Nach der ITA-Präparation wird ein Perikardfenster geschaffen und dann der LAD identifiziert. Nach Vollheparinisierung und temporärer ITA-Okklusion wird ein femoro-femorale Bypass mit dem Heart Port-Access-System für Closed chest-Koronarchirurgie am antegrad kardioplegierten Herzen angeschlossen. Die Anastomose wird dann mit einer fortlaufenden Naht vollendet. Mit dieser Technik sind bis September 2001 122 Fälle, meist 1fach-Revaskularisationen mit der LAD auf die ITA, durchgeführt worden (Tabelle 3) [28, 31, 32]. Bei wenigen Patienten ist die rechte ITA auf das rechte Koronargefäß anastomosiert worden, desweiteren gibt es einige Fallbeispiele über 2fach-TECAB-OPs [33]. Über eine linksparasternale Minithorakotomie im 2. ICR können beide ITAs endoskopisch präpariert und dann eine Mehrfach-Revaskularisation am kardioplegierten Herzen durchgeführt werden (Dresden-Technik) [34]. Reichenspurner war der erste, der am schlagenden Herzen mit dem Zeus-System über die Durchführung einer Anastomose endoskopisch mit Hilfe eines Stabilisators, eingebracht durch eine Minithorakotomie, berichten konnte [35]. Die Perikardiotomie, vaskuläre Okklusion und Präparation der LAD wurden manuell mit konventionellen Instrumenten durchgeführt. Die erste komplett endoskopische TECAB-Operation am schlagenden Herzen wurde mit dem da Vinci-System von der Leipziger Gruppe durchgeführt, indem ein endoskopischer Stabilisator über einen subxiphoidalen Port eingebracht wurde (Abb. 3) [36]. Insgesamt sind am schlagenden Herzen 80 TECAB-Operationen durchgeführt worden, ein großer Teil von der Dresdener Gruppe [37–39]. Die Konversionsrate (elektive Konversion zum MIDCAB) ist mit diesem Zugang momentan noch hoch (> 50 %), und die LAD-Okklusionszeit übertrifft die der MIDCAB-OPs um einiges. Die größten Probleme stellen sich in Form von exzessivem epikardialen Fett, LV-Dilatation, ausgeprägter Koronarverkalkung, dem Auffinden der bestgeeigneten Anastomosenstelle, inadäquater Anastomosenstabilisierung und Blutungen von Septalästen.

Mitralkappenchirurgie

Roboter-gesteuerte Positionierungsarme wie das AESOP-System werden in einigen Zentren routinemäßig bei der

Tabelle 3: Eine Übersicht über die weltweit mit dem da Vinci Intuitive Surgical-Telesystem durchgeführten herzchirurgischen Operationen (Quelle: Register der Company, Stand 10/2001). MIDCAB = minimally invasive direct coronary artery bypass, TECAB = total endoscopic coronary artery bypass

A. mammaria interna-Präparation + MIDCAB	1337
TECAB am kardioplegierten Herzen	121
TECAB am schlagenden Herzen	80
Mitralkappenrekonstruktionen	135
ASD-Verschuß	42

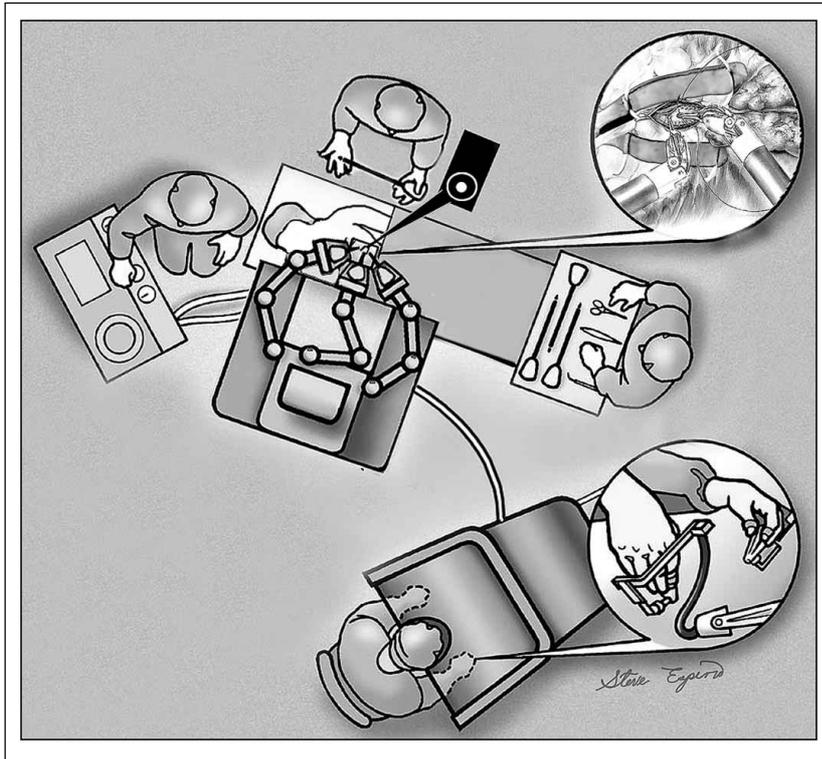


Abbildung 3: Setup des Telesystems; lupenvergrößert rechts oben ein endoskopischer Stabilisator auf das Zielgefäß (LAD) platziert, rechts unten die Instrumentengriffe.

minimalinvasiven Mitralklappenchirurgie eingesetzt [40]. Mit ausgereifteren Telesystemen gibt es weniger Erfahrung. La Pietra berichtet über einige Mitralklappenersatz-OPs mit dem Zeus-System an einer Kaninchenstudie. Die kritischen Teile der Operation, welche eine hohe Präzision erfordern (Einstechen der Nadeln durch den Klappenring, Knoten) sind jedoch immer außerhalb des Körpers von einem Assistenten manuell vorbereitet worden [41]. Mit dem da Vinci-System mit 2 zusätzlichen Freiheitsgraden konnten dann Mitralklappenrekonstruktionen komplett intrathorakal mit allen schwierigen Teilschritten der Rekonstruktion durchgeführt werden [42, 43]. Nach Anschluß eines femoro-femorales Bypasses wird im vierten rechten ICR eine kleine Minithorakotomie gemacht. Das Eröffnen des Perikardiums und das Platzieren von Haltenähten für eine bessere Übersicht geschehen manuell. Nach Aortenklammern mit dem Port-Access-System oder der transthorakalen Chitwood-Klemme wird der linke Vorhof eröffnet und ein Heartport-Retraktor eingebracht. Die Mitralklappenrekonstruktion mit der Ringimplantation wird ferngesteuert von der Masterkonsole operiert, der Verschluß des linken Vorhofs dann wieder manuell mit endoskopischen Standardinstrumenten. 25 von 26 Mitralklappen konnten so an unserem Institut rekonstruiert werden, weltweit 140 (Tabelle 3) [26, 43]. Die größte Limitation dieser OP-Methode stellt zur Zeit noch die unzureichende Möglichkeit der Mitralklappenexposition dar. Für eine komplett endoskopische OP müßte ein intraatriales Retraktor/Expander-System (aufblasbarer Ballon oder selbstexpandierender Stent) entwickelt werden. Lange hat einen totalendoskopischen Fall operiert. Das Problem der Mitralklappenexposition hat er durch Anbringen von Haltefäden, mit Patchmaterial verstärkt, gelöst.

Diskussion

Telesystemen sind entwickelt worden, um dem Operateur eine hohe Präzision bei beschränktem

Platzangebot zu bieten. In diesem Zusammenhang scheinen Endeffektoren mit sechs Freiheitsgraden dem Instrumentarium mit einer geringeren Bandbreite überlegen zu sein. Intelligente Mensch-Maschinen-Schnittstellen und Multilevel-Servokontroller erlauben eine genaues Arbeiten am Gewebe, abgesehen vom fehlenden feinen taktilen Feedback. Die 3-D-Technologie bietet eine hohe optische Auflösung, um kleine Strukturen wie Koronararterien zu visualisieren und zu manipulieren [44]. Vom heutigen Wissensstand und den hier präsentierten Daten kann man schließen, daß beide verfügbaren Telesystemen im klinischen Einsatz sicher sind. Die Operationszeiten sind verglichen mit den konventionellen Methoden verhältnismäßig lang, das Spektrum der operativen Eingriffe (1fach-Bypass zum LAD, gelegentlich 2fach-ACBs, Mitralklappenrekonstruktionen sowie einige ASD-Verschlässe [45]) ist noch relativ klein. Wie bei allen neuen Technologien mußte erst eine Lernkurve durchlaufen werden. Durch Minimierung des operativen Traumas (Sternotomie oder Thorakotomie werden vermieden) ist eine schnellere Rekonvaleszenz und Rückkehr zum alltäglichen Leben möglich, worauf bei

den publizierten Daten bisher wenig eingegangen wurde. Der Fokus der Entwicklung in der endoskopischen Koronar-chirurgie liegt zum einen in der Mehrfachrevaskularisation am kardioplegierten Herzen mit einem perkutan ange-schlossenen kardiopulmonalen Bypass, zum anderen in der Verbesserung der endoskopischen Beating heart-Chirurgie. Weitere Verbesserungen der endoskopischen Vakuum-stabilisatoren sowie neue Methoden der temporären Gefäßokklusion und Schaffung eines blutarmen OP-Feldes sind erforderlich. Für die Mehrfachgefäßrevaskularisation müssen Systeme entwickelt werden, die eine Exploration der Hinterwand ermöglichen. Für die Identifikation der Pathologie der LAD und das Aufsuchen der am besten geeigneten Stelle für die Anastomose sind bei fehlendem taktilen Feedback endoskopische Ultraschallsonden hilfreich [46].

Zukünftige Entwicklungen

Der Einsatz von Telesystemen eröffnet eine Reihe von Möglichkeiten im Bereich der Simulation, Ausbildung und Teilautomatisierung von Operationsabläufen. Die Erfahrungen mit dem klinischen Einsatz des Systems in der Herzchirurgie haben gezeigt, daß aufgrund einer neuen anatomischen Orientierung (endoskopische Sicht durch einen fixen Eintrittspunkt), des Arbeitens ohne Assistenz, mangelnden Force-Feedbacks und neuartiger, aus der offenen Chirurgie unbekannter Instrumenteninteraktionen eine erhebliche Lernkurve zu durchlaufen ist, die sich trotz konventioneller Ausbildung bei neuen Bedienern zu wiederholen scheint. Im Sinne einer Risikominimierung und zur Qualitätssteigerung erscheint daher ein Simulator-training angebracht. Das chirurgische Telesystem eignet sich als natürliches Medium für eine realitätsnahe Simulation, da die Steuerkonsole als Eingabegerät für den Bediener im Simulator wie im Operations-saal exakt gleich ist. In Zusammenarbeit mit dem Forschungs-zentrum Karlsruhe und der Firma Intuitive Surgical

ist ein Simulator entwickelt worden, der derzeit weltweit einmalig im Herzzentrum Leipzig zum Einsatz kommt. Das System birgt ferner ein enormes Potential, um zur Verbesserung der chirurgischen Ausbildung beizutragen. So ist es vorstellbar, daß über die Kopplung zweier Konsolen (Fahrschulmodell) chirurgische Techniken unter optimaler Kontrolle erlernt werden können. Ein derartiges Ausbildungskonzept, das die jahrhundertealte Tradition des „one to one apprenticeship“ revolutionieren kann, wird demnächst realisiert.

Literatur

- Clarke R. Asimovs laws for robotics: Implications for information technology. Part 1 and Part 2. *Computer* 1993; 53–61 and 1994: 57–65.
- Falk V, Walther T, Autschbach R, Diegeler A, Battellini R, Mohr FW. Robot assisted minimally invasive solo mitral valve operation. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1998; 115: 470–1.
- Schurr MO, Arezzo A, Buess GF. Robotics and systems technology for advanced endoscopic procedures: Experiences in general surgery. *Eur J Cardiothorac Surg* 1999; 16 (Suppl II): S97–S105.
- Bargar WL, Bauer A, Borner M. Primary and revision total hip replacement using the Robodoc system. *Clin Orthop* 1998; 354: 82–91.
- Vannier MW, Haller JW. Navigation in diagnosis and therapy. *Eur J Radiol* 1999; 31: 132–40.
- Goertz RC. Fundamentals of general-purpose remote manipulators. *Necleonics* 1952; 10: 36–45.
- Bejczy AK, Salisbury JK. Kinesthetic coupling for remote manipulators. *Comp Med Engeneering* 1983; 2: 48–62.
- Taylor RH, Lavallee S, Burdea GC, Mösger R. *Computer-integrated surgery. Technology and clinical applications.* Cambridge, The MIT Press 1996
- Taylor RH, Jensen M, Whitcomb L, Barnes S, Kumar R, Stoianovici D, Gupta S, Wang CX, deJuan E, Kavoussi L. A steady-hand robotic system for microsurgical augmentation. *Rob Res* 1999; 12: 1201–10.
- Green, Hill JW, Jensen JF, Schah A. Telepresence Surgery. *Proc IEEE Engng Med Biol* 1995: 324–9.
- Bowersox JC, Shah A, Jensen J, Hill J, Cordts PR, Green PS. Vascular applications of telepresence surgery: initial feasibility studies in swine. *J Vasc Surg* 1996; 23: 281–7.
- Bowersox JC, Cordts PR, LaPorta AJ. Use of an intuitive telemanipulator system for remote trauma surgery: an experimental study. *J Am Coll Surg* 1998; 186: 615–21.
- Schurr MO, Breitwieser H, Melzer A, Kunert W, Schmitt M, Vosges U, Buess G. Experimental telemanipulation in endoscopic surgery. *Surg Laparosc Endosc* 1996; 6: 167–75.
- Falk V, Mc Loughlin J, Guthart G, Sailsbury K, Walther T, Gummert JF, Mohr FW. Dexterity enhancement in endoscopic surgery by a computer controlled mechanical wrist. *Min Inv Therapy Allied Tech* 1999; 8: 235–42.
- Guthart GS, Salisbury JK. The Intuitive™ Telesurgery System: Overview and application. *Proc IEEE ICRA* 2000 in print.
- Falk V. Robotic Surgery. In: Yim AP, Hazelrigg SR, Izzat MB, Landreneau RJ, Mack MJ, Naunheim KS (eds). *Minimal Access Cardiothoracic Surgery.* WB Saunders, Philadelphia, 1999; 623–9.
- Damiano RJ, Ehrman WJ, Ducko CT, Tabaie HA, Stephenson ER, Kingsley CP, Chambers CE. initial united states clinical trial of robotically assisted coronary artery bypass grafting. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2000; 119: 77–82.
- Reichenspurner H, Damiano RJ, Mack M, Boehm DH, Gulbins H, Detter C, Meiser B, Ellgass R, Reichart B. Use of the voice-controlled and computer-assisted surgical system Zeus for endoscopic coronary artery bypass grafting. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1999; 118: 11–6.
- Ducko CT, Stephenson ER, Sachin S, Damiano RJ. Robotically-assisted coronary artery bypass surgery: Moving toward a completely endoscopic procedure. *Heart Surg Forum* 1999; 2: 29–37.
- Falk V, Gummert J, Walther T, Hayes M, Berry GJ, Mohr FW. Quality of Computer enhanced endoscopic coronary artery bypass graft anastomosis – Comparison to conventional technique. *Eur J Cardiothorac Surg* 1999; 13: 260–6.
- Stephenson ER, Ducko CT, Sankholkar MS, Hoenicke EM, Prophet GA, Damiano RJ. Computer-assisted endoscopic coronary artery bypass anastomosis: a chronic animal study. *Ann Thorac Surg* 1999; 68: 838–43.
- Falk V, Moll F, Rosa D, Daunt D, Diegeler A, Walther T, Mohr FW. Transabdominal endoscopic computer enhanced coronary artery bypass grafting. *Ann Thorac Surg* 1999; 68: 1555–7.
- Falk V, Diegeler A, Walther T, Löscher N, Vogel B, Ulmann C, Rauch T, Mohr FW. Endoscopic coronary artery bypass grafting on the beating heart using a computer enhanced telemanipulation system. *Heart Surg Forum* 1999; 2: 199–205.
- Falk V, Grünenfelder J, Fann JI, Daunt D, Burdon TA. Total endoscopic computer enhanced beating heart coronary artery bypass grafting. *Ann Thorac Surg* 2000; 70: 2029–33.
- Mohr FW, Falk V, Diegeler A, Autschbach R. Computer enhanced coronary artery bypass surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1999; 117: 1212–3.
- Mohr FW, Falk V, Diegeler A, Walther T, Bucerius J, Jacobs S, Autschbach R. Computer-enhanced robotic cardiac surgery – Experience in 148 patients. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2001; 121: 842–53.
- Loulmet D, Carpentier A, d’Attellis N, Mill F, Rosa D, Guthart G, Berrebi A, Cardon C, Ponzio O, Aupeple B. First endoscopic coronary artery bypass grafting using computer assisted instruments. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1999; 118: 4–10.
- Falk V, Diegeler A, Walther T, Banusch J, Brucerius J, Raumans J, Autschbach R, Mohr FW. Total endoscopic coronary artery bypass grafting. *Eur J Cardiothorac Surg* 2000; 17: 38–45.
- Raumanns J, Diegeler A, Falk V, Ender J, Petry A. Hemodynamic effects of CO2 insufflation under one lung ventilation for robot-guided surgery. *Anesth Analg* 2000; 90: SCA55.
- Diegeler A, Spyranis N, Matin M, Falk V, Walther T, Hambrecht R, Autschbach T, Mohr FW, Schuler G. The revive of surgical treatment for isolated proximal high grade LAD lesions by minimally invasive coronary artery bypass grafting. *Eur J Cardiothorac Surg* 2000; 17: 501–4.
- Kappert U, Cichon R, Schneider J, Guliemos V, Tugtekin SM, Matschke K, Schramm I, Schueler S. Robotic coronary artery surgery – The evolution of a new minimally invasive approach in coronary artery surgery. *Thorac Cardiovasc Surg* 2000; 48: 193–7.
- Dogan S, Wimmer-Greinecker G, Andreßen E, Mierdl S, Westphal K, Moritz A. Totally endoscopic coronary artery bypass (TECAB) grafting and closure of an atrial septal defect using the da Vinci system. *Thorac Cardiovasc Surg* 1999; 48 (Suppl I): 21.
- Kappert U, Cichon R, Schneider J, Schramm I, Guliemos V, Schueler S. Closed chest bilateral mammary artery grafting in double vessel coronary artery disease. *Ann Thorac Surg* 2000; 70: 1699–701.
- Cichon R, Kappert U, Schneider J, Schramm I, Guliemos V, Tugtekin SM, Schueler S. Robotically enhanced “Dresden Technique” with bilateral internal mammary artery grafting. *Thorac Cardiovasc Surg* 2000; 48: 189–92.
- Reichenspurner H, Boehm DH, Gulbins H, Detter C, Damiano R, Mack M, Reichart B. Robotically assisted endoscopic coronary artery bypass procedures without cardiopulmonary bypass. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1999; 118: 960–1.
- Falk V, Diegeler A, Walther T, Jacobs S, Raumans J, Mohr FW. Total endoscopic off-pump coronary artery bypass grafting. *Heart Surgical Forum* 2000; 3: 29–31.
- Kappert U, Schneider J, Cichon R, Guliemos V, Tugtekin SM, Matschke K, Schueler S. Development of robotic enhanced endoscopic surgery for the treatment of coronary artery disease. *Circulation* 2001; 104 (Suppl I): I-102–7.
- Boyd WD, Rayman R, Desai ND, Menkis AH, Dobowski W, Ganapathy S. Closed-chest coronary artery bypass grafting on the beating heart using a computer-enhanced surgical robotic system. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2000; 120: 807–9.
- Kappert U, Cichon R, Schneider J, Guliemos V, Tugtekin SM, Matschke K, Schramm I, Schuler S. Closed chest coronary artery bypass surgery on the beating heart with the use of a robotic system. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2000; 120: 809–11.
- Mohr FW, Onnasch JF, Falk V, Walther T, Diegeler A, Krakor R, Schneider F, Autschbach R. The evolution of minimally invasive mitral valve surgery – Two years experience. *Eur J Cardiothorac Surg* 1999; 13: 233–9.
- LaPietra A, Grossi EA, Derivaux CC, Applebaum RM, Hanjis CD, Ribakove GH, Galloway AC, Buttenheim PM, Steinberg BM, Culliford AT, Colvin SB. Robotic assisted instruments enhance minimally invasive mitral valve surgery. *Ann Thorac Surg* 2000; 70: 835–8.
- Carpentier A, Loulmet D, Aupeple B, Keiffer J, Tournay D, Fiemeyer A. Computer-assisted open heart surgery: first case operated on with success. *C R Acad Sci III* 1998; 321: 437–42.
- Falk V, Autschbach R, Walther T, Diegeler A, Chitwood WR, Mohr FW. Computer enhanced mitral valve surgery – Towards a total endoscopic procedure. *Sem Thorac Surg* 1999; 11: 244–9.
- Falk V, Mintz D, Grünenfelder J, Fann JI, Burdon TA. Influence of 3D vision on surgical telemanipulator performance. *Surg Endoscopy*, in print.
- Torraca L, Ismeno G, Alfieri O. Totally endoscopic atrial septal defect closure using robotic system: Report of two cases. *Ital Heart J* 2000; 1: 698–701.
- Falk V, Fann JI, Grünenfelder J, Burdon TA. Endoscopic Doppler for detecting vessels in closed chest bypass grafting. *Surg Endoscopy* 2001; 15: 1282–8.

Mitteilungen aus der Redaktion

Besuchen Sie unsere Rubrik

[Medizintechnik-Produkte](#)



Neues CRTD 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](#)