

U. D. A. Müller-Richter¹ · A. Limberger² · P. Weber³ · M. Schilling²

¹Abteilung für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie,
Universitätsklinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten, Homburg, Saar

²Abteilung für Allgemein-, Abdominal- und Kinderchirurgie,
Universitätsklinik und Poliklinik für Chirurgie, Homburg, Saar

³Fraunhofer Institut für Biomedizinische Technik (IBMT), St. Ingbert

Vergleichende Untersuchung räumlicher Darstellungsverfahren in der Stereoendoskopie

Zusammenfassung

Fragestellung: Die zweidimensionale Darstellung von Stereoendoskopievideobildern und die dreidimensionale Darstellung mit Polarisationsgläsern sowie die dreidimensionale Darstellung mit einem autostereoskopischen Display wurden verglichen, um mögliche Vorteile eines dieser Verfahren zu beleuchten.

Material und Methode: 59 endoskopisch unerfahrenen Testpersonen wurden 3 unterschiedlich schwierige Übungsaufgaben gestellt, die sie mit endoskopischen Instrumenten durchführen mussten. Bei den einzelnen Aufgaben kamen jeweils die unterschiedlichen Darstellungsarten der Stereoendoskopiebilder zum Einsatz. Es wurden verschiedene Parameter wie Geschwindigkeit beim Lösen der Aufgabe, Genauigkeit und absolvierte Menge erhoben. Die gewonnenen Daten wurden statistisch mit deskriptiven und vergleichenden Methoden ausgewertet und verglichen.

Ergebnisse: Weder das Geschlecht noch die Händigkeit noch der Grad der Stereopsie hatten einen signifikanten Einfluss auf die Ergebnisse der einzelnen Aufgaben. Die 3 Darstellungsverfahren unterschieden sich hinsichtlich der Testergebnisse nicht signifikant.

Schlussfolgerung: Alle 3 Darstellungsverfahren lieferten vergleichbare Ergebnisse. Ein besonderer Vorteil eines Verfahrens war nicht nachweisbar. Hinsichtlich einer abschließenden Beurteilung der Möglichkeiten einer räumlichen Darstellung in der Endoskopie bleiben die Entwicklungen in der Endoskopietechnologie (z. B. bei der Bildgewinnung) abzuwarten.

Schlüsselwörter

Stereoendoskopie · Räumliche Darstellung · Bild gebende Verfahren · Visualisierung

In den vergangenen Jahren hat sich die Endoskopie in den verschiedensten chirurgischen Disziplinen immer mehr zu einem Standardverfahren entwickelt [2, 10, 25]. Die fortschreitende Miniaturisierung der dabei zum Einsatz kommenden Geräte und der Einsatz neuer Werkstoffe, die z. B. den Bau flexibler Endoskope möglich machen, haben das Anwendungsgebiet deutlich erweitert. Im Kopf-Hals-Bereich werden Endoskope v. a. im Bereich des Pharynx bzw. Larynx (z. B. bei der Panendoskopie) [25], bei der Chirurgie der Nasennebenhöhlen [10] und bei Operationen an der Schädelbasis [2] eingesetzt. Im Mund-, Kiefer- und Gesichtsbereich wurde zuletzt von Ducic [8], Rohner et al. [22], Sandler [23] sowie Sandler et al. [24] vermehrt über endoskopisch unterstützte Frakturversorgungen bzw. Umstellungsosteotomien berichtet.

Neben dem Instrumentarium sind realistische Darstellungsverfahren von großer Bedeutung. Ein realistisches Darstellungsverfahren zeichnet sich dadurch aus, dass es den wiedergegebenen Operationssitus möglichst genau in Form, Struktur, Farbe und seiner räumlichen Tiefe darstellt. Besonders im Bereich der räumlichen dreidimensionalen Darstellung von Endoskopiebildern hat

es in den letzten Jahren einige Neuerungen gegeben. So wurden z. B. BUESS-Stereoendoskopoptiken eingeführt [29], die eine Stereoansicht des untersuchten Gebiets ermöglichen. Die räumliche Darstellung dieser Bilder erfolgte bisher in der Regel mit Head-mounted-Displays (HMD) oder mit Polarisationsbrillen [26]. Der Nachteil dieser Verfahren ist, dass der Operateur ein weiteres Hilfsmittel in Form einer Art von Brille benötigt, um den räumlichen Eindruck zu erhalten. Seit kurzer Zeit stehen so genannte stereoskopische Displays zur Verfügung [18], die eine räumliche Wiedergabe ohne zusätzliche Hilfsmittel auf einem TFT (thin film transistor)-Bildschirm ermöglichen. Da ein Vergleich über die Genauigkeit der verschiedenen Techniken beim Einsatz der Stereoendoskopie bisher nicht vorliegt, war es das Ziel dieser Untersuchung, die Auswirkungen von

- zweidimensionaler Darstellung,
- dreidimensionaler Darstellung mit einer Polarisationsbrille und
- dreidimensionaler Darstellung mit einem autostereoskopischen Display

Online publiziert: 1. Mai 2003
© Springer-Verlag 2003

Dr. U. D. A. Müller-Richter
Abteilung für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie,
Universitätsklinik und Poliklinik
für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten,
66421 Homburg, Saar,
Tel.: 06841-1624925, Fax: 06841-1624955,
E-mail: mueller-richter@web.de

U. D. A. Müller-Richter · A. Limberger ·
P. Weber · M. Schilling

Comparative study of spatial imaging techniques in stereo-endoscopy

Abstract

Purpose: This study compares the two-dimensional presentation of stereo-endoscopic video data with three-dimensional presentation using polarization glasses and three-dimensional presentation with an autostereoscopic display. The aim of this study was to evaluate possible advantages of the three display technologies.

Material und Methods: Fifty-nine test persons untrained in endoscopy had to complete three endoscopic tasks with different levels of difficulty. Each test involved a new presentation method. Different measurements were noted such as speed of task completion, accuracy of task performance, and quantity of solved tasks. The data collected were statistically evaluated.

Results: Neither sex, handedness, nor level of stereopsis had any statistically significant impact on the test results. The differences between the three presentation methods of stereo-endoscopic pictures were not statistically significant.

Conclusion: Similar results were achieved with all three presentation methods. None of the presentation methods was significantly superior in the values measured. A final assessment of the possibilities of spatial endoscopy should await future technological developments in endoscopic devices (e.g., picture acquisition).

Keywords

Stereo-endoscopy · Spatial presentation ·
Imaging · Visualization

Originalien

auf die erfolgreiche Durchführung endoskopischer Übungsaufgaben zu vergleichen.

Material und Methode

Probanden

Bei den Probanden handelte es sich um Medizinstudenten (25 männliche und 34 weibliche Teilnehmer, $n=59$) im klinischen Abschnitt des Studiums ohne Erfahrungen im Umgang mit endoskopischen Instrumenten, die von Oktober 2001 – Februar 2002 an den Versuchen teilnahmen.

Die Probanden wurden mit dem Stereopsietest „Stereo Tests“ der Fa. Stereo Optical Co., Inc. (3539 N. Kenton Avenue, Chicago, IL 60641, USA) auf verminderte Stereopsie getestet. Ein Teilnehmer galt ab einer Abweichung von mehr als 140 Bogensekunden als vermindert räumlich sehend. Von den 59 Testpersonen waren nach diesem Test 12 als vermindert stereopsiefähig und somit in ihrem räumlichen Sehen eingeschränkt einzustufen.

Weiterhin wurden die Probanden in Rechts- (50) und Linkshänder (9) unterschieden.

Da die Testpersonen keine Erfahrungen mit endoskopischen Instrumenten hatten, wurden sie vor Beginn der Übungsaufgaben mit der Handhabung der Videoptik und der Faszange vertraut gemacht.

Übungsaufgaben

In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Biomedizinische Technik (IMBT) in St. Ingbert wurden 3 Tests mit unterschiedlichem Schwierigkeitsgrad entwickelt. Die Tests befanden sich in einem Endoskopietrainer, sodass die Probanden keinen direkten Blickkontakt mit den Tests hatten (Abb. 1).

- Beim 1. Test mussten die Probanden innerhalb von 3 min so viele Maiskörner wie möglich greifen und in eine bereitgestellte Schale legen. Gemessen wurde die Menge der Maiskörner, die sich nach 3 min in der Schale befand (M1).
- Beim 2. Test mussten Metallpins aus einem L-förmigen Metallkörper gezogen und in die vorbereiteten Löcher umgesteckt werden. Die kurze Seite des Metallkörpers war senkrecht und die lange Seite parallel zur Tisch-

ebene. Die Pins waren in 2 unterschiedlichen Stärken vorhanden, die zu den vorgebohrten Löchern im Metallkörper passten. An der kurzen Seite des Metallkörpers befanden sich 5 Bohrungen (3 kleine und 2 große Bohrungen), in die zu Beginn des Versuchs 5 Pins gesteckt wurden. Der Proband musste diese Pins innerhalb von 3 min ziehen und versuchen, sie in die vorhandenen Bohrlöcher der richtigen Größe zu stecken, die sich auf der langen Seite des Metallkörpers befinden. Gemessen wurden die Anzahl der erfolgreich umgesetzten Pins (M2a) und die Anzahl der herausgezogenen Pins (M2b).

- Im Rahmen des 3. Tests musste ein Metallring gegriffen und um einen in horizontaler Richtung gebogenen Metalldraht geführt werden, ohne dass dieser berührt wurde. Die Drahtstrecke musste 2-mal absolviert werden (hin und zurück). Berührte der Ring den Draht; erfolgte ein akustisches Signal. Der Draht war parallel zur Tischebene und wies orthogonal vom Probanden weg. Die maximale Zeitdauer für den Versuch betrug 3 min. Es erfolgte eine subjektive Einschätzung der Versuchsleiter über die Häufigkeit der Berührungen. Gemessen wurden die benötigte Zeit (T3), die Anzahl der Berührungen (B3) und die absolvierte Strecke (M3).

Technische Geräte

Karl-Storz-3D-Set; 21“-Version

Das System besteht aus:

- Tricam-SL-3D-Set
- 3D-Computermonitor
- 3D-Shutter-Kit
- Isolationstransformator
- 3D-Demultiplexer
- 3D-Scan-Converter

Als Endoskop wird ein Stereoendoskop mit einer 0° -Optik verwendet.

Dresdner-3D-Display (D4D)

Das Display arbeitet mit einem autostereoskopischen System zur räumlichen Wiedergabe dreidimensionaler Geometriedaten oder Stereobilder, das die Unterstützung durch Shutter-glasses, 3D-Helme und ähnliche Hilfsmittel überflüssig macht [17]. Die dreidimensionale Bildwahrnehmung wird dadurch ermöglicht, dass jedes Auge eine eigene, von anderen verschiedene Bildinformation erhält (Stereoalbbilder), die intrazerebral zu einem Gesamtbild ver-



Abb. 1 ◀ Darstellung des Versuchsaufbaus mit den verschiedenen Bildwiedergabesystemen: Storz-3D-Videomonitor (links), Dresdner-3D-Display (rechts), vorn Endoskopie-trainer

schmolzen werden [16, 18]. Das Dresdner-3D-Display enthält ein flaches 18,1“-TFT-LCD-Display, das ein natürliches Bild erzeugt. Die durch das Display fallenden Strahlen treffen auf eine Prismenmaske, die das Prinzip der Lichtbrechung nutzt und damit jeweils ein für jedes Auge unterschiedliches Bild projiziert. Um dem Betrachter die Möglichkeit zu geben, sich vor dem Bildschirm zu bewegen, ohne den dreidimensionalen Bildeindruck zu verlieren, verfügt das Display über ein Eye-tracking-System. Mit Hilfe von 2 Kameras als Head-eye-Finder auf der Basis von Echtzeitbildverarbeitung werden die Pupillen der Betrachteraugen (Betrachterposition) ermittelt und die beiden Stereohalb Bilder dem Betrachter nachführt. In der vorliegenden Anwendung werden die Videobilder durch das Endoskopiesystem der Fa. Storz in Halbbilder aufgeteilt, sodass diese auf das Display umgeleitet werden können.

Statistische Auswertung

Für das Gesamtkollektiv und die Untergruppen „Geschlecht“, „Händigkeit“ und „vorhandene Stereopsie“ wurden die einzelnen Messwerte aufgezeichnet. Ebenso wurden die verschiedenen Ausprägungen der Messvariablen bei der Verwendung der 3 Darstellungsverfahren

„zweidimensionale Darstellung“, „dreidimensionale Darstellung mit Polarisationsbrille“ und „dreidimensionale Darstellung mit dem autostereoskopischen Dresdner-3D-Display“ aufgezeichnet.

Für die Auswertung der gewonnenen Messwerte wurde deskriptive Statistik (Minimal- und Maximalwert, Mittelwert und Standardabweichung) und entsprechend der Verteilung der Daten vergleichende Statistik (nichtparametrischer U-Test nach Mann und Whitney, t-Test) eingesetzt.

Ergebnisse

Zwischen den 3 verschiedenen Untergruppen bestanden keine großen Schwankungen, die Ergebnisse lagen eng beieinander. In Tabelle 1, 2, 3, 4 und 5 sind die Ergebnisse für die einzelnen Variablen der verschiedenen Gruppen dargestellt. Bei der Untersuchung auf bestehende Abhängigkeiten der Ausprägungen der Werte der Variablen wie Geschlecht, Händigkeit oder Stereopsie zeigte sich lediglich beim Vergleich der Messwerte zwischen den Geschlechtern nur hinsichtlich der gezogenen Pins in Test 2 ein signifikanter Unterschied zwischen Männern und Frauen (Tabelle 6). Die Männer erreichten bei dieser Aufgabe im Mittel einen Wert von 3,63 gezogenen Pins, die Frauen einen Mittelwert von 2,97 Pins. Die Männer schnitten in diesem Versuch folglich besser ab.

Des Weiteren besteht ein signifikanter Unterschied zwischen der absolvierten Menge bei Rechts- und Linkshändern in Test 3 (Tabelle 6). Rechtshänder erreichten einen Wert von 3,94, Linkshänder einen Wert von 3,56. Bei diesem Ergebnis, das zugunsten der Rechtshänder ausfällt, muss die im Verhältnis viel geringere Anzahl von Linkshändern berücksichtigt werden (50:9).

Beim Vergleich der Messwerte zwischen Normalsichtigen und Probanden mit verminderter Stereopsie ließ sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Werten der Messvariablen feststellen.

Bei der Beurteilung des Einflusses der 3 Darstellungsverfahren auf die Testergebnisse zeigte sich, dass zwischen der zweidimensionalen und der dreidimen-

Tabelle 1

Ausprägung der Variablen innerhalb des Gesamtkollektivs (n=59)

Variablen	Gültige Fälle ^a	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
M1	57	3	31	16,46	7,32
M2a	58	0	5	1,50	1,23
M2b	58	1	5	3,24	1,13
T3	58	00:00:15	00:03:00	00:01:34	00:00:44
B3	58	1	4	2,71	1,08
M3	58	2	4	3,88	0,46

M1 Anzahl der platzierten Maiskörner, M2a Anzahl der umgesteckten Metallpins, M2b Anzahl der herausgezogenen Metallpins, T3 benötigte Zeit für Test 3, B3 subjektive Berührungsmenge bei Test 3 (1: sehr wenig; 2: wenig; 3: viel; 4: sehr viel), M3 absolvierte Menge des Tests 3 (1=0%; 2=33%; 3=66%; 4=100%)

^aEine Gesamtzahl <59 ist durch fehlende Daten bedingt

Tabelle 2

Ausprägung der Variablen bei Männern (n=24) und Frauen (n=35)

Variablen	Gültige Fälle ^a		Minimum		Maximum		Mittelwert		Standardabweichung	
	m	w	m	w	m	w	m	w	m	w
M1	24	33	5	3	31	30	18,54	14,94	8,41	6,12
M2a	24	34	0	0	5	4	1,79	1,29	1,41	1,06
M2b	24	33	1	1	5	5	3,63	2,97	1,21	1,00
T3	24	34	00:00:15	00:00:35	00:03:00	00:03:00	00:01:39	00:01:32	00:00:40	00:00:47
B3	24	34	1	1	4	4	2,63	2,76	1,13	1,05
M3	24	3	3	2	2	44	3,92	3,85	0,41	0,50

M1 Anzahl der platzierten Maiskörner, M2a Anzahl der umgesteckten Metallpins, M2b Anzahl der herausgezogenen Metallpins, T3 benötigte Zeit für Test 3, B3 subjektive Berührungsmenge bei Test 3 (1: sehr wenig; 2: wenig; 3: viel; 4: sehr viel), M3 absolvierte Menge des Tests 3 (1=0%; 2=33%; 3=66%; 4=100%)

^aEine Gesamtzahl <59 ist durch fehlende Daten bedingt

Tabelle 3

Ausprägung der Variablen bei Rechts- (n=50) und Linkshändern (n=9)

Variablen	Gültige Fälle ^a		Minimum		Maximum		Mittelwert		Standardabweichung	
	r	l	r	l	r	l	r	l	r	l
M1	49	8	5	3	31	24	16,98	13,25	7,25	7,52
M2a	49	9	0	0	4	5	1,47	1,67	1,17	1,58
M2b	49	9	1	2	5	5	3,16	3,67	1,14	1,00
T3	49	9	00:00:15	00:00:36	00:03:00	00:03:00	00:01:34	00:01:39	00:00:42	00:00:56
B3	49	9	1	1	4	4	2,65	3,00	1,05	1,22
M3	49	9	2	2	4	4	3,94	3,56	0,32	0,88

M1 Anzahl der platzierten Maiskörner, M2a Anzahl der umgesteckten Metallpins, M2b Anzahl der herausgezogenen Metallpins, T3 benötigte Zeit für Test 3, B3 subjektive Berührungsmenge bei Test 3 (1: sehr wenig; 2: wenig; 3: viel; 4: sehr viel), M3 absolvierte Menge des Tests 3 (1=0%; 2=33%; 3=66%; 4=100%)

^aEine Gesamtzahl <59 ist durch fehlende Daten bedingt

Tabelle 4

Ausprägung der Variablen bei Teilnehmern mit normaler (n=47) und verminderter Stereopsie (n=12)

Variablen	Gültige Fälle ^a		Minimum		Maximum		Mittelwert		Standardabweichung	
	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein
M1	45	12	6	3	31	31	16,93	14,67	6,87	8,94
M2a	46	12	0	0	5	3	1,57	1,25	1,26	1,14
M2b	46	12	1	1	5	5	3,30	3,00	1,13	1,13
T3	46	12	00:00:15	00:00:48	00:03:00	00:03:00	00:01:33	00:01:40	00:00:450	0:00:42
B3	46	12	1	1	4	4	2,70	2,75	1,09	1,06
M3	46	12	2	2	4	4	3,89	3,83	0,43	0,58

M1 Anzahl der platzierten Maiskörner, M2a Anzahl der umgesteckten Metallpins, M2b Anzahl der herausgezogenen Metallpins, T3 benötigte Zeit für Test 3, B3 subjektive Berührungsmenge bei Test 3 (1: sehr wenig; 2: wenig; 3: viel; 4: sehr viel), M3 absolvierte Menge des Tests 3 (1=0%; 2=33%; 3=66%; 4=100%)

^aEine Gesamtzahl <59 ist durch fehlende Daten bedingt

sionalen Darstellung mit der Polarisationsbrille keine signifikanten Unterschiede bestanden (Tabelle 7). Beim Vergleich der zweidimensionalen Darstellung und der dreidimensionalen Darstellung des Dresden-3D-Displays be-

standen jedoch signifikante Unterschiede hinsichtlich der benötigten Zeit in Test 3 und bei der Einschätzung des Schwierigkeitsgrads von Test 3. Die durchschnittlich benötigte Zeit betrug bei der zweidimensionalen Darstellung

00:01:18 min und bei der dreidimensionalen Darstellung mit dem Dresden-3D-Display 00:01:49 min. Die Probanden, die diesen Test mit der zweidimensionalen Darstellung absolvierten, konnten ihn schneller durchführen.

Tabelle 5

Ausprägung der Variablen zwischen den verschiedenen Darstellungsverfahren

Variablen	Storz 2D			Storz 3D			Dresden 3D		
	Fälle ^a	MW	SD	Fälle ^a	MW	SD	Fälle ^a	MW	SD
M1	23	17,50	7,92	18	16,50	7,03	16	14,62	6,81
M2a	17	1,59	1,28	22	1,82	1,22	19	1,05	1,13
M2b	17	3,41	1,23	22	3,59	1,05	19	2,68	0,95
T3	17	00:01:18	00:00:35	17	00:01:32	00:00:51	24	00:01:49	00:00:42
B3	17	2,76	1,09	17	2,65	1,17	24	2,71	1,04
M3	17	4,00	0,00	17	3,94	0,24	24	3,75	0,68

M1 Anzahl der platzierten Maiskörner, M2a Anzahl der umgesteckten Metallpins, M2b Anzahl der herausgezogenen Metallpins, T3 benötigte Zeit für Test 3, B3 subjektive Berührungsmenge bei Test 3 (1: sehr wenig; 2: wenig; 3: viel; 4: sehr viel), M3 absolvierte Menge des Tests 3 (1=0%; 2=33%; 3=66%; 4=100%)

^aEine Gesamtzahl <59 ist durch fehlende Daten bedingt

Tabelle 6

Unterschiede zwischen den Ausprägungen der Variablen in Abhängigkeit von Geschlecht, Händigkeit und Grad der Stereopsie^a

Variablen	Signifikanz Geschlecht	Signifikanz Händigkeit	Signifikanz Stereopsie
M1	0,099	0,223	0,427
M2a	0,174	0,903	0,482
M2b	0,028	0,208	0,443
T3	0,343	0,923	0,687
B3	0,652	0,338	0,905
M3	0,506	0,045	0,810

M1 Anzahl der platzierten Maiskörner, M2a Anzahl der umgesteckten Metallpins, M2b Anzahl der herausgezogenen Metallpins, T3 benötigte Zeit für Test 3, B3 subjektive Berührungsmenge bei Test 3 (1: sehr wenig; 2: wenig; 3: viel; 4: sehr viel), M3 absolvierte Menge des Tests 3 (1=0%; 2=33%; 3=66%; 4=100%)

^aDie Werte sind als p-Werte mit zweiseitiger asymptotischer Signifikanz angegeben; signifikante Werte sind fett dargestellt

Die Testpersonen gaben für die Schwierigkeitseinschätzung von Test 3 bei der zweidimensionalen Darstellung einen durchschnittlichen Wert von 2,35 an. Bei der dreidimensionalen Darstellung mit dem Dresdner-3D-Display betrug der Wert 2,91. Die Probanden, die den Test 3 mit der zweidimensionalen Darstellung absolvierten, empfanden den Test als einfacher.

Beim Vergleich der dreidimensionalen Darstellung mittels Polarisationsbrille und Dresdner-3D-Display bestanden signifikante Unterschiede zwischen den Ergebnissen der Messwerte „absol-

vierte Pins“ (M2a) und „gezogene Pins“ (M2b) aus Test 2. Die Probanden, die den Test 2 mit der Polarisationsbrille durchführten, erzielten die durchschnittlichen Ergebnisse M2a: 1,82 und M2b: 3,59. Die Testpersonen, die den Test 2 mit dem Dresdner-3D-Display absolvierten, erreichten durchschnittliche Ergebnisse von M2a: 1,05 und M2b: 2,68.

Die dreidimensionale Darstellung mittels Polarisationsbrille schnitt in diesem Versuch besser ab als die dreidimensionale Darstellung mit dem Dresdner-3D-Display.

Diskussion

Die vorliegende Untersuchung zeigte, dass die Unterschiede zwischen den Gruppen „Geschlecht“, „Händigkeit“, „Grad der Stereopsie“ oder „verwendete Darstellungsart“ gering waren. Weder das Geschlecht noch die Rechts- oder Linkshändigkeit oder das Vorliegen einer eingeschränkten Stereopsiefähigkeit hatten einen signifikanten Einfluss auf das Testergebnis. Ebenso bleibt festzustellen, dass auch der Vergleich der Daten bei der Anwendung der 3 Darstellungsvarianten zweidimensionale Darstellung, dreidimensionale Darstellung mittels Polarisationsbrille oder dreidimensionale Darstellung mit dem autostereoskopischen Display keine signifikanten Vorteile oder Nachteile einer Darstellungsvariante gegenüber den anderen Methoden belegen konnte.

Dies stimmt mit den Angaben anderer Autoren überein, die zweidimensionale Darstellungsverfahren mit dreidimensionalen Darstellungsverfahren

mittels Polarisationsgläsern oder Head-mounted-Displays verglichen [3, 4, 5, 6, 7, 9, 12, 14, 15, 19, 20, 21, 27, 28, 31]. Nur in etwa der Hälfte der Untersuchungen konnte ein Vorteil der dreidimensionalen Darstellung gegenüber der zweidimensionalen Darstellung festgestellt werden. Die andere Hälfte der Untersuchungen fand entweder keinen Vorteil der räum-

Tabelle 7

Unterschiede zwischen den Ausprägungen der Variablen in Abhängigkeit vom verwendeten Darstellungsverfahren^a

Variable	Signifikanz Storz 2D zu Storz 3D	Signifikanz Storz 2D zu Dresden 3D	Signifikanz Storz 3D zu Dresden 3D
M1	0,626	0,301	0,479
S1	0,693	0,288	0,388
M2a	0,629	0,213	0,041
M2b	0,536	0,051	0,005
S2	0,898	0,389	0,494
T3	0,502	0,025	0,218
B3	0,775	0,868	0,902
M3	0,317	0,135	0,440
S3	0,210	0,030	0,276

M1 Anzahl der platzierten Maiskörner, M2a Anzahl der umgesteckten Metallpins, M2b Anzahl der herausgezogenen Metallpins, T3 benötigte Zeit für Test 3, B3 subjektive Berührungsmenge bei Test 3 (1: sehr wenig; 2: wenig; 3: viel; 4: sehr viel), M3 absolvierte Menge des Tests 3 (1=0%; 2=33%; 3=66%; 4=100%), S1,2,3 subjektive Einschätzung der Schwierigkeit des Versuchs 1, 2, 3

^aDie Werte sind als p-Werte mit zweiseitiger asymptotischer Signifikanz angegeben; signifikante Werte sind fett dargestellt

lichen Darstellung oder konnte sogar Nachteile derselben aufzeigen.

Auch die Anwendung der neuen Technik der autostereoskopischen Displays hat offensichtlich keinen entscheidenden Vorteil gegenüber der reinen zweidimensionalen Darstellung auf einem Videobildschirm.

Dies legt die Vermutung nahe, dass ein prinzipielles Problem bei der räumlichen Wiedergabe von Bilddaten besteht. Dieses Problem kann entweder durch die Akquirierung der Bilddaten oder durch die Art ihrer Wiedergabe bedingt sein [26]. Bei Betrachtung der physiologischen Grundlagen der räumlichen Bildwahrnehmung [11, 30] ist festzustellen, dass für einen wirklichen räumlichen dreidimensionalen Bildeindruck egozentrische und relative Tiefenmerkmale sowie so genannte „pictorial cues“ notwendig sind. Diese Merkmale werden bei der Bildgewinnung durch Stereoendoskope nur z. T. mit erfasst und dem Betrachter übermittelt.

Zu den egozentrischen Tiefenmerkmalen zählen v. a. die Konvergenz und die Längsdisparation. Die wichtigsten relativen Tiefenmerkmale sind die Querdisparation und die Bewegungsparallaxe. Zu den „pictorial cues“ zählen die Überlappung, die (bekannte) Objektgröße und der Schattenwurf. Unter der Konvergenz bzw. dem Konvergenzwinkel versteht man die Stellung der beiden Bulbi zueinander, damit ein betrachtetes Objekt im Schnittpunkt der Sehsachsen liegt. Bei der Längsdisparation macht sich das menschliche Gehirn die unterschiedliche Lage der Augen zu einem Objekt zu Nutze, um die eigene Entfernung zu diesem abzuschätzen [11, 30].

Bei einem Stereoendoskop, bei dem 2 Kameras in einer konstanten (sehr geringen) Entfernung in einem festen Winkel zueinander stehen, können v. a. die egozentrischen Tiefenmerkmale nicht erfasst werden. Durch die enge Position der Kameras zueinander und die relative Nähe der Objekte ist der Blickwinkel sehr ähnlich, und die Längsdisparation ist sehr gering. Dadurch, dass zum einen der Winkel der beiden Kameras zueinander (Kamerakonvergenzwinkel) feststeht und zum anderen dieser Winkel nicht mit dem Konvergenzwinkel der Augen korreliert, da diese nicht auf das Operationsgebiet eingestellt sind, sondern auf den Bildschirm gerichtet sind, fehlt auch diese egozentrische

Tiefeninformation. Die relativen Tiefeninformationen Querdisparation und Bewegungsparallaxe sind dagegen bei der Gewinnung der Stereoendoskopbilder verfügbar. Sie können sogar durch eine geringe zeitliche Wiedergabe der Bilder verstärkt werden. Ebenso sind die „pictorial cues“, mit Ausnahme des Schattenwurfs, in den Bildern der Stereoendoskope vorhanden. Weil die Lichtquelle meist konzentrisch um die Videokameras angeordnet ist, erfolgt der Schattenwurf der angeleuchteten Objekte in Blickrichtung vom Betrachter weg. Demzufolge sind die erzeugten Schatten entweder nicht zu sehen oder für eine Tiefeninformation nicht verwertbar. Untersuchungen mit exzentrischen Lichtquellen konnten zeigen, dass bei operativen Aufgaben durch eine derartige Lichtanordnung eine Verbesserung erzielt werden kann [1, 13].

Diese Einschränkungen der Stereoendoskope erklären, dass bisher kein signifikanter Vorteil durch räumliche Darstellungen von Stereoendoskopiebildern gegenüber einer zweidimensionalen Darstellung belegt werden konnte. Die relativen Tiefeninformationen sind zwar vorhanden und ermöglichen einen räumlichen Eindruck, aber es fehlen die egozentrischen Tiefeninformationen. Ohne die egozentrischen Tiefeninformationen ist es dem Betrachter nicht möglich, eine absolute Einschätzung seiner Entfernung zum dargestellten Objekt bzw. die absolute Entfernung zweier Objekte zueinander wahrzunehmen. Ohne diese Beziehung ist die Information, die durch die bisherigen räumlichen Bildwiedergabesysteme vermittelt wird, für den Benutzer nur geringfügig besser als bei einer rein zweidimensionalen Darstellung.

Um dem Betrachter einen wirklich räumlichen Eindruck zu vermitteln, müssen Verbesserungen v. a. bei der Bildgewinnung und der automatisierten Steuerung der Bildgewinnung erreicht werden. Neue Entwicklungen hierzu befinden sich jedoch meist erst im Experimentalstadium. Insbesondere sind hier die Verbesserungen bei Endoskopen zu nennen, die eine andere Beleuchtungsform verwenden. Weiterhin geben die Entwicklungen im Bereich der steuerbaren Endoskope Anlass zu der Hoffnung, dass die Miniaturisierung so weit fortschreitet, dass einzeln ansteuerbare Kameras in einem Endoskop mit akzeptablem Durchmesser möglich werden.

Literatur

1. Arezzo A, Kees T, Kunert W, De Gregori M, Buess G (2000) [Shadow optic. An endoscope with optimized lighth]. *Chir Ital* 52: 451–453
2. Bachert C, Verhaeghe B, Cauwenberge P van, Daele J (2000) Endoscopic endonasal surgery (EES) in skull base repairs and CSF leakage. *Acta Otorhinolaryngol Belg* 54: 179–189
3. Becker H, Melzer A, Schurr MO, Buess G (1993) 3-D video techniques in endoscopic surgery. *Endosc Surg Allied Technol* 1: 40–46
4. Birkett DH, Josephs LG, Este-McDonald J (1994) A new 3-D laparoscope in gastrointestinal surgery. *Surg Endosc* 8: 1448–1451
5. Chan AC, Chung SC, Yim AP, Lau JY, Ng EK, Li AK (1997) Comparison of two-dimensional vs three-dimensional camera systems in laparoscopic surgery. *Surg Endosc* 11: 438–440
6. Crosthwaite G, Chung T, Dunkley P, Shimi S, Cuschieri A (1995) Comparison of direct vision and electronic two- and three-dimensional display systems on surgical task efficiency in endoscopic surgery. *Br J Surg* 82: 849–851
7. Dion YM, Gaillard F (1997) Visual integration of data and basic motor skills under laparoscopy. Influence of 2-D and 3-D video-camera systems. *Surg Endosc* 11: 995–1000
8. Ducic Y (2001) Endoscopically assisted diagnosis and treatment of maxillofacial fractures. *J Otolaryngol* 30: 149–153
9. Hanna GB, Shimi SM, Cuschieri A (1998) Randomised study of influence of two-dimensional versus three-dimensional imaging on performance of laparoscopic cholecystectomy. *Lancet* 351: 248–251
10. Har-El G (2001) Endoscopic management of 108 sinus mucoceles. *Laryngoscope* 111: 2131–2134
11. Hofmeister J, Frank TG, Cuschieri A, Wade NJ (2001) Perceptual aspects of two-dimensional and stereoscopic display techniques in endoscopic surgery: review and current problems. *Semin Laparosc Surg* 8: 12–24
12. Jones DB, Brewer JD, Soper NJ (1996) The influence of three-dimensional video systems on laparoscopic task performance. *Surg Laparosc Endosc* 6: 191–197
13. Kunert W, Flemming E, Schurr MO, Buess GF (1997) [Optics with natural appearing added illumination]. *Langenbecks Arch Chir Suppl Kongressbd* 114: 1232–1234
14. McDougall EM, Soble JJ, Wolf JS Jr, Nakada SY, Elashry OM, Clayman RV (1996) Comparison of three-dimensional and two-dimensional laparoscopic video systems. *J Endourol* 10: 371–374
15. Mueller MD, Camartin C, Dreher E, Hanggi W (1999) Three-dimensional laparoscopy. Gadget or progress? A randomized trial on the efficacy of three-dimensional laparoscopy. *Surg Endosc* 13: 469–472
16. Muller-Richter UD, Ruprecht KW (2001) Bessere Auswertung von HRT-Aufnahmen durch dreidimensionale Darstellung. *Ophthalmologe* 98: 859–863

17. Muller-Richter UD, Malig HJ, Schwerdtner A, Lang M, Hille K, Ruprecht KW (1999) Erste klinische Erfahrungen mit dem Dresdner 3D-Display als Zusatz zum Heidelberg-Retina-Tomograph (HRT). *Klin Monatsbl Augenheilkd* 215: 182–185
18. Muller-Richter UD, Malig HJ, Schwerdtner A, Lang M, Hille K, Ruprecht KW (2000) Three-dimensional analysis of measurements of the Heidelberg Retina Tomograph. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 238: 746–751
19. Muller-Richter UD, Limberger A, Weber P, Spitzer WJ, Schilling M (2003) Comparison between three-dimensional presentation of endoscopic procedures with polarisation glasses and an autostereoscopic display. *Surg Endosc* 17: 502–504
20. Peitgen K, Walz MV, Walz MV, Holtmann G, Eigler FW (1996) A prospective randomized experimental evaluation of three-dimensional imaging in laparoscopy. *Gastrointest Endosc* 44: 262–267
21. Pietrabissa A, Scarcello E, Carobbi A, Mosca F (1994) Three-dimensional versus two-dimensional video system for the trained endoscopic surgeon and the beginner. *Endosc Surg Allied Technol* 2: 315–317
22. Rohner D, Yeow V, Hammer B (2001) Endoscopically assisted Le Fort I osteotomy. *J Cranio-maxillofac Surg* 29: 360–365
23. Sandler NA (2001) Endoscopic-assisted reduction and fixation of a mandibular subcondylar fracture: report of a case. *J Oral Maxillofac Surg* 59: 1479–1482
24. Sandler NA, Carrau RL, Ochs MW, Beatty RL (1999) The use of maxillary sinus endoscopy in the diagnosis of orbital floor fractures. *J Oral Maxillofac Surg* 57: 399–403
25. Sasaki CT, Jassin B (2001) Cancer of the pharynx and larynx. *Am J Med [Suppl 8A]* 111: 118S–123S
26. Schwaitzberg SD (2001) Imaging systems in minimally invasive surgery. *Semin Laparosc Surg* 8: 3–11
27. Taffinder N, Smith SG, Huber J, Russell RC, Darzi A (1999) The effect of a second-generation 3D endoscope on the laparoscopic precision of novices and experienced surgeons. *Surg Endosc* 13: 1087–1092
28. Van Bergen P, Kunert W, Bessell J, Buess GF (1998) Comparative study of two-dimensional and three-dimensional vision systems for minimally invasive surgery. *Surg Endosc* 12: 948–954
29. Van Bergen P, Kunert W, Buess GF (1999) Three-dimensional (3-D) video systems: bi-channel or single-channel optics? *Endoscopy* 31: 732–737
30. Wade NJ, Swanston M (1991) *An introduction to visual perception*. Routledge, London
31. Wenzl R, Lehner R, Vry U, Pateisky N, Sevelde P, Husslein P (1994) Three-dimensional video-endoscopy: clinical use in gynaecological laparoscopy. *Lancet* 344: 1621–1622