

Interdisziplinäre Forschung und Anwendung von Grundlagenwissen für endoskopische Tätigkeiten in der Urologie

von

Willem B. Verwey und Felix Klimmer

Zusammenfassung

Es wird von drei Experimenten berichtet, die dem Ziel dienen, Richtlinien für das optimale Arbeiten mit Endoskopen in der Urologie zu erarbeiten. In der Urologie werden endoskopische Tätigkeiten wahlweise unter Direktsicht durch das Endoskopokular oder mit Videounterstützung durch visuelle Darbietung des Bildes über einen Monitor durchgeführt. Ergebnisse aus dem ersten Experiment zeigten, dass sich bei Videounterstützung eine bessere Leistung ergibt als bei Direktsicht durch das Okular. Dies zielt in die gleiche Richtung wie frühere Empfehlungen, einen Monitor zu verwenden, um die Rückenbelastung bei Chirurgen während der Endoskopie zu verringern. Im zweiten Experiment konnte gezeigt werden, dass unter Leistungsaspekten die optimale Position des Monitors ungefähr 45° links oder rechts vom Operateur ist. Dagegen war bei kleineren Winkeln (z. B. 10°) oder größeren Winkeln (z. B. 90°) die Leistung eingeschränkt. Im dritten Experiment wurde gezeigt, dass zum Erlernen endoskopischer Fertigkeiten der kontinuierliche Wechsel unterschiedlicher Aufgaben beim Training zu besseren Lernerfolgen führt als bei geblocktem Lernen. Diese Befunde zeigen auch, wie wichtig es bei derartigen ergonomischen Fragenkomplexen ist, dass die Erarbeitung von Vorschlägen zur Arbeitsplatzgestaltung auf Erkenntnissen aus mehreren Disziplinen basiert und wie wichtig die Einbeziehung von Grundlagenforschung und Grundlagenwissen ist, um das

Problem unter unterschiedlichen Perspektiven zu bearbeiten und zu ausgewogenen Richtlinien kommen zu können.

1 Einführung

Die Aufgabe des Instituts für Arbeitsphysiologie an der Universität Dortmund (*IfADo*) besteht zum einen darin, die Erarbeitung von Grundlagenkenntnissen voranzutreiben, und zum anderen, diese auf eine interdisziplinäre Art und Weise für den präventiven Arbeitsschutz aufzubereiten und anzuwenden. Ein wichtiges Ziel dieses Artikels ist daher, Vorteile aufzuzeigen, die sich durch eine Verbindung sowohl von Grundlagenforschung und angewandter Forschung als auch durch eine Zusammenarbeit unterschiedlicher Disziplinen ergeben können. Dies soll an einem Beispiel aus dem Gebiet der minimal-invasiven Chirurgie, speziell der Endoskopie, ausführlicher dargestellt werden, da gerade dort die Fähigkeiten des Menschen, sensomotorische Fertigkeiten zu entwickeln, eine große Rolle spielen.

Mit einem Endoskop ist es möglich, durch nur kleine Körperöffnungen eine medizinische Diagnose zu stellen bzw. kleinere operative Eingriffe durchzuführen. Damit müssen zur Vorbereitung der Operation keine größeren Einschnitte vorgenommen werden. Das Endoskop ist ein schlankes, längliches Instrument, das durch eine Körperöffnung oder einen kleinen Einschnitt in das Operationsgebiet eingeführt wird

und das ein optisches System mit einer Lichtquelle enthält. Durch das Endoskop kann der Chirurg das Operationsumfeld sehen, aber er kann damit auch kleinere Operationen durchführen, weil andere Geräte wie Zangen, Messer und Greifer mit dem Endoskop in das Operationsgebiet eingebracht werden können.

Die Arbeit mit dem Endoskop ist grundsätzlich auf zweierlei Art und Weise möglich. Zum einen kann bei der 'Direktsichtendoskopie' die Beobachtung des Operationsgebietes und der durchgeführten Tätigkeit direkt durch das Endoskopokular erfolgen. Zum anderen wird in zunehmendem Maße Videotechnik zur Unterstützung eingesetzt, um das visuelle Feedback und die notwendigen Körperhaltungen zu verbessern. Bei dieser 'Videoendoskopie' gibt es verschiedene Möglichkeiten der Beobachtung des Operationsgebietes, wie z. B. Übertragung des Endoskopbildes auf Videomonitor über oder neben dem Patienten, oder stereoskopische Darstellungen des Operationsgebietes mit Hilfe spezieller Brillen (Calvano et al. 1998; Levy et al. 1998).

Beim Einsatz gängiger Endoskopietechnologie, sei es Direktsicht- oder Videoendoskopie, ergeben sich Einschränkungen u. a. aus der Beobachtung (z. B. enge Sichtbedingungen, mangelhafte Übertragung oder Darbietung des Endoskopbildes, schlechte Bildauflösung, geringer Kontrast des Monitors, ungünstige Beleuchtung) oder aus der Handhabung (z. B. reduziertes taktiles und propriozeptives Feedback bei den Greifbewegungen der Hand) (Tendick et al. 1993). Weitere Probleme stellen eingeschränktes Tiefensehen (Hanna et al. 1998; Pietrabissa et al. 1994) und schlechte räumliche Orientierungsmöglichkeiten (Laporte 1999) dar.

Ergonomische Studien, die in den vergangenen Jahren am *IfADo* in enger Zusammenarbeit mit erfahrenen Urologen durchgeführt wurden, zeigten, dass sich bei Di-

rektsichtendoskopie für die Operateure eine höhere Muskelbeanspruchung im Rücken ergibt als bei Videoendoskopie (Luttmann et al. 1996a,b; 1998). Diese höhere Muskelbeanspruchung geht meist einher mit nachlassender Konzentration und reduzierter Leistungsfähigkeit. Diese Befunde führten zu der Empfehlung, verstärkt Videoendoskopie einzusetzen, nicht zuletzt auch, weil es durch die Videounterstützung zu einem geringeren Kontakt des Operateurs mit Blut und Urin kommt als bei Direktsichtendoskopie.

Dabei kann Videounterstützung, insbesondere bei stereoskopischer Darbietung, sicher zur Verbesserung der endoskopischen Handhabung führen (Pichler et al. 1996). Andererseits ergeben sich verfahrenstechnisch bedingte Diskrepanzen zwischen der Bewegungsausführung und der Bewegungsbeobachtung (optisches Feedback). Dies kann zu Problemen mit der Auge-Hand-Koordination führen aufgrund der zur Durchführung der Tätigkeit notwendigen mentalen 'Transformationen' räumlicher Bewegungen (Breedveld 1998). Als Transformation bezeichnet man die Informationsverarbeitung, die notwendig ist, um die Bewegung der Hand (Endoskophandgriff) entsprechend einer gewünschten Bewegung der Endoskopspitze zu steuern. Diese Transformationen sind abhängig von der Einführtiefe des Endoskopes. Obwohl der Einsatz unterstützender 3-D-Systeme bei endoskopischer Tätigkeit sicher sinnvoll ist, insbesondere wenn höchste Hand-Auge-Koordination gefordert ist, so muss doch die visuelle und mentale Ermüdung gerade bei länger dauernder endoskopischer Tätigkeit mit derartigen Apparaturen beachtet werden (Pietrabissa et al. 1994).

Für die Frage zum Erlernen und zum Training des Umganges mit Endoskopen werden verschiedene Möglichkeiten beschrieben, wie z. B. Simulationen mit Patientenspezifischen anatomischen Modellen (Robb et al. 1997), Simulationen mit 'virtual reality' (Baur et al. 1998) oder mit

Phantomen bzw. künstlichen Geweben (Bücker et al. 1998; Sökeland et al. 1997) bis zum Erlernen endoskopischer Techniken (Sökeland & Luttmann 1998; Mercadier & Pellerin 1996) oder Intensivtrainingsprogrammen (Buess et al. 1991).

Im Rahmen der Problemstellung minimal-invasiver chirurgischer Tätigkeiten ergeben sich damit für unsere Untersuchungen folgende Fragestellungen zum Erlernen bzw. zum Training endoskopischer Tätigkeiten, die in je einem Experiment untersucht werden:

- a) Ist Direktsichtendoskopie oder Videoendoskopie zu bevorzugen?
- b) Welche ist die optimale Monitorposition, wenn videounterstützte Sicht verwendet wird?
- c) Sollen beim Training unterschiedliche Teilaufgaben kontinuierlich abgewechselt werden, oder ist eine konzentrierte Bearbeitung jeder Teilaufgabe separat zu bevorzugen?

2 Fragestellung 1: Direktsichtendoskopie oder Videoendoskopie?

Die Bedeutung der Videounterstützung besteht zum einen in der möglichen Verbesserung des visuellen Feedbacks bei endoskopischen Tätigkeiten und zum anderen in der Möglichkeit zur Beteiligung von Kooperatoren bei operativen Eingriffen durch eine parallele Verteilung der Videoinformation auf mehrere Sichtgeräte. Darüber hinaus ist es die Frage, inwiefern Empfehlungen aus ergonomischen Studien mit Endoskopbenutzern (Luttmann et al. 1998) zur Verwendung videogestützter Systeme bei endoskopischen Operationen bestätigt werden können.

Aus psychologischer Sicht könnte ein potenzielles Problem jedoch darin bestehen, dass für den Vorteil einer durch Videounterstützung reduzierten Muskelbeanspruchung der Nachteil in Kauf genommen

werden muss, dass die Aufgabe mit Monitor schwieriger zu erlernen und durchzuführen ist und damit vielleicht zu längeren Operationszeiten und zu mehr Fehlern führt. Ein Grund, dass dieses in den o. g. Studien nicht gefunden wurde, könnte sein, dass in diesen Studien nur die Leistungen erfahrener Endoskopbenutzer untersucht wurden und deshalb solche Unterschiede bei diesen Operateuren vielleicht nicht mehr nachzuweisen waren. Trotzdem muss man davon ausgehen, dass längere Lern- und Trainingszeiten einen größeren Aufwand in der Ausbildung bedeuten können. Zudem wirkt sich eine Verlängerung der Operationszeit negativ auf die Beanspruchung des Operateurs aus und macht längere Narkosezeiten erforderlich, was auch für den Patienten ungünstig ist. Eine bei Videoendoskopie kompliziertere Verarbeitung der wahrgenommenen Information als bei Direktsichtendoskopie kann daher kommen, dass der Operateur bei Direktsichtendoskopie immer auch dorthin schaut, wo er gerade arbeitet. Bei Videoendoskopie dagegen erfolgt die visuelle Rückmeldung der durchgeführten Bewegungen an einer anderen Stelle als die Bewegungen eigentlich ausgeführt werden. Deshalb könnte es bei Videoendoskopie schwieriger als bei Direktsichtendoskopie sein, eine räumliche Vorstellung vom Operationsgebiet zu entwickeln. Diese räumliche Vorstellung ist jedoch sehr wichtig für eine gute und effiziente Durchführung endoskopischer Operationen.

Eine zweite Frage bezieht sich auf den Effekt der Monitoranordnung, wenn ein Monitor verwendet wird. In der allgemeinen Psychologie wurde in den siebziger Jahren gezeigt, dass es um so mehr Zeit kostet, Objekte mental zu drehen, je größer der Winkel wird (z. B. Shepard & Metzler 1971, siehe Finke & Shepard 1986 für einen Überblick). Wenn der Winkel also den Effekt hat, dann wäre bei größeren Winkeln auch eine schlechtere Leistung zu erwarten.

2.1 Methode Experiment 1

In diesem Experiment wurde untersucht, ob unerfahrene Probanden bestimmte Endoskopaufgaben in einer simulierten Operationsumgebung mit Monitorsicht oder mit Direktsicht einfacher ausführen können. Es wurde ein Versuchsaufbau entwickelt, d. h. eine künstliche Blase, womit zwei Aufgaben ausgeführt werden konnten (Abb. 1). Verwendet wurde eine Kartonbox, an deren Vorderseite sich ein Loch zum Einführen des Endoskops befand. Die hintere Begrenzung bestand aus einer Luftballongummimembran, auf die als Zielbereiche die eingekreisten Nummern 1, 2 und 3 gezeichnet waren. Vor der Membran waren links und rechts am Boden der Box zwei Quadrate markiert. Um dem Versuchsleiter eine Kontrolle über die Fehler und die Vorgehensweise der Probanden zu ermöglichen, war oberhalb des Versuchsaufbaus eine Videokamera angebracht, mit der die Aufgabenausführung aufgezeichnet wurde. Die Probanden dagegen hatten keine direkte Einsichtsmöglichkeit in die Box.

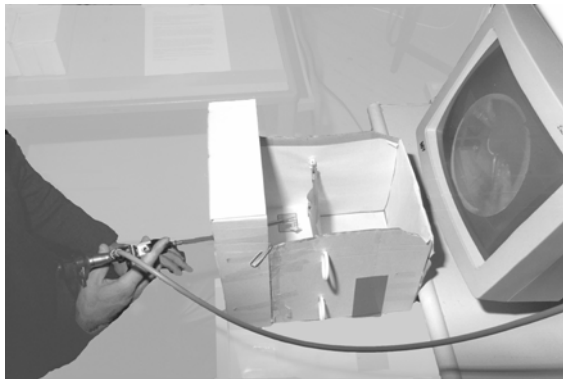


Abb. 1: Modell einer künstlichen Blase, mit der die Aufgaben in Experiment 1 und Experiment 2 ausgeführt wurden

Die erste Aufgabe, die 'Klammeraufgabe', bestand darin, eine auf einem Sockel senkrecht stehende Büroklammer in eine Schlinge an der Spitze des Endoskops so einzuhängen, dass die Klammer von dem linken markierten Quadrat (=Ausgangsfläche) aufgenommen und auf dem rechten markierten Quadrat (=Zielfläche) wieder

abgesetzt werden konnte. Dadurch sollte ein Transport von Blasensteinen simuliert werden, der hohe Zielsicherheit erfordert. Die Klammer wurde nach jedem Transport vom Versuchsleiter wieder von der Zielfläche auf die gleiche Position der Ausgangsfläche zurückgestellt. Die Probanden waren dahingehend instruiert, die Klammer weder über den Boden zu schieben noch sie mittels der Schlinge einzuklemmen.

Die zweite Aufgabe, die 'Membranaufgabe', bestand darin, in einer vorgegebenen Reihenfolge die drei Zielbereiche jeweils in der Mitte zu berühren, aber nicht zu durchstoßen. Zielberührungen mit unzulässig großer Kraft waren auf dem Versuchsleitermonitor sichtbar. Diese wurde als Fehler rückgemeldet, und es folgte die Aufforderung zu einer Aufgabenwiederholung. Diese Aufgabe ist vom Schwierigkeitsgrad vergleichbar mit dem Entfernen von bösartigem Gewebe, wenn dabei möglichst wenig gutartiges Gewebe, z. B. die Blasenwand, verletzt werden soll.

Diese zwei Teilaufgaben wurden abwechselnd nacheinander durchgeführt, und nach jeder Durchführung war das Endoskop aus der Apparatur zu entfernen. Die Leistungsvariable war die Ausführungszeit pro Durchgang, d. h. die Zeit zwischen dem Einführen und dem Herausziehen des Endoskops.

Die Aufgaben wurden von 16 Probanden (20-45 Jahre) durchgeführt, die alle Rechtshänder und unerfahren in der Endoskopie waren. Alle Probanden führten beide Aufgaben jeweils zehnmal aus, sowohl mit Direktsicht als auch mit Monitorsicht, wobei der Monitor in drei unterschiedlichen Positionen platziert war. Damit ergaben sich vier Bedingungen: 1) 'Direktsicht', 2) Monitor in der Mitte und etwa 10° unter der Augenhöhe des Probanden ('vor' dem Proband; siehe Monitor in Abb. 1), 3) Monitor in der Mitte und 35° über der Augenhöhe ('über'), und 4) Monitor 90°

rechts und 10° unter der Augenhöhe ('Seite').

2.2 Ergebnisse und Diskussion

Die wichtigsten Ergebnisse sind in Abb. 2 dargestellt. Beide Teilaufgaben wurden signifikant schneller ausgeführt bei Monitorsicht als bei Direktsicht¹. Ein Grund dafür ist wahrscheinlich, dass die Probanden bei Direktsicht für jede Bewegung des Endoskops auch den Oberkörper bewegen mussten. Dieser Befund zeigt, dass die mentalen Transformationen, die bei Monitorsicht zusätzlich ausgeführt werden müssen, für die Ausführungszeit weniger ausschlaggebend sind als die zusätzlichen Körperbewegungen.

¹ Alle in diesem Bericht aufgeführten Unterschiede sind statistisch abgesichert ($p < .05$).

Ein weiterer Befund war, dass eine Anordnung des Monitors 90° rechts ('Seite') zu einer langsameren Aufgabenausführung führte als eine Anordnung direkt 'vor' dem Probanden. Dieser Befund ist in Übereinstimmung mit der Vermutung, dass größere Winkel (und damit auch größere mentale Rotationen) zu niedrigeren Leistungen führen. Unerwartet war nach dieser Vermutung aber, dass sich für beide Aufgaben bei einer Anordnung 10° unter Augenhöhe 'vor' dem Proband keine signifikant bessere Leistung ergab als bei einer Anordnung 35° 'über' Augenhöhe.

Wenn auch die Ausführungszeiten bei Monitorsicht kürzer waren als bei Direktsicht, könnten die notwendigen mentalen Transformationen bei Monitorsicht vielleicht zu größeren Fehlerraten führen. Die Fehleranalysen bestätigten dies aber nicht. Für die Membranaufgabe wurden durch die Fehleranalyse sogar Vermutungen unterstützt, wonach die Leistung bei Direktsicht schlechter sei als bei Monitorsicht: Während die Membranaufgabe bei Direktsicht nämlich zu 37 % Fehler führte, lag die Fehlerrate in den Monitorbedingungen immer unter 13 %. Für die Klammeraufgabe blieb die Fehlerprozentzahl unter 21 % für alle Bedingungen, und es wurden keine signifikanten Unterschiede gefunden.

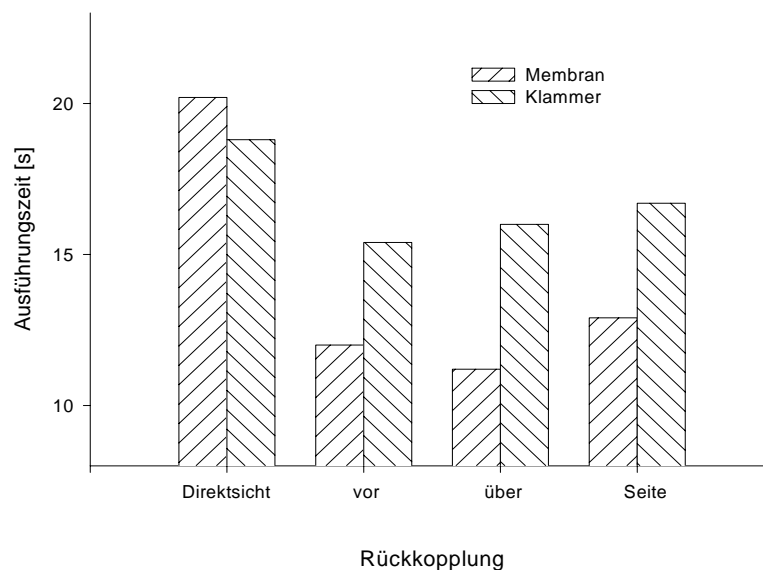


Abb. 2: Ausführungszeiten in Experiment 1

3 Fragestellung 2: Welches ist die optimale Monitorposition?

Das zweite Experiment bezieht sich ausschließlich auf den Einfluss der Positionierung des Monitors, falls eine Videounterstützung verwendet wird. Gerade weil in Experiment 1 Vorteile der Monitorsicht gegenüber der Direktsicht gefunden werden konnten, ist die Frage nach der optimalen Monitorposition wichtig. In Experiment 1 zeigten naive Probanden bei der Membranaufgabe die beste Leistung bei den Bedingungen in der Mitte und 35° über Augenhöhe ('vor' und 'über'). Dass die Leistung bei diesen Positionierungen besser war gegenüber einer Positionierung 90° rechts, war wegen des größeren Winkels bei der 90°-Bedingung durchaus zu erwarten. Eine alternative Erklärung könnte aber sein, dass der gefundene Unterschied eher mit der Richtung des Winkels (horizontale versus vertikale Winkel) als mit der Größe des Winkels zu tun hat. Es könnte sein, dass eine Kopfdrehung nach der Seite schwierigere Transformationen erfordert, als wenn der Kopf aufwärts geneigt wird. Jedoch unerwartet war es, dass die Leistung in der Membranaufgabe bei dem kleinsten vertikalen Winkel nicht die beste war. Diese Ergebnisse führten in Experiment 2 dazu, die Aufgaben von Experiment 1 ausschließlich mit Videoendoskopie zu wiederholen und dabei die Winkel in horizontaler und vertikaler Richtung für die Monitorposition zu variieren.

3.1 Methode Experiment 2

Die Methode war vergleichbar mit der in Experiment 1. Die gleichen beiden Aufgaben wurden von 14 naiven Probanden durchgeführt. Gegenüber dem Experiment 1 durften die Probanden bei der Klammeraufgabe eine umgefallene Klammer wieder aufheben, was zwar weniger Fehler, aber dementsprechend auch längere Ausführungszeiten zur Folge hatte. Diesmal gab es keine Direktsichtbedingung.

Stattdessen wurden sieben unterschiedliche Monitorpositionen untersucht. Drei Monitorpositionen waren jeweils in der Mitte und 10° unter der Augenhöhe des Probanden (wie 'vor' in Experiment 1), 35° über der Augenhöhe (wie 'über' in Experiment 1) und 90° über Augenhöhe, d. h. senkrecht über dem Kopf des Probanden. Des Weiteren wurde der Monitor 45° bzw. 90° seitlich links und rechts neben dem Proband jeweils 10° unter Augenhöhe aufgestellt (Abb. 3). Der Stuhl der Probanden war am Boden fixiert, sodass der Winkel zwischen Monitor und Arbeitsplatz unter allen Versuchsbedingungen gleich war.

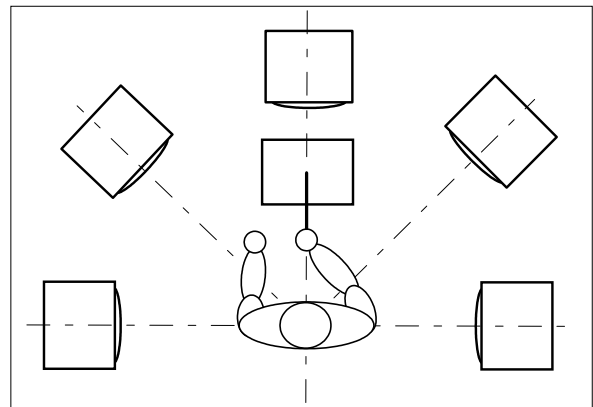


Abb. 3: Versuchsanordnung in Experiment 2

3.2 Ergebnisse und Diskussion

Die Abb. 4 zeigt für beide Aufgaben den erwarteten Vorteil einer Anordnung des Monitors unter 45°/35° verglichen mit 90°. Ob der Winkel horizontal oder vertikal war, hatte dabei keinen Effekt. Der Befund bei der Membranaufgabe in Experiment 1, wo die Ausführungszeiten bei einer Anordnung des Monitors 10° unter Augenhöhe 'vor' dem Proband länger waren als bei einer Anordnung mit einem vertikalen Winkel 35° ('über'), konnte dort nicht statistisch abgesichert werden, wurde nun aber in Experiment 2 für den vertikalen Winkel 35° signifikant. Dieses war insbesondere deswegen unerwartet, weil die Probanden vor Beginn des Experiments gerade in der 'vor'-Bedingung geübt hatten.

Die Fehlerraten lagen bei der Membran-aufgabe bei rund 7 % und waren nicht von der Monitorposition abhängig. Wichtig aber ist, dass zwar die Ausführungszeiten bei der Klammeraufgabe in der 10° 'vor' Monitorposition nicht länger waren, die Fehlerrate aber mit 4.3 % höher war als bei den 45°/35°- und 90°-Monitorpositionen. Damit war bei beiden Aufgaben die Leistung signifikant schlechter, wenn der Monitor direkt über dem Arbeitsplatz ('vor') gegenüber einem Winkel von 45°/35° (egal ob in horizontaler oder vertikaler Richtung) angeordnet war.

Die Ergebnisse aus Experiment 2 bestätigen die Hypothese, dass bei horizontalen Winkeln über 45° die Leistung in dem Maße beeinträchtigt wird, in dem der Winkel zwischen Arbeitsplatz und Monitor größer wird. Dagegen abgelehnt wird die Hypothese, dass der horizontale Winkel die Ursache für den Leistungsunterschied in Experiment 1 zwischen der Monitoranordnung 90° rechts und direkt vor dem Proband war, weil die Effekte auch bei vertikalen Winkeln gefunden wurden.

Darüber hinaus bestätigte das Experiment 2 auch, dass es nicht vorteilhaft ist, den Monitor zu nah am Arbeitsbereich anzuordnen. Eine mögliche Erklärung für diesen Befund ist, dass bei kleinen Differenzen zwischen den Blickwinkeln zum Beobachtungsfeld und auf die Hand die Bewegungseffekte (auf dem Monitor beobachtbar) und die Handbewegungen gleichzeitig gesehen werden und stören, weil die über Monitor wahrgenommene und die geplante und tatsächlich ausgeführte Bewegung in unterschiedliche Richtungen gehen. Derartige Interferenzen können zu Leistungsbeeinträchtigungen führen und sind bei frontaler Monitoranordnung am größten. Dagegen werden diese bei einer Monitoranordnung unter größerem horizontalen oder vertikalen Winkel aufgrund verschiedener Blickrichtung immer kleiner, denn bei größerem Winkel erscheint die eigene Hand am Rande des Sehfeldes und wird nicht mehr als störend empfunden.

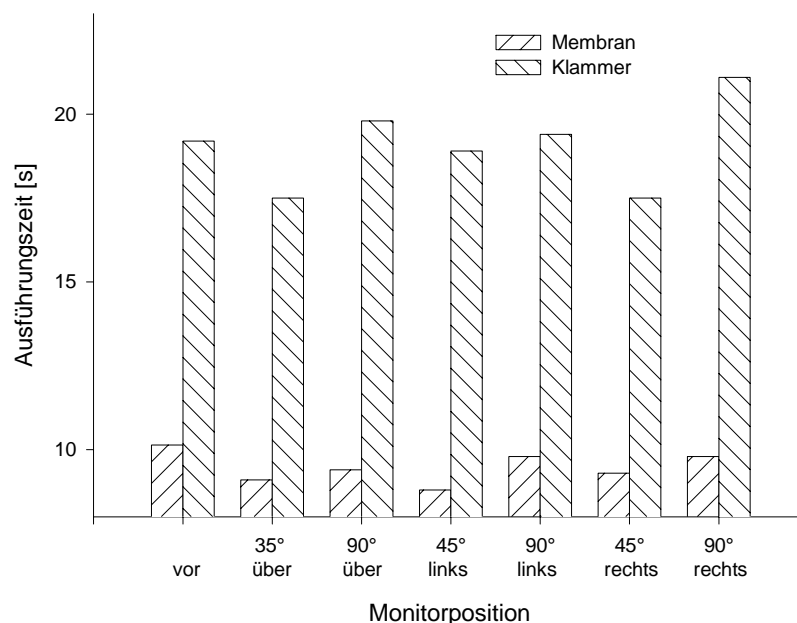


Abb. 4: Ausführungszeiten in Experiment 2

4 Fragestellung 3: Welches sind optimale Trainingsmethoden?

Beim dritten Experiment geht es um die Frage, welches die optimale Trainingsmethode zum Erlernen von Bewegungsabläufen bei endoskopischen Tätigkeiten ist. Dabei war zu überlegen, wie man Übungssequenzen strukturieren würde, um bei einer numerisch begrenzten Anzahl von Übungsmöglichkeiten einen maximierten Übungserfolg zu erreichen. Als Alternativen bieten sich 'geblocktes Lernen' oder 'alterniertes Lernen' an (Schmidt & Lee 1999). Geblocktes Lernen bedeutet dabei eine Versuchsabfolge, in der alle Versuchsdurchgänge für eine Aufgabe zusammenhängend aufeinander folgen ohne Unterbrechung durch das Üben von anderen Aufgaben. Alterniertes Lernen findet dagegen immer dann statt, wenn in aufeinanderfolgenden Versuchsdurchgängen jeweils verschiedene Aufgaben gestellt bzw. geübt werden. Allgemein wird angenommen, dass alterniertes Lernen zu stabileren Fertigkeiten führt, was eine andauernde Anpassung mentaler Transformationen bedeuten kann. In Experiment 3 wurden die Versuchspersonen explizit aufgefordert, sehr genau zu arbeiten, um eine realistische Situation zu erzeugen.

4.1 Methode Experiment 3

In dem experimentellen Ansatz wurde eine Harnblasenresektion mit Videounterstützung simuliert, wobei der Monitor, wie häufig in der urologischen Praxis üblich, direkt über dem Operationsgebiet und vor dem Probanden platziert war. Es waren Zielbewegungen mit hoher Genauigkeit auf Ziele mit unterschiedlichen horizontalen Winkeln (links und rechts einer Mittelposition) und unterschiedlicher Arbeitstiefe auszuführen. Da gleichzeitig die Gefahr einer Blasenwandperforation simuliert werden sollte, durften die Ziele bei der Zielbewegung nur mit begrenzter Kraft getroffen werden. Dazu wurde ein Ver-

suchsaufbau entwickelt, der die Simulation einer derartigen endoskopischen Tätigkeit ermöglicht. Der erstellte Versuchsaufbau besteht aus einer etwa 20x20x20 cm großen Box. In dieser Box befindet sich eine Start-Ziel-Konfiguration auf etwa 10 cm Höhe, die aus einem Startkontakt (Einführtiefe 50 mm) und zwei senkrecht stehenden, sphärischen Zielbereichen mit Einführtiefen von 100 mm bzw. 150 mm besteht (Abb. 5). Die Einführstelle des Endoskops im Zentrum der Vorderwand der Box stellt jeweils das Zentrum der Zielbereiche dar. Auf jedem der Zielbereiche auf gleicher Höhe sind fünf diskrete Ziele mit horizontalen Winkeln von -40° , -20° , 0° , $+20^\circ$ und $+40^\circ$ angeordnet. Die Ziele haben je drei konzentrische Kontaktflächen mit 4 mm, 8 mm und 13 mm Durchmesser. Damit war eine quantitative Messung der Treffgenauigkeit möglich. Bei zu starkem Auftreffen auf die Ziele gab es eine akustische Rückmeldung, und der Versuchsdurchgang musste wiederholt werden.

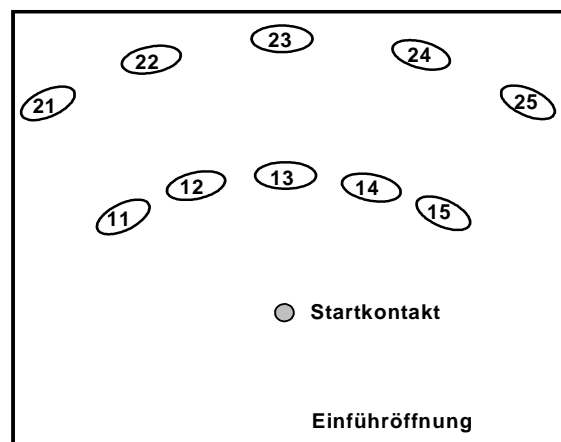


Abb. 5: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus mit Zielnummern

Mit diesem Versuchsaufbau wurden die Experimente zum Erlernen der Bewegungsausführung bei endoskopischen Tätigkeiten durchgeführt. Die Aufgabe bestand darin, die einzelnen Ziele so schnell und so genau wie möglich mit der als Kugel ausgelegten Endoskopspitze zu treffen. Ausgangspunkt für jede einzelne Zielbewegung war immer der in Abb. 5 gekenn-

zeichnete Startkontakt. Mit dem Experiment sollte geprüft werden, a) ob alterniertes Lernen ein besseres Ergebnis ergibt als geblocktes Lernen, und b) wie unterschiedlich gut Zielbewegungen zu Zielen mit unterschiedlichen Endoskopwinkeln und Einführtiefen gelernt und ausgeführt werden können.

An dem Lernexperiment nahmen 20 Probanden (19-28 Jahre) teil. Alle Probanden waren Rechtshänder und hatten keinerlei Endoskopieerfahrung. Es wurden zwei gleich große Gruppen mit folgenden Lernbedingungen gebildet: 'geblockt lernend' und 'alterniert lernend'. Die geblockt lernende Gruppe führte in der Lernphase die Zielbewegungen 16 mal für jedes Ziel durch, bevor ein anderes Ziel geübt wurde. Die alterniert lernende Gruppe dagegen führte zunächst in einem ersten Durchlauf auf alle Ziele nacheinander jeweils eine Zielbewegung durch. Dieser Durchlauf wurde anschließend 15 mal wiederholt.

In den sich jeweils direkt anschließenden Testphasen mussten beide Gruppen jeder der in der Lernphase geübten Zielbewegungen 16 mal in vorgegebener Zufallsreihenfolge reproduzieren.

4.2 Ergebnisse und Diskussion

Die Ausführungszeit wurde definiert als die Zeit zwischen dem Verlassen des Startkontakts und dem Berühren einer der drei Kontaktflächen auf dem richtigen Ziel. Um den Lernerfolg für die Gruppen geblockt lernend und alterniert lernend getrennt zu analysieren, wurden Intragruppenvergleiche für die mittlere Ausführungszeiten zu den einzelnen Zielen für die Lernphasen gegenüber den jeweiligen Testphasen durchgeführt. Dabei zeigte sich für die geblockt lernende Gruppe (Abb. 6) bei den Zielbewegungen auf Ziele sowohl mit kleiner als auch mit großer Einführtiefe ein signifikanter Lernerfolg. Vergleichbare Ergebnisse wurden auch für die alterniert lernende Gruppe (Abb. 6) gefunden.

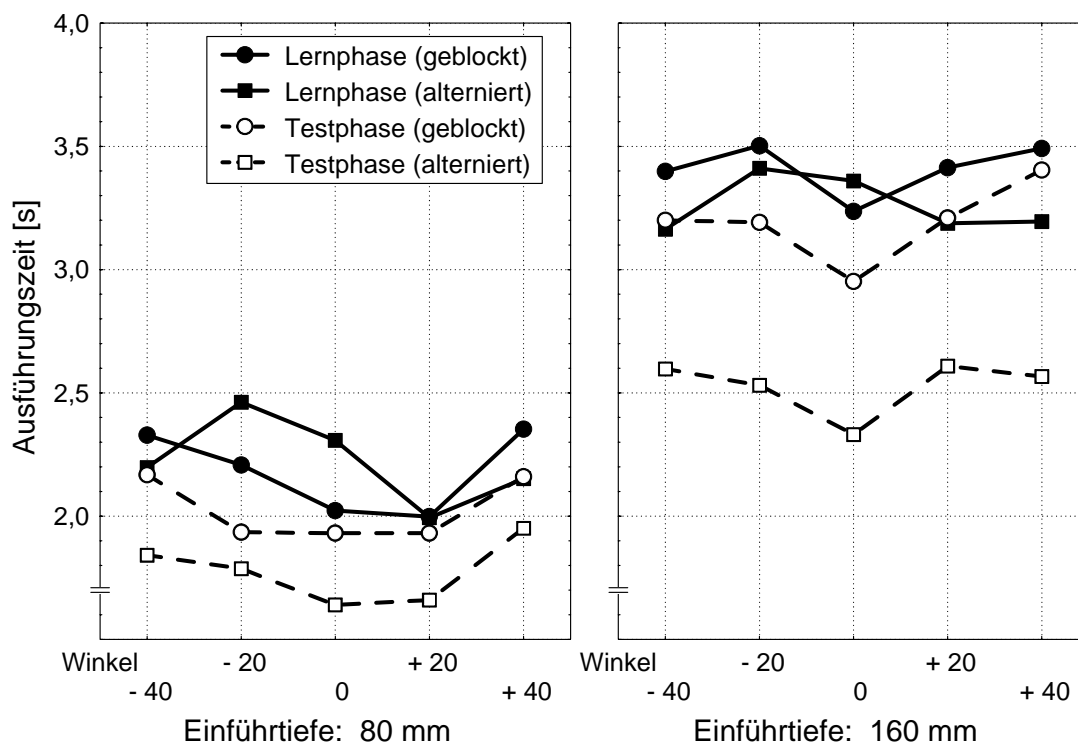


Abb. 6: Ausführungszeiten für die einzelnen Ziele bei der geblockt bzw. alterniert lernenden Gruppe

Der Einfluss der Lernbedingung auf den Lernerfolg wurde durch einen Intergruppenvergleich für die Ausführungszeiten in den Testphasen untersucht. Dabei waren Zielbewegungen auf die Ziele sowohl mit kleiner als auch mit großer Einführtiefe signifikant schneller für alterniertes Lernen als für geblocktes Lernen (Abb. 6). Um die Ausgangsbedingungen zu überprüfen, wurde der gleiche Intergruppenvergleich für die Ausführungszeiten während der Lernphasen durchgeführt. Dabei ergaben sich jedoch keinerlei signifikante Unterschiede. Dies bestätigt, dass sich die Ausgangswerte für beide Gruppen nicht unterscheiden und der größere Lernerfolg durch alterniertes Lernen nicht auf einem zufälligen Gruppenunterschied beruht. Durch diese Befunde zu den Ausführungszeiten ließ sich somit nachweisen, dass die Höhe des Lernerfolges von der Lernbedingung abhängig ist. Zwar ergab sich für beide Lernbedingungen beim Vergleich der Lernphasen mit den Testphasen jeweils ein signifikanter Lernerfolg, bei dem Vergleich der Testphasen beider Lernbedingungen ergab sich jedoch für das alternierte Lernen ein signifikant höherer Lernerfolg als für das geblockte Lernen.

Prüft man den Effekt von Einführtiefe und Endoskopwinkel, so zeigte sich bei den Ausführungszeiten in den Testphasen sowohl bei Zielen mit kleiner Einführtiefe als auch bei Zielen mit großer Einführtiefe für die geblockt lernende und die alterniert lernende Gruppe signifikante quadratische Verläufe und damit in allen Fällen eine annähernd symmetrische Anordnung der Werte um die jeweils mittleren Ziele (Abb. 6). Dagegen ergab sich dies in den Lernphasen nur bei der geblockt lernenden Gruppe. Bei der alterniert lernenden Gruppe ergab sich für beide Einführtiefen ein signifikant kubischer Verlauf. Dies bedeutet, dass in der Lernphase bei alterniertem Lernen die Ausführungszeiten bei großen negativen Winkeln kürzer waren als bei geblocktem Lernen, und dies sowohl bei kleiner als auch bei großer Einführtiefe.

Da man grundsätzlich davon ausgehen kann, dass die räumliche Lage der Ziele (Endoskopwinkel und Einführtiefe) einen Effekt auf die Ausführungszeiten hat, sollten die mittleren Ziele (Winkel = 0) für die jeweilige Einführtiefe die kürzesten Ausführungszeiten aufweisen, bei entsprechend höheren Werten für Ziele mit größeren positiven und negativen Winkeln. Dies ließ sich für die Testphasen auch tatsächlich nachweisen. Dagegen hatten in der Lernphase die Ziele mit positiven Winkeln (rechts liegende Ziele) signifikant niedrigere Werte als Ziele mit negativen Winkeln (links liegende Ziele). Eine mögliche Ursache hierfür kann die während der Lernphase und der Testphase unterschiedliche Positionierung des Körper vor dem Versuchsaufbau und daraus resultierende, unterschiedliche Bewegungen von Hand, Arm und Schulter sein. Zur Klärung dieser Ursachen sollten den zur Ausführung der Tätigkeiten notwendigen Körperhaltungen und -bewegungen verstärkt Beachtung geschenkt werden.

Neben der Zeitdauer zum Erreichen eines Zieles (Ausführungszeit) ist die Genauigkeit der Zielerreichung eine wichtige Messgröße. Dabei wird die Frage, ob die gestellte Aufgabe ein bestimmtes Zielgebiet zu erreichen, erfüllt ist, meist danach entschieden, ob das Ziel getroffen ist oder nicht, d. h. ein reines 'ja/nein'-Kriterium. Meist hat dies dann eine Wiederholung und dadurch eine unterschiedliche Anzahl von Übungsdurchgängen für die Probanden zur Folge. Um dies zu verhindern, war in unserem Versuchsaufbau durch jeweils drei Zielbereiche die Bestimmung einer quantitativen Treffgenauigkeit möglich (Abb. 7). Dargestellt ist die mittlere Treffgenauigkeit, berechnet als der Mittelwert aus den Nummern der jeweils auf den Zielen getroffenen Zielflächen (1, 2, 3 = zentrale, mittlere, äußere Zielfläche). Dabei gilt,

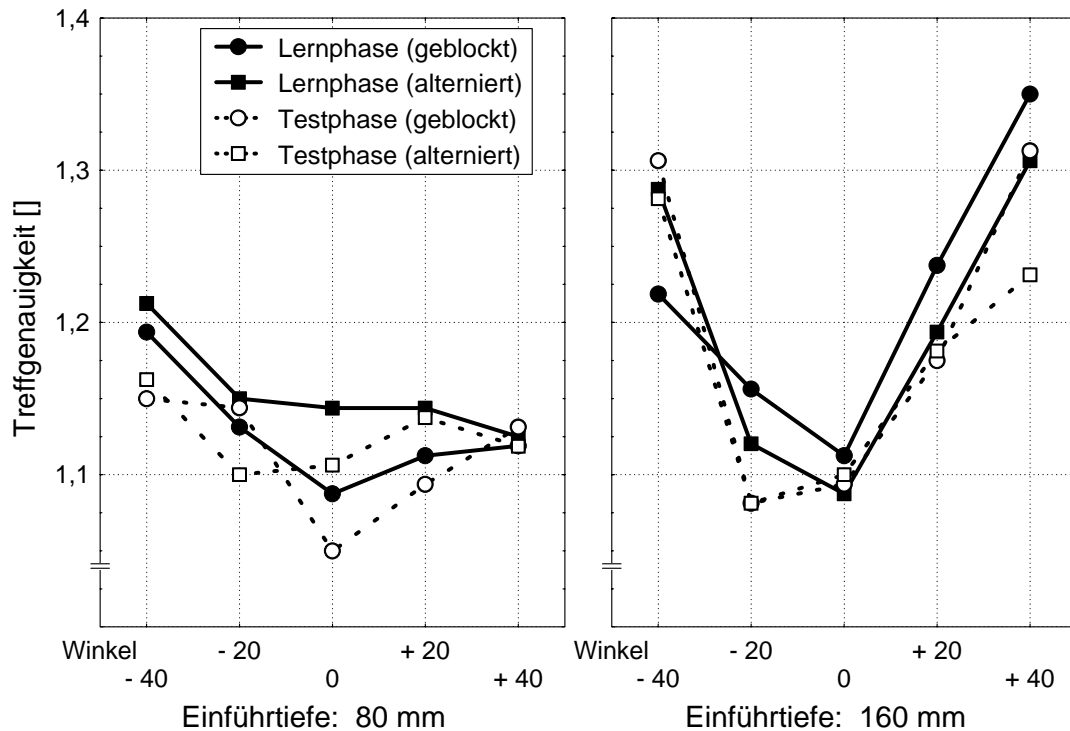


Abb. 7: Treffgenauigkeit für die einzelnen Ziele bei der geblockt bzw. alterniert lernenden Gruppe

dass je kleiner der Wert ist, desto genauer das Ziel getroffen wurde.

Die Treffgenauigkeit zeigte für Ziele mit der Einführtiefe 160 mm in den Lernphasen und in den Testphasen bei beiden Gruppen (Abb. 7) signifikante quadratische Verläufe. Die Treffgenauigkeiten lagen damit annähernd symmetrisch um das mittlere Ziel. Für die Ziele mit der Einführtiefe 80 mm waren die Verläufe stattdessen alle linksschief, und es ergaben sich bei der geblockt lernenden Gruppe in der Lernphase und in der Testphase (Abb. 7) signifikante kubische Verläufe.

Auch bei der Treffgenauigkeit war zu erwarten, dass die mittleren Ziele (Winkel = 0°) auf jeder Ebene die höchste Treffgenauigkeit und damit die niedrigsten Werte aufweisen sollten. Dies ergab sich jedoch nur für die Ziele mit großer Einführtiefe. Bei den Zielen mit kleiner Einführtiefe waren dagegen alle Verläufe linksschief, und Ziele mit großem positiven Winkel (rechts liegende Ziele) wurden

signifikant genauer getroffen als Ziele mit großem negativen Winkel (links liegende Ziele). Dies bedeutet, dass der Endoskopwinkel nur bei kleiner Einführtiefe, dann aber unabhängig von der Lernvorgabe, einen Einfluss auf die Treffgenauigkeit hat.

Durch die Ergebnisse zur Treffgenauigkeit ließ sich außerdem zeigen, dass die Gestaltung der Ziele in dem Versuchsaufbau geeignet war, die Genauigkeit der Zielerreichung in vertikaler und horizontaler Richtung quantitativ zu bestimmen. Als Nebeneffekt ergab sich, dass durch die Messbarkeit einer differenzierten Genauigkeit kaum noch Versuchsdurchgänge in der Lernphase wiederholt werden mussten und so die Anzahl von Versuchsdurchgängen für die Probanden nahezu konstant gehalten werden konnte.

5 Allgemeine Diskussion

Die Experimente 1 und 2 waren Ergänzungen zu früheren ergonomischen Untersuchungen, in denen gezeigt wurde, dass

Direktsichtendoskopie zu größeren körperlichen Belastungen von Operateuren führt. Aufgrund von Vermutungen, die sich auf Erkenntnisse aus der psychologischen Grundlagenforschung stützen, wurde der Frage nachgegangen, ob bei der Videoendoskopie die Informationsverarbeitung gegebenenfalls schwieriger sein könnte. Experiment 1 zeigte jedoch, dass dies nicht der Fall war. Die Verwendung von Monitoren bei Videoendoskopie führte sogar zu einer Leistungsverbesserung. Dies ist vermutlich u. a. auch dadurch begründet, dass bei der Videoendoskopie weniger Körperbewegungen notwendig sind als bei der Direktsichtendoskopie.

In Experiment 2 konnte dann gezeigt werden, dass auch die Anordnung des Monitors einen Effekt hat. Bei großen und bei kleinen Winkeln (90° und 10°) war die Leistung nämlich schlechter als bei einem mäßig großen Winkel (45°). Beurteilt man daher den 90° -Winkel aufgrund einer eher leistungsorientierten Begründung als ungünstig, hat dies wahrscheinlich zusätzlich einen positiven ergonomischen Effekt, weil bei kleineren Winkeln auch die körperliche Belastung reduziert wird, da der Hals weniger verdreht werden muss. Weiterhin zeigen die Ergebnisse, dass die Richtung, in die der Operateur schauen muss (in der urologischen Praxis links oder rechts), vermutlich keinen Einfluss auf die Leistung hat. Eine anhaltend geänderte Blickrichtung reduziert zudem wahrscheinlich sogar gleichzeitig die körperliche Belastung. Der Befund, dass auch kleine Winkel zu einer Leistungsbeeinträchtigung führen, entsprach zwar nicht der Erwartung, ist aber aufgrund der Kenntnisse aus der allgemeinen Psychologie durchaus plausibel und deshalb glaubwürdig.

Durch die in Experiment 3 vorgelegten Ergebnisse ließ sich nachweisen, dass mit dem erstellten Versuchsaufbau ein Lernen variabler Verstärkungen von Werkzeugtransformationen möglich ist. Zudem ist dieser Versuchsaufbau durchaus geeignet

für Untersuchungen zum Training endoskopischer Tätigkeiten, da damit die Genauigkeit der Zielerreichung sowohl in vertikaler und horizontaler Richtung als auch in der Tiefe quantitativ messbar ist. Der Lernerfolg zeigte sich dabei abhängig von der Lernbedingung. Bei einem Vergleich verschiedener Lernvorgaben ergab sich für das alternierte Lernen, bei dem in jedem Versuchsdurchgang eine andere Aufgabe gelernt wurde, ein signifikant besserer Lernerfolg als für das geblockte Lernen. Darüber hinaus wurden Ziele unterschiedlich gut gelernt, und der Lernerfolg war abhängig von der räumlichen Lage - Winkel und Einführtiefe - der Zielbereiche. Zu den möglichen Ursachen dafür könnte die Positionierung des Körpers vor dem Versuchsaufbau gehören. Eine weitere Klärung dieser Ursachen sollte zu Vorschlägen für eine geänderte Körperhaltung während endoskopischer Tätigkeit führen.

Insgesamt steht fest, dass die in diesen Experimenten gefundenen Effekte nur relativ klein sind. Wichtig ist sicher aber auch festzustellen, dass die Aufgaben in diesen Experimenten sehr einfach zu erlernen und auszuführen waren und die Effekte trotzdem statistisch zuverlässig sind. Das ließe dann erwarten, dass Richtlinien, die auf diesen Ergebnissen basieren, die Leistung bei den sehr viel komplexeren Aufgaben in der chirurgischen Praxis durchaus verbessern können, speziell bei weniger geübten Chirurgen. Besonders wichtig ist dies im Hinblick auf mögliche Fehler, die bei der Durchführung der Tätigkeit in der chirurgischen Praxis gemacht werden, denn schon bei einem kleinen oder seltenen Fehler muss durchaus mit schwerwiegenden Komplikationen beim Patienten gerechnet werden.

6 Schlussfolgerungen

Auf einer inhaltlichen Ebene kann festgestellt werden, dass der Einsatz der Video-

endoskopie nicht nur die körperliche Belastung verringert, sondern auch die Leistung verbessert. Um die körperliche Belastung möglichst zu reduzieren, sollte der Monitor am besten ungefähr 45° links oder rechts platziert werden, wobei kleine Variationen im vertikalen Winkel wahrscheinlich keinen Einfluss auf die Leistung haben. Zum Erlernen von Tätigkeiten mit variablen Transformationen, und damit z. B. zum Training endoskopischer Tätigkeiten, sind einfache Versuchsaufbauten durchaus geeignet, wenn damit eine differenzierte Genauigkeit der Zielerreichung messbar ist. Die zur Verfügung stehende Zeit zum Erlernen endoskopischer Tätigkeiten muss möglichst optimal genutzt werden. Dazu sollte alterniertes Lernen eingesetzt werden, wobei dauernd zwischen verschiedenen Aufgaben gewechselt wird, da sich damit deutlich bessere Lernerfolge gegenüber dem geblockten Lernen erzielen lassen, bei dem man sich jeweils auf eine einzelne Aufgabe konzentriert.

Diese Serie von Experimenten greift frühere Experimente am *IfADo* auf, die gezeigt haben, dass die körperliche Belastung bei Direktsichtendoskopie größer ist als bei Videoendoskopie. Mit unseren Befunden haben wir nun gezeigt, dass auch die Leistung bei Videoendoskopie besser ist. Gemeinsam führt dies zu Vorschlägen oder Richtlinien für die Durchführung von endoskopischen Tätigkeiten. Diese Richtlinien basieren sowohl auf ergonomischen und angewandt-psychologischen Forschungsergebnissen als auch auf Erkenntnissen aus der Grundlagenforschung. Damit zeigt dieser Bericht auch die Wichtigkeit sowohl einer interdisziplinären angewandten Forschung als auch des Einbeziehens von Grundlagenwissen auf, um damit geeignete Hypothesen formulieren und die Ergebnisse interpretieren zu können.

7 Literatur

Baur C, Guzzoni D, Georg O (1998). VIRGY: a virtual reality and force feedback based endoscopic surgery simulator. *Stud Health Technol Inform* 50: 110-116.

Breedveld P (1998). Observation, manipulation, and eye-hand coordination problems in minimally invasive surgery. In: *European Conference on Human Decision Making and Manual Control* (ed): Proceedings of the 16th European Conference on Human Decision Making and Manual Control, Kassel 1997 (pp 219-231). Kassel.

Bücker M, Luttmann A, Möbius C, Sökeland J (1998). Künstliche Gewebe zum Training an Ausbildungssimulatoren. *Urologe* 38B: 551-552.

Buess G, Naruhn M, Motzung T, Mentges B, Becker HD (1991). Trainingsprogramm für die minimal-invasive Chirurgie. *Chirurg* 62: 276-283.

Calvano CJ, Moran ME, Tackett LD, Reddy PP, Boyle KE, Pankratov MM (1998). New visualization techniques for in utero surgery: amnioscopy with a three-dimensional head-mounted display and a computer-controlled endoscope. *J Endourol* 12: 407-410.

Finke RA, Shepard RN (1986). Visual functions of mental imagery. In: Boff KR, Kaufman L, Thomas JP (eds): *Handbook of perception and human performance*, Vol. II: Cognitive processes and performance (pp 37-1-37-55). New York: Wiley.

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.

Laporte E (1999). Imaging problems in endoscopic surgery [french]. *Ann Chir* 53: 501-505.

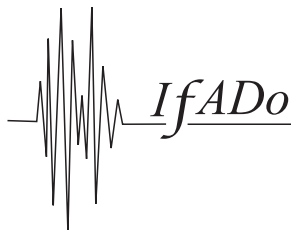
- Levy ML, Chen JC, Moffitt K, Corber Z, McComb JG (1998). Stereoscopic head-mounted display incorporated into microsurgical procedures: technical note. *Neurosurgery* 43: 392-396.
- Luttmann A, Sökeland J, Laurig W (1996a). Electromyographical study on surgeons in urology. I. Influence of the operating technique on muscular strain. *Ergonomics* 39: 285-297.
- Luttmann A, Jäger M, Sökeland J, Laurig W (1996b). Electromyographical study on surgeons in urology. II. Determination of muscular fatigue. *Ergonomics* 39: 298-313.
- Luttmann A, Sökeland J, Laurig W (1998). Muscular strain and fatigue among urologists during transurethral resections using direct and monitor endoscopy. *Europ Urol* 34: 6-14.
- Mercadier M, Pellerin D (1996). Training and qualification of surgeons and surgical specialists in video-endoscopic surgery [french]. *Bull Acad Natl Med* 180: 1469-1474.
- Pichler C von, Radermacher K, Boeckmann W, Rau G, Jakse G (1996). Three-dimensional versus two-dimensional video endoscopy. A clinical field study in laparoscopic application. In: Sieburg H, Weghorst S, Morgan K (eds): *Health care in the information age* (pp 667-674). Ohmsha: IOS Press.
- 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.
- Robb RA, Aharon S, Cameron BM (1997). Patient-specific anatomic models from three dimensional medical image data for clinical applications in surgery and endoscopy. *J Digit Imaging* 10 (Suppl 1): 31-35.
- Schmidt RA, Lee TD (1999). *Motor control and learning: A behavioral emphasis*. Champaign, Ill.: Human Kinetics Publ.
- Shepard RN, Metzler J (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science* 171: 701-703.
- Sökeland J, Luttmann A (1998). Lehren und Lernen endoskopischer Techniken. In: Verein zur Förderung der biomedizinischen Wissenschaften in Dortmund (Hrsg.): *Endoskopie und minimal-invasive Techniken*. 31. Biomedizinisches Kolloquium, 15. Okt. 1997 (S 4-15). Dortmund (Dortmunder biomedizinische Kolloquien, H. 14).
- Sökeland J, Luttmann A, Farin G, Seidel-Fabian B (1997). Zur Entwicklung von Phantomen für "transurethrale" Operationen. *Der Urologe* 37B: 582-587.
- Tendick F, Jennings RW, Tharp G, Stark L (1993). Sensing and manipulation problems in endoscopic surgery: Experiment, analysis, and observation. *Presence* 2: 66-81.

Arbeitsphysiologie *heute*

Bd. 3 (2001)

Herausgegeben von

H.M. Bolt
B. Griefahn
H. Heuer



Dortmund

ISBN 3-00-007732-4

Alle Rechte vorbehalten.

© 2001 *IfADo*

Institut für Arbeitsphysiologie an der Universität Dortmund
Ardeystr. 67, D-44139 Dortmund
Tel.: 0231/1084-0
Fax: 0231/1084-308
<http://www.ifado.de>

Druck: Koffler-Druck, Dortmund

Printed in Germany

Vorwort

Diskussionen des letzten Jahres im *IfADo* führten zu der Überzeugung, dass sich die Darstellung jeweils eines übergreifenden Themenkomplexes im Jahresband von Arbeitsphysiologie *heute* als vorteilhaft erwiesen hat und daher beibehalten werden sollte.

Der hier vorgelegte 3. Jahresband unserer Schriftenreihe bietet eine Zusammenstellung arbeitspsychologischer Themen, die im *IfADo* bearbeitet werden. Auch hier treffen sich sowohl mehr grundlagenorientierte als auch anwenderorientierte Forschungsarbeiten.

Der Band möge dazu dienen, laufende Diskussionen des Instituts mit seinem Umfeld zu Fragen der Arbeitspsychologie zu fördern und neue Diskussionen anzuregen.

Die Institutsleitung des *IfADo*