

FORSCHUNGSBERICHTE FÜR DIE PRAXIS

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. U. Boenick

- | | | |
|---------|-----------------------|--|
| BAND 1 | Christian Boosfeld | Messung der Belastung von Rollstühlen im Labor und Feld mit einem ortsunabhängigen Mikrocomputer-System
1988 · 184 Seiten · Kartoniert
€ 15,30 · SFr. 31,-
ISBN 3-7949-0493-1 |
| BAND 2 | Curt Kranz | Beitrag zur Entwicklung eines elastisch angepaßten Hüftendoprothesenschafftes
1989 · 152 Seiten · 65 Abbildungen · Kartoniert
€ 15,30 · SFr. 31,-
ISBN 3-7949-0501-6 |
| BAND 4 | Wolfram Rossdeutscher | Kommunikationshilfen für Schwerstbehinderte – Untersuchungen zum Einsatz von technischen Kommunikationshilfen unter besonderer Berücksichtigung von Personal Computern
1992 · 317 Seiten · 48 Abbildungen · Kartoniert
€ 24,60 · SFr. 49,90
ISBN 3-7949-0544-X |
| BAND 5 | Christian Klinger | Betriebsfestigkeitsprüfung von Rollstühlen auf einer wirklichkeitsnah profilierbaren Fahrbahnoberfläche
1993 · 172 Seiten · 80 Abbildungen · 12 Tabellen · Kartoniert
€ 15,30 · SFr. 31,-
ISBN 3-7949-0571-7 |
| BAND 6 | Karl-Heinz Götz | Beitrag zur rechnergestützten sicherheitstechnischen Prüfung von Geräten für die extrakorporale Blutreinigung
1995 · 150 Seiten · Zahlreiche Abbildungen · Kartoniert
€ 15,30 · SFr. 31,-
ISBN 3-7949-0600-4 |
| BAND 7 | Peter Kitzenmaier | Entwicklung verbesserter Verfahren für die Ableitung und Verarbeitung myoelektrischer Signale zur Steuerung von Rehabilitationshilfen
1994 · 180 Seiten · Zahlreiche Abbildungen · Kartoniert
€ 19,50 · SFr. 39,20
ISBN 3-7949-0591-1 |
| BAND 8 | Olaf H. Neubert | Knochenumbau nach Implantation von Femurhohlschaftprothesen
1996 · 85 Seiten · Zahlreiche Abbildungen · Kartoniert
€ 19,50 · SFr. 35,-
ISBN 3-7949-0616-0 |
| BAND 9 | Marc Kraft | Entwicklung eines multifunktionalen Prüfstandes und Durchführung vergleichender Untersuchungen an Ballonkathetern zur Dilatation von Koronararterien
2000 · 213 Seiten · Zahlreiche Abbildungen · Kartoniert
€ 24,60 · SFr. 44,50
ISBN 3-7949-0653-5 |
| BAND 10 | Michael Kühler | Methoden zur Entwicklung und Evaluierung von koronaren Implantaten mit Hilfe von konstruktionsmethodischen und qualitätssichernden Verfahren
2001 · 186 Seiten · Zahlreiche Abbildungen
€ 24,60 · SFr. 44,50
ISBN 3-7949-0668-3 |

Schiele & Schön

Das Wissen für morgen. Heute bei uns.

Fachverlag
 Schiele & Schön GmbH
 Berlin

Postfach 610280
 D-10924 Berlin

Telefon: (030) 25 37 52 – 25

Telefax: (030) 2 51 72 48

E-Mail: pavelec@schiele-schoen.de

Internet: www.schiele-schoen.de

Biomedizinische Technik

Gemeinschaftsorgan der Deutschen Gesellschaft für Biomedizinische Technik im VDE, der Schweizerischen und der Österreichischen Gesellschaften für Biomedizinische Technik

Organ of the German Society for Medical and Biological Engineering in VDE and the Austrian and Swiss Societies for Medical and Biomedical Engineering

Herausgeber/Editors:

Prof. Dr.-Ing. U. Boenick, Fachgebiet Biomedizinische Technik, Technische Universität Berlin, Dovesstr. 6, D-10587 Berlin

Prof. Dr. rer. nat. A. Bolz
Institut für Biomedizinische Technik, Universität Karlsruhe (TH)
Kaiserstr. 12, D-76128 Karlsruhe

Redaktion/Editorial Staff:

Prof. Dr.-Ing. U. Boenick
Fachgebiet Biomedizinische Technik
Technische Universität Berlin
Dovestraße 6, D-10587 Berlin
Tel. 030/31423388 (geschäftsführend)

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. H. Pessenhofer
Institut für Physiologie
Karl-Franzens-Universität Graz
Harrachgasse 21/5, A-8010 Graz
Telefon: +43 316 380 4267

Prof. Dr. phil. P. Bössiger
Universität und ETH Zürich
Institut für Biomedizinische Technik
Gloriastr. 35
CH-8092 Zürich

Wissenschaftlicher Beirat/Editorial Board:

Prof. Dr. rer. nat. G. Artmann, Aachen
OA Dr. med. B. Clasbrummel, Bochum
Prof. Dr. rer. nat. O. Dössel, Karlsruhe
Prof. Dr.-Ing. H. Ermert, Bochum
Prof. Dr. med. W. Friesdorf, Berlin
Prof. Dr. phil. H. Gilly, Wien
Prof. Dr.-Ing. J.-P. Güttler, Ulm
Prof. Dr. med. Hahn, Erlangen
Prof. Dr.-Ing. G. Henning, Ilmenau
Prof. Dr. techn. H. Hutten, Graz
Priv.-Doz. Dr. rer. physiol. T. Penzel, Marburg
Prof. Dr.-Ing. H.-D. Reidenbach, Köln
Prof. Dr.-Ing. K.-P. Schmitz, Rostock
Prof. Dr. med. J. Scholz, Berlin
Dr. med. M.-O. Schurr, Tübingen
Prof. Dr.-Ing. J. Werner, Bochum
Prof. Dr. med. Dr.-Ing. habil. E. Wintermantel, München
Prof. Dr. med. W. Wolf

Verlag/Publishing Company:

Fachverlag Schiele & Schön GmbH
Markgrafenstraße 11, D-10969 Berlin
Telefon 030/253752-0, Telefax 030/2517248

Inhalt/Contents:

Seite/Page

J. Harms, A. Schneider: Optoelektronisches Displaysystem für minimal-invasive laparoskopische Operationen: erste Erfahrungen mit einer neuen Face-Mounted-Display-Video-Brille	38
Optoelectronic Display System for Minimal Invasive Laparoscopic Surgery: First Experiences with a new Face-Mounted-Display Video Screen	
R. A. Blechschmidt-Trapp, O. Hohlfeld, R. Müller, R. Werthschützky: Piezoresistive Sensoren für medizinische Anwendungen am Beispiel einer Sonde zur Druckmessung im Enddarm	43
Piezoresistive Sensors in Medical Applications – A Sensor Probe for Rectal Manometry	
L. Abdelmalek, E. Hempel, A. Schmack, H. Fischer, A. Bolz: Entwicklung eines optischen 3-D-Positionsmeßsystems für die simultane Erfassung von 6 Freiheitsgraden	48
Development of an Optical 3-D-Position Measuring System for the Simultaneous Registration of 6 Degrees of Freedom	
U. Meier: The Grading of Normal Pressure Hydrocephalus	54
Die Graduierung des Normaldruckhydrozephalus	
Th. R. Knösche: Transformation of Whole-Head MEG Recordings Between Different Sensor Position	59
Transformation von Ganzkopf-MEG-Messungen zwischen verschiedenen Sensorpositionen	
D. Mateja, L. P. Müller, H. Hely, J. Degreif, P. M. Rommens: Der HEPFIEx-Simulator, eine Apparatur zur Bestimmung der Reibzahlen zwischen Hüftkopf-Prothesen und Knorpel	63
The HEPFIEx Simulator, an Equipment to Determine the Friction Between Hip Head-Prostheses and Cartilages	
Kongresse/Veranstaltungen	67

Hinweise für Autoren/Hints for Authors:

Eine Kurzfassung der Hinweise für Autoren befindet sich auf der 3. Umschlagseite dieses Heftes. Die ausführliche Fassung kann beim geschäftsführenden Redakteur oder beim Verlag angefordert werden.

Biomed. Technik
47 (2002), 38-42

J. Harms
A. Schneider

Optoelektronisches Displaysystem für minimal-invasive laparoskopische Operationen: erste Erfahrungen mit einer neuen Face-Mounted-Display-Videobrille

Optoelectronic Display System for Use in Minimally Invasive Laparoscopic Surgery: Initial Experience with a New Face-mounted Video Display

Technische Universität München, Klinikum r. d. Isar

Schlüsselwörter: Videobrille, Ergonomie, minimal-invasive Chirurgie, optische Hilfssysteme

Ein wichtiges Ziel bei der Verbesserung minimal-invasiver Operationsmöglichkeiten ist die Optimierung der Visualisation, die derzeit noch aufgrund der begrenzten Anzahl der Bildpunkte verwendeter Monitore und durch die Abhängigkeit von der optischen Achse unbefriedigend ist. Mit handelsüblichen und mit Verspiegelungstechnik ausgestatteten optischen Hilfssystemen konnte bisher weder eine Steigerung der optischen Qualität noch eine signifikante Erleichterung bzw. Verbesserung der chirurgischen Präzision während der diagnostischen Endoskopie bzw. laparoskopischer Operationen nachgewiesen werden [2, 3]. Innovationen im „Consumer-Videobereich“ mit der Verwendung einer neuartigen Prismentechnologie und einer hochauflösenden Bildschirmmatrix (180 000 Bildpunkte) ermöglichen eine hochwertige Wiedergabe der Bildqualität bei zudem begrenzter Verblendung des natürlichen Gesichtsfeldes (FMD-Eye-Trek 700°, Fa. Olympus Optical Co, Europe GmbH, Hamburg, Deutschland). Aufgrund obengenannter Problematik mit herkömmlichen optischen Hilfssystemen erfolgte erstmalig die Erprobung des FMD-Eye-Trek 700° während laparoskopischer Operationen ($n = 14$) und kombiniert laparoskopisch-endoskopischer Eingriffe ($n = 7$). Neben der optimierten Bildwiedergabequalität konnte während laparoskopischer und kombinierter laparoskopisch-endoskopischer Eingriffe eine dem physiologischen Wahrnehmungs-, Handlungs- und Untersuchungsablauf annähernd ähnliche Qualität der sensorischen und motorischen Freiheitsgrade nachgewiesen werden.

Key words: Face-mounted display - Ergonomics - Minimally invasive surgery - Optical devices

A major aspect of efforts to improve minimally invasive surgery is the optimization of visualization, which is currently unsatisfactory due to the limited number of pixels in the monitors used, and inadequate alignment of the optical axis. Optical systems provided with commercially available head-mounted displays have failed to improve optical quality and significantly facilitate or improve laparoscopic surgery [2,3]. Innovations in the field of consumer video using a new optical prism and a high-resolution matrix (180,000 pixels) are the core elements of a new face-mounted display (FMD-Eye-Trek 700°, Olympus Optical Co, Europe GmbH, Hamburg, Germany) that provides high image quality. This device has now been tested for the first time during laparoscopic procedures ($n=14$) and combined laparoscopic-endoscopic procedures ($n=7$) under clinical conditions. Impressive optical, ergonomic and surgeon-related benefits were established.

1 Einleitung

Die Visualisation des Operationssitus bei laparoskopischen Eingriffen ist auch heute noch u. a. durch die begrenzte Bildauflösung und die Anzahl verfügbarer Chip-Pixel handelsüblicher Monitore sowie durch die Abhängigkeit von der Übereinstimmung zwischen Sichtlinie und Arbeitsrichtung geprägt. Da es nicht immer möglich ist, den (die) verfügbaren Monitor(e) ideal zu platzieren, muß derzeit eine Abweichung zwischen optischer und motorischer Achse zwangsläufig akzeptiert werden. Für die resultierende sensomotorische Koordinationsstörung, die durch eine nicht zielgerechte und eine asynchrone manuelle Umsetzung charakterisiert ist, konnte bisher weder auf technischer noch auf optischer Ebene eine zufriedenstellende Approximation der Bezugsebenen realisiert werden

[1, 2, 3]. Ergonomische Untersuchungen haben gezeigt, daß Arbeitseffektivität und Präzision in der diagnostischen Endoskopie und der laparoskopischen Chirurgie verbessert werden können, wenn das repräsentative Videobild in freier Körperhaltung und in der optischen Verlängerung der Arm- und Instrumentenachse unterhalb der Hand des Endoskopikers bzw. Operators dargestellt wird [1, 2, 5]. Zu diesem Zweck wurden zahlreiche optische Hilfssysteme wie ViewSite®, OptiVu®, Direct Retinal Imaging® und Suspended Image® entwickelt und getestet [2]. Eine Entwicklung ist das FMD-Eye-Trek 700° (Fa. Olympus Optical Co, Europe GmbH, Hamburg, Deutschland), das hier erstmals unter klinischen Bedingungen bei laparoskopischen Eingriffen und während kombinierter laparoskopisch-endoskopischer Operationen eingesetzt wurde. Bei der Erprobung interessierte, ob mit dieser neuen Videob-

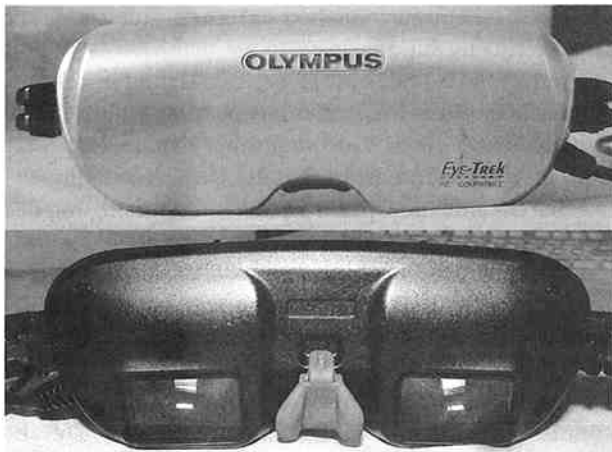


Bild 1. Videobrille „FMD-700 Eye-Trek®“ (Fa. Olympus Optical Co, Europe GmbH, Hamburg, Deutschland).

rille auf der Basis subjektiver Kriterien eine zumindest vergleichbare oder verbesserte Darstellung des Operationsgebietes im Vergleich zur herkömmlichen Monitorabbildung erzielt und ob auf die Aufstellung zusätzlich erforderlicher Monitorsysteme verzichtet werden kann bzw. ob ein erkennbarer ergonomischer Komfort für den Nutzer resultiert.

2 Material und Methoden

Die Videobrille wurde bei $n = 14$ laparoskopischen Eingriffen (Cholecystektomie $n = 5$, Fundoplikatio $n = 2$, erweiterte diagnostische Laparoskopie $n = 5$ und Dickdarmeingriffe $n = 2$) sowie bei laparoskopisch-endoskopisch assistierten Kombinationsverfahren am Kolon ($n = 7$) eingesetzt. Bei laparoskopischen Eingriffen trug der kameraführende Assistent die Videobrille, während bei Kombinationseingriffen der Endoskopiker mit dem FMD-Eye-Trek 700® ausgerüstet wurde.

Die Vielzahl technischer Hilfssysteme resultiert gerade bei den endoskopisch-laparoskopischen Kombinationseingriffen, verglichen mit der alleinigen laparoskopischen Operationstechnik, in einem deutlich erhöhten Platzbedarf am OP-Tisch. Die räumliche Beschränkung kann die gegenseitige Abstimmung, die visuelle Perzeption, die Gerätehandhabung und die

Durchführung der laparoskopischen und insbesondere der endoskopischen Maßnahmen erheblich beeinträchtigen. Wenn eine optoelektronische Sehhilfe geeignet wäre, einen Monitorturm zu ersetzen, wäre ein erheblicher Platzgewinn unmittelbar am OP-Tisch zu erzielen. Da bei Kombinationseingriffen dem Operateur und dem zusätzlich erforderlichen Endoskopiker zwei Videoquellen simultan zu Verfügung gestellt werden müssen, wurde auch die praktische Einsetzbarkeit des sogenannten Bildsplittings unter Verwendung der integrierten PIP-(Picture in Picture-)Technologie erprobt. Das FMD-Eye-Trek 700® mit einem Eigengewicht von 105 g ist ein in Brillenform tragbares Videomonitorsystem mit zwei LC-Displays zur virtuellen Vergrößerung von Videobildsignalen. Das Bild des Operationssitus wird mit einem Abstand von 23 mm (Abstand Netzhaut-Display) direkt über eine Videoschnittstelle projiziert. Das Brillensystem ist über eine Kabelverbindung mit einer externen Steuereinheit verbunden, über die individuell Bildkontrasteinstellung, Helligkeitsregelung, Negativdarstellung (Weißabbildung auf schwarzem Grund), Farbbalance und Bildschärferregulation entsprechend den individuellen Erfordernissen, auch bei Brillenträgern, ermöglicht werden. Analoge (PAL/NTSC) und digitale Signale können empfangen und dargestellt werden. Die Prismenoptik mit zweifacher Refraktionsebene anstelle von Konkavspiegelsystemen und die Darstellung von 180 000 Bildpunkten pro Display ermöglichen eine hohe Bildauflösung und Bildschärfe, mit der eine zweidimensionale Wahrnehmung des Operationsgebietes in der optischen Hauptachse des Operateurs ermöglicht wird. Den Nutzern wurde nach einer 10 Minuten andauernden Eingewöhnungszeit freigestellt, für die weitere Operationszeit entweder die Videobrille weiter zu verwenden oder aber die herkömmliche Monitorbetrachtung zu nutzen.

3 Ergebnisse

Die technische Funktion der Videobrillen war zu jedem Zeitpunkt der Erprobung gewährleistet. In allen Fällen verwendeten die Nutzer nach der Eingewöh-

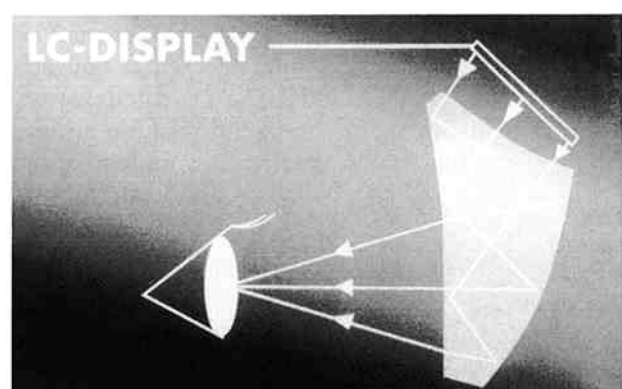
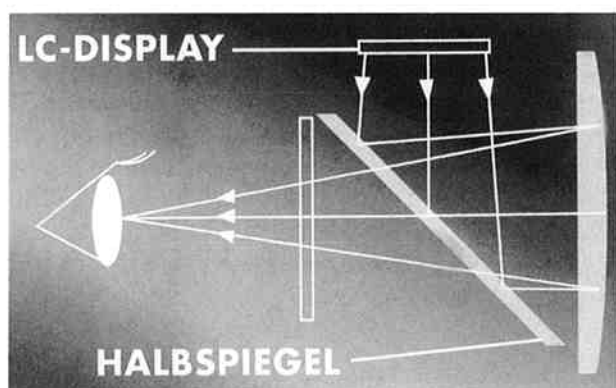


Bild 2. Darstellung des optischen Strahlengangs optoelektronischer Displaysysteme mit Konkavspiegel- (a) und Prismentechnologie (b).

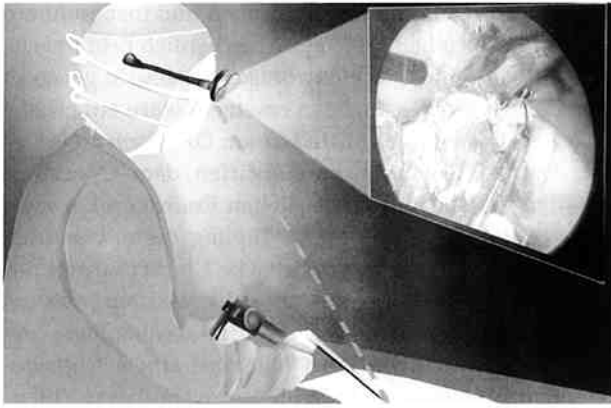


Bild 3. Idealierte Darstellung der intraoperativen Situation für den Operateur. Bei der Verwendung der FMD-Videobrille ermöglicht die unvollständige Abdeckung des Gesichtsfeldes neben der videoskopischen Betrachtung des Situs die notwendige Kontrolle des extrakorporalen Operationsfeldes.

nungsphase die Videobrille weiter. Die Bilddarstellung mit Nutzung des FMD-Eye-Trek 700[®] wurde gegenüber der herkömmlichen Videomonitordarstellung bevorzugt. Aufgrund der hohen Akzeptanz konnte nach den ersten 12 Fällen im Rahmen der weiteren Nutzung gänzlich auf die Aufstellung eines Zusatzmonitors verzichtet werden. Bis zu diesem Zeitpunkt noch direkt am OP-Tisch positionierte Endoskopie- bzw. Laparoskopie-Gerätetürme konnten folglich vom OP-Tisch disloziert und in der Peripherie aufgestellt werden. Durch das wesentlich größere Sichtfeld wurde das Einspiegeln des Zusatzbildes (Bildsplitting) auf dem FMD-Eye-Trek 700[®] im Gegensatz zu der Abbil-

dung auf einem zusätzlichen externen Monitor nicht als störend empfunden.

Andererseits erscheint jedoch aus Gründen der medizinischen Sicherheit zumindest die unmittelbare Verfügbarkeit eines Videomonitors erforderlich. Obwohl im System integriert, konnte wegen medizintechnischer Gründe die Option einer Funkübertragung des Videosignals nicht genutzt werden. Bezüglich der weiterführenden Entflechtung des Arbeitsfeldes oder aber der Tele- bzw. der Videopräsenz wäre hier bei Nutzung ein weiterer Zugewinn an Komfort mit Unabhängigkeit von der zentralen Versorgungsstation möglich.

Auch im Rahmen der diagnostischen Laparoskopie konnte von seiten des Operateurs bei der Durchführung der intraoperativen Ultraschalluntersuchung mit dem FMD-Eye-Trek 700[®] ein Zugewinn beobachtet werden. Unter Gewährleistung einer ständigen Kontrolle des Operationssitus entfällt bei der Betrachtung und der On-line-Beurteilung die bisher erforderliche Akkomodation auf das Ultraschall-B-Bild mit körperlicher Hinwendung auf den externen Monitor des Laparoskopieturms bzw. des Ultraschallgerätes.

Sämtliche ergonomischen Vorteile bezüglich einer Verbesserung der sensomotorischen Koordination bestätigten sich bei der praktischen Anwendung. Die in nur 23 mm Distanz dargestellte Videoabbildung des Operationsfeldes erscheint dem Betrachter auf einem Gesichtsfeld von 30 Grad mit einer virtuellen Distanz von 2 m. Das entspricht nach Vermessungen näherungsweise der realen Distanz von Operateur- und Instrumentenspitze einerseits bzw. Operateur- und Vi-

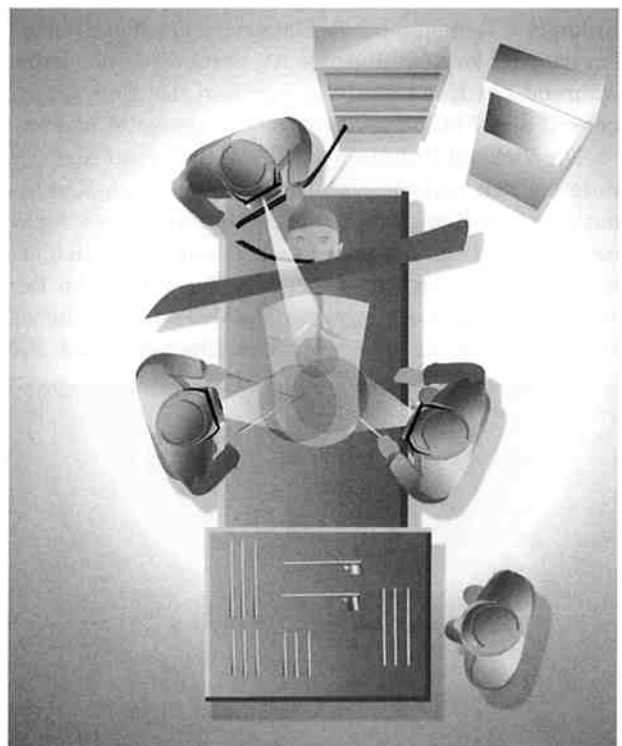
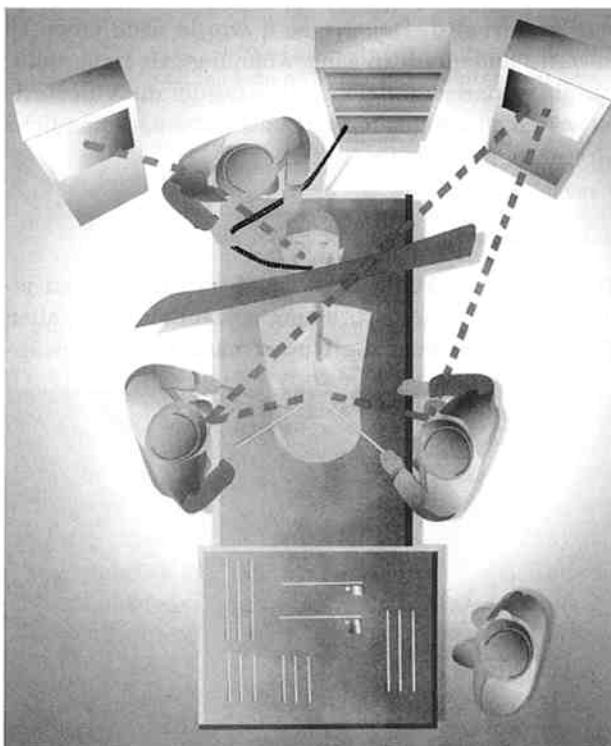


Bild 4. Vergleichende Darstellung des intraoperativen „Settings“ bei kombinierten „endoskopisch-laparoskopischen“ Eingriffen (a) ohne und (b) mit der Verwendung der videoskopischen Sehhilfe. Neben dem räumlichen Zugewinn resultiert bei Verwendung der Sehhilfen für alle beteiligten Akteure eine Approximation von optischer und motorischer Arbeitsachse.

deomonitor auf einem 130 cm × 130 cm (52 Zoll) großen Bildschirm andererseits. Mit der Nutzung der Videobrille durch den Operateur konnten die aus der Wahrnehmung der Bildinformation resultierenden instrumentellen Bewegungen harmonisiert und in physiologischer Arbeitsposition mit paralleler visueller und motorischer Achse durchgeführt werden. Von besonderem Vorteil für den Nutzer war, daß die den Arbeitsfluß unterbrechenden, störenden Blickabwendungen vom Operationsfeld und von den Instrumenten auf den Videomonitor nahezu vollständig entfallen. Andererseits war bei endoskopisch-laparoskopischen Eingriffen von seiten des Endoskopikers von Nachteil zu vermerken, daß die zeitliche Latenz und die Auflösung der LCD-Technologie insbesondere bei schnellen Uwendungsbewegungen als nicht zufriedenstellend empfunden wurden. In diesem Rahmen wurde bei der interventionellen Endoskopie und im Gegensatz zu den Feststellungen des laparoskopischen Operateurs auch kritisch bemerkt, daß gerade dann und bei zusätzlichen Manipulationen am Arbeitskanal des Endoskops (z. B. Einführen zusätzlicher Instrumente) insbesondere der Blick und die Kontrolle erforderlicher Module bei der Benutzung der optischen Sehhilfe eingeschränkt sind.

4 Diskussion

Optoelektronische Displays wurden ursprünglich für die Raumfahrt und für militärische Zwecke entwickelt. Neuerdings werden auch Einsatzmöglichkeiten in der Medizin untersucht. Über die Verwendbarkeit der hier eingesetzten Videobrille in der Medizin wurde erstmals im Rahmen der endoluminalen Endoskopie berichtet [6].

Die initiale endoskopische Erprobung zeigte, daß die Abbildungsqualität des Face-Mounted-Displays über derjenigen konventioneller Videomonitor liegt und daß bei Einsatz der Videobrille die Blickwinkelabhängigkeit von räumlichen Gegebenheiten entfällt [6]. Dies konnte insbesondere im Rahmen eigener Erfahrungen respektive o.g. Kritikpunkte von seiten des Endoskopikers bei kombinierten laparoskopisch-endoskopischen Kombinationseingriffen bestätigt werden. Als optische Systemlösung ermöglicht das FMD-Eye-Trek 700[®] dem Chirurgen eine von Haltings- und Untersuchungsposition unabhängige Wahrnehmung des Operationsfeldes entsprechend den Erfahrungen in der endoluminalen Endoskopie [6]. Herkömmliche Nachteile einer wiederholten Blickabwendung vom Operationsfeld mit der resultierenden Bildverzerrung und Einschränkung der sensomotorischen Koordination können vermieden werden. Das FMD-Eye-Trek 700[®] ist mit einem Gewicht von 105 g leicht und komfortabel auch über eine längere Operationszeit tragbar. Eigenen Eindrücken zufolge entfällt mit dem System im Vergleich zu anderen kommerziell angebotenen optoelektronischen Unterstützungssystemen z. B.

die als Beeinträchtigung empfundene Systemfixierung über einen zusätzlich erforderlichen Kopfbügel.

Die virtuelle Abbildungsebene des Displays in der optischen Hauptachse des Anwenders entspricht der Wahrnehmung der realen Distanz zwischen dem Nutzer und dem üblicherweise verwendeten (externen) Videomonitor einer- und der intrakorporalen Instrumentenspitze andererseits. Größenverhältnisse werden auch ohne direkte optische Vergrößerungsfunktion real und mit entsprechender Tiefenschärfe dargestellt. Durch die unvollständige Verdeckung des Gesichtsfeldes ist die reale Betrachtung des extrakorporalen Operationsfeldes bei einer Inklination um -30 bis -40 Grad von der optischen Horizontalen garantiert (Bild 3) [3, 4, 5].

Die dynamische Führung der Laparoscops durch den Assistenten (FMD-Eye-Trek 700[®]) kann von Nachteil für den Operateur sein, wenn er die Sehhilfe nicht benutzt, da wiederum synchrone korrigierende Kopfwangshaltungen erforderlich sind, um eine Diplopie bei der Betrachtung des externen Videobildes ohne Sehhilfe zu vermeiden. Dieses Problem kann nur durch die gleichzeitige Verwendung der Videobrille auch durch den Operateur ausgeschlossen werden.

Die aus der aktuellen Situation des „operativen Settings“ resultierende Dissoziation von optischer und motorischer Achse kann durch die Winkelfusion bei der Benutzung des FMD-Eye-Trek 700[®] auch durch den Operateur reduziert werden. Mit der Fusion von Blickrichtung und Instrumentenausrichtung für den Operateur werden die Ursachen wahrnehmungsbedingter und instrumenteller Fehlkoordination minimiert und die Arbeitsachsen parallelisiert.

Es muß festgestellt werden, daß auch die Entwicklungen optoelektronischer Hilfssysteme im „Consumer-Videobereich“ für die minimal-invasive Chirurgie von Gewinn sind. Unseren Erfahrungen zufolge ist das hier erprobte FMD-Eye-Trek 700[®] mit seiner hohen optischen Qualität, dem Benutzerkomfort und dem nur geringen Aufwand an individueller Umstellung und Anpassung im Vergleich zu anderen durch die Medizinindustrie vertriebenen optischen Hilfssystemen ein Zugewinn.

Mit der universellen Schnittstellenfähigkeit z. B. im Bereich der konventionellen bildgebenden Diagnostik und z. B. bei minimal-invasiv chirurgischen Tumorableitungsverfahren können fakultative Anwendungen resultieren, vor allem in den Fällen, in denen der Bedarf an zusätzlichen Gerätschaften und Raum zum limitierenden Faktor wird.

5 Zusammenfassung

Minimal-invasive chirurgische Therapieverfahren sind in der Medizin akzeptiert. Mit dem Ziel einer weiteren Reduktion des Eingriffstraumas und auch zur Ausweitung des Indikationspektrums erfolgt die instrumentelle Kombination intra- und extraluminarer Verfah-

ren im Sinne endoskopisch-laparoskopisch gestützter Interventionen. Bemühungen mit dem Ziel einer Verbesserung der Ergonomie treten bei dem erforderlichen technischen und instrumentellen Aufwand in den Hintergrund. Aufgrund des steigenden Technologiebedarfs resultiert zwangsläufig ein erhöhter Raumbedarf. In diesem Zusammenhang stellt die optimale individuelle und ergonomische Repräsentation des Videobildes für den Endoskopiker und den laparoskopisch tätigen Chirurgen ein ungelöstes Problem dar. Untersuchungen zur Ergonomie haben gezeigt, daß die Arbeitseffektivität und die Präzision in der diagnostischen Endoskopie und der laparoskopischen Chirurgie verbessert werden können, wenn das repräsentative Videobild in freier Körperhaltung und in der optischen Verlängerung der Arm- und Instrumentenachse unterhalb der Hand des Endoskopikers bzw. Operateurs dargestellt werden [1, 2, 5]. In Gebrauch befindliche optoelektronische Videosysteme tragen einerseits zu einer Vermehrung des technologischen Bedarfs bei, andererseits werden sie bisher durch ihr Design in der praktischen Anwendung als aufwendig und unkomfortabel bewertet. Mit der Hinwendung auf den „Consumer-Videobereich“ wurde unter obengenannten Gesichtspunkten als direkte optische Video-Sichthilfe das FMD-Eye-Trek 700® (Fa. Olympus Optical Co, Europe GmbH, Hamburg, Deutschland) während konventioneller und endoskopisch-laparoskopischer Operationen erprobt. Die Erfüllung der Zielkriterien einer optimalen individuellen Anpassung der Abbildungsqualität, einer Minimierung der sensomotorischen Fehlkoordination, einer Einsparung zusätzlicher externer Videobildquellen und einer Minimierung des Dyskomforts respektive obengenannter Einschränkungen kann aufgrund der eigenen Erfahrungen bei der Verwendung des FMD-Eye-Trek 700® als erwiesen gelten. Hiervon unberührt bleiben erforderliche Untersuchungen zur chirurgischen und endoskopischen Präzisionssteigerung bei Verwendung „optoelektronischer Videobrillen“. Im Rahmen der weiterführenden

Reduktion des Eingriffstraumas und der Hinwendung z. B. zu gänzlich intraluminal gestützten Therapieverfahren läßt sich mit Wahrscheinlichkeit davon ausgehen, daß die vorgestellte Technologie Gegenstand der Routineanwendung werden kann.

Danksagung

Für die Bereitstellung des Systems und die Durchführung der Erprobungen danken die Autoren der Fa. Olympus Optical Co, Europe GmbH, Hamburg, Deutschland, der FE Miti, der Chirurgischen und der II. Medizinischen Klinik, der Technischen Universität München, Klinikum r. d. Isar.

Literatur:

- [1] Breeveld, P., Stassen, H. G., Meijer, D. W., Stassen, L. P. S. (1999): Theoretical background and conceptual solution for depth perception and eye-hand coordination problems in laparoscopic surgery. *Min. Invas. & Allied Technol.*; 8 (4): 227.
- [2] Cuschieri, A. (2001): Neue Technologien in der laparoskopischen Chirurgie. *Chirurg.* 3: 252.
- [3] Geis, W. P. (1996): Head mounted video monitor for global visual access in mini-invasive surgery. An initial report. *Surg. Endosc.* 10 (7): 768.
- [4] Herron, D. M., Lanatis, J. C. 2nd, Maykel, J., Basu, C., Schwaitzberg, S. D. (1999): The 3-D monitor and head-mounted display. A quantitative evaluation of advanced laparoscopic viewing technologies. *Surg. Endosc.* 13 (8): 751.
- [5] Levy, M. L., Chen, J. C., Moffitt, K., Corber, Z., McComb, J. G. (1988): Stereoscopic head-mounted display incorporated into microsurgical procedures: technical note. *Neurosurg.* 43 (2): 392.
- [6] Yoshida, T., Inoue, H., Iwai, T. (2000): A new face-mounted display system: a pilot trial of clinical application in therapeutic endoscopy. *Endoscopy* 32 (12): 974.

1053

Korrespondenzanschrift:
Dr. J. Harms
Chirurgische Klinik und Poliklinik
Technische Universität München
Ismaningerstraße 22
D-81675 München
Tel.: 089/41 40 21 15
Fax: 089/41 40 48 23

Biomed. Technik
47 (2002), 43-47

R. A. Blechschmidt-
Trapp
O. Hohlfeld
R. Müller
R. Werthschützky

Piezoresistive Sensoren für medizinische Anwendungen am Beispiel einer Sonde zur Druckmessung im Enddarm

Piezoresistive Sensors for Medical Applications - A Sensor Probe for Rectal Manometry

*Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik,
Institut für Elektromechanische Konstruktionen*

Schlüsselwörter: Druckmessung, Druckprofil Enddarm, piezoresistive Sensoren, Diagnose Motilitätsstörungen

In diesem Beitrag wird eine Sonde zur Messung des dynamischen Druckprofils im Enddarm vorgestellt. Sie besteht aus 10 in einer Low-temperature-co-fired-Keramik montierten piezoresistiven Sensoren. Die Sensoren wurden zum Schutz vor Korrosion mit einem biokompatiblen Silikon vergossen. Die Keramik hat eine Grundfläche von 4,5 mm × 5,5 mm und eine Höhe von 1,4 mm. Die Sonde hat einen Durchmesser von 9 mm und eine Länge von 20 cm. Eine gesunde Testperson wurden untersucht. Die experimentellen Daten und die Analyse wichtiger Kennwerte wie Linearitäts- und Hysteresefehler, Temperaturabhängigkeit und Reproduzierbarkeit werden diskutiert. Die vorgestellte Sonde erweitert die bisherige anorektale Druckmessung, insbesondere im Hinblick auf die Diagnose von Motilitätsstörungen des Enddarmes.

Key words: Pressure measurement - Rectal pressure profile - Piezoresistive sensors - Motility disorders - Diagnosis

We described a pressure sensor probe suitable for assessing dynamic rectal pressure profiles. It comprises 10 piezoresistive sensors mounted in low-temperature co-fired ceramic. To protect against corrosion, the sensors are coated with a biocompatible silicone elastomer. The ceramic measures 4.5x5.5x1.4 mm. The entire probe has a diameter of 9 mm and a length of 20 cm. A healthy test subject was submitted to rectal manometry. The experimental data and analysis of linearity, hysteresis errors, temperature dependence and reproducibility are discussed. The sensor probe extends classical anorectal manometry, in particular with regard to the diagnosis of rectal motility disorders.

1 Einleitung und Motivation

Störungen der Mastdarmentleerung wie Stuhlinkontinenz und Obstipation belasten eine große Zahl von Menschen. Inkontinenz schränkt Patienten im täglichen Leben erheblich ein und kann zu völliger sozialer Isolation führen. Die Prävalenz der Inkontinenz in Deutschland liegt zwischen 12 % und 20 % [6]. Zuverlässige Angaben existieren kaum, da viele Patienten keine ärztliche Hilfe suchen.

Wie entstehen Störungen der Mastdarmentleerung?

Die Physiologie der Mastdarmentleerung besteht aus einem komplexen Zusammenspiel zwischen der Darmmuskulatur und dem analen Schließmuskel. Tritt Stuhl in den Mastdarm ein, wird die Darmwand gedehnt bzw. der intraluminaler Druck steigt an. Beide Effekte lösen den Entleerungsreflex aus: Die Darmmuskulatur beginnt sich systematisch zu kontrahieren und befördert den Darminhalt in Richtung Anus. Der

Vorgang – eine abwechselnde Kontraktion von Längs- und Quermuskulatur – wird peristaltische Welle genannt (Bild 1). Gleichzeitig erschlafft der Schließmuskel, und der Darminhalt wird entleert (Defäkation). Wesentlich für den koordinierten Ablauf ist ein gesundes Nervengeflecht in der Darmwand (Auerbach- und Meißner-Plexus).

Es existieren eine Reihe von pathologischen Störungen der Defäkation. Zum einen kann das Nervengeflecht betroffen sein (angeboren: Morbus Hirschsprung). Die resultierenden, unkoordinierten Darmkontraktionen befördern den Inhalt nicht mehr gezielt in eine Richtung oder führen sogar zu einer Verengung des Darmes mit folgendem Rückstau und massiver Dilatation.

Andererseits kann sich die Darmwand auf Grund einer Gewebeschwäche im Bereich des Enddarmes ausbeulen. In einer Ausbeulung verbleibt nach der Entleerung immer ein Rest Stuhl, der zu einer erhöhten Stuhlfrequenz führen kann und ein Nachschmieren begünstigt (Bild 3).

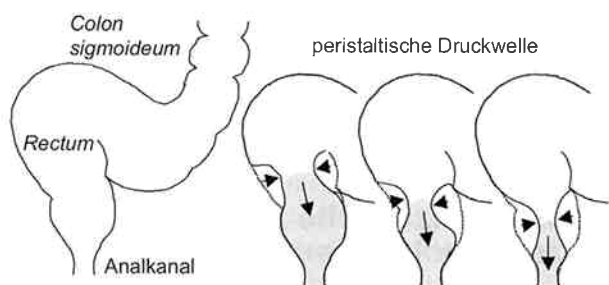


Bild 1. Ablauf einer peristaltischen Welle zur Darmentleerung.

Wie werden die genannten Störungen diagnostiziert?

Zur Zeit bieten die rektoanale Druckmessung, die Darmspiegelung (Rektoskopie), die Ableitung der Schließmuskelpotenziale (EMG des Sphincter ani), die bildliche Darstellung der Mastdarmentleerung (Defäkögraphie durch Röntgen oder Kernspintomographie) und die Ultraschallbildgebung (Endosonographie) ein breites Spektrum an Untersuchungen. Fürst et al. gibt eine Übersicht der aktuellen Beckenbodendiagnostik [4].

Wozu wird die hier vorgestellte Sonde benötigt?

Die Sonde erweitert das Diagnosespektrum der bisherigen rektoanal Druckmessung, die sich weitgehend auf Drücke des Schließmuskels und des gemittelten Druckes im Rectum beschränkt. Es gibt nur sehr wenige Forschergruppen, die sich mit dem Druckprofil des gesamten Rectums befassen [9]. Aus diesem Grund soll der dynamische Druckverlauf im Darm dargestellt werden, um so die obengenannten Störungen der Darmmotilität zu diagnostizieren. Besonders hervorzuheben ist, daß mit dem dynamischen Druckprofil Darmanteile identifiziert werden sollen, die nicht zur peristaltischen Welle beitragen bzw. diese stören, wie eine Rectocele.

Eine wesentliche Motivation für die Aufgabenstellung war die Bearbeitung der Thematik von Studierenden in vier Projektseminaren. PEM-Projektseminare bilden ein zentrales Element der Ausbildung am Institut für Elektromechanische Konstruktionen. PEM

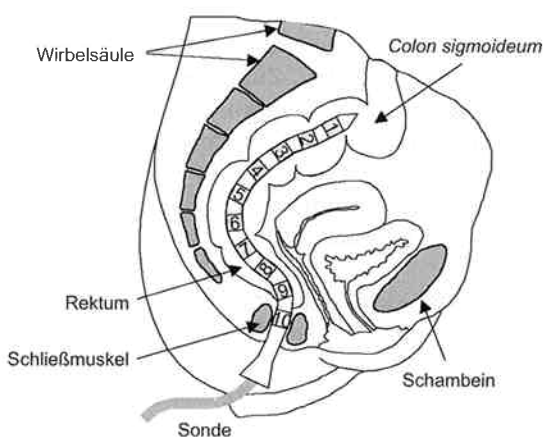


Bild 2. Anatomie des Beckens.

Tabelle 1. Anforderungen an die Sonde.

Anforderung	Wert
Größe	Durchmesser " 9 mm, Länge ≥ 20 cm
Druckbereich	0...100 kPa
Meßstellen	≥ 10
Gesamtfehler	$< 2,5$ % FS
Temperaturbereich	20 °C...45 °C
Abtastfrequenz	< 20 Hz
Biegeradius	5 cm
Gehäusung	Beständig gegenüber Darminhalt und sterilisierbar

FS = full-scale

steht dabei für Praktische Entwicklungsmethodik. In einem Team von mehreren Studierenden ist gemeinsam mit einem wissenschaftlichen Mitarbeiter oder Professor als Betreuer während eines Semesters eine Entwicklungsaufgabe zu bearbeiten und die erarbeitete Lösung zu realisieren. Die Schwerpunkte sind Teamarbeit bei der Lösung technischer und wissenschaftlicher Probleme, Anleitung zum methodischen Entwickeln, Erarbeiten von theoretischen und praktischen Fähigkeiten sowie die Präsentation und Dokumentation von Arbeitsergebnissen. Die Aufgabenstellung erwies sich als ideale Kombination von Elektronik, Sensorik, Mechanik, Technologie und Software.

2 Konstruktion der Sonde

Ziel dieses Projektes ist es, eine Sonde zur Darstellung der dynamischen Druckverläufe im Darm (Rectum und Colon sigmoideum, Bild 2) zu entwickeln. Die Sonde soll an 10 Meßstellen verteilt über 20 cm den Druck im Darm messen. Bei der Entwicklung eines solchen Medizinproduktes spielen vielfältige Anforderungskategorien eine Rolle. Die wichtigsten Kategorien sind meßtechnische, mechanisch-anatomische und sicherheitsrelevante Anforderungen (Tabelle 1). Im Folgenden soll, gegliedert nach den genannten Kategorien, die Umsetzung der Anforderungen beschrieben werden.

2.1 Meßtechnische Anforderungen

Nach Analyse aller in Frage kommenden Sensorprinzipien wurden Dehnungsmeßstreifen (DMS) und pie-

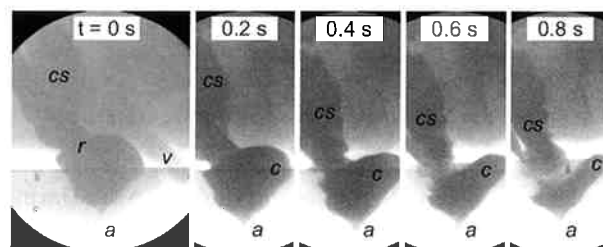


Bild 3. Defäkögraphie visualisiert die Darmbewegungen mit einem Kontrasteinlauf im Röntgenbild (schwarz). Die Bilder zeigen den Zeitverlauf der Darmentleerung über 0,8 Sekunden: r Rectum, cs Colon sigmoideum, a Analkanal, v Vagina. Im letzten Bild zeigt sich deutlich eine Ausbuchtung nach vorn (c Rectocele).